

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

**И.В. Шадрин, П.П. Дьячук (мл.),
П.П. Дьячук, Д.С. Бажин**

ДИНАМИЧЕСКИЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕСТЫ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Учебное пособие

Электронное издание

КРАСНОЯРСК
2015

Рецензенты:

Доктор физико-математических наук, профессор

И.О. Богульский

Доктор педагогических наук, профессор

В.Р. Майер

Шадрин И.В., Дьячук П.П. (мл.), Дьячук П.П., Бажин Д.С.

- Ш 163 Динамические компьютерные тесты учебной деятельности: учебное пособие / [Электронный ресурс] / Электрон. дан. / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. – Красноярск, 2015. – 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 978-5-981-898-3

Раскрываются синергетические и психолого-педагогические особенности компьютерных динамических тестов, которые позволяют диагностировать динамику формирования ключевых компетентностей обучающихся решению задач. Обучающийся рассматривается как интеллектуальный агент, изменяющий сложность проблемной среды в процессе научения решению задач. Компьютерные проблемные среды представлены в виде ситуационных моделей задач. Описаны методы обработки данных, полученных в результате динамического тестирования: формализованное описание траекторий деятельности ученика при решении задач; уровневая траектория достижений обучающимися; метод фазовых портретов обучающегося, динамика изменения самооценки деятельности в процессе научения и т.д.

Рекомендуется студентам педагогических университетов, учителям и специалистам психолого-педагогической диагностики.

ББК 32.973я73

Издается при финансовой поддержке проекта № 14/12 «Универсальная система оценки качества непрерывного педагогического образования в открытой образовательной среде» Программы стратегического развития КГПУ им. В.П. Астафьева на 2012–2016 годы.

ISBN 978-5-981-898-3

- © Красноярский государственный педагогический университет им. В.П. Астафьева, 2015
- © Шадрин И.В., Дьячук П.П. (мл.), Дьячук П.П., Бажин Д.С., 2015

Оглавление

Введение	5
----------------	---

ГЛАВА 1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ	9
---	----------

§ 1.1. Психолого-педагогические основы классического подхода к управлению учебной деятельностью	9
§ 1.2. Компьютерные системы управления учебной деятельностью обучающихся решению задач	24
§ 1.3. Компьютерные технологии психолого-педагогической диагностики учебной деятельности обучающихся	41
§ 1.4. Синергетическая парадигма управления и диагностики учебной деятельности	55

ГЛАВА 2. КОМПЬЮТЕРНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ	69
--	-----------

§ 2.1. Цели и задачи динамического тестирования	69
§ 2.2. Компьютерная система динамического тестирования	72
§ 2.3. Поиск решения в проблемном пространстве задачи	75
§ 2.4. Входные и выходные величины состояния обучающегося	84
§ 2.5. Операторы решения проблем. Переходы обучающегося из одного состояния в другое	87

ГЛАВА 3. КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ	96
--	-----------

§ 3.1. Моделирование взаимодействия учителя и обучающегося	96
§ 3.2. «Черный ящик» как модель обучающегося	100
§ 3.3. Моделирование процесса обучения	103
§ 3.4. Информационная модель обучающегося и компьютерные динамическое тестирование	106

ГЛАВА 4. ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ	
СИСТЕМЫ «КОМПЬЮТЕР + УЧЕНИК»	118
§ 4.1. Обучающаяся динамическая система	119
§ 4.2. Фазовое пространство состояний обучающегося.....	121
§ 4.3. Устойчивое поведение обучающегося	124
§ 4.4. Недостаточная специфическая обучаемость и циклический характер деятельности	126
 ГЛАВА 5. ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	
В ДИНАМИЧЕСКОМ КОМПЬЮТЕРНОМ	
ТЕСТИРОВАНИИ	130
§ 5.1. Информационные сообщения о состоянии обучающегося	131
§ 5.2. Информация об учебной деятельности обучающегося.....	136
§ 5.3. Передача сообщений об учебной деятельности	141
§ 5.4. Память как средство учета опыта решения задач ЭВМ.....	147
 ГЛАВА 6. ДИНАМИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ	
КАК ОСНОВА ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ	
ДИАГНОСТИКИ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ.....	148
§ 6.1. Технология динамических компьютерных тестов.....	148
§ 6.2. Психолого-педагогический эксперимент применения динамического тестирования	162
§ 6.3. Динамическое тестирование процесса поиска решения математических задач в изменяющихся условиях	170
§ 6.4. Процедурализация поиска решения задач.....	174
§ 6.5. Недостаточная специфическая обучаемость на примере математики	176
§ 6.6. Самооценка как индикатор предметной компетенции профессиональной подготовки студентов	181
§ 6.7. Самоорганизация учебной деятельности студентов как условие формирования профессиональной компетентности.....	190
Темы рефератов и курсовых работ	201
Библиографический список	203
Приложение	212

Введение

Наряду с углублением и расширением уже сложившихся представлений о тестологии ее развитие неизбежно приводит к появлению новых областей знаний о тестировании. Зарождение и развитие новых представлений о тестировании вызваны главным образом наличием внутренних противоречий традиционного тестирования.

Первое противоречие классического тестирования состоит в том, что оно фиксирует конечный результат испытания, не показывая, каким образом тестируемый его получает, то есть путь и динамика процесса решения задачи испытуемым остаются закрытыми для исследователя. Это приводит к неполной информации о «внутренних» знаниях, умениях и навыках, а также других характеристиках испытуемого.

Второе противоречие классического тестирования состоит в несоответствии поставленных целей и средств, выбранных для их достижения. Суть этого противоречия состоит в следующем. Испытуемый является по природе сложной динамической системой, имеющей собственную систему управления, позволяющей принимать, хранить и перерабатывать информацию. Цель тестирования – диагностика свойств живой интеллектуальной кибернетической системы.

Классическое тестирование не в состоянии адекватно отразить наиболее существенные свойства такой системы, особенно это касается динамических свойств (различного рода восприимчивость системы на внешние воздействия). Более того, непонятно, какие характеристики и свойства системы необходимо подвергать тестированию.

В какой-то степени на этот вопрос помогут дать ответ современные представления о свойствах неживых кибернетических систем и их тестировании. Современные вычислительные машины представляют собой неживые кибернетические системы с очень высокой степенью организации составляющих подсистем, каждая из которых функционально спе-

циализирована и имеет аналог в живой системе. Представляет большой интерес применение ЭВМ для тестирования учащихся с использованием подходов, которые можно определить как педагогическую кибернетику. Самое идеальное тестирование реализуется при взаимодействии учителя с учеником. В этом случае диалог, который возникает между ними, позволяет учителю получить самую богатую информацию об уровне развития, уровне знаний, умений и навыков ученика в той или иной предметной области. Если учитель имеет соответствующую подготовку в области психологии, то тестирование ученика даст учителю информацию о динамике психических процессов, которые протекают у ученика при решении тех или иных задач. Так или иначе, тестирование, проводимое учителем в индивидуальном порядке, дает гораздо больше информации о личности ученика, чем традиционное тестирование.

Классическое тестирование возникло как попытка автоматизировать процесс испытания учеников с целью оценивания знаний и умений. Этому способствовало несколько обстоятельств: во-первых, ясно, что массовое тестирование невозможно проводить в виде собеседования учителя с учеником; во-вторых, решалась проблема влияния субъективного фактора на результаты тестирования; в-третьих, появилась возможность стандартизировать испытания для школьников, повысить их надежность и валидность.

С появлением компьютерной техники стала доступной компьютеризация классического тестирования, то есть переход от бумажного варианта тестов к компьютерному и, наверное, самое главное – введение массовой обработки результатов тестирования. Однако принципиально компьютерное тестирование ничем не отличается от бумажного. Это обусловлено тем, что создатели компьютерных тестов не ставили перед собой цели использования компьютера как кибернетической системы, а использовали его как устройство для обработки баз данных с несложной технологией «бумажного» теста «выбери

правильный ответ». Таким образом, не использовались в полной мере возможности компьютерной техники.

В первую очередь это касается возможностей современных компьютеров в области записи, хранения и обработки информации. Причем имеется в виду запись процесса деятельности ученика по решению задач. Скрытое сканирование деятельности испытуемого позволяет получить необычно много информации об ученике, об особенностях его познавательной деятельности, которая осуществляется в виртуальном компьютерном пространстве в режиме реального времени.

Естественно, что задания должны удовлетворять следующим условиям: во-первых, формулировка условия заданий должна подразумевать материализованную форму деятельности по их выполнению; во-вторых, в программе генератора заданий должна быть предусмотрена возможность генерации не только задания, но и его решения, в-третьих, компьютерная организация интерфейса программы должна быть такой, чтобы в максимальной степени отразить в материализованной форме умственную форму деятельности ученика при решении задачи. Последнее условие перекликается с первым, однако они выделены отдельно друг от друга. Почему это так, станет ясно в дальнейшем.

Материализованная форма действий ученика при выполнении задания позволяет активизировать его учебную деятельность и соответственно этой форме действий: а) организовывать компьютерное управление его деятельностью; б) выделять действия как составные элементы деятельности; в) фиксировать правильность или неправильность выполнения этих действий.

Основная проблема в разработке и создании динамических компьютерных обучающих систем состоит в организации и управлении деятельностью ученика. Говоря об управлении, следует иметь в виду, что всякое управление следует из информации для выбора управляющих воздействий. Источником всякой информации являются наблюдение, пассивный или активный эксперимент. В этом отношении ученик проводит экс-

перимент, выполняя задание, которое ему сформулировал компьютер. Информационные технологии позволяют компьютеру «проводить наблюдение» за деятельностью ученика, записывая все его манипуляции с виртуальными объектами (например, алгебраическими объектами, которые представляют собой их геометрические образы), то есть в компьютер поступает **точно полная** информация об управляемой системе (под управляемой системой понимается ученик). Управление всегда связано с использованием наблюдения, информации об управляемой системе (об ученике), о внешней среде, с которой взаимодействует ученик, о результатах реализации управляющих воздействий. Обмен информацией между учеником (системой) и средой, а также внутри системы (надо иметь в виду информационные связи внутри ученика) осуществляется при помощи различного рода связей, по которым циркулируют потоки информации. Например, между компьютером и учеником обмен информацией происходит за счет визуальной передачи информации через экран дисплея к ученику и от ученика к компьютеру через клавиатуру или движение мышки. Наличие информационных связей является характерной особенностью кибернетической системы. Особенно большое значение для динамического компьютерного теста-тренажера имеет обратная связь – канал, по которому в систему вводятся данные о результатах управления. В динамических компьютерных тестах-тренажерах (ДКТТ) этим каналом является реакция ученика на управляющее воздействие (на информацию о том, что действие ученика было ошибочным). Если ученик исправляет ошибку, то компьютерная система воспринимает это как правильно выполненное управляющее воздействие компьютера. Благодаря наличию обратных связей система ДКТТ способна выходить за пределы действий, предусмотренных и предопределенных программой. Это относится ко всем кибернетическим системам, к которым можно отнести и ДКТТ.

ГЛАВА 1.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УПРАВЛЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ

§ 1.1. Психолого-педагогические основы классического подхода к управлению учебной деятельностью

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, Л.Б. Ительсон, А.Н. Леонтьева, В.Я. Ляудиса, П.И. Пидкасистого, С.Л. Рубинштейна, Н.Ф. Талызиной, Э.Б. Эльконина и др.

В обобщенном виде можно сказать, что учебно-познавательная деятельность учащегося (УДПУ) – это *процесс, направленный на решение различных учебных задач, в результате которого ученик овладевает знаниями, умениями и навыками.*

Всякая деятельность побуждается целью, необходимостью решения задачи. Единицей деятельности является действие. Способы осуществления действия – операции. В процессе деятельности на различных этапах взаимоотношение этих категорий может изменяться: действие может становиться деятельностью или превращаться в операцию.

Например, рассмотрим деятельность ученика, обусловленную необходимостью решения задач по преобразованию графиков функций. На начальном этапе обучения освоению этой деятельностью в качестве цели ставится научение преобразованию вида $Y=F(X) + M$. В качестве действия высту-

пает операция по сдвигу графика функции вверх (если $M > 0$) или вниз (если $M < 0$) вдоль оси Oy , например, на одну единицу. Деятельность состоит из последовательности M шагов, сдвигающих график функции на расстояние M . В учебнике по алгебре для 8 класса А.Г. Мордковича [77] эта деятельность выделена в специальных упражнениях, типа: *График функции $Y = X^2$ сдвинули вверх на 4 единицы. График какой функции при этом получился?*

Таким образом, на начальной стадии обучения единичей деятельности является элементарный шаг преобразования данного типа. По мере обучения различным видам преобразований графика функции ученик переходит на более высокий уровень обучения. «Элементарные» действия уходят на второй план, осуществляясь на подсознательном уровне. В качестве действия начинают выступать виды преобразований – сдвиги графика функции по оси Ox , по оси Oy , деформация графика – растяжение или сжатие, симметричные преобразования относительно начала координат или относительно осей координат. Количество операций при этом существенно уменьшается, и они имеют интегрированный характер.

Следующий уровень обученности деятельности по преобразованию графиков функций подразумевает, что все операции совершаются подсознательно. По достижении этого уровня обученности деятельность по преобразованию графиков функций превращается в одно из действий по достижению других, более сложных целей, стоящих перед математикой.

Психологи выделяют три основных части деятельности: ориентировочную, исполнительную и контрольно-коррекционную [39; 40].

Действительно, если рассматривать действие как элементарный осознанный акт деятельности человека по достижению той или иной цели, то прежде чем его исполнить, че-

ловек мысленно продумывает последствия этого шага и соотносит то, насколько он приблизится к цели. Иначе говоря, ориентировочная фаза выполнения действия связана с включением сознания для осмысления и принятия решения.

Следующая часть действия – исполнительная, есть результат обдуманного и принятого решения.

Заключительная фаза выполнения действия – контрольно-коррекционная. Она связана с существованием обратной информационной связи в мыслительной деятельности человека. Информация о результатах выполненного действия поступает в мозг ученика, анализируется, и если выполненное действие приближает ученика к цели, то действие считается законченным, соответственно, делается переход к выполнению другого действия. Если же в результате выполнения действия ученик не приближается к цели или удаляется, то ученик принимает решение скорректировать или исправить результат неверно выполненного действия.

В процессе усвоения деятельности ученик осмысливает ориентировочную основу действий, отрабатывает необходимые действия и операции.

Содержание ориентировочной основы действия ученика базируется на его знаниях, умениях и навыках. Отметим, что понимается под перечисленными понятиями [10; 39]. Знание – это адекватно запечатленный в памяти ученика познаваемый способ деятельности. Умение – это осознанное осуществление деятельности по достижению цели. Как уже отмечалось выше, процесс деятельности можно рассматривать как систему составляющих ее действий. Навык отличается от умения значительно большей скоростью выполнения действий, что обусловлено автоматическим характером их выполнения. Действия при этом выполняются на подсознательном уровне. Если же учащийся осознанно контролирует свои действия, то скорость выполнения действий резко уменьшается.

Каждое действие УПДУ рассматривается как элемент процесса решения учеником некоторой учебной задачи. Компонентами последней являются цель, действия и ситуация. В.П. Беспалько [25] определяет уровень сформированности УПДУ как определенное соотношение между этими компонентами.

В зависимости от способа использования усвоенной информации различают два вида УПДУ: репродуктивная и продуктивная. При репродуктивной деятельности ее элементы воспроизводятся в различных вариациях: от буквальной копии (по принципу делай, как я) до некоторого свободного применения в стандартных типовых ситуациях, четко предусмотренных изученными алгоритмами. Для такого вида деятельности характерны действия алгоритмического характера по точно описанным правилам в знакомых условиях, когда к усвоенным элементам деятельности в процессе ее воспроизведения ученик не прибавляет никакой новой информации.

В процессе продуктивной деятельности ученик с различной степенью самостоятельности генерирует субъективно новую для него информацию. При решении поставленных задач ему приходится преобразовывать усвоенные ранее алгоритмы для применения в нетипичных ситуациях. Такая деятельность носит творческий характер.

В репродуктивной и продуктивной деятельности выделяют два уровня. Каждая операция репродуктивной деятельности может выполняться учеником с опорой на внешнюю подсказку или завуалированное решение – в этом случае выполняемая деятельность носит характер *узнавания*. При этом, как отмечает В.П. Беспалько, «подсказанный внешне образец действия отождествляется в итоге его повторного восприятия с ранее усвоенным образом памяти» [22; 26]. Этот уровень репродуктивной деятельности можно назвать *аналитико-созерцательным*, так как ученик наблю-

дает процесс выполнения деятельности и анализирует его и результаты, которые получены по окончании деятельности. Этот уровень репродуктивной деятельности имеет целый спектр подуровней, каждый из которых характеризуется интенсивностью обратной информационной связи.

В процессе репродуктивной деятельности могут также осуществляться воспроизведение усвоенных алгоритмов и их применение в стандартных ситуациях без предварительной демонстрации деятельности по выполнению алгоритма. Данный вид деятельности назовем так, как это сделано в работе [87], – *действие в типовой ситуации*. Таким образом, репродуктивная деятельность может быть условно представлена в виде двух уровней усвоения: выполнение аналитико-созерцательной деятельности по наблюдению за выполнением алгоритма и определением параметров ответа и действие в типовой ситуации.

Выполнение продуктивной деятельности также характеризуется двумя уровнями. Первый уровень характеризует эвристическую деятельность, которая осуществляется путем преобразования усвоенных алгоритмов в новых условиях. Этот уровень называют *преобразовательным уровнем* [28]. Второй уровень отвечает *творческой деятельности*, представляющей собой поиск новых способов решения задач или решения проблемы.

В психологии и педагогике установлено, что всякая деятельность человека обусловлена определенной целью. Именно цель побуждает человека к деятельности по ее достижению. Поэтому очень важно при исследовании методов разработки и применении компьютерных тестовых заданий в УПДУ учитывать специфику ее целей.

Основная цель подготовки учащихся в средней школе – развитие культуры мышления как основы будущей деятельности во всех сферах жизни: профессиональных, бытовых, культурных, социальных и т.д.

Для оценки достижения поставленной цели необходимо ввести критерии, которые определяют степень ее достижения. Для этого необходимо:

- 1) детально изучить объект цели;
- 2) создать надежный инструмент для оценки заданного в цели признака с соответствующей измерительной шкалой;
- 3) иметь возможность проведения надежных измерений по отношению к объекту цели [20].

Придерживаясь общепринятой точки зрения [99], мы выделяем в УПДУ два составляющих ее вида деятельности: предметную и общеучебную.

Под *предметной деятельностью* учащихся понимают деятельность, направленную на изучение программного материала по конкретному предмету, например алгебра, физика и т.д. Основная ее цель – формирование знаний, умений и навыков, позволяющих ученику воспроизводить теоретический материал по данному предмету и устанавливать логико-структурные связи между его частями, а также применять полученные знания, умения и навыки при решении учебных задач различного уровня сложности. Предметом этой деятельности является теория, составляющая содержание данного предметного курса, продуктом – усвоенные школьником знания, а также умения и навыки их преобразования.

Содержание этой деятельности составляют определенная теория, система учебных задач и упражнений по закреплению и применению теоретического материала.

В рамках УПДУ происходят два процесса: собственно учение (изучение предмета или то, что мы назвали предметной деятельностью) и деятельность, осуществляемая с целью усвоения умений выполнять определенные учебные действия. Принято считать, что человек учится не только предмету, но и тому, как надо учиться. Этот процесс мы будем называть *общеучебной деятельностью*. В психолого-

педагогической литературе существуют различные подходы к определению общеучебной деятельности. Мы будем придерживаться определения, сформулированного группой психологов под руководством В.Я. Ляудис [72].

Общеучебная деятельность, как и предметная, характеризуется определенными знаниями, умениями и навыками. Основная цель общеучебной деятельности – овладение способами и приемами эффективного усвоения учебных знаний, формирование навыков учебной работы (умение слушать и понимать учебный материал, работа с учебной и научной литературой и др.). С точки зрения информационных технологий общеучебная деятельность подразумевает обучение учащихся способам получения, переработки, хранения и передачи информации. Эти умения и навыки носят общий характер безотносительно конкретного предмета, но их можно формировать на конкретном содержании любого учебного предмета (алгебра, физика и т.д.).

Содержание учебной деятельности составляют способы и процедуры выполнения конкретных учебных действий. Предметом ее являются учебные умения и навыки. Например, навыки аналитической деятельности, умение делать обобщения, планировать свою деятельность и создавать модели и т.д.

Качество и уровень усвоения учебных действий, которыми ученику предстоит овладеть в процессе общеучебной деятельности, существенно влияют на качество усвоения знаний, умений и навыков в процессе предметной учебной деятельности. В свою очередь, качество усвоения знаний, умений и навыков влияет на процесс предметной учебной деятельности.

Для того чтобы учебно-познавательная деятельность осуществлялась эффективно, необходимо выполнение ряда условий (формы, методы и средства обучения). Значительное место среди условий, определяющих эффективность

учебно-познавательной деятельности, занимает организация управления этой деятельностью.

Управление УПДУ является важнейшей составной частью дидактического процесса. Это либо непосредственное управляющее воздействие учителя, либо опосредованное воздействие, называемое в литературе автоматическим управлением [13; 23; 74], либо самоуправление, осуществляемое учащимися, либо управление отдельными элементами учебной деятельности, осуществляемое, например, компьютерными системами [23].

Проблемы, связанные с управлением учебной деятельностью и процессом обучения, начали интенсивно разрабатываться в отечественной дидактике в конце 60–80-х годов XX столетия. Наиболее существенный вклад в их решение внесли исследования: В.С. Аванесова, Э.Г. Газиева, С.И. Архангельского, В.П. Беспалько, П.Я. Гальперина, М.С. Дмитриевой, Л.В. Жаровой, А.Н. Орлова, В.И. Сосновского, В.П. Симонова, Н.Ф. Талызиной, Н.К. Тутьшкиной, Р.Х. Шакурова и др.

Психолого-педагогические основы теории управления были заложены в теории поэтапного формирования умственных действий (П.Я. Гальперин, Н.Ф. Талызина и др.). Дальнейшее развитие и актуализацию проблемы управления в дидактике и создание основ программированного обучения получили в связи с привлечением идей кибернетики в области создания автоматизированных систем управления (В.П. Беспалько, Т.А. Ильина, Н.Ф. Талызина, О.И. Эпштейн и др.).

В настоящее время вопросы организации УПДУ не утратили актуальности. Это связано с двумя тенденциями: во-первых, с возникшим интересом к так называемым гибким педагогическим технологиям, максимально *адаптированным* к индивидуальным особенностям каждого учащегося (С.И. Архангельский, А.Н. Захаров, А.М. Матюшкин и др.);

во-вторых, с широким внедрением компьютерной техники в учебный процесс, которая позволяет автоматизировать как учебно-административную сторону управления УПДУ, так и собственно учебную деятельность учащихся при изучении тех или иных предметов [12; 24; 36; 37; 66].

Гибкие педагогические технологии характеризуются тем, что их элементы приспособляются (или адаптируются) к изменяющимся условиям обучения, сохраняя изначально заданную целенаправленность. Они характеризуются:

- научной методологией;
- технологичностью, которая подразумевает высокий уровень управляемости учебным процессом;
- дидактической эффективностью (достаточно большой обучающий потенциал при сравнительно малых затратах труда и времени педагога);
- педагогической «экологичностью», реализующей принцип «не навреди»;
- способностью к развитию и совершенствованию.

В энциклопедическом словаре [113] дается описательное определение понятия управления, связанное с перечислением задач.

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

Это определение построено, по сути, 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, но и само оно является 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 коррективов в программу обучения»* [96].

Н.Ф. Талызина [100] называет управлением УПДУ процесс, включающий в себя следующие этапы: 1) указание цели управления; 2) установление исходного состояния управляемого процесса; 3) выработка программы обучения; 4) получение информации по определенной системе параметров о состоянии управляемого процесса (обеспечение обратной связи); 5) переработка информации в управляющем центре и выработка корректирующих воздействий и их реализация.

В.П. Беспалько в монографии [27] определяет управление УПДУ как *«целенаправленное воздействие на обучаемых, заключающееся в слежении и контроле качества усвоения элементов деятельности и коррекции ошибок»*.

Можно обсуждать особенности и преимущества того или иного определения понятия управления, однако надо отметить, что все они носят описательный характер, заключающийся в перечислении тех функций и задач, которые должно решать управление.

В кибернетике также существуют различные толкования понятия управления. А.А. Ляпунов считает, что *управление есть характеристическое свойство жизни в широком смысле* [71]. При этом определение управления А.А. Ляпуновым не дается. Специализированными формами автономного управления с точки зрения физиологии являются синергии, которые определяются как редукции избыточ-

ных свобод или параметров управляемой системы [94; 95]. С точки зрения учебного процесса синергии соответствуют навыкам выполнения учебных действий, то есть доведенным до автоматизма алгоритмическим действиям. В учебном процессе синергии соответствуют навыкам выполнения учебных действий, то есть алгоритмической деятельности, доведенной до автоматизма.

В работе В.В. Смолянинова [95] отмечается мысль, что управление деятельностью более высоких уровней проводится на основе эволюционно подготовленных рефлексов, обратных связей и синергий. Если проводить параллель с учебным процессом, то управление учебной деятельностью более высокого уровня (в старших классах) базируется на системе умений и навыков, полученных ранее (в младших классах).

Для организации гибкого управления учебной деятельностью (как и любой другой) система должна обладать достаточным количеством степеней свободы. Отсюда В.В. Смолянинов делает вывод о том, что всякой организации управления деятельностью должна предшествовать организация необходимых и достаточных свобод. Как было сказано выше, управление – организаторская функция. На основании этого В.В. Смолянинов дает достаточно абстрактное определение:

УПРАВЛЕНИЕ – целевая акция редукции избыточных свобод системной (структурной и / или функциональной) организации.

Основная задача управления процессом обучения определяется из целевой установки, состоящей в оптимизации учебного процесса, повышении эффективности усвоения знаний, умений и навыков, развитии мыслительных способностей учащихся.

В педагогике выделяют следующие этапы управления УПДУ.

1. *Изучение объекта управления.* Поскольку объектом управления является ученик, то необходимо получить информацию о его состоянии. Например, приступая к изложению учебного материала по новой теме, учитель должен представлять то, насколько учащиеся готовы к его изучению, владеют ли они необходимыми для этого знаниями и умениями, насколько совершенна у них система навыков оперирования математическими моделями. Учитель должен учитывать также особенности конкретного класса учеников, общий уровень их подготовки. В зависимости от начального состояния учитель составляет программу работы с учениками по изучению новой темы учебного материала.

В динамических компьютерных тестах, например по алгебре, представляющих мини-обучающие системы с адаптацией к ученику, акт управления – изучение объекта – ученика является обязательным элементом его работы. С этой целью компьютер собирает максимально подробную информацию о ходе выполнения первого задания и на основании этого формирует образовательную траекторию учащегося, в рамках учебного материала представленного в тренажере.

2. *Разработка программы управления.* Качество разработанной программы определяет успешность обучения учащихся и соответственно результаты работы учителя. Программа содержит: 1) цели, сформулированные с учетом начального состояния учащихся; 2) методы и приемы, используемые для достижения цели; 3) средства контроля и коррекции процесса обучения; 4) системы наблюдения и сбора информации.

3. *Реализация разработанной программы.* После того как определена цель и разработан мысленный план действий по достижению цели, учитель переходит к организации учащихся к выполнению практической деятельности по достижению поставленной цели. В ходе учебной деятельности учитель отслеживает «положение» учеников от-

носителю цели, корректируя их деятельность, а возможно, и программу управления их деятельностью.

4. *Коррекция учебной деятельности учащихся и программы на основе получаемой информации.* В обычной практике в силу разных причин (например, недостаток времени) осознанное, заранее планируемое выполнение данного этапа не происходит. Однако все больше исследователей приходит к выводам о его важности и необходимости для качественного управления УПДУ. Безусловно, учитель в процессе работы постоянно корректирует свою деятельность и деятельность учеников, но эта коррекция связана с локальными, ограниченными по времени действиями и целями учащихся и учителя. Если же иметь в виду долгосрочную программу деятельности и соответственно глобальную цель, реализуемую этой программой, то возникает необходимость в заранее спланированных акциях контроля и коррекции этой большой программы.

Н.Ф. Талызина в монографии [98] предлагает для более эффективного управления изначально разрабатывать две программы управления: 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: долгосрочную, 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. Как правило, учитель для этого использует разнообразные методы и приемы, позволяющие получать инфор-

мацию об уровне знаний, умений и навыков в процессе учебной деятельности по изучению конкретного предмета.

Традиционные виды контроля включают в себя устный опрос, письменные работы, практические и лабораторные задания. Несмотря на интенсивное развитие тестовых методов контроля, самым распространенным методом контроля (по крайней мере, в российских школах) является устный опрос. Этот метод контроля хорош тем, что с его помощью осуществляется непосредственный контакт преподавателя и обучаемого. Этот метод способствует развитию у ученика умения логично и последовательно излагать свои мысли. Однако недостатком этого метода является то, что он занимает много времени при малом охвате опрошенных учеников.

В обучении большое место занимает система контроля и диагностики в виде письменных контрольных и домашних работ. Письменная проверка качества усвоения знаний достаточно экономна по времени, однако она все же предполагает значительные трудозатраты учителя. К недостаткам этого вида контроля надо отнести отсутствие непосредственного контакта ученика с учителем и слабым контролем процесса учебной деятельности. Это приводит к недостаточной объективности этого метода контроля.

Надо отметить, что все существующие методы контроля деятельности ученика в процессе выполнения учебных заданий (включая и тестовый метод) страдают тем, что для объективной оценки качества сформированности знаний и умений дают недостаточную информацию о самом процессе деятельности.

Ряд исследователей [19; 58; 59] полагают, что проблему управления учебной деятельностью обучаемых нужно решать *поэтапно и пооперационально*, при этом можно отслеживать не только ошибки усвоения, но и наступающие изменения. Однако надо отдавать отчет, что как бы часто не делались контрольные тестовые срезы, считываемая информа-

ция характеризует статусное состояние ученика на момент тестирования. Когнитивные особенности учебной деятельности обучаемого и их изменения остаются вне контроля.

В то же время регулярное тестирование позволяет получать оперативную информацию о состоянии учащегося и соответственно прогнозировать ожидаемую эволюцию его статуса. Можно провести аналогию между статусным тестированием и законами сохранения в механике и соответственно аналогию между проблемой тестирования когнитивных процессов учебной деятельности и проблемой динамического решения задач по механике. Законы сохранения, аналогично статусному тестированию, позволяют извлекать информацию о состояниях механической системы, не рассматривая процесс перехода из одного состояния в другое. При этом сколько бы много промежуточных состояний не описывалось, законы сохранения не позволяют извлечь информацию о временном процессе движения тела. Полное решение основной задачи механики получают, решая задачу динамики. Аналогично полную информацию о процессе УПДУ можно получить, решая проблему тестирования когнитивных процессов учебной деятельности обучаемых, происходящих во времени.

С нашей точки зрения, пути решения этой проблемы лежат в области разработки компьютерных тестовых заданий, которые характеризуются тем, что учащиеся конструируют решение задачи, а не осуществляют выбор правильного ответа из предложенных ответов.

Итак, эффективность управления УПДУ зависит от организации контроля над процессом усвоения знаний. Контроль является элементом действия и в то же время направляющим фактором регулирования УПДУ. Он осуществляет обратную связь в системе управления, его средствами получается необходимая информация о текущем состоянии учебного процесса и производится необходимая коррекция.

§ 1.2. Компьютерные системы управления учебной деятельностью обучающихся решению задач

В процессе обучения учителя всегда стремятся к уменьшению влияния неконтролируемых ими факторов на результаты деятельности обучаемых за счет дополнительной информации о том, что им неизвестно или известно неточно. Этим, наверное, объясняется широкая распространенность всевозможных прогнозов результатов деятельности обучаемых в процессе обучения.

Информация, получаемая обучаемым (обучаемыми) в результате прогнозов, может быть просто принята им к сведению, а может изменить его поведение по сравнению с тем, как он вел бы себя в отсутствии этой информации. В первом случае говорят об пассивном прогнозе, во втором – об активном. Активным обычно считается прогноз, в результате которого целенаправленное изменение поведения обучаемого субъекта проявляется достаточно ярко.

В большинстве работ по прогнозированию описывается технология (методы) прогнозирования. Вопросы же влияния прогноза на поведение той или иной системы, если и обсуждаются, то в основном на качественном уровне. Это касается и образовательных систем в том числе.

В настоящем параграфе мы введем модель принятия решений, которая охватывает известные формальные задачи управления процессом обучения. В рамках этой модели определяется понятие управления (как воздействия на управляемую систему с целью обеспечения требуемого ее поведения) и выделяются следующие его типы: институциональное (изменение множества допустимых действий участников процесса обучения), мотивационное (изменение функций полезности), информационное (изменение информации, которую управляемые субъекты – обучаемые – используют для принятия решений о выбираемых действиях).

В информационном управлении в работе [14] предлагается различать следующие его виды: информационное регулирование – целенаправленное влияние управляющего органа (центра, учителя, компьютерной системы) на информацию о внешних неопределенных факторах (состояние проблемной среды), рефлексивное управление – целенаправленное влияние на информацию о моделях принятия решений участниками процесса обучения, активный прогноз – целенаправленное сообщение информации о будущих значениях параметров, зависящих от состояния проблемной среды и действий субъекта – обучаемого. **Активный прогноз рассматривается как средство управления.**

В работе [14] вводятся: *принцип доверия*, в соответствии с которым задача управления решается в предположении, что обучаемый полностью доверяет управляющему центру (учителю, компьютерной системе управления) и использует при принятии решений в точности ту информацию, которую ему сообщил центр управления; *принцип достаточной рефлексии*, в соответствии с которым глубина рефлексии обучаемого определяется его информированностью.

Общий вид задачи информационного управления заключается в нахождении таких сообщений системы управления, которые побуждали бы их выбирать наиболее эффективные действия (критерий эффективности должен быть заданным).

Задача активного прогноза – задача такого целенаправленного сообщения системой управления (учителем, компьютерной системой) информации о будущих значениях параметров, зависящих от состояния проблемной среды и действий обучаемых, которое приводило бы обучаемую систему в наиболее эффективное с точки зрения центра состояние.

Точность активного прогноза определяется как разность между спрогнозированным центром и фактически реализовавшимся состояниями обучаемой системы, а эффективность активного прогноза – как значение эффективности

состояния системы (оцениваемого управляющей системой), в котором она оказалась под влиянием этого прогноза.

При управлении процессом обучения можно выделить два типа прогноза: первый касается различия между целевым и текущим состоянием решения проблемы; второй связан с прогнозом обученности обучаемого решению проблем.

Важные свойства информационного управления – его стабильность и согласованность. Предлагается называть информационное управление стабильным, если в результате обучаемый получает тот выигрыш, на который он рассчитывал, и согласованным, если выигрыш обучаемого в присутствии информационного управления не меньше, чем выигрыш в его отсутствии. Индикатор расстояния до цели это стабильное согласованное информационное управление. Компенсаторный механизм управления также является стабильным согласованным информационным управлением.

В энциклопедическом словаре приводится следующее определение [113] «Прогноз – конкретное предсказание, суждение о состоянии какого-либо явления в будущем». В работе [70] выделяется позитивный конструктивный подход к прогнозированию как активному воздействию на будущее путем планирования, программирования, проектирования и управления явлениями и процессами. В рамках этого подхода прогнозирование составляет основу для принятия решений. Прогнозирование является необходимым этапом управления. В работе Новикова [81] акцент делается на случаях, когда собственно управление заключается в целенаправленном общении прогнозной или какой-либо иной информации.

Прогноз – план – программа – проект – управление

Взаимоотношения между прогнозом и принятием решений рассматриваются в [70]: 1) знание лицом или компьютерной системой управления, принимающими решение, настоящего состояния описывается в некоторых переменных. В случае ДКДТ в качестве таких переменных выступа-

ют: расстояние до цели, выраженное в количестве операций (действий), необходимых для перевода проблемы из текущего состояния в целевое; значение целевой функции, выраженное в относительной доли правильных действий при решении очередной проблемы; 2) выделяются инструментальные (управляемые) и неуправляемые переменные. В качестве управляемой переменной в ДКДТ выступает относительная частота включения канала обратной связи. В качестве неуправляемых переменных – параметры проблемы или задачи и относительная доля правильных действий; 3) осуществляется предсказание будущих значений неуправляемых переменных – получаются условные прогнозы (сценарии); 4) оцениваются результаты, то есть сравниваются исходы третьего пункта; 5) производится выбор значений управляемых переменных, то есть осуществляется принятие решений. Другими словами, формулирование решения в зависимости от текущего состояния отражает политику ЛПР (то есть механизм принятия решений). Таким образом, в рассматриваемом случае имеет место игра одного активного игрока (решателя проблем) с пассивным игроком, называемого средой или виртуальным проблемным пространством. Прогноз выступает в качестве метода устранения неопределенности, а не методом управления.

Возможны поисковые и нормативные прогнозы. Под поисковым прогнозом понимается определение возможных состояний объекта прогнозирования в будущем. Задача нормативного прогноза заключается в определении путей и сроков достижения желаемых состояний прогнозируемого объекта в будущем. Нормативный прогноз – предсказания, «цель которых заключается в том, чтобы вызвать интерес и побудить к действию». Управление в явном виде. Сам прогноз должен учитывать эффект результатов прогнозирования.

На основании особенностей воздействия на мотивы поведения людей выделяются следующие методы управления:

- методы административно-организационного управления;
- экономические методы управления;
- социально-психологические методы управления, учитывающие индивидуальные особенности отдельных субъектов.

Информационное управление – «процесс выработки и реализации управленческих решений в ситуации, когда управляющее воздействие носит неявный, косвенный характер и управляемому субъекту (обучаемому) представляется определяемая управляющим органом информация о ситуации (информационная картина), ориентируясь на которую, субъект (обучаемый) как бы самостоятельно выбирает линию своего поведения.

Проблемы прогнозирования и управления активными системами (АС – системами, содержащими управляемых и / или управляющих субъектов, обладающих собственными целями и способностью принимать решения) рассматриваются в работе [80]. Центр и агенты выбирают стратегии (действия, состояния, сообщаемую информацию), стремясь максимизировать свои целевые функции, отражающие их предпочтения на множестве действий и / или результатов деятельности.

Рассмотрим задачи, возникающие при прогнозировании поведения АС. Собственно АС погружена в некоторую внешнюю среду (виртуальное проблемное пространство), и целью **исследователя** является создание прогноза развития системы на тот или иной промежуток времени.

Так как участникам АС свойственна активность, отличающая их от полностью пассивных (например, технических) систем, то знание прогноза может повлиять на их поведение. Такая обратная связь может, в частности, приводить к самоосуществлению или самоаннулированию прогноза. АС, для которых знание прогноза не изменяет их поведения, предложено называть прогнозируемыми.

Для активных систем, функционирующих в условиях неопределенности, доказано, что в ряде случаев механизмы с платой за информацию имеют более высокую эффективность, чем «классические» механизмы управления, использующие непосредственное устранение существующей неопределенности.

В обучающих системах такой платой может служить временной ресурс, т.е. захотел получить информацию, заплати временем.

Действительно, если результат деятельности обучаемого зависит от случайного параметра, то информация о будущем значении этого параметра (даже имеющая форму прогноза), уменьшающая неопределенность и приобретаемая за плату, существенно увеличивает возможности центра (учителя, обучающей системы) в управлении агентом (обучаемым).

Задача поиска компромисса (чем выше плата, тем точнее информация) при известном решении задачи управления сводится к стандартной задаче условной оптимизации.

В работах Д.А. Новикова активный прогноз рассматривается как метод управления. Под активным прогнозом в его работах понимается сообщение центром (учителем, обучающей системой) некоторой информации АС-агентам. Сообщение центра может отражать его знания об окружающей среде, быть прогнозом поведения данной АС и т.д.

Факторы, воздействующие на точность прогноза, можно разделить на две группы. Первая – это соотношение между информированностью центра и агентов и вторая – возможность целенаправленного влияния центра на состояние АС путем сообщения информации (активный прогноз).

Пассивный прогноз является частным случаем активного прогноза и соответствует определению центром (на основании имеющейся у него информации) возможных состояний АС без сообщения информации или с ее сообщением при условии, что получаемая информация не изменяет поведение обучаемого.

Модель принятия решений участниками АС

Рассмотрим активную систему, состоящую из двух участников – обучающей системы (учителя) и обучаемого, обладающих собственными предпочтениями и способностью самостоятельно предпринимать некоторые действия. В ДКДТ действия обучаемого направлены на решение проблем, а действия компьютерной системы управления связаны с включением канала обратной связи и с переводом с одного уровня на другой. В моделях управления системами обучения центр играет роль управляющего органа, обучаемый – роль управляемого субъекта. В сетевом варианте первоначальное распределение ролей может не быть фиксированным [83].

Опишем модель принятия решений обучаемым (агентом). Для того чтобы определить, как задаются предпочтения обучаемого (агента), введем следующее описание взаимодействия обучаемого (агента) с виртуальной проблемной средой (обстановкой), в которую могут входить и другие обучаемые, управляющие органы и прочие объекты и субъекты (как принадлежащие рассматриваемой АС, так и являющиеся элементами внешней среды).

Пусть обучаемый (агент) способен выбирать некоторое действие (стратегии, состояние и т.д.) из множества A – множества допустимых действий данного обучаемого (агента). Действие будем обозначать y , $y \in A$. В результате выбора действия $y \in A$ под влиянием обстановки реализуется результат деятельности обучаемого (агента), который будем обозначать $z \in A_0$, где A_0 – множество возможных результатов деятельности обучаемого агента. Возможное несовпадение действий обучаемого и результатов его деятельности может быть обусловлено влиянием обстановки – внешней среды, действий других участников АС и т.д. *В компенсаторе влияние компенсатора таково, что действие обучаемого и его результат могут не совпадать именно по причине вме-*

шательства извне. Хотя в более простой компьютерной обучающей системе действие, как правило, совпадает с его результатом (никто не отменяет результат действия).

Связь между действием обучаемого $y \in A$ и результатом $z \in A_0$ его деятельности может иметь сложную природу и описываться распределениями вероятности, нечеткими информационными функциями и др.

Будем считать, что обучаемый (агент) обладает предпочтениями над множеством результатов $z \in A_0$, то есть имеет возможность сравнивать различные результаты деятельности. Предпочтения обучаемого обозначим R_{A_0} , множество возможных предпочтений – $\mathfrak{R}_{A_0}$.

Часто предпочтения обучаемого (агента) из множества $\mathfrak{R}_{A_0}$ возможно параметризовать переменной r , принимающей значения из подмножества Ω действительной оси, $\Omega \subseteq \mathfrak{R}^1$, то есть каждому возможному предпочтению обучаемого (агента) $R_{A_0} \in \mathfrak{R}_{A_0}$ ставится во взаимно однозначное соответствие значение параметра $r \in \Omega$, называемого типом обучаемого (агента).

При выборе действия $y \in A$ обучаемый (агент) руководствуется своими предпочтениями и тем, как выбираемое действие влияет на результат деятельности $z \in A_0$, то есть некоторым законом $W_I(\cdot)$ изменения результата деятельности в зависимости от действия и обстановки, информация о которой отражена переменной I . Выбор действия обучаемым (агентом) определяется правилом индивидуального рационального выбора $P^{W_I}(\mathfrak{R}_{A_0}, A, I) \in 2^A$, которое выделяет множество наиболее предпочтительных, с точки зрения агента, действий.

Правило индивидуального рационального выбора определим следующим образом. Примем две гипотезы:

– гипотеза рационального поведения, заключающаяся в том, что агент с учетом всей имеющейся у него информа-

ции выбирает действия, которые приводят к наиболее предпочтительным результатам деятельности;

– *гипотеза детерминизма*, заключающаяся в том, что обучаемый стремится устранить с учетом всей имеющейся у него информации существующую неопределенность и принимать решения в условиях полной информированности [63] (другими словами, окончательный критерий, которым руководствуется лицо, принимающее решение, не должно принимать неопределенных параметров).

Понятие – «наиболее предпочтительные результаты деятельности». Существуют несколько способов задания индивидуальных предпочтений. Например. Отношения предпочтения (бинарные, метризованные и др.) и функции полезности [101]. Бинарное отношение определяет для пары альтернатив, какая из них является «лучше», функция полезности каждой альтернативе ставит в соответствие действительное число – полезность этой альтернативы. В соответствии с гипотезой рационального поведения агент выбирает альтернативу из множества «лучших» альтернатив. В случае функций полезности это множество является множеством альтернатив, на которых достигается максимум функции полезности.

В общем случае не существует однозначной связи между действием обучаемого и результатом его деятельности. Поэтому, принимая решение о выбираемом действии, обучаемый должен предсказывать, к каким результатам могут привести те или иные действия (здесь существенна информация, которую он имеет относительно обстановки) и анализировать предпочтительность соответствующих результатов деятельности. Процесс перехода от предпочтений R_{A_0} на множестве A_0 к индуцированным предпочтениям R_A на множестве A , основывающемся на законе $W_I(\cdot)$, называется *устранением неопределенности*. В случае когда предпочтения агента исходно описывались функцией полезности,

его индуцированные предпочтения будут описываться *целевой функцией*, которая каждому действию агента ставит в соответствие некоторое действительное число (которое может интерпретироваться как его «выигрыш» от выбора этого действия).

В нашем случае в качестве функции полезности выступает расстояние до цели, определяемое в проблемном пространстве. Это расстояние равно минимальному числу действий, которые необходимо совершить агенту для достижения цели (цель – решение проблемы). Здесь нужно повторить правило, по которому вычисляется это расстояние. Оно состоит в том, что если действие правильное, то ему сопоставляется единица (вознаграждение), если действие неправильное, то минус единица (штраф). При этом функция полезности рассчитывается как сумма штрафов и вознаграждений. При вычислении функции полезности агента возможно две ситуации: первая – действие неправильное (штраф -1) и соответствующее действие, которое отменяет (исправляет) это неправильное действие, считается правильным (вознаграждение $+1$); вторая – действие неправильное (штраф -1), действие, исправляющее это неправильное действие (вознаграждение -0). Во втором случае вознаграждение полагается равным нулю на основании того, что это действие не приближает к цели, а всего лишь устраняет или компенсирует ошибку.

Если рассчитывать функцию полезности по первому варианту, то по достижении цели значение функции полезности будет равно числу операций, необходимому для достижения цели, так как штрафы (-1) за ошибочные действия будут компенсированы вознаграждениями ($+1$) за действия по исправлению ошибок. Во втором варианте решение одной и той же задачи может давать целый спектр значений функции полезности. Максимальное значение функции полезности будет соответствовать случаю, когда все дей-

ствия, необходимые для решения задачи, будут правильными. Если число неправильных действий и соответственно исправлений будет равно числу действий, которые необходимы для достижения цели, то функция полезности будет равна нулю. Если число ошибочных действий и исправлений будет больше, чем число действий, необходимых для достижения цели, то функция полезности будет отрицательной. Во втором случае агент будет выбирать такие стратегии решения проблемы, которые будут давать максимум функции полезности, а это означает отсутствие ошибочных действий и соответствующих исправлений.

При рассмотрении математических моделей принятия решений будем различать для фиксированного субъекта (обучаемого) – участника системы – *объективную неопределенность* (неполная информированность относительно параметров обстановки, которые не зависят от участников рассматриваемой системы) и *субъективную неопределенность* (неполную информацию о принципах поведения других субъектов, то есть об активно изменяемых параметрах). Неопределенность относительно параметров, описывающих участников АС, называется *внутренней неопределенностью*, относительно внешних (по отношению в АС) параметров – *внешней неопределенностью*. Внешняя объективная неопределенность называется *неопределенностью среды* (в нашем случае неопределенностью виртуальной проблемной среды), внутренняя неопределенность называется *игровой неопределенностью*.

Будем пользоваться следующей моделью предпочтений и информированностью обучаемого (агента). Пусть предпочтения агента на множестве возможных результатов его деятельности заданы функцией полезности $\nu(\cdot)$, а результат деятельности $z \in A_0$ зависит от действия $y \in A$ и обстановки $\theta \in \Theta$ известным образом: $z = w(y, \theta)$. Тогда закон $W_t(\cdot)$ определяется функцией $w(\cdot)$ и той информацией I , которой

обладает агент на момент принятия решений о выбираемом действии. Структура принятия решений агентом изображена на рис. 1.

Детализируем, что понимается под информацией и каким образом устраняется неопределенность того или иного типа.

Рассмотрим сначала объективную неопределенность (внешнюю или внутреннюю). Тогда существенной для обучаемого является информация об обстановке, в качестве которой могут выступать:

- множество значений обстановки $\Theta' \subseteq \Theta$. Соответствующая неопределенность называется интервальной неопределенностью и устраняется использованием максимального гарантированного результата: $f(y) = \min_{\theta \in \Theta'} v(w(y, \theta))$, или оптимистических оценок: $f(y) = \max_{\theta \in \Theta'} v(w(y, \theta))$, или их комбинаций и т.д.;

- распределение вероятностей $p(\theta)$ на множестве $\Theta' \subseteq \Theta$. Соответствующая неопределенность называется вероятностной неопределенностью и устраняется использованием ожидаемых значений $f(y) = \int_{\theta \in \Theta'} v(w(y, \theta)) p(\theta) d\theta$, быть может, с учетом риска.



Рис. 1. Структура принятия решений агентом – обучаемым

Данная неопределенность в системах ДКТТ обусловлена рандомизацией параметров задачи (проблемы), то есть в системе интеративного научения проблемы или задачи генерируются таким образом, что они аналогичны друг другу и отличаются только значениями параметров, задающих задачу. Рандомизация может касаться, в том числе и типа задачи, например прямая и обратная задача;

- функция принадлежности $\mu_{\theta}(\theta)$ нечеткого множества $\Theta^* \subseteq \Theta$. Соответствующая неопределенность называется нечеткой неопределенностью и устраняется выделением множества максимально недоминируемых действий [84].

«Предельным» для всех перечисленных выше типов и видов неопределенности является случай «детерминированного» изменения результатов деятельности – когда он не зависит от обстановки (или что то же самое, когда множество Θ^* состоит из единственного элемента), то есть каждому действию $y \in A$ соответствует единственный результат деятельности $z = w(y) \subseteq A_0$. При этом можно сразу считать, предпочтения агента заданы на множестве его действий. Если $v(\cdot)$ - функция полезности обучаемого, то его целевая функция $f(\cdot)$ в детерминированном случае определяется как $f(y) = v(w(y))$.

Правило индивидуального рационального выбора в детерминированном случае заключается в выборе агентом действий, доставляющих максимум его целевой функции, то есть

$$P^{W_i}(R_{A_0}, A, I) = \underset{y \in A}{\text{Arg max}} f(y).$$

Таким образом, гипотеза детерминизма проявляется в том, что обучаемый, устраняя неопределенность, переходит от предпочтений, зависящих от неопределенных факторов, к индуцированным предпочтениям, зависящим от его собственных действий. Обучаемый стремится выбором своих действий максимизировать свою целевую функцию, в качестве которой может выступать гарантированная или ожидаемая полезность.

Управление и его типы

В общем случае управлением называется воздействие на управляемую систему (управляемый субъект или объект управления), направленное на обеспечение требуемого ее поведения. (Принятие решений агентом также может рассматриваться как выработка управляющих воздействий.) Классификация управлений может строиться на основании тех компонентов управляемой системы (модели) – агента, на которых оказывается воздействие при использовании управлений тех иных типов. Пример – стимулирование.

В рамках предпочтений агента в терминах функции полезности его модель принятия решений описывается следующим кортежем: $\Psi = \{A, A_0, \Theta, \nu(\cdot), w(\cdot), I\}$, то есть множествами: допустимых действий A , допустимых результатов деятельности A_0 , возможных значений обстановок Θ ; функциями: полезности $\nu(\cdot)$ и связи между действиями, обстановкой и результатом деятельности $w(\cdot)$; а также информацией I , которой обладает агент на момент принятия решений.

Так как управляемая система (управляемый субъект – агент) описывается кортежем Ψ , то внешнее воздействие в общем случае может быть направлено на каждый из элементов этого кортежа. Выделим три группы переменных (элементы кортежа, которые могут изменяться) – допустимые множества A и A_0 , функции полезности $\nu(\cdot)$ и информации I . Этим трем группам переменным соответствуют три типа управлений:

- **институциональное управление** (изменение допустимых множеств);

- **мотивационное управление** (изменение функции полезности);

- **информационное управление** (изменение информации, которую обучаемый (агент) использует для принятия решения).

Институциональное управление, которое обозначим $u_A \in U$, является наиболее жестким и заключается в том, что центр целенаправленно ограничивает множество возможных действий и результатов деятельности агента. Такое ограничение может осуществляться явными или неявными воздействиями.

Компенсаторная компьютерная система управления жестко ограничивает множество возможных действий, позволяя осуществлять только правильные действия, неправильные действия немедленно отменяются. Введя гомеостаз для такого параметра, как средняя частота включения компенсатора («ограничителя» неверных действий), мы целенаправленно ограничиваем множество возможных действий с тем, чтобы обучаемый научился самостоятельно ограничиваться только правильными действиями.

Мотивационное управление, которое обозначим $u_v \subseteq U_v$, является более «мягким», чем институциональное, и заключается в целенаправленном изменении предпочтений (функции полезности) агента. Такое изменение может осуществляться введением системы штрафов и / или поощрений за выбор тех или иных действий и / или достижение определенных результатов деятельности. Широкий класс примеров мотивационного управления составляют задачи планирования и стимулирования (b3, b2).

В случае, например, задачи стимулирования, мотивационное управление заключается в непосредственном (входящем в функцию полезности аддитивно) вознаграждении агента за выбор определенных действий.

Наиболее «мягким» (косвенным) по сравнению с институциональным и мотивационным является *информационное управление*.

Под **информационным управлением** будем понимать целенаправленное влияние на информацию, используемую субъектами при принятии решений.

Рассмотрим, какую информацию может использовать субъект при принятии решений в рамках описанной выше модели.

1. Информация о состоянии среды θ (т.е. относительно объективно неопределенных факторов).

2. Информация о моделях принятия субъектами решений (модель задается кортежем Ψ), то есть относительно субъективно неопределенных факторов.

3. Информация относительно некоторых параметров, которые мы обозначим $q \subseteq A_q$, зависящих как от состояния среды, так и от действий субъектов (включая управляемого), например $q = F(y, \theta)$

Соответственно, можно выделить три частных случая (типа) информационного управления (основание классификации – объекты и субъекты, информация о которых передается):

– **информационное регулирование** – целенаправленное влияние на информацию о состоянии среды (проблемной среды);

– **рефлексивное управление** – целенаправленное влияние на информацию о моделях принятия субъектами решений;

– **активный прогноз** – целенаправленное сообщение информации о будущих значениях параметров, зависящих от состояния среды и действий субъекта.

«...Управление – воздействие на управляемую систему, направленное на обеспечение требуемого ее поведения». Выделенные типы управлений характеризуют объекты воздействия (компоненты управляемой системы, на которые направлены управляющие воздействия).

Обсудим, что следует понимать под требуемым поведением управляемой системы, и в первую очередь «требуемым» с чьей точки зрения.

Необходимо описать предпочтения центра и рассмотреть модель принятия им решений по выбору управлений.

Модель принятия решений центром (учителем) в целом аналогична модели принятия решений агентом и описывается кортежем:

$$\Psi_0 = \{U_A, U_v, U_I, A_0, \theta, w(\cdot), \nu_0, I_0\}.$$

Поясним элементы модели.

«Действиями центра (выбираемыми им стратегиями) являются управления

$$u_A \subseteq U_A, u_v \subseteq U_v, u_I \subseteq U_I.$$

Обозначим $u = (u_A, u_v, u_I) \subseteq U = U_A \times U_v \times U_I$ – вектор управлений.

В большинстве моделей управления организационными системами считается, что единственная роль центра заключается в осуществлении управления, то есть у него отсутствует собственный (не опосредованный агентом) результат деятельности, поэтому результатом деятельности центра обычно считают результат деятельности агента, принадлежащий множеству A_0 .

Таким образом, структура системы управления агентом имеет вид, приведенный на рис. 2.

Предпочтения центра $\nu_0(\cdot)$, определенные на множестве A_0 возможных результатов деятельности агента, а последние, в свою очередь, зависят от действий агента и обстановки (проблемной среды и т.п.). Обстановка центра (и та информация, которой он обладает), естественно, может отличаться от обстановки агента (обучаемого). Более того, вне рассматриваемой модели управления остаются неполная информированность центра об агенте (например, о его типе, правилах устранения неопределенности и принятия решений и т.д.). Неполная информированность центра о типе агента учитывается в механизмах управления с сообщением информации [33; 34].

$A_0 \times U$ с учетом имеющейся у него информации I_0 индуцируют на множестве $A \times U$ предпочтения (целевую функцию центра) $f_0(\cdot)$.

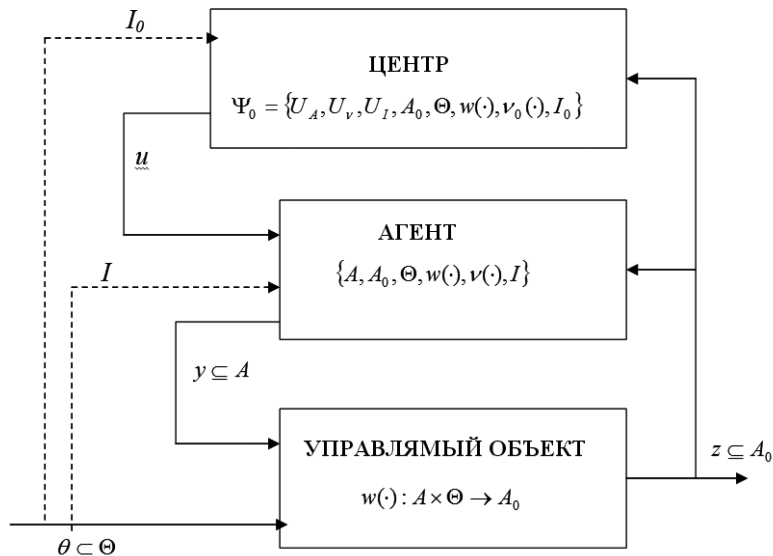


Рис. 2. Структура системы управления агентом (обучаемым)
(нижний индекс «0» обозначает переменные, выбираемые центром)

§ 1.3. Компьютерные технологии психолого-педагогической диагностики учебной деятельности обучающихся

Проблема компьютеризации образования и как составная часть этой комплексной проблемы разработка научно обоснованной методики компьютерной диагностики личности учащегося являются исключительно актуальными.

Разработка этой проблемы вытекает из реально складывающегося противоречия. С одной стороны, учебные заведения все более и более насыщаются компьютерной техникой. Резко возрастает интенсификация процесса учебно-познавательной деятельности учащегося и всего

педагогического процесса. В этой ситуации, чтобы управлять педагогическим процессом, учитывая индивидуально-типологические особенности, необходимо иметь надежные и оперативные средства диагностики. С другой стороны, в настоящее время мы не располагаем программным обеспечением, которое в должной мере отвечало бы возникшей необходимости и наиболее полно учитывало бы индивидуальность субъекта познавательной деятельности.

Указанная проблема и противоречие, ее порождающее, позволяют выделить следующие задачи, требующие решения.

1. Поиск методологических принципов компьютерной диагностики индивидуально-типологических особенностей личности.

2. Анализ сущности, структуры и комплекса средств компьютерной диагностики индивидуально-типологических особенностей личности.

3. Разработка средств компьютерной диагностики индивидуально-типологических особенностей личности.

4. Обобщение описанного в психолого-педагогической литературе, а также собственного опыта изучения индивидуально-типологических особенностей личности на примере динамических тестов.

5. Поиск возможностей усиления диагностирующих функций компьютерных обучающих программ.

Решение поставленных задач потребует от нас раскрыть содержание понятий психологической, педагогической и компьютерной диагностики.

Психодиагностика

В наиболее обобщенном понимании психодиагностика – область психологии, разрабатывающая методы выявления индивидуальных особенностей и перспектив развития личности [10; 11]. Более детальное описание смысла психодиагностики выявляет разные позиции авторов. Например, в работе [20] предмет психодиагностики определяют как область

психологической науки, позволяющей поставить психологический диагноз, а диагноз, где бы он не ставился – в медицине, технике, в управлении, в прикладной психологии, – это всегда поиск в условиях причинно-следственных связей.

С другой точки зрения «психологическую диагностику можно охарактеризовать как дисциплину о методах классификации и ранжирования людей по психологическим и психофизиологическим признакам» [11].

Эти точки зрения не противоречат друг другу, а отражают, на наш взгляд, научные предпочтения их авторов.

Для нас в рамках поставленных целей и задач наиболее важным является понимание того, что психодиагностика не может существовать вне рамок эффективных методов и разработанных на их основе конкретных методик исследования личности. Эффективных – значит позволяющих объективно и в полной мере раскрыть предмет исследования на основе полученной информации в процессе проводимых психологических исследований.

Например, Р.С. Немов выделяет следующие основные методы психологических исследований и их варианты, применяемые для сбора первичных данных [78].

Приведенная систематизация исследования дает возможность выделить те методы исследования, которые и позволяют поставить психологию в ряд экспериментальных наук, изучающих причинно-следственные связи – тесты, эксперимент и моделирование. Именно эти методы, активно используемые в практике современной психологической науки, становятся в последнее время предметом исследований как психологов, так и специалистов других областей знаний.

Двухмерное исследование, по мнению авторов, – отражение методов исследования, принятого в физических науках, где в рамках эксперимента выделяется зависимая и независимая переменная с помощью рандомизирующих про-

цедур. В многомерном исследовании учитываются все измеряемые факторы.

Представляется, что в связи с особой сложностью психики человека именно многомерный подход наиболее полно отвечает целям и задачам психологического исследования.

Для дальнейшего обсуждения многомерного подхода в психологических исследованиях важно отметить, что информация о личности может быть получена из трех принципиально различных источников, обозначающихся как «L» -, «Q»- и «Т»-данные.

Таблица 1

Основной метод	Варианты основного метода
Наблюдение	Внешнее (наблюдение со стороны) Внутреннее (самонаблюдение) Свободное Стандартизированное Включенное Стороннее
Опрос	Устный Письменный Свободный Стандартизированный
Тесты	Тест-опросник Тест-задание Проективный тест
Эксперимент	Естественный Лабораторный
Моделирование	Математическое Логическое Техническое Кибернетическое

«L»-данные («life record data») – данные, полученные регистрацией реального поведения человека в повседневной жизни. Сбор этих данных чаще всего осуществляется квалифицированными экспертами в виде формализованных

оценок. Ограниченность этого метода в высокой вероятности искажения данных и их интерпретации.

«Q»-данные («Questionnaire data») – данные, полученные в результате применения опросников и других методов самооценок. Наиболее популярные данные в психологических исследованиях. Широко известны методики, позволяющие получить «Q»-данные: Миннесотский многопрофильный личностный перечень (MMPI), шестнадцатифакторный личностный опросник (16PF) и др. Но тем не менее эти данные также не свободны от влияния искажений, которые возникают в результате воздействия личностных, ролевых, мотивационных факторов и факторов состояния.

«Т»-данные («objective test data») – данные, полученные с помощью объективных тестов с контролируемой экспериментальной ситуацией.

В книге «Нелинейные технологии обучения в условиях информатизации» Н.И. Пак приводит следующую классификацию объективных психологических тестов [85].

1. Тесты способностей.
2. Тесты умений и навыков.
3. Тесты на восприятие.
4. Опросники.
5. Мнения.
6. Эстетические тесты.
7. Проективные тесты.
8. Ситуационные тесты.
9. Игры.
10. Физиологические тесты.
11. Физические тесты.
12. Случайные наблюдения.

Как будет показано ниже, рассматриваемые нами динамические тесты позволяют получать «Т»-данные и могут быть отнесены к разряду объективных тестов, позволя-

ющих проводить не только педагогические, но и психологические исследования.

Практически все области науки используют компьютер для решения профессиональных задач. Психологи уже давно используют компьютер для своих целей – проведение тестирования и диагностики. Поскольку данное исследование использует важные принципы психодиагностических методов, нельзя не воспользоваться опытом психологов-исследователей и перенять их опыт работы в области компьютерного тестирования и психодиагностики.

Для разработки и использования экспериментальных психодиагностических методик значение имеют технические средства стимуляции, регистрации и обработки психодиагностической информации. Как отмечалось выше, при разработке методик такая технология означает, что регистрация и обработка информации, проведение психометрических процедур и разнообразные расчеты осуществляются «ручным» способом, в лучшем случае с помощью калькулятора.

Технологию «карандаша и бумаги» постепенно вытесняют компьютерные технологии. В настоящее время использование компьютерных технологий в психодиагностике постепенно оформляется в самостоятельную область исследований, получившую название компьютерной психодиагностики.

Компьютерная психодиагностика – это направление исследований, связанное с использованием средств вычислительной техники при проведении обследования или (и) анализе его результатов, а также разработкой и применением компьютерных тестов [11]. Основной целью этого направления является создание психодиагностического инструментария, в том числе компьютерных психодиагностических методик, а также разработка принципиально новых видов экспериментов и методов работы с экспериментально-психологической информацией. Таким образом, исследования в области компьютерной психодиагностики ориентиро-

ваны на решение практических задач – обеспечение психологов и исследователей качественными психодиагностическими инструментами, создаваемыми на базе новых информационных технологий.

Появление и развитие компьютерной психодиагностики становится возможным на определенном уровне развития информационных технологий. Первые упоминания о машинной обработке данных психологического теста относятся к 30-м гг. прошлого века. Долгое время использование компьютеров в психологических (и психодиагностических) исследованиях ограничивалось предъявлением соответствующей информации обследуемому и ее обработкой. В 70–80-е гг. широкое распространение за рубежом получают компьютерные тесты, в большинстве своем представляющие модификации известных методик. В этот же период появляются первые адаптивные тесты, отличительной особенностью которых является то, что управление процессом тестирования частично, а в некоторых случаях и полностью передается компьютеру. 80-е гг. – период наиболее активного развития компьютерной психодиагностики за рубежом, что связано с появлением достаточно мощных и доступных персональных компьютеров, а также господствующей в ряде стран Запада технократической парадигмой, навязываемой и психологической науке.

Благодаря использованной технологии компьютерные психодиагностические методики становятся наиболее предпочитаемыми и распространенными инструментами психологов, проводящих исследование испытуемых в самых различных областях. Их разработка предполагает создание систем, конструирующих диагностическое заключение по результатам исследования конкретного испытуемого в виде связного и непротиворечивого текста, достаточно полно отражающего психологические параметры, измеряемые тестом. При этом автоматизированное заключение должно но-

сить индивидуальный характер для каждого испытуемого, а не отображать некоторые «усредненные» характеристики и параметры, соответствующие определенному контингенту людей. К этому мы стремились при создании программного продукта, реализующего принципы динамического тестирования.

В целом опыт работы с компьютерными психодиагностическими методиками позволяет сформулировать некоторые ощутимые положительные эффекты, получаемые исследователем, благодаря использованию автоматизированных тестов:

- повышение эффективности работы исследователя за счет скорости обработки данных и получения результатов тестирования;

- предоставление исследователю возможности сконцентрироваться на решении сугубо профессиональных задач благодаря освобождению его от трудоемких рутинных операций;

- повышение четкости, тщательности и чистоты исследования за счет увеличения точности регистрации результатов и исключение ошибок обработки исходных данных, неизбежных при ручных методах расчета выходных показателей;

- возможность проводить в сжатые сроки массовые психодиагностические исследования путем одновременно тестирования многих испытуемых;

- повышение уровня стандартизации условий психодиагностического исследования за счет единообразного инструктирования испытуемых и предъявления заданий вне зависимости от индивидуальных особенностей исследуемого и экспериментатора;

- возможность для испытуемого быть более откровенным и естественным во время эксперимента благодаря конфиденциальности автоматизированного тестирования;

– возможность распространять опыт работы исследователей за счет компьютерной интерпретации результатов тестирования;

– возможность систематически накапливать и хранить не только данные об испытуемом, но и сами результаты тестирования; тем самым разрешение проблемы «утраты» психодиагностической информации, характерной для тестирования с помощью «ручных» тестов, осуществляется благодаря заполнению базы данных испытуемых, являющейся неотъемлемым атрибутом любой автоматизированной методики.

На этом основании становится понятной причина автоматизации различных методик тестирования с помощью персонального компьютера и соответствующего программного обеспечения.

Педагогическая диагностика

В педагогическом процессе диагностики используется не разово и не одномоментно, потому что он представляет собой живую ткань человеческого взаимодействия, деятельности, общения, отношений, отражения, усвоения, творчества, развития организма и психики, формирования свойств личности, воздействия. Педагогу важно не только знать об общих конечных результатах этого сложного действия, но и просматривать, прощупывать, прослушивать, диагностировать самодвижение тончайших отношений, повседневное состояние духовно-нравственного и эстетического здоровья участвующих в нем людей. В соответствии с этим объекты диагностики в педагогике не только социальная среда, целостный педагогический процесс, но и главнейшие его составляющие. В первую очередь объект – это дети. Педагогу необходимо глубокое знание возрастных, психофизиологических особенностей ребят. Он не может педагогически управлять развитием жизни без информации о степени успешности и прилежания учащихся в различных видах

деятельности; их склонностях, интересах, способностях и дарованиях; пристрастиях, психических комплексах и увлечениях; положении и моральном самочувствии в коллективе.

Объектом педагогической диагностики является и учитель. Повышение его профессионализма во многом определяется уровнем профессионального самосознания, критической оценки, самоанализа и способностей на этой основе самосовершенствования. Успех педагогического процесса в целом зависит не от усилий новаторов-одиночек, а от грамотной деятельности педагогических коллективов, стремящихся к высокому профессионализму, образующих гармоничное взаимодействие педагогического и ученического коллективов. Вот почему объектом диагностики является педагогический коллектив, состояние тех звеньев его жизнедеятельности, от которых зависит повышение уровня квалификации каждого учителя.

Коренная проблема диагностики – методология и методы диагностирования, позволяющие получать научно обоснованную, репрезентативную информацию, соответствующую истине, исключающую всякие домыслы и двусмысленное толкование.

Методология диагностирования складывается из принципиальных позиций, представлений и теорий понимания сущности человека, путей постижения его личности и индивидуальности во всей их сложности и многосторонности. Стремительные изменения, происходящие в сфере образования в последние годы, требуют пересмотра в сфере образования и сложившихся методов оценивания педагогов и эффективности их деятельности. Ни сам подход, ни существующие способы оценок деятельности преподавателей нельзя признать удовлетворительными. В большинстве случаев они односторонние, субъективные и являются одним из источников конфликтов и обид, которые мешают нор-

мальной работе учреждений и кафедр. Вероятно, еще более широк спектр работ школьного учителя, который является еще и воспитателем, и классным руководителем, и т.д. В то же время нельзя забывать, что если оценка проводится регулярно и объективно, то она превращается в действенное средство контроля, воспитания ответственности, развития личностного потенциала работников.

Существуют различные определения педагогической диагностики.

Аванесов [6; 7; 8] считает, что педагогическая диагностика устанавливает связь между успеваемостью и предпосылками к учебе, оценивает правильность выбора учебных целей или учебно-организационных мер на базе определения условий, в которых протекает учебный процесс.

К. Ингенкамп [60] по аналогии с медицинской и психологической диагностикой дает определение педагогической диагностике на основании стоящих перед ней целей: «Педагогическая диагностика призвана, во-первых, в интересах общества обеспечивать правильное определение результатов обучения. Для достижения этих целей в ходе диагностических процедур, с одной стороны, устанавливаются предпосылки к обучению, имеющиеся у отдельных индивидуумов и у представителей учебной группы в целом, а с другой – определяются условия, необходимые для организации планомерного процесса обучения и познания. С помощью диагностики анализируется учебный процесс и определяются результаты обучения».

Такое понимание педагогической диагностики направлено на решение в первую очередь задач обучения. На сегодняшний день большинство разработанных диагностических методик направлены на измерение у индивида уровня сформированности знаний, умений и навыков, развития способностей, но они не выявляют, как и почему он достиг этого уровня. Это связано прежде всего с тем, что исполь-

зуемые технологии в диагностике деятельности учащегося ориентированы не на диагностику всего процесса обучения, а только на его конечный результат.

При таком подходе структура контроля и обратной связи разрабатываемых электронных дидактических средств содержит систему тестов, позволяющую оценивать уровень усвоения обучающимся каждого раздела, тесты итогового контроля. Тесты электронных дидактических средств (обучающе-контролирующих, тестирующих программ), удовлетворяя обязательным требованиям, предъявляемым к тестовым заданиям – надежности, валидности, определенности, однозначности, устойчивости, позволяют получать объективную оценку знаний, некоторых умений и навыков, выявлять индивидуальный темп обучения, а также проблемы в подготовке учащегося.

Тесты, как правило, построены в виде одной из следующих форм или их комбинаций:

- закрытой, предусматривающей выбор обучаемым одного или нескольких правильных ответов из предложенного набора;

- открытой, предусматривающей самостоятельную формулировку и ввод ответа в виде целого вещественного числа, целого выражения;

- на соответствие, предусматривающей установление обучаемым правильного соответствия между элементами двух множеств;

- на установление правильной последовательности, предусматривающей указание обучаемым правильного порядка в перечисленном наборе элементов.

Для заданий с выбором одного или нескольких вариантов ответов предусмотрены следующие виды: задания с двумя, тремя и большим числом ответов. Задания с двумя ответами используются в целях избежания односложных ответов типа «да», «нет», усложняя познавательную деятель-

ность обучающихся. Для других видов заданий использовались основные принципы композиции заданий в тестовой форме – принцип противоположности, противоречия, классификации, аккумуляции, сочетания слов, правило цепочки. При этом результаты тестирования накапливаются в файле статистики. Использование контролирующих программ на учебных занятиях помогает за короткое время проконтролировать усвоение значительного числа учебных элементов, а также в определенной степени получить представление о способностях обучающихся к систематизации, классификации, логическому и ассоциативному мышлению, о степени формирования у них общеучебных умений.

Среди всех средств компьютерной педагогической диагностики сегодня наиболее разработанными представляются различные тестовые оболочки. Они направлены на реализацию важнейшего этапа учебного процесса – контроля в форме компьютерных тестов. Его популярность объясняется многими причинами содержательного и технологического характера. И тем не менее существуют определенные причины, сдерживающие полноценное внедрение тестового контроля в практику образования. Одна из них – увеличение нагрузки на преподавателя.

Современные информационные технологии предполагают решение этой проблемы через разработку специального программного компьютерного обеспечения – тестовых оболочек. Разработано уже достаточно много такого рода программ, но существенными их недостатками являются перенос бумажных технологий тестирования на компьютер и слабый учет психологических особенностей процессов восприятия и воспроизведения информации. Более подробный анализ работы и применения одной из компьютерных тестовых оболочек будет описан в следующем параграфе.

Говоря о компьютерных технологиях в управлении учебно-познавательной деятельностью учащихся, нельзя

ограничиваться только диагностикой учебно-воспитательного процесса. В первую очередь компьютер, а следовательно, и компьютерные технологии в обучении – это средство достижения педагогических целей и задач.

На наш взгляд, основными целями и задачами внедрения компьютерных технологий в учебно-воспитательный процесс учреждений образования могут быть:

- формирование педагогической технологической концепции внедрения компьютерных технологий в учреждениях образования;
- обеспечение индивидуализации и дифференциации образования;
- повышение эффективности учебно-воспитательного процесса;
- создание программно-методического комплекса, позволяющего осуществлять личностно ориентированный подход в обучении;
- разработка учебных планов и программ, обеспечивающих педагогически целесообразное использование компьютерных технологий в учебно-воспитательном процессе с учетом требования государственных образовательных стандартов;
- выход в единое образовательное пространство в рамках РФ и обеспечение возможности обучаемому получения образования в любой точке образовательного пространства;
- формирование у обучающихся глубокой мотивации к активной деятельности, потребности в саморазвитии.

Реализация поставленных целей и задач должна быть направлена на создание информационной образовательной среды, включающей в себя: электронные учебники, справочники, электронные лабораторные практикумы и задачки, обучающие и тестирующие программы, тренажерные комплексы, специализированные пакеты прикладных про-

грамм и графических систем проектирования, а также баз данных для хранения и автоматической обработки результатов учебного процесса, отвечающих поставленным задачам.

§ 1.4. Синергетическая парадигма управления и диагностики учебной деятельности

Проблемы управления и диагностики в системах образования в последние годы приобретают все большее значение для получения существенных результатов в подготовке и принятии решений на самых различных уровнях. На первый план выдвигаются процессуальные аспекты обучения, обуславливающие саморазвитие учебной деятельности обучающихся, приводящее к ее самоорганизации в условиях неопределенности проблемных сред. Происходит смена образовательной доминанты с репродуктивной на продуктивную-синергетическую парадигму, творческую доминанту, определяющую деятельностный, компетентностный характер обучения. Образованный человек должен не просто обладать знаниями, он должен уметь добывать знания и применять, то есть реализовывать их в деятельности при решении проблем (задач). В этой связи процессы и подходы к управлению системами образования нуждаются в существенной корректировке, учитывающей вышеуказанные аспекты.

В классическом подходе обучающийся рассматривается как объект, управление которым позволяет достигнуть целей обучения, невзирая на сложность объекта, обусловленную его субъектностью. Диагностика учебной деятельности направлена на результаты научения и носит статусный характер, включая уровень обученности, фактологические знания, умения и навыки [93] и т.п. Обучаемый рассматривается как некий «сосуд» для информации [86]. Цель обучения – наполнить его знаниями. Цели обучения задаются извне, так же как и алгоритмы их достижения.

Неклассический подход характеризуется существенными достижениями в кибернетике и соответственно в управлении системами обучения. На основе известных методов и средств прикладного системного анализа реализовано информационное моделирование интерактивного процесса обучения [44]. Широко применяются динамические модели интерактивного процесса обучения, которые строятся на основе формализма и программных средств раскрашенных сетей Петри [44]. Эта методология позволяет создавать модели, отражающие особенности учебного процесса. Для прогнозирования и совершенствования вероятностных процессов принятия управленческих решений в системах обучения применяются методы теории вероятности и математической статистики. В работе [48], для исследования динамики систем обучения используется представление интерактивного процесса обучения в виде конечной цепи Маркова. Это позволило описать и исследовать многие его свойства: динамику смены состояний процесса; среднее число пребываний процесса в каждом состоянии и дисперсию этой величины; предельные вероятности нахождения системы в состояниях эргодического множества. Вероятностные характеристики процесса обучения использовались для поиска управленческих воздействий, обеспечивающих заданный режим функционирования управляемой системы обучения и прогнозирования.

Для решения задач управления процессом обучения в условиях неопределенности применяют: методы искусственного интеллекта [65]; модели теории нечетких множеств [115]; методы имитационного моделирования развития систем обучения с использованием нейронных сетей [102]; задачи теории активных систем для анализа систем обучения; а также методы теории игр для абстрагирования логических структур рассматриваемых ситуаций [73].

Неклассический подход учитывает сложность объекта управления, включая наличие у него собственного центра управления и то, что он является субъектом, который имеет собственные предпочтения и цели. При этом управление и диагностика учебной деятельности основываются на представлении о саморегуляции поисковой активности обучающихся и наличии соответствующих гомеостатических механизмов адаптации обучающихся к среде. Под средой понимается проблемная среда тех задач (проблем), решению которых должен научиться обучающийся. В рамках неклассического подхода возник и получил развитие деятельностный, личностно ориентированный подход в обучении, появились адаптивные системы обучения [18; 64] и соответствующие диагностики. Адаптивные системы управления процессом обучения предполагают стабильное устойчивое функционирование обучающихся, основу которого составляют «два принципа бытия: 1. – гомеостатичность, 2. – иерархичность» [31].

Адаптивные компьютерные обучающие системы решают стандартную задачу обучения, которая «состоит обычно в том, чтобы обучаемый наилучшим образом запомнил определенные порции информации $U...$ » [90]. Эффективность адаптивного обучения зависит от алгоритма обучения Q и индивидуальных свойств обучаемого $\omega(t)$ как объекта обучения:

$$Q = Q(U, \omega). \quad (1)$$

Очевидно, что индивидуальные особенности обучаемых априори неизвестны. Для решения проблемы необходимо сделать процесс обучения адаптивным, т. е. приспособляющимся к индивидуальным особенностям обучаемого, необходимо уметь решать проблему идентификации свойств личности. Приспособление осуществляется путем соответствующего выбора порции U обучения и требует решения задачи адаптации:

$$Q(U, \omega(t)) \rightarrow \min_U \rightarrow U_{\omega(t)}^*, \quad (2)$$

где $U_{\omega(t)}^*$ – оптимальная порция обучения, зависящая от индивидуальных черт $\omega(t)$ студента. В качестве эффективности обучения Q может выступать число порций учебного материала, охватывающих раздел, тему, курс предмета; время обучения и т.п.

Управление процессом обучения в адаптивных системах носит циклический характер. За каждой порцией $U_{\omega(t)}^*$ учебного материала, предоставляемой обучаемому, следуют проверка (контроль) усвоения данной информации, потом корректировка дальнейшего хода процесса обучения с учетом модели обучаемого, его индивидуальных особенностей. Затем все повторяется. Анализ исследований, посвященных адаптивным обучающим системам, показывает, что: 1) компьютерная реализация таких систем не выходит за рамки сообщающего обучения, имеющего репродуктивный характер; 2) как правило, индивидуальные различия обучаемых идентифицируются через «пассивные» составляющие познавательной сферы, например: различия в запоминании и забывании учебной информации и т.п.; 3) они не учитывают то, что обучаемые являются открытыми системами и обладают психической активностью и способностью к самоорганизации (саморазвитию) собственной деятельностью.

В условиях синергетической парадигмы необходимо рассматривать человекоразмерные системы как саморазвивающиеся, открытые системы, в которых происходят процессы самоорганизации учебной деятельности и возрастание роли ценностно-смысловой сферы обучающихся. Как пишет А.А. Касаткина, в современном постнеклассическом подходе процесс повышения качества профессионального образования в рамках компетентностного подхода «...характеризуется смещением акцентов на специальную работу с ценностно-смысловой сферой, направленностью разви-

тия студентов на изучение собственных потенциальных возможностей, эффективных способов саморазвития, а также множеством других качеств...» [62].

Самоорганизация учебной деятельности возникает как следствие взаимодействия внешней и внутренней информации в состоянии неустойчивости и становления более совершенной структуры системы действий обучающегося. Как пишет В.С. Степин, в процессе самоорганизации учебной деятельности происходит смена механизмов саморегулирования действий обучающихся. Каждый механизм саморегулирования представляет собой некоторое устойчивое состояние жизнедеятельности субъекта обучения. При этом смена механизма саморегулирования приводит обучающегося к более высокой самоорганизации учебной деятельности [97].

Самоорганизация учебной деятельности происходит в результате генерации информации обучающимися. Это приводит к их саморазвитию и процессу становления личности. Условиями становления (саморазвития) или генерации информации являются [31]: 1) неустойчивость состояния обучающегося, вызванная неопределенностью проблемной среды; 2) наличие тезауруса или базовых знаний о предметной области или проблемной среде; 3) необходимость перевода информации с языка одной семиотической системы знаков на язык другой семиотической системы знаков.

Аналогично социально-экономическим системам [69] в системах обучения также присутствуют одновременно *стратегические и оперативные цели*. При этом оперативными целями являются краткосрочные цели, при достижении которых можно принять допущение, что взаимодействие с проблемной средой осуществляется в условиях, когда воздействие проблемной среды является стабильным, то есть находится в пределах заданных границ. Однако важнейшей проблемой управления системой обучения является сохранение эффективности учебной деятельности обучаю-

щихся в условиях непрерывной изменчивости проблемной среды в более долгосрочной перспективе. Именно достижение правильно поставленных стратегических целей позволяет системе обучения сохраниться и, возможно, даже развиться в условиях новой проблемной среды. Поэтому к любой системе обучения применимы понятия оперативного и стратегического управления. При этом (см. [69]) «критерием различия данных видов управления является не только временной горизонт, но и методы управления».

В нашем случае оперативное управление нацелено на адаптацию обучающихся к проблемным средам и соответствующее изменение параметров системы обучения. Оно не затрагивает ее структуры, не может влиять на ее взаимодействие с проблемной средой, то есть методы оперативного управления отвечают принципам бытия (см. выше). Методы стратегического управления, напротив, ведут к изменению структуры системы обучения, а также могут изменять структуру векторов взаимодействия обучающейся системы с проблемной средой. Соответственно, методы стратегического управления направлены на саморазвитие и определяются принципами становления: нелинейность, неустойчивость, незамкнутость, динамическая иерархичность, наблюдаемость.

В теории управления широко распространена классификация систем управления по видам их моделей. Основные классы математических моделей систем управления приводятся в [21, 91]. В аспекте приведенных в указанных источниках классификаций при рассмотрении систем обучения следует учитывать: 1) нелинейный характер закономерностей процесса обучения; 2) системы обучения – это сложные, многомерные системы; 3) любая система обучения, рассматриваемая в аспекте управления, является *динамической (нестационарной)* системой, то есть большинство параметров системы обучения меняется во времени. Если модель работает в краткосрочном периоде времени, то тогда многие нестационар-

ные параметры можно условно принять за стационарные; 4) по способу кодирования и передачи информации обучающие системы следует отнести к *дискретным* системам, поскольку большая часть информации в них передается дискретно (порциями) в различных формах (числовой, текстовой); 5) большинство входных данных и внешних воздействий системы обучения являются *стохастическими*; 6) по принципу управления большинство систем обучения являются системами с *неполной обратной связью*. Дело в том, что эффективно управлять образовательными системами по принципу разомкнутого управления практически невозможно из-за большого влияния внешних факторов, а также сложности получения точной модели объекта управления. С другой стороны, получить достоверную информацию обо всех параметрах состояния объекта управления (т. е. достичь состояния полной информированности) в случае системы обучения тоже практически невозможно. Поэтому реально управление ведется в условиях неполной информированности, но с учетом поступающей частичной информации по принципу управления с неполной обратной связью; 7) по используемым методам моделирования в моделях систем обучения используются как *оптимизационные*, так и *теоретико-игровые методы*.

С учетом выявленных особенностей систем обучения известная в науке модель управления сложными объектами [90] должна быть дополнена блоками, связанными с необходимостью осуществления стратегического управления, для чего в схеме управления должна появиться вторая петля обратной связи. Концептуально подобная система изображена на рис. 3, где введены следующие обозначения:

$X(U_S, t)$ – множество всех входных параметров, воспринимаемых объектом управления; $\xi(t)$ – вектор неконтролируемых внешних воздействий на объект управления;

$P_0(U_S, t)$ – вектор, характеризующий состояние устройства оперативного управления;

$V(X_1, P, t)$ – вектор выходных параметров, генерируемых объектом управления;

$U_0(P, P_0, V, t)$ – вектор параметров оперативного управления, генерируемый устройством оперативного управления;

$U_S(t)$ – вектор параметров стратегического управления.

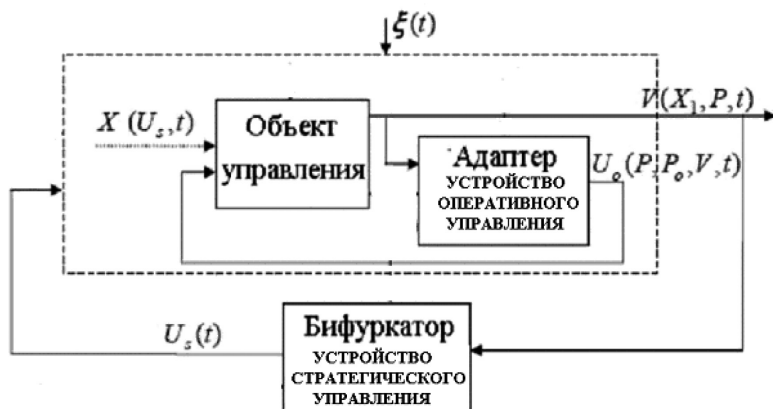


Рис. 3. Двухконтурная система управления сложным объектом

Первый контур оперативного управления – адаптер – отвечает за адаптацию обучающегося к квазистационарным состояниям проблемной среды. Второй контур, контур стратегического управления – бифуркатор, изменяет параметры проблемной среды таким образом, что: а) неустойчивость состояния обучающегося возрастает, если характеристики учебной деятельности обучающегося улучшаются; б) неустойчивость состояния обучающегося уменьшается, если характеристики учебной деятельности обучающегося ухудшаются.

Для реализации двухконтурной системы управления самоорганизацией учебной деятельности обучающегося необходимо создать канал управления U , с помощью которого можно влиять на действия обучающегося и, соответственно, на структуру системы действий:

$$Y = F_0(X, S(Y)), \quad (3)$$

где F_0 – по-прежнему оператор работы обучающегося, но учитывающий наличие фактора управления U . Под системой управления самоорганизацией будем понимать совокупность алгоритмов обработки информации и средств их реализации, объединенных для достижения заданных целей управления деятельностью обучающегося.

Выделим следующие этапы управления деятельностью обучающегося.

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

2. Выработка параметров управления. В зависимости от структуры системы действий обучающегося система управления определяет содержание и количественные параметры управляющих воздействий, которые осуществляются через систему датчиков и «исполнительные механизмы» УЦ.

3. Реализация управления. После того как определены характеристики деятельности и параметры управляющих воздействий, необходимо организовать деятельность обучающегося по поиску решения поставленной задачи. Для этого управляющий центр отслеживает текущее состояние решения задачи относительно цели и на основе этой информации содействует деятельности обучающегося по решению задач, оказывая положительное подкрепление правильных действий и отрицательное – неправильных.

4. В процессе итеративного научения управляющий центр изменяет неопределенность проблемной среды в соответствии с изменениями структуры системы действий обучающегося. Если в развитии структуры системы действий обучающегося наблюдается прогресс, то управляю-

щий центр увеличивает неопределенность проблемной среды. Это приводит к неустойчивости состояния обучающегося, что инициирует поисковую активность обучающегося. Если же в развитии наблюдается регресс, то неопределенность проблемной среды уменьшается.

Система управления самоорганизацией учебной деятельностью, получая на входе информацию о среде X и структуре системы действий обучающегося S , цели Z^* , располагая ресурсами R (ресурсами могут быть: время, отводимое на научение, количество заданий и т.д.), должна выдать на выходе информацию об управлении U , с помощью которого возможно достижение цели Z^* , т.е. искомого состояния S^* в рамках ресурсов R , т.е.

$$\langle X, S(Y), Z^*, R \rangle \rightarrow U^* \rightarrow S^*. \quad (4)$$

Задачу разработки программы управления декомпозируем на две.

1. Изучение структуры системы действий обучающегося – объекта управления или синтез модели F объекта, связывающий его наблюдаемые входы:

$$Y = F(X, S(Y), U). \quad (5)$$

2. Синтез управления с помощью этой модели. В простейшем случае этого можно достичь, решая задачу адаптации, т.е. задачу оперативного управления (см. рис. 1):

$$Q(U, S_i) \rightarrow \min_U \Rightarrow U_{S_i}^*, \quad (6)$$

где $U_{S_i}^*$ – оптимальные управляющие воздействия, определяемые для структуры системы действий S_i на множества управлений U . Структура системы действий формируется в результате решения задачи стратегического управления (см. рис. 1):

$$Q(U, S_i) \rightarrow \min_{S_i} \Rightarrow S_U^*, \quad (7)$$

где S_U^* – оптимальная структура системы действий обучающегося при заданных управляющих воздействиях U .

Множество допустимых управлений определяется выделенными ресурсами R , а искомое состояние S^* – заданной целью Z^* .

Процесс синтеза модели F объекта управления (модели структуры системы действий обучающегося) является необходимым элементом управления сложным объектом.

Системе управления самоорганизацией учебной деятельностью сообщаются цели обучения Z^* и ресурсы R , которыми она располагает для управления процессом научения обучающегося. Задача состоит в том, чтобы организовать управляющие воздействия U , которые содействуют изменению структуры системы действий обучающегося таким образом, чтобы выполнялись поставленные цели Z^* .

Описанная двухконтурная модель управления процессом научения решению задач основана на синергетических принципах и реализует свою функцию через содействие обучающемуся в формировании структуры системы действий, «инициируя» неустойчивые состояния обучающегося, преодоление которых приводит к самоорганизации его учебной деятельности. Математически это соответствует достижению целевых требований (4).

5. Управляющие воздействия.

Управление U представлено в виде $U = \langle U_S, U_I, U_A \rangle$. Генератор задач G задает обстановку в проблемной среде:

а) стратегическое управление U_S является самым мягким управлением и носит мотивационный характер. Оно дает информацию о значении уровня самостоятельности действий обучающегося. Функция уровня самостоятельности учебной деятельности обучающегося определяется из выражений:

$$I = 1 - H(p), \text{ при } p \geq 0.5 \quad (8\text{-}a)$$

$$I = 0, \text{ при } p < 0.5, \quad (8\text{-}б)$$

$$\text{где } H = -p \log_2 p - (1-p) \log_2 (1-p), \quad (9)$$

информационная энтропия действий обучающегося, p – относительная частота правильных действий. Значение I вычисляется после решения очередной задачи.

Величина I изменяется от 0 до 1. На экране дисплея значение I отображается уровнями самостоятельности деятельности обучающегося, представленными системой 10 датчиков. Номер датчика U_S определяется выражением:

$$U_S = 1 + INT(10 \cdot I), \quad (10)$$

$$U_S = 1, 2, 3, \dots, 9, 10.$$

При $U_S = 1$, $INT(I) = 0$. Этот уровень соответствует действиям студента по методу проб и ошибок. Доля неправильных действий обучающегося близка к 0.5. При $U_S = 10$ доля неправильных действий стремится к нулю. Деятельность обучающегося решению задач близка к оптимальной, т.е. безошибочной. Управляющие воздействия U_v изменяются только по завершении очередного периода учебной деятельности обучающегося;

б) управляющие воздействия U_I являются информационными управлениями. Эти управления производятся посредством датчика «расстояние до цели». УЦ вычисляет минимальное число действий, которые нужно произвести обучающемуся, чтобы достичь цели из данного текущего состояния. Это число и есть расстояние до цели. Датчик «расстояния до цели» помогает обучающемуся регулировать свои действия по достижению целевого состояния.

Согласно схеме регулирования блок сравнения должен при фиксированной цели сопоставить каждой ситуации определенное действие. Обучающийся определяет действие в результате сравнения ситуации и цели. Информация, получаемая от датчика «расстояние до цели», является информационным подкреплением действий обучающегося. Из теории научения [104] следует, что из всех режимов подкреплений самым эффективным является режим случайных под-

креплений. При этом датчик «расстояние до цели» появляется либо в случайные моменты времени, либо через случайное число действий, совершаемых обучающимся. Вероятность появления датчика при выполнении i -го задания зависит от результатов деятельности обучающегося в $i-1$ -м задании и определяется формулами:

при $U_v = 1$

$$P_i (\text{датчик есть}) = 1, \quad (11a)$$

при $U_v > 1$

$$P_i (\text{датчик есть}) = 1, \text{ если } p_{i-1} < q \leq 1 \quad (11б)$$

$$P_i (\text{датчик есть}) = 0, \text{ если } 0 \leq q \leq p_{i-1}. \quad (11в)$$

Здесь q – случайное число, сгенерированное в интервале от 0 до 1.

По мере научения P_i стремится к 1 и, соответственно, вероятность подключения датчика стремится к нулю. Управляющие воздействия U_I представляют собой случайные события: а) датчик есть; б) датчика нет. Информация об этих событиях передается по прямому каналу связи непрерывно. Это обусловлено случайным характером событий а) и б). Всякий раз, совершая действие, обучающийся получает информацию о том, что произошло. Соответственно, прямой канал связи, так же как и обратный, работает непрерывно;

в) «институциональное» управление U_A состоит в целенаправленном ограничении множества возможных действий обучающегося. В рамках нашей модели «институциональное» управление заключается в целенаправленном ограничении неправильных действий обучающегося путем их отмены или коррекции (исправлении).

Синергетическая парадигма управления и диагностики учебной деятельности обуславливает направленность на анализ и диагностику неустойчивых состояний (бифуркаций) обучающихся, включая диагностику процесса смены механиз-

мов саморегулирования учебной деятельности, а также динамических параметров, характеризующих эти механизмы.

Обучающийся представляет собой в некотором роде «черный ящик». Принятие им решения о выполнении того или иного учебного действия обусловлено как внутренней умственной деятельностью, так и возможными внешними изменениями проблемных сред. Если не изменять параметры (структуру) проблемной среды, то однозначно утверждать, за счет чего формируется результат научения обучающегося решению задач нельзя. Другими словами, результат научения определяется двумя входными переменными – информацией о результате действия, произведенного обучающимся над объектами задачной ситуации и информацией о проблемной среде или окружающей среде. Если бы на каком-либо шаге учебной деятельности изменились оба значения входных переменных, то результаты научения на этом и предыдущем шаге учебной деятельности оказались бы несравнимы. Нельзя было бы сказать, почему, за счет какого фактора изменился результат действий обучающегося. Поэтому в неклассическом и классическом подходах кривые научения как результат деятельности обучающегося должны быть получены в условиях постоянства (квазистационарности) проблемной среды [81].

В постнеклассическом подходе к исследованию процессов научения в результате учебной деятельности изменяется как обучающийся, так и проблемная среда. Эти изменения обусловлены самосогласованным изменением частоты реакций (информационных подкреплений) проблемной среды на действия обучающегося при изменении успешности учебной деятельности. Изменение частоты информационных подкреплений учебной деятельности обучающегося приводит к изменению вероятностей устойчивых и неустойчивых состояний, стимулируя тем самым поисковую активность обучающегося.

ГЛАВА 2.

КОМПЬЮТЕРНОЕ ДИНАМИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ

§ 2.1. Цели и задачи динамического тестирования

Динамическое тестирование как проблема тестирования процесса деятельности ученика при решении задач была в том или ином виде сформулирована достаточно давно. В психологии [10] она формулируется как проблема психологии решения задач (проблема стратегии решения задач) вообще. Психологов интересовало, каким образом человек находит решение той или иной задачи. Этим исследованиям посвящено множество психологических исследований. В педагогической диагностике проблема динамики (изменения состояния личности во времени) также актуальна. Для ее решения вводится система промежуточных, разделенных во времени тестирований. Динамический процесс пытаются исследовать с помощью системы статичных тестовых срезов. Можно привести аналогию с кинематикой движущегося тела, когда о скорости тела пытались бы судить по ряду координат, измеренных в некоторые фиксированные промежутки времени. Понятно, что этот способ извлечения информации о динамике процесса неэффективен.

ДКТ позволяет использовать общую теорию управления (кибернетику) и заложить основы методов рассмотрения проблем управления процессом учебной деятельности с единой точки зрения. Кроме этого, компьютерная система динамического тестирования позволяет получить эффек-

тивные методы измерения учебного процесса. Надо отметить, что в работах по системам искусственного интеллекта проблеме тестирования не результата как такового, а пути его достижения придавалось большое значение. Особенно это касалось определения коэффициента IQ. Люди с одинаково большим значением этого коэффициента были умными по-разному. Проблема выявления этого различия людей очень важна для педагогической и профессиональной диагностики.

Одна из основных идей кибернетики – представление о том, что мир состоит из трех составляющих: энергии, материи и информации. Информация определяет факт существования организованных систем. Живые организмы, в том числе и человек, естественно являются организованными системами. Причем являются не просто организованными, но и сохраняющими свою организованность во времени. При этом они не только сохраняют, но и могут повысить свою степень организованности. Объяснение факта существования организованных систем заключается в непрерывном извлечении из внешнего мира потока информации о происходящих в нем и в самой системе явлениях и процессах.

Кибернетика рассматривает управляемые системы не в статическом состоянии, а в их движении и развитии. Тестирование управляемых систем подразумевает получение информации не только о состоянии, но и о динамике их поведения в тех или иных ситуациях. Традиционное тестирование, получившее большое развитие в образовательных системах, позволяет получать информацию о знаниях и умениях учащихся в фиксированных во времени состояниях. Бумажные технологии не позволяют проводить тестирование учащихся в динамическом режиме. Тестирование или рассмотрение управляемых систем (учащихся) в изменении (движении) коренным образом меняет подход к их изучению, позволяет вскрыть закономерности и факты, ко-

которые иначе оказались бы не вскрытыми. Например, такое функциональное свойство систем, как их устойчивость, имеющее решающее значение для оценки работоспособности, выяснение возможности существования и саморазвития невозможно без рассмотрения динамики происходящих в них процессов.

Образовательные системы являются неизолрованными системами. Это приводит к необходимости учитывать те многообразные связи, которые образуются между отдельными частями сложных систем и подсистем. Они определяют свойства систем, поведение и их развитие. Именно это определяет предметную область педагогической кибернетики.

В динамическом тестировании реализуется кибернетический подход, который отличается относительностью точки зрения на систему. То есть одна и та же совокупность элементов может в одном случае рассматриваться как система, а в другом – как часть некоторой большей системы, в которую она входит. Так, например, ученик может рассматриваться как некоторая динамическая система, но как систему можно рассматривать и учителя, обучающего ученика, и т.д. Свойства и особенности любых объектов не могут быть поняты и учтены без рассмотрения многообразных связей и взаимодействий, закономерно образующихся между отдельными объектами и окружающей их средой.

Однако как бы мы не старались учесть все многообразие связей, полностью этого сделать невозможно. Поэтому необходимо считаться с наличием случайных факторов, являющихся результатом действия этих неучтенных процессов, явления и связей. Динамическое тестирование как средство выявления поведения учащихся в процессе обучения с неизбежностью должно использовать статистические методы для анализа влияния случайных факторов. Из этого следует, что предсказание поведения системы (ученика) возможно в статистическом (вероятностном) аспекте.

Развиваемые идеи и методы динамического тестирования направлены на достижение следующих целей:

а) установить факты, общие для всех образовательных систем или, по крайней мере, для некоторого класса этих систем. Фактические данные являются основой для теоретических построений, гипотез и установления закономерностей;

б) выявить ограничения, свойственные динамическому тестированию управляемых образовательных систем, и установить их происхождение, т.е. установить те границы, в пределах которых динамическое тестирование способно различать структуру системы, соответствующее управляющее устройство способно изменять управляющее воздействие, управляемая система может изменять свои состояния;

в) найти общие закономерности, которым подчиняются управляемые системы – ученики при динамическом тестировании. Создать систему теоретических положений, законов и принципов динамического тестирования;

г) указать пути использования фактов и закономерностей теории динамического тестирования в практике образования. Это прикладное направление так же важно, как теоретическое. Рассмотреть приложение общих методов педагогической кибернетики в динамическом тестировании и в целом в педагогике.

§ 2.2. Компьютерная система динамического тестирования

Динамическое тестирование можно рассматривать как испытание в реальном режиме времени. При этом обучаемый выполняет задания и процесс наблюдается и анализируется учителем или преподавателем, тренером и т.п. Отдельные этапы выполнения задания фиксируются во времени. С развитием средств видео- и аудиозаписи процесс выполнения задания записывался и всегда мог быть воспроизведен необходимое количество раз для анализа его изменения во време-

ни. Как правило, это касалось предметной деятельности испытуемого. Например, тренер проводит динамическое тестирование, наблюдая динамику изменения процесса выполнения физического упражнения испытуемым. Часто этот процесс он записывает на пленку видеомэгнитофона и т.п.

Таким образом, в спорте динамическое тестирование проводилось давно и являлось необходимой составляющей процесса подготовки спортсмена. Это обусловлено тем, что в спорте очень важны динамические характеристики обучаемого. Например, насколько быстро спортсмен научается безошибочно выполнять упражнения и каковы его скоростные характеристики, насколько он устойчив по отношению к внешним возмущениям и т.д. Важность этого обусловлена тем, что цель подготовки спортсмена – достижение высоких результатов. Задания, которые ученик спортивной школы выполняет, связаны с достаточно сложными перемещениями спортсмена и соответствующих спортивных снарядов в пространстве и во времени. Чтобы научиться конкретному виду спорта, учащемуся приходится прикладывать значительные усилия. Его спортивные достижения проверяются в деятельности, и этот процесс можно назвать динамическим тестированием. Невозможно представить его (тестирование) другим, в частности, похожим на традиционное тестирование.

В учебном процессе, связанном с обучением учеников таким предметам, как математика, физика, химия и т.п., в которых двигательная активность учащихся не является основной формой проявления знаний, умений и навыков, динамическое тестирование, напротив, крайне затруднено. Компьютерные технологии дают новые формы работы с учебной информацией учащимся, позволяют создать виртуальные модели абстрактных объектов, манипулировать ими. Это позволяет преобразовывать умственную активность учащихся, которая в значительной мере скрыта от внешнего наблюдателя, в материализованную активность. Иначе го-

вора, ученик поставлен в такие условия, при которых, решая задачу, он должен манипулировать (преобразовывать) компьютерными моделями (образами). Тем самым создаются условия для реализации динамического компьютерного тестирования, которые включают в себя:

а) генератор заданий и соответствующую виртуальную среду с объектами, которые необходимы для выполнения заданий;

б) компьютерную систему управления деятельностью учащегося: систему слежения за «расстоянием» до цели;

в) программу, регулирующую интенсивность работы компьютерного механизма обратной отрицательной связи;

г) систему компьютерной записи информации о деятельности ученика при выполнении заданий и соответственно ее воспроизведения;

д) программу обработки записанной информации и интерпретации полученных данных об изменении учебной деятельности испытуемого.

Компьютерная система динамического тестирования управляет учебной деятельностью ученика через механизмы обратной связи. С точки зрения кибернетики ученик является управляемой системой и обладает способностью изменять характер своей учебной деятельности, переходить в различные состояния под влиянием управляющих воздействий.

Существует множество «траекторий» перехода системы (ученика) из одного состояния в другое. Компьютерное динамическое тестирование позволяет варьировать управляющие воздействия на ученика, выбирая из множества траекторий наиболее оптимальную. Необходимым условием наличия потенциальных возможностей к управлению учебной деятельностью ученика является его организованность, то есть наличие определенной внутренней структуры, целесообразности составляющих ее элементов и связей между ними.

§ 2.3. Поиск решения в проблемном пространстве задачи

В механике под движением понимают изменение положения тела в пространстве со временем. Однако существует более общая трактовка понятия движения, которая под движением понимает всякое изменение объекта во времени.

Движением называют, например, изменение температуры тела, изменение давления газа, процесс мышления, рост растений и т.д. В качестве другого примера можно привести движение, связанное с процессами усвоения учеником определенной суммы знаний об окружающем мире. Известно, что знания о фактах и предметах окружающего мира хранятся в памяти человека и часто называются *декларативными знаниями*.

Здесь мы рассмотрим *процедурное знание* – знание о том, как выполнять деятельность при решении тех или иных проблем. Сам процесс решения проблем (задач) тоже является движением. Мы рассмотрим решение проблем с точки зрения управления процессами обучения. В рамках педагогической кибернетики решение проблем является информационным процессом. Человеческое познание всегда подчиняется определенному намерению, направлено на достижение целей и устранение препятствий на этом пути.

В когнитивной психологии [10] выделяют три существенные особенности решения проблемы.

1. *Направленность на цель.*

2. *Разделение на подцели.* Сущность решения проблемы состоит в том, чтобы разделить первоначальную цель на подзадачи, или подцели.

3. *Применение оператора.* Разделение общей цели на подцели, для которых имеются операторы, которые могут помочь достигнуть эти подцели. Термин «оператор» относится к действию, которое преобразует одно состояние проблемы в другое. Решение всей проблемы является последовательностью этих операторов (действий).

Например, перед учеником стоит задача – преобразовать график функции $y = x$ в график функции $y = kx + b$. Для решения этой задачи у ученика имеются: 1) объект – прямая линия $y = x$; 2) возможности или операторы для поворота, инверсии и смещения этого объекта. Решая эту задачу, ученик разделяет первоначальную цель на три подцели: а) если $k < 0$, то совершить операцию инверсии; б) повернуть прямую $y = x$ на угол, соответствующий коэффициенту пропорциональности k ; в) сместить получившийся объект вдоль оси OY на величину b .

В компьютерном виртуальном пространстве алгебраических объектов применение операторов поворота и смещения объекта – прямой линии – производится с помощью управляющих кнопок (клавиш) компьютера.

Если ученик решает задачу преобразования графика прямой линии много раз, то этот процесс уже не является решением проблемы, а скорее выглядит так, как будто ученик выполняет известную ему процедуру. Это говорит о том, что все процедурное знание имеет происхождение в решении проблем (задач). Таким образом, «процедурное знание происходит из действий по решению проблем, в ходе которых цель делится на подцели, для которых у решающего проблему есть операторы» [10].

Если делать обобщение, то можно говорить о движении или процессе превращения декларативных знаний в процедурные знания при решении проблем или задач.

Выявим особенности движений обучаемой системы при решении проблем, которые затем будем использовать в дальнейшем.

Состояние обучаемого можно охарактеризовать совокупностью значений величин, характеристик, определяющих его поведение. Эти величины или характеристики позволяют сравнивать состояния учащихся одного ученика в различные моменты времени для выяснения его движения.

Существует множество способов описания состояний ученика. Можно, например, перечислять значение оценок $X_1, X_2, \dots, X_n$ по всем предметам в определенный момент времени и дать перечни их значений для фиксированных моментов времени. Последовательность состояний учащегося может быть представлена в виде таблицы. Например, это может быть журнал успеваемости или экран результатов тестирования.

Можно характеризовать состояние ученика графически. Причем это может быть семейство графиков, каждый из которых показывает изменение величин, характеризующих ученика в зависимости от времени.

Более удобный способ представления состояний и движения системы основан на понятии пространства состояний системы. В нашем случае системой является ученик. Понятно, что такая система, как ученик, является многомерной, и пространство состояний является сложным. До сих пор оно до конца не описано. Неясно, чему равна размерность пространства состояний ученика. Многие характеристики учащегося имеют качественный характер и не описываются количественно.

Пространство состояний ученика зависит от тех целей, которые необходимо достичь. Очень часто пространство состояний представляет собой совокупность интегрированных характеристик учащегося. Например, такая характеристика ученика, как успеваемость по тому или иному предмету, является некоторой интегрированной величиной. Она определяется информацией о множестве более детальных измерений пространства состояний учащегося. Пространство состояний ученика зависит от вида деятельности, которую он осуществляет в настоящее время, то есть ученик – это система, которая за время своего обучения переходит из одного пространства состояний в другое. При этом пространство состояний зависит от вида задач, которые решает

ученик. Размерность пространства состояний по мере того, как ученик продвигается по пути решения задачи, может уменьшаться или увеличиваться. Это будет зависеть от числа параметров задачи.

Часто пространство состояний ученика при решении проблемы описывают в терминах *проблемного пространства* [10], которое состоит из различных состояний проблемы. *Состояние* – это репрезентация проблемы на некотором этапе решения. Начальная ситуация решения проблем называется исходным состоянием, ситуация на пути к цели – промежуточными состояниями (или текущими состояниями), а цель – целевым состоянием. Существует много способов, которыми решающий проблему может изменить свое исходное состояние.

Различные состояния, которых может достигать решающий проблему, определяют проблемное пространство, или пространство состояний. Операторы решения проблемы могут рассматриваться как замена одного состояния в пространстве на другое. Определим размерность пространства состояний ученика как число операторов, которые необходимы для решения задачи, которую должен решить ученик. Если ученик знает решение задачи, то ему известны все необходимые параметры и операторы. В этом случае можно утверждать, что он по отношению к деятельности по решению такой задачи находится в определенном состоянии, которое фиксировано его знанием.

Проблемное пространство состояний ученика, определенное как совокупность параметров задачи, является **локальным** и может смениться другим пространством состояний. Это произойдет, когда перед человеком встанет другая задача, которая требует другой деятельности и соответственно описывается другими параметрами и операторами.

Проблема, с которой сталкивается ученик, состоит в том, чтобы найти некоторую возможную последователь-

ность операторов, меняющих исходное состояние на целевое состояние в проблемном пространстве. В примере, приведенном выше, с задачей преобразования графика линейной функции операторов, меняющих исходное состояние, три. Это оператор инверсии, оператор поворота графика функции и оператор смещения графика функции, параллельно себе вдоль оси ОУ. Если рассматривать проблемное пространство как лабиринт состояний, а операторы как дорожки для перемещения между этими состояниями, то действие операторов инверсии, поворота и смещения графика линейной функции должно сопровождаться выведением информации о промежуточных состояниях задачи. Решающий задачу преобразования графика функции должен найти соответствующую дорожку через лабиринт состояний. Эта концепция представляет решение проблемы как поиск в пространстве состояний.

Характеристика проблемного пространства состоит из набора состояний и операторов для перемещения между этими состояниями. Рассмотрим в качестве примера проблемное пространство все той же задачи преобразования графика линейной функции. Для этого наложим ограничения на возможные значения параметров задачи. Пусть коэффициент k принимает положительные и отрицательные значения – целые (1,2,3,...-1,-2,-3,...) и дробные (1/2, 1/3, 1/4 ...-1/2, 1/3, 1/4...). Параметр b принимает только целые значения. Такое ограничение, безусловно, обедняет множество состояний проблемного пространства, но одновременно позволяет выполнить условие машинного отслеживания процесса поиска решения. Итак, цель состоит в том, чтобы преобразовать график функции $y = x$ в график функции $y = -3x + 4$. Состояние будем обозначать (k, b) . Проблема состоит в том, чтобы выполнить преобразование

$$(1, 0) \longrightarrow (-3, 4).$$

Первое состояние $(1, 0)$ – это исходное состояние, а второе – целевое состояние. Из исходного состояния ученик может перейти в любое из пяти состояний, представленных на рис. 4.

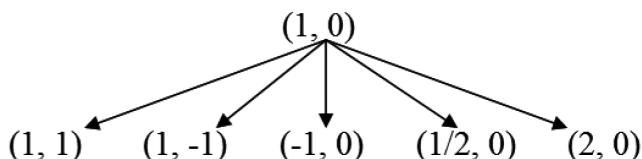
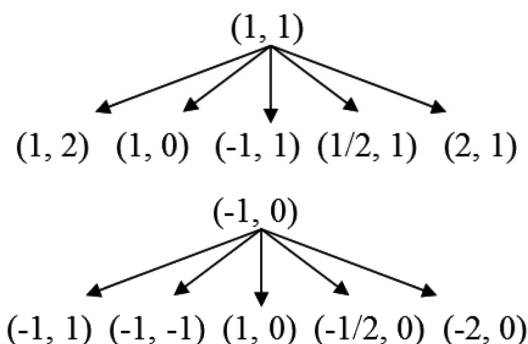


Рис. 4. Переход из исходного состояния

Из пяти состояний только три $(1, 1)$ и $(-1, 0)$ и $(2, 0)$ приближают ученика к целевому состоянию. Рассмотрим продолжение переходов из двух таких состояний:



Каждое из продолжений может как приближать текущее состояние к целевому, так и удалять. Цепочка состояний, через которые проходит ученик, решая задачу, образует траекторию в проблемном пространстве. Траекторий, приводящих к целевому состоянию за наименьшее число операций, может быть несколько. В рассматриваемом случае одна из возможных траекторий имеет вид (рис. 5).

$(1, 0) \rightarrow (-1, 0) \rightarrow (-2, 0) \rightarrow (-3, 0) \rightarrow (-3, 1) \rightarrow (-3, 2) \rightarrow (-3, 3) \rightarrow (-3, 4)$
 1 2 3 4 5 6 7

Рис. 5. Траектория в проблемном пространстве: 1 – оператор инверсии; 2, 3 – операторы поворота; 4, 5, 6, 7 – операторы смещения

Любая траектория, приводящая к целевому состоянию за большее число операций, содержит ошибочные действия, исправление которых приводит к увеличению совершаемых операций. Таким образом, ученик может верно решить задачу, то есть найти путь в лабиринте проблемного пространства от исходного состояния к целевому, однако при этом он может делать возвраты, исправляя ошибочные действия.

Представим, что у ученика возникла потребность научиться решать определенного рода задачи. Он начинает осуществлять эту потребность. При этом он входит в соответствующие этим задачам пространства состояний и осуществляет в них движения от исходного в целевое состояние.

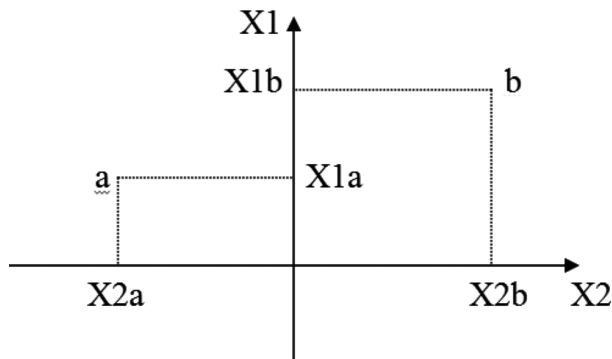
В рамках педагогической кибернетики, кроме **локальных** пространств состояний, у человека существуют **глобальное** пространство состояний и соответственно глобальные параметры, которые определяют его жизнедеятельность. Например, температура тела, кровяное давление, частота пульса, биотоки головного мозга. Управление движением системы «человек в пространстве глобальных параметров» осуществляют системы управления жизнеобеспечения человека, которые сформировались в результате длительной эволюции и естественного отбора.

Основной интерес для нас будут представлять ситуации, когда ученик входит в новое для него локальное пространство состояний и осуществляет в нем движение. Размерность локального пространства состояний определяется числом операторов и параметров задачи, которые описывают состояние проблемы.

В качестве примера рассмотрим ситуацию, когда ученик должен научиться преобразовывать график линейной функции $y = x$ в график функции $y = kx + b$. Число параметров задачи два k и b , то есть состояние проблемы определяется парой чисел (k, b) . Мы имеем двумерное, локальное пространство состояний задачи, которое соответствен-

но можно рассматривать как локальное пространство состояний ученика.

В процессе деятельности по преобразованию графика линейной функции ученик изменяет свое состояние. При этом либо самостоятельно, либо с помощью внешнего управления (учитель, компьютер) он выбирает оптимальную траекторию достижения конечного состояния. Для наглядного графического представления траектории движения системы «ученик» введем двумерное пространство параметров $X_1 = k$ и $X_2 = b$. Возьмем плоскость с заданной на ней прямоугольной системой координат (рис. 6).



*Рис. 6. Двумерное пространство состояний системы.
Показаны два состояния системы a ($X1a$, $X2a$) и b ($X1b$, $X2b$)*

Для случая когда состояние системы определяется значением трех величин, оно изображается точкой в трехмерном пространстве. Например, если ученик научается решать задачу преобразования квадратичной функции, $y = ax^2 + bx + c$, то число параметров задачи равно 3 и пространство состояний трехмерное.

Если обозначить через n размерность пространства, то при $n > 3$ теряется возможность наглядного представления состояния системы. Однако понятие расстояния между двумя точками сохраняется. Так, если расстояние между точками a и b в двумерном пространстве состояний равно

$$d = \sqrt{x_1^2 + x_2^2},$$

где $x_1 = X1b - X1a$, $x_2 = X2b - X1b$, то расстояние между точками a и b в n -мерном пространстве определяется как величина

$$d = \sqrt{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_n^2},$$

где $x_1 = X1b - X1a$, $x_2 = X2b - X2a$, ..., $x_n = Xnb - Xna$ равны длинам ребер n -мерного прямоугольного параллелепипеда. Таким образом, определенное пространство является евклидовым и для него справедливы все теоремы геометрии Евклида, например теорема Пифагора.

Таким образом, можно определить пространство состояний системы как пространство, в котором каждое состояние системы изображается определенной точкой. Число измерений пространства состояний равно числу независимых величин, определяющих состояние системы. Эти независимые величины называют степенями свободы системы. Точка, изображающая состояние системы, называется изображающей точкой. Ее координаты называют координатами системы.

В обучающихся системах локальные пространства состояний, как правило, конечны и дискретны. Координаты в них могут принимать лишь конечное число фиксированных значений. Утверждение, сделанное относительно локального пространства состояний обучаемого, основано на том, что, как правило, любая деятельность состоит из конечного числа операций или действий.

В случае дискретного пространства состояний изображающая точка может занимать лишь конечное число S положений:

$$S = s_1 \cdot s_2 \cdot s_3 \cdot \dots \cdot s_n,$$

где s_i – число дискретных состояний i -й координаты.

Если ученик решает задачу, то есть осуществляет деятельность (находится в движении), то значение изобража-

ющей координаты изменяется во времени. Изображающая точка изменяет свое положение в пространстве состояний, описывая некоторую траекторию. Эту траекторию можно рассматривать как траекторию деятельности ученика по решению задачи.

§ 2.4. Входные и выходные величины состояния обучающегося

«Движение системы – изменение ее состояния – может происходить под влиянием как внешних воздействий, так и в результате процессов, происходящих внутри самой системы». Система, которую мы рассматриваем, представляет собой ученика, обучающегося решать задачи, то есть осуществляющего учебную деятельность. Изменение состояния системы происходит под влиянием внешних и внутренних воздействий. В качестве внешних воздействий могут выступать: указания учителя, подсказки компьютера, крики на улице, шум в соседней комнате и т.п. Внутренние воздействия происходят в результате процессов, происходящих внутри системы – ученика. Это может быть: повышенное внимание, эмоциональный подъем, головная боль, голод или, наоборот, сытое состояние и т.п.

Внешние воздействия на систему можно разделить на существенные и несущественные. Например, сила притяжения Луны, скорее всего, несущественное воздействие на процесс решения задачи по математике, а вот подсказка учителя относится к существенному воздействию. Из множества внешних воздействий на ученика выбирают только существенные воздействия, то есть те, которые непосредственно влияют на состояние ученика. Эти внешние воздействия называют *входными величинами* или *входными воздействиями, переменными*. Элементы системы, к которым приложены входные воздействия, называют входами системы.

Часто оказывается целесообразным рассматривать в качестве выходных величин не координаты X , определяющие состояние системы, а некоторые другие величины Z , однозначно определяющиеся координатами этой системы.

Если вернуться к анализу понятия локального пространства состояний ученика, в котором координатами состояния являются параметры задачи, то из вышесказанного можно сделать вывод о том, что они опосредованно характеризуют состояние системы. Параметры задачи являются некоторыми функциями истинных координат ученика X , то есть:

$$Z_i = F(X) \quad (i = 1, 2, 3, \dots, l).$$

Управляемая система (ученик) может быть представлена в виде части S , преобразующей входные воздействия Y в координаты X , и набора функциональных преобразователей F , преобразующих координаты системы в выходные величины (рис. 7).

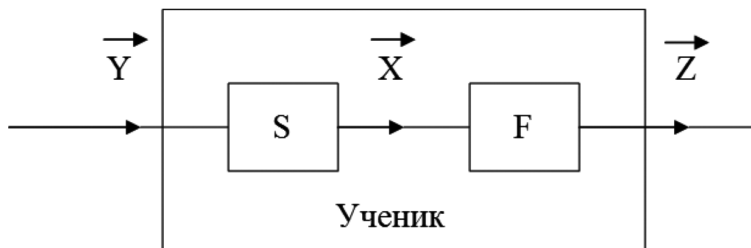


Рис. 7. Схема преобразования входных величин в выходные для ученика

Необходимость введения выходных величин, не входящих непосредственно в совокупность координат, определяющих состояние системы, возникает в тех случаях, когда задача управления состоит не в том, чтобы привести систему в заданное состояние, а в достижении целей, функционально связанных с состоянием управляемой системы. Например, цели управления познавательной деятельностью при динамическом тестировании состоят в том, чтобы ученик

выполнил задание, перешел в режим самостоятельного выполнения заданий и т.п. Ясно, что эти цели функционально связаны с состоянием управляемой системы.

Выходные величины – параметры задачи, их нужно отличать от координат, характеризующих состояние системы (ученика). В динамическом тестировании компьютер фиксирует изменение выходных величин – параметров задачи. При этом стоит проблема декодировки и установления связи между регистрируемыми выходными величинами и состоянием ученика.

Для решения задач управления познавательной деятельностью при динамическом тестировании необходимо различать два типа входных величин: *управляющие* воздействия и *возмущающие* воздействия.

К управляющим воздействиям относятся величины, значениями которых можно распоряжаться при управлении системой и которые можно изменять с целью осуществления движения, предпочтительного по сравнению с другими возможными движениями управляемой системы.

Например, для достижения полной самостоятельности ученика при решении учебных задач (или автономной стадии процесса формирования компетентности [10]) необходимо изменять частоту помощи, оказываемой ученику со стороны учителя или компьютера. Причем делать это нужно таким образом, чтобы цель была достигнута за наименьшее время и соответственно при минимальном числе выполненных заданий. Управляющим воздействием здесь является помощь, оказываемая ученику со стороны учителя или со стороны компьютера. К возмущающим воздействиям относятся воздействия на ученика, не относящиеся непосредственно к решению задач. Например, особенности компьютерной подачи информации, мерцание экрана дисплея и т.п.

Воздействие ученика на окружающую среду, включая компьютер, клавиатуру, мышку, экран монитора, память и т.д.

характеризуется значениями ее *выходных величин*. Совокупность выходных величин и их изменения определяют поведение системы; именно они позволяют внешнему наблюдателю оценивать соответствие движения системы (ученика) целям управления. Например, в динамическом компьютерном тесте [54; 55] цель представляет собой такой уровень самостоятельности выполнения заданий, который не требует оказания помощи ученику. Выходными величинами при работе с таким ДКТ являются действия или операции, производимые учеником с объектами задачи, расстояние до цели и т.д.

Изменение входных величин, как правило, вызывает изменение выходных величин. Однако это может проявляться не сразу. Действует эффект запаздывания, так как первые являются причиной, а вторые следствием.

Отметим, что возмущающие воздействия, влияющие на движение системы, могут иметь не только внешнее происхождение, но и внутреннее. Например, ученик устал работать с ДКТ, и эта усталость проявилась в изменении его качеств как исполнителя, то есть он перестал реагировать на управляющие воздействия.

§ 2.5. Операторы решения проблем.

Переходы обучающегося из одного состояния в другое

Движение обучаемой системы (ученика) можно рассматривать как цепь преобразований ее состояний. Можно предположить, что переход системы из состояния a_1 в момент времени t_1 в состояние a_2 в момент t_2 есть результат преобразования a_1, t_1 в a_2, t_2 . Изменение выходных величин обучаемой системы под влиянием изменений входных воздействий также можно рассматривать как их преобразование.

Преобразование одного объекта в другой можно рассматривать как результат действия на объект *оператора*. При этом объект, подвергнувшийся преобразованию, называют *операндом*, а результат преобразования – *образом*.

Преобразование объекта происходит тогда, когда *в результате воздействия оператора на операнд последний преобразуется в образ*. В следующем преобразовании образ становится операндом.

Последовательный переход системы в состояния $a_0, a_1, a_2, \dots$ происходит в результате действия оператора P . Переход системы из начального состояния a_0 в конечное a_n является результатом n -кратного воздействия оператора P , то есть:

$$a_n = P^n a_0.$$

Рассмотрим виды операторов, используемые человеком для решения задач или проблем. В когнитивной психологии [10] выделяется, по крайней мере, три способа приобретения новых операторов решения проблем. Один из них – открытие. Этот метод приобретения операторов мы рассматривать не будем. Второй метод – приобретение операторов решения проблем, когда нам кто-то сообщает о нем. По сути, это метод приобретения операторов через обучение. Поскольку он передается через сообщения, то есть требует наличия языка, то он наблюдается только у человека. Второй метод – приобретение операторов решения проблем через воспроизведение решений других. Этот метод приобретения операторов используется не только человеком, но и животными. Он основан на подражании и особенно характерен для обезьян. Эксперименты, которые проводили Рид и Болстан, показали, что изучение операторов на примерах эффективнее, чем прямая инструкция испытуемым. Указывается, что наиболее эффективно передача операторов происходит тогда, когда одновременно ученику дается словесное описание операторов и показывается пример их применения. По-видимому, информация, которая передается инструкцией, более понятна в контексте примера.

Таким образом, операторы решения задач могут быть приобретены через открытие, воспроизведение примера решения задачи или через прямую инструкцию.

В динамических компьютерных тестах-тренажерах [54; 55] (ДКТТ) обучаемому предоставляются возможности для манипуляций с виртуальными образами, аналогично тому, как в предметной области ученик может осуществлять различные манипуляции с предметами. В реальном мире человек манипулирует предметами, используя руки и различные вспомогательные средства (орудия труда, приборы и т.п.). В виртуальном компьютерном мире ученик манипулирует образами объектов (например, образами математических объектов), используя компьютерную систему управления – кнопки, клавиатуру и т.п. В динамических компьютерных тестах реализован механизм обратной связи, помогающий ученику отличать текущее состояние от целевого состояния. Компьютерная система слежения выводит на экран информацию о том, как далеко находится ученик от целевого состояния. Эта информация помогает ученику открыть необходимые для решения задачи операторы. В то же время это не исключает и остальные два способа приобретения операторов. Компьютерная система управления деятельностью ученика при решении проблемы может показать демонстрационный пример и дать ему соответствующую инструкцию.

В ДКТТ надо различать операторы двух видов. Первый – это операторы, которые приобретает ученик, совершая «открытия» методом проб и ошибок, с внешним подкреплением [70]. Вторые операторы P_y являются внешними по отношению к ученику и направлены на решение проблемы обучения ученика. Они представляют собой управляющие воздействия со стороны обучающей системы, которая может быть учителем или компьютером, а может быть и мозгом ученика. В последнем случае надо иметь в виду, что человек является самообучающейся системой.

Таким образом, операторы P_y или управляющие воздействия поступают к ученику как от компьютера или учителя (внешние сигналы), так и от мозга ученика (внутренние сиг-

налы). О явном виде оператора P_y мы ничего сказать не можем. Ясно лишь то, что он имеет нелинейный характер и результат его действия зависит не только от текущего состояния управляемой системы (ученика), но и от всех предыдущих состояний.

Если рассматривать отдельную выходную координату системы X как результат преобразования входной величины Y , то связь между ними можно записать в форме

$$Y = KX,$$

где K – оператор, характеризующий свойства рассматриваемой системы – ученика. Этот оператор можно изменять, варьируя информацию, подаваемую на экран дисплея компьютера, через обратную связь. При этом можно получать качественную информацию об операторах преобразования состояния ученика.

Как уже отмечалось выше, задача, которую решает обучающая система, состоит в том, чтобы перевести ученика из начального состояния незнания операторов решения проблемы в целевое, которое характеризуется тем, что ученик открыл систему операторов, решающих данный класс проблем.

В ДКТТ обучающемуся предоставляется возможность осуществлять деятельность по решению задач в виртуальном мире объектов, целевое состояние которых ему необходимо достигнуть. Для этого он (ученик) может осуществлять разнообразные манипуляции и преобразования этих объектов. Изначально для ученика закладывается возможность действовать методом проб и ошибок для достижения целевого состояния. При этом действия, которые приближают к цели, получают положительное подкрепление (поощрение, награда, перевод на более высокий уровень и т.п.). Действия или операции, которые удаляют от цели, получают отрицательное подкрепление (наказание, вычитание баллов, перевод на более низкий уровень и т.п.).

Это соответствует идеологии машинного обучения с подкреплением [70]. Она исходит из того, что человек обучается в процессе взаимодействия с окружающим миром. Основным механизмом обучения является обратная связь, благодаря которой человек получает информацию об эффективности своих действий для достижения тех или иных целей.

На примере взаимодействия с реальным миром можно проследить причинно-следственные связи, а также последовательность действия или операций, приводящих к реализации сложных целей. В книге Дж. Люгера [70] сказано: «Как интеллектуальные агенты люди вырабатывают политику своей деятельности в окружающем их мире. При этом “мир” выступает в роли учителя».

В ДКТТ создается виртуальный мир, в котором генерируются задачи определенного класса. При этом так же, как и в реальном мире, каждая новая ситуация (задача) в чем-то отличается от предыдущих задач. Ученику не сообщается напрямую, как поступить или какое действие совершить. Он на основе своего опыта узнает, какие действия приводят к наибольшему вознаграждению. Действия ученика определяются не только сиюминутным результатом, но и последующими действиями и случайными вознаграждениями. Эти свойства ДКТТ (метод «проб и ошибок» и подкрепление с задержкой) являются его основными характеристиками, так же как и машинного обучения с подкреплением [70]. Обучение в среде ДКТ не определяется конкретными методами обучения. Оно характеризуется действиями объекта (ученика) в виртуальной среде и откликом этой среды.

Динамическое компьютерное тестирование позволяет не только реализовать обучение с подкреплением, но и получать информацию о процессах переноса знаний об операторах с задач одного класса на задачи другого. Рассмотрим некоторые из этих процессов.

Аналогия и имитация

Можно определить аналогию как «процесс, с помощью которого решающий проблему отображает решение одной проблемы в решение другой» [35]. Например, Резерфорд использовал Солнечную систему в качестве модели строения атома, где электроны вращались вокруг ядра так же, как планеты вокруг Солнца. При любой аналогии нужно отображать элементы из источника на цель. Например, аналогия между кинетической и магнитной энергией представлена следующими парами отображений:

кинетическая энергия –	энергия магнитного поля
масса – m	индуктивность – L
скорость – v	электрический ток – I

Аналогия может использоваться для создания операторов решения проблем. Однако трудность состоит в нахождении соответствующих примеров, на основе которых путем аналогий можно получить операторы. При решении проблем, связанных с обучением, ученики используют схожесть как признак, на основе которого выбираются примеры для проведения аналогии.

Если мы с помощью ДКТТ «Преобразование графика линейной функции» сформировали у ученика операторы решения указанных проблем, то, предъявляя ученикам задачи по теме «Преобразование графика квадратичной функции», мы вправе рассчитывать, что он увидит аналогию в части преобразований и воспользуется ею для решения проблемы. ДКТ позволяет отследить и записать этот процесс переноса знаний операторов на применение их в аналогичных задачах или подзадачах.

Правила продукции

В когнитивной психологии создан целый ряд способов для формального представления операторов решения проблем. Наиболее удачным из них является конструктор, извест-

ный как *системы продукций*. Системы продукций состоят из набора правил продукции, которые служат правилами решения проблемы. Правило продукции состоит из цели, некоторых прикладных тестов и действия. Например, правило продукции графического метода решения уравнения $f(x) = 0$ представляет собой следующее утверждение.

Если цель состоит в том, чтобы графически решить уравнение $f(x) = 0$,

и построен график функции $y = f(x)$,

и график пересекает ось OX ,

то определите корни как координаты точек пересечения графика с осью OX .

Правило продукции делится на условие («если») и действие («то»). Условие состоит из формулировки цели (графически найти корни уравнения) и некоторых тестов для определения того, применимо ли данное правило.

Правило продукции обладает следующими свойствами.

1. *Обусловленность*. Правило продукции говорит о том, когда оно должно быть применено и что при этом надо делать.

2. *Модульность*. Общая компетентность в решении проблем разбита на множество правил продукции (модулей) по одному на каждый оператор.

3. *Абстрактность*. Каждое правило применяется к классу ситуаций (задач).

Правила продукции – это закодированные операторы решения проблем, отражающие характер навыка решения проблем после того, как он будет хорошо освоен.

Выбор оператора

При решении задачи ученик может применять различные операторы решения проблем, и главная задача состоит в выборе нужного оператора. Как указано, существуют три критерия, которые используют люди для выбора оператора. Самый простой критерий состоит в том, что люди избегают

операторов, которые уничтожают результаты предыдущих операторов. «Избегание повтора» не управляет выбором операторов. Оно настраивает решающего задачу против любого оператора, который возвращает его к предыдущему состоянию, но не дает никаких оснований для выбора из оставшихся операторов. Люди склонны выбирать неповторяющийся оператор, который уменьшает самое большое различие между их текущим состоянием и целью.

Уменьшение различия между текущим состоянием и целевым состоянием – это общий принцип поведения, который объясняет поведение многих живых существ, в том числе и человека. Именно поэтому в компьютерной системе ДКТТ [110] предусмотрена возможность получать информацию о величине различия. Для этого в ДКТТ имеются модуль слежения за текущим состоянием и соответствующая система вывода информации о расстоянии до цели. В [70] приводится пример с цыпленком, у которого действуют принципы уменьшения различия и избегания повтора, но нет принципа выбора операторов. В результате цыпленок не может решить проблемы дойти до пищи, если на его пути стоит забор. Проблема в том, что цыпленок не может выбрать или создать новое средство для решения проблемы. Животные с более высоким уровнем развития имеют все три механизма выбора оператора, которые включают в себя: анализ средств и целей и, соответственно, возможный выбор нового оператора; метод избегания повтора; метод уменьшения различия.

Уменьшение различия иногда называют восхождением на холм. Если вообразить цель в виде высоко расположенной точки на поверхности земли, то один из способов достичь цели – идти все время вверх. При этом можно подняться на холм (локальный максимум) и оказаться в состоянии фрустрации и недоумения: все время приближались к цели и вдруг оказались в состоянии, из которого можно выйти,

только удаляясь от цели. Таким образом, метод уменьшения различия между текущим и целевым состояниями страдает недостатком, который состоит в том, что он оценивает только следующий шаг, а не дает оценку перспективы достижения цели. Иногда правильное решение включает в себя увеличение различий между текущим состоянием и целью.

Анализ средств и цели является попыткой найти более общий подход, к решению проблемы. Этот метод широко изучали Ньюэлл и Саймон [4], которые использовали его при создании в компьютерной программе «Универсальный решатель задач».

Универсальный решатель задач базируется на методе анализа, основанном на классификации вещей в терминах их функций и сопоставлении целей, требуемых функций и средств их реализации [4]. Анализ средств и целей может рассматриваться как более сложная версия принципа уменьшения различия, но анализ средств и целей не отказывается от оператора, если его нельзя применить немедленно. Существенной особенностью анализа средств и целей состоит в том, что он сосредоточен на использовании блокированных операторов. Средство временно становится целью. Общая особенность анализа средств и целей состоит в том, что он разбивает большую цель на подцели.

ГЛАВА 3.

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ОБУЧЕНИЯ

§ 3.1. Моделирование взаимодействия учителя и обучающегося

Понятие модели является фундаментальным понятием, определяющим методологию изучения поведения ученика как кибернетической системы. Основоположники кибернетики Н. Винер и А. Розенблутт определили моделирование как «изображение, представленное в определенном свете» [5]. Модель позволяет изучать те или иные стороны реального объекта или процесса, когда реальный объект представляет собой очень сложную систему либо недоступен для непосредственного изучения.

Представляется важной и актуальной проблема получения новой информации об особенностях процесса обучения на основе его моделирования. Полученную информацию можно использовать для построения более точных и совершенных теорий процесса обучения.

Компьютерные системы динамического тестирования позволяют организовать взаимодействие двух систем управления учебной деятельностью обучающегося. Это компьютерная система управления и собственная система управления тестируемого. Информация, отражающая это взаимодействие, может дать новые сведения о свойствах процесса учебной деятельности и соответственно приблизить модельные представления к оригиналу.

Понятие модели основывается на сходстве двух объектов. Сходство может быть чисто внешним, оно может относиться к внутренней структуре объектов, совсем не похожих внешне друг на друга. Объекты могут походить друг на друга по поведению, но совершенно быть различными по форме и по структуре. В книге А.В. Лернера [68] «Основы кибернетики» приводится следующее определение: *«Если между двумя объектами может быть установлено сходство хотя бы в каком-либо одном определенном смысле, то между этими объектами существуют отношения оригинала и модели».*

Динамические компьютерные тесты являются моделью деятельности учителя. Системы «учитель – ученик» и «компьютерный динамический тест – ученик» имеют отношения оригинала и модели. Сходство между объектами учитель – ученик и ДКТ – ученик должно быть не по форме и структуре, а по деятельности, точнее, по похожести взаимодействий между учителем и учеником и между компьютерной системой динамического тестирования и учеником. Компьютерная система динамического тестирования должна, так же как и учитель, решать задачу распознавания текущего состояния ученика в процессе выполнения задания и реагировать подобно учителю. Кратко рассмотрим некоторые аспекты взаимодействия учителя с учеником.

Как решает задачу распознавания состояния ученика учитель? Понятно, что он это делает далеко не совершенно. Но задачу отслеживания процесса выполнения задания квалифицированный учитель делает достаточно хорошо. При этом он соответственно реагирует как на ошибочные, так и на правильные действия ученика.

Реакция учителя на совершенную учеником ошибку чаще всего связана с тем, что учитель оказывает помощь ученику в исправлении ошибки. Это соответствует механизму отрицательной обратной связи, когда управляющая систе-

ма «учитель» оказывает управляющее воздействие на ученика, позволяющее ему исправить ошибку. Учитель может похвалить ученика за правильные действия по решению задач. В этом случае обратная связь между учителем и учеником положительная. Она усиливает стремление ученика осуществлять учебную деятельность без ошибок, правильно.

По мере того как ученик совершенствуется в решении конкретного типа задач, учитель все реже и реже вмешивается в процесс решения. При этом управляющие воздействия становятся ненужными. Конечной целью взаимодействия учителя с учеником в процессе обучения является полная самостоятельность последнего от учителя. Другими словами, задача учителя состоит в формировании компетентности ученика в решении задач.

При достижении этой цели обучающийся опирается полностью на собственный центр управления и не нуждается в учителе. Однако учитель некоторое время продолжает отслеживать процесс решения задач учеником с тем, чтобы убедиться, что цель достигнута. По окончании учебного процесса учитель должен закрепить успех обучающегося через положительную обратную связь.

Вообще говоря, под моделированием понимают исследование объектов или процессов на их моделях. Это означает, что мы должны: во-первых выделить объект, который собираемся моделировать, во-вторых, специально создать объекты-модели, по своим определенным характеристикам сходные с реальными объектами (процессами и т.п.), подлежащими изучению. Как указывается в [79], понятие «моделирование» имеет как минимум три значения: 1) метод познания объектов через их модели; 2) процесс построения этих моделей; 3) форма познавательной активности. Трудно не согласиться с утверждением, что «Моделирование в определенной степени является разновидностью абстрактно-логического познания» [32].

В основу моделирования поведения компьютерной системы, осуществляющей динамическое тестирование, должны быть заложены следующие свойства:

а) отслеживание и запись процесса выполнения учеником заданий;

б) распознавание текущего состояния ученика и его корректировка через механизмы обратной (отрицательной и положительной) связи;

в) целенаправленное изменение режима функционирования обратной связи с учетом достижений испытуемого;

г) возможность воспроизведения с целью анализа процесса учебной деятельности ученика и последующего изменения программы работы механизмов обратной связи.

Для того чтобы компьютерная система обладала вышеперечисленными свойствами, необходимо [54; 55], чтобы у нее была полная информация не только о заданиях, но и об их решениях. Только в этом случае работа компьютерной программы динамических тестов может обладать сходством с поведением учителя при взаимодействии с учеником.

Это может быть достигнуто в двух случаях. В первом случае компьютер «научен» решать задачи, то есть распознавать ситуации и добиваться без вмешательства человека решения задачи. Во втором случае компьютер генерирует задачу вместе с ее решением, то есть он (компьютер) не распознает ситуацию, а сразу знает и задачу и ее решение, так как генерирует и то и другое.

Известно, что достаточно много усилий потрачено на то, чтобы разработать программы, которые могли бы распознавать условие задачи, составить план решения и реализовать его [89]. Однако использовать эти программы в учебном процессе часто бывает невозможно, если не построена модель взаимодействия учителя с учеником и не создана соответствующая компьютерная обучающая программа.

§ 3.2. «Черный ящик» как модель обучающегося

Какая бы подробная модель и соответствующая программа взаимодействия учителя с учеником не была разработана, реальность все равно гораздо сложнее. В динамическом компьютерном тестировании объектом исследования и управления является обучаемый в том смысле, что изучаются особенности его познавательной деятельности. Он является системой, в которой внешнему наблюдателю доступны лишь входные и выходные величины. Выводы об особенностях протекания познавательных процессов в системе «ученик» можно сделать, наблюдая лишь реакции выходных величин на изменение входных. Системы, обладающие такими свойствами, называются «черными ящиками» [68].

Компьютерная система динамического тестирования позволяет автоматизировать процесс записи реакций выходных величин на изменение входных. Это открывает дополнительные возможности **объективного изучения** особенностей протекания познавательной деятельности учащихся при решении задач. При этом надо иметь в виду, что ученик и процесс обучения – слишком сложные системы для того, чтобы можно было вывести их поведение и закономерности из анализа составных частей системы и структуры связей между ними.

Рассмотрим формальную кибернетическую схему анализа модели «черного ящика». Пусть поведение системы (ученика) определяется входными воздействиями $Y_1, Y_2, \dots, Y_m$ и выходными воздействиями $X_1, X_2, \dots, X_n$ (рис. 8).



Рис. 8. Ученик – «Черный ящик»

«Наблюдая достаточно долго за поведением такой системы (система это ученик) и выполняя некоторые активные эксперименты над системой, можно достичь такого уровня знаний особенностей и свойств системы, чтобы иметь возможность предсказывать движение ее выходных координат при любом заданном изменении на входах» [68].

В нашем случае ученик играет роль черного ящика. Динамический компьютерный тест – это средство, которое организует взаимодействие учебного материала с учеником. Он позволяет снимать информацию о входе и выходе. И при этом не пассивно наблюдать за ходом деятельности ученика, а активно воздействовать на него, изменять и изучать его поведение.

Надо иметь в виду, что ученик – это не просто аналог технической кибернетической системы. Ученик – это динамично развивающаяся система. Она имеет свойства относительно инвариантные и свойства, которые достаточно быстро изменяются. Более того, вследствие обучения изменяются внутренняя структура и внутренние системы управления. Эти обстоятельства говорят о том, что ученик – это «черный ящик» с изменяющейся «начинкой». Поэтому при изучении такого «черного ящика» надо иметь в виду два аспекта исследования ученика. Первый аспект – это исследование свойств «черного ящика» на данный промежуток времени. При этом необходимо различать инвариантные свойства и свойства, которые активно изменяются в процессе обучения. Стоит заметить, для изучения инвариантных свойств системы «ученик» существуют хорошо зарекомендовавшие себя методы, разработанные в традиционной педагогике и психологии. Второй аспект связан с изучением динамики изменения свойств «черного ящика».

Если рассматривать ученика как кибернетическую систему, то исследование динамики свойств системы «ученик» обусловлено тем, что ученик является саморазвивающейся

системой. Это обстоятельство и то, что учащийся при данном способе изучения его свойств по-прежнему остается «черным ящиком», не позволят нам (как бы мы детально не изучали свойства и качества ученика) вывести обоснованного суждения о его внутреннем устройстве. Это связано с тем, что одним и тем же поведением могут обладать различные системы. Поскольку аналогов живым системам – ученикам – в природе нет, то, говоря о различных системах с одним и тем же поведением, мы имеем в виду различных учащихся, то есть одинаковое поведение различных учеников не означает, что у них одинаковое «внутреннее устройство». По «внутреннему устройству» они могут отличаться, тем не менее они будут одинаково реагировать на внешние воздействия, другими словами, вести себя как изоморфные системы.

Таким образом, с учетом индивидуальной неповторимости людей динамическое компьютерное тестирование дифференцирует учеников с точностью до их изоморфизма.

Среди координат системы, определяющих ее состояние, могут быть более существенные и менее существенные по отношению к задаче, решаемой исследователем этой системы. Поэтому возникает вопрос об упрощении модели. Упрощение модели может достигаться за счет исключения несущественных координат. Тогда вместо исходной модели A с размерностью состояний n мы получим более простую систему B с размерностью пространства состояний $n' < n$. При этом каждому состоянию системы A будет соответствовать одно состояние системы B . Однако взаимно-однозначного соответствия не будет. Каждому состоянию системы B будет соответствовать целое множество состояний системы A . Они будут иметь один и тот же набор существенных, но разные наборы несущественных координат.

Упрощение исходной системы может быть произведено за счет объединения некоторого множества состояний в одно. Например, это возможно за счет перехода от рассмо-

трения всех возможных положений изображающей точки в пространстве состояний к рассмотрению принадлежности ее к той или иной области, на которые разбивается пространство состояний.

Система В, полученная из исходной системы А путем ее упрощения (за счет уменьшения числа рассматриваемых координат или более грубой оценки ее значений), называется гомоморфной, или упрощенной, моделью системы А.

Надо отметить, система А не гомоморфна системе В. Систему В можно трактовать как модель системы А, которая является оригиналом.

В связи с вышесказанным возникает вопрос, имеем ли мы при компьютерном моделировании взаимодействия ученика с учителем гомоморфную модель системы или модель не гомоморфная оригиналу? Ответ, на наш взгляд, однозначен. Компьютерная модель гомоморфна оригиналу. Однако в связи со сложностью системы в моделировании гомоморфной модели есть неоднозначности и бездоказательная произвольность в выборе существенных координат.

Безусловно, что в компьютерной модели взаимодействия учителя с учеником учитываются не все координаты. Полагается, что часть координат состоит из несущественных координат. Более того, те координаты, которые учитываются в модели и считаются существенными, выбраны априори без доказательств. В основе выбора лежат интуитивные, достаточно общие соображения. Эффективность упрощенной компьютерной модели взаимодействия учителя с учеником или модели распознавания поведения ученика может быть получена только лишь из эксперимента.

§ 3.3. Моделирование процесса обучения

В познавательном процессе модель рассматривается как нечто, что замещает исследуемый объект, являясь посредником между ним и исследователем. Такое замеще-

ние возможно, если модель является в той или иной мере аналогом изучаемого объекта. В работах [9; 17; 43; 88; 89; 114] выделяются три вида аналогий: 1) как сходство отношений – изоморфизм, то есть полное подобие или взаимно-однозначное соответствие элементов и структур двух объектов; 2) как гомоморфизм, то есть частичное подобие, при котором обратимости соответствия нет; 3) неполная аналогия.

Моделирование как познавательный метод (§ 3.2) предполагает наличие аналогии, когда между моделью и ее прототипом есть и сходства и отличия («сущность аналогии – неполнота»). Основными отличительными особенностями модели от исследуемого объекта являются ее меньшая сложность по сравнению с объектом и наглядность. Подобие заключается:

- а) в сходстве объективных характеристик (пространственных, временных, информационных и т.д.);
- б) в функциональном сходстве;
- г) в тождестве математического описания «поведения» объекта и модели (аналоговые модели).

Исследуя модель, получают новое знание об изучаемом объекте.

Модели могут выполнять следующие функции.

На эмпирическом уровне:

- 1) реконструирующая (воссоздание качественной специфики объекта);
- 2) измерительная (получение количественных характеристик объекта);
- 3) описательная (обеспечение наглядности и понятности).

На теоретическом уровне:

- 1) интерпретационная (объяснение, обобщение и исчерпывающее описание);
- 2) прогнозирующая (предсказание поведения объекта – прототипа);

3) критериальная (проверка истинности, адекватности знаний об объекте);

4) эвристическая (способствующая генерированию новых идей и гипотез относительно изучаемого объекта и связанных с ним других объектов реальности).

На практическом уровне:

1) познавательно-иллюстрирующая;

2) обучающая;

3) развлекательно-игровая.

В науке предложено множество видов классификаций моделей.

Приведем наиболее существенные классификации моделей [30; 32].

По способу реализации: вещественные; знаковые; образные; ситуационные.

По характеру воспроизводимых сторон оригинала: субстанциональные; структурные; функциональные; смешанные.

По полноте представления объекта: полные; неполные.

По области знаний: технические; социальные; биологические; психологические; педагогические и др.

При компьютерном моделировании процесса взаимодействия учителя с учеником, при обучении последнего процессу решения задач реализуются ситуационные модели [110].

Ситуационная модель – это искусственное представление реальных обстоятельств существования естественного объекта, обуславливающих его появление, развитие и функционирование. В нашем случае под естественным объектом понимается процесс научения ученика решению задач. Компьютерное моделирование воссоздает реальные обстоятельства взаимодействия учителя с учеником и носит провоцирующий и целенаправленный характер. Модель имитирует не сам изучаемый объект (или предмет), а условия его существования.

В педагогике и психологии с помощью ситуационных моделей провоцируется и стимулируется процесс научения ученика решению того или иного типа задач. Ситуационные модели в ДКТ представляют собой некоторую компьютерную среду, в которой генерируются случайные последовательности задач. Ученик должен научиться решать эти задачи, совершая операции или действия в соответствующей области знаний. Для этого задачи представлены в виде компьютерных моделей.

Ситуационные модели динамических компьютерных тестов совмещают в себе признаки вещественных, знаковых моделей. С вещественными моделями их сближает материально-физический характер обстановки. В ДКТ ситуационные модели носят виртуальный материально-физический характер, то есть деятельность ученика по решению задач носит материализованную форму. Со знаковыми моделями – их сигнальное значение для «включения» и развития определенного поведения ученика. В ДКТ это поведение связано с процессом решения задач.

§ 3.4. Информационная модель обучающегося и компьютерное динамическое тестирование

В качестве основы построения информационной модели процесса обучения возьмем кибернетическую модель интеллектуальной системы [70]. Согласно кибернетике всякая система имеет целью своего существования сохранить себя как таковую. Иначе говоря, имеет цель выжить. Для достижения этой цели у системы должен быть управляющий центр, куда поступает информация об изменении состояния системы в ходе того или иного процесса, в котором участвует система, то есть в системе должна быть налажена отрицательная обратная связь с центром управления. Управляющий центр должен своевременно фиксировать нежелательные отклонения от оптимальной траектории процесса, в ко-

тором участвует система, и принимать решения, позволяющие системе устранять эти отклонения, то есть контролировать жизнедеятельность системы. Таким образом, в системе должен быть налажен циркулирующий поток данных о процессе жизнедеятельности.

С точки зрения процесса тестирования компьютерной моделью ученик выступает в роли объекта. Блок программы, генерирующий задания, можно рассматривать как окружающую среду, в которой объект существует и от которой поступает информация о заданиях. Ученик-объект выполняет эти задания, при этом его основная цель состоит в том, чтобы выжить, то есть правильно выполнить задание, выйти на более высокий уровень самостоятельности в алгоритмической деятельности, уложиться в нормативное время, набрать определенное количество баллов и т.п. Если ученик в результате работы с ДКТ допустит фатальные ошибки, не удовлетворит критическим нормативам, то «локально» в рамках этого теста он, образно выражаясь, «погибнет». Особенно ярко это проявляется в профессиональных тестовых испытаниях для летчиков, шоферов, при отработке навыков поведения в нештатных ситуациях.

В ДКТ для управления, контроля и диагностики процессом обучения должен быть блок программы, играющий роль центра управления. В специальный файл должна поступать оперативная информация о ходе выполнения очередного задания. Блок управления обрабатывает эту информацию и принимает управляющие решения, которые в зависимости от величины коэффициента обратной связи сообщаются ученику с той или иной частотой. Ученик должен скорректировать отклонения в направлении правильного выполнения следующих заданий.

Надо отметить, что ученик – это не просто объект, поведением которого управляет компьютер, а система с собственным центром управления и аналитическим центром,

так называемым тезаурусом. Как известно из психолого-физиологических исследований [41], за оперативное управление поведением человека отвечает левое полушарие мозга, а память, жизненно важный опыт, система ассоциаций, способности человека делать прогноз лежат на правом полушарии мозга.

Согласно модельным представлениям когнитивной психологии [9; 10], информация, прежде чем поступить в мозг, проходит через «семантический фильтр». Если информация жизненно важна для человека, то она преобразуется в образы, обогащает структуру понятий и встраивается в систему долговременной памяти.

Поскольку память связана с системой взаимосвязанных образов, то можно высказать гипотезу, что информация, образующая тезаурус человека, представлена в виде образов. Эта жизненно важная информация, постепенно накапливаясь, изменяет информационную структуру или матрицу человека, что позволяет ему перейти на новый уровень развития, то есть реализовать принцип саморазвития. Переход на новый уровень развития происходит с изменением характера оперативного управления, изменением работы левого полушария мозга. Уровень самосохранения системы при этом становится выше, так как прогностическая способность системы, ее тезаурус качественно изменились.

Таким образом, у человека как живой открытой системы существует два контура циркуляции информации (рис. 9). В первый контур, который открыт для окружающей информационной среды, поступает вся внешняя информация. Человек действует, принимая решения на основе этой информации. Отрицательная обратная связь с оперативным центром управления позволяет человеку корректировать последствия своих действий, поступков. Любое отклонение, угрожающее самосохранению индивида, учитывается и устраняется. Это делается на основе информации, по-

ступившей из внешнего мира. При этом в левом полушарии мозга человека вырабатывается новая информация, которая в виде управленческих решений (команд) и начинает свой круговорот в первом контуре.



Рис. 9. Информационная модель обучающегося

Второй контур циркуляции информации является внутренним. В нем, как мы иногда говорим, «прокручиваются мысли в голове». Чтобы попасть во внутренний контур из внешнего контура, информация должна пройти семантический фильтр. Эта информация имеет образный характер, она встроена в систему понятий и определяет уровень развития человека.

Учитель как организатор учебного процесса является центром управления деятельности ученика. Сам учебный процесс можно условно рассматривать как процесс циркуляции потока данных между учителем и учеником, т.е. если в информационную модель ученика включить учителя, то у ученика, кроме внутреннего центра оперативного управления учебной деятельностью, появится еще и внешний центр – учитель.

Существенно то, что учитель всегда играет две роли: первая роль заключается в том, что он является носителем учебной информации, которую передает ученику; вторая (возможно более важная) – состоит в том, что учитель выступает как центр управления, контроля и диагностики учебного процесса [12]. Вторую роль учитель начинает выполнять эффективно, если с точки зрения кибернетики существует отрицательная обратная связь между ним и учеником. Если отрицательная обратная связь отсутствует или ее механизмы несовершенны, то информация об учебном процессе, о нежелательных отклонениях в обучении ученика недостоверна или неполна. Учитель как внешний управляющий центр не контролирует учебный процесс, не дает своевременной диагностики и соответственно не принимает правильных управленческих решений.

Таким образом, принципиально важно наладить непрерывный поток данных не только от учителя к ученику, но и от ученика к учителю. Особенно это важно на начальной стадии обучения, когда собственные механизмы управления, контроля и диагностики, завязанные на внутренний центр управления, у ученика не отлажены. По мере совершенствования этих механизмов ученик приобретает навыки самостоятельного обучения. В итоге, как у родившегося ребенка перерезана пуповина, соединяющая его с матерью, так и у ученика на определенном этапе обучения теряется связь с учителем и он становится полностью самостоятельным в учебной деятельности, а также в управлении, контроле и диагностике самообучения (самообразования).

Надо отметить, что на первоначальной стадии обучения роль учителя состоит не только в передаче знаний, управлении и контроле над процессом обучения. Очень важно, что к процессу обучения учитель подключает свой внутренний контур, свой тезаурус, опыт и делает прогноз будущих перспектив развития ученика. Это позволяет учи-

тельно своевременно изменять тактику оперативного управления учебным процессом, вносить принципиальные коррективы, важные для будущего развития личности ученика.

Для принятия этих решений чрезвычайно важной является не только информация об учебном процессе (знает – не знает, умеет – не умеет и т.д.), но и психолого-педагогическая информация об ученике. Для создания потока этой информации в первом внутреннем контуре учителя существенное значение имеют все формы взаимодействия учителя с учеником (воспитательная работа, неформальное общение с ними и т.д.).

Информация, существенная для учителя как воспитателя и предметника-профессионала, попадает во второй внутренний контур, изменяет структуру ментального пространства у учителя, обогащает ее. Эта информация позволяет: во-первых, совершенствоваться профессионально (саморазвиваться); во-вторых, принимать управленческие решения с учетом прогноза на будущий ход развития личности, даже на тот временной промежуток, когда учебный процесс, в котором задействованы две стороны – учитель и ученик, прекратился.

Тот факт, что ученик в процессе взаимодействия с учителем может пользоваться его опытом для планирования своей жизненной траектории, является самой главной отличительной чертой в сравнении с взаимодействием ученика с обучающими компьютерными системами. Во взаимодействии с обучающими компьютерными системами ученик может рассчитывать только на свой тезаурус, который, вероятнее всего, у него несовершенен и находится в стадии становления. Поэтому роль учителя даже при наличии совершенных компьютерных систем обучения останется чрезвычайно важной, именно в этом плане.

Это связано с тем, что только человеку свойственны ассоциативность в мышлении и эмоциональная мотивиров-

ка деятельности. Чувства невозможно запрограммировать, а именно они базируются на информации, циркулирующей во втором контуре и хранящейся в долговременной памяти.

Однако функции первого контура оперативного управления текущей информацией и коррекции отклонений от заданного режима выполнения заданий, накопление информации, её хранение и переработку с целью выделения и анализа существенных изменений в ходе учебного процесса компьютер может взять на себя. Изложим основные моменты, связанные с организацией взаимодействия ученика и компьютера при создании динамических компьютерных тестов [54].

В любом виде профессиональной деятельности существуют определенные навыки и умения, требующие автоматизма в их выполнении. Этот автоматизм, когда не требуется отслеживания каждой операции или действий, достигается путем выполнения тренировочных упражнений. ДКТ можно рассматривать как компьютерный вариант тренировочных упражнений [49]. При этом имеются существенные отличия от серии обычных тренировочных заданий.

Во-первых, при тестировании в системе ДКТ задания практически не повторяются. Этим достигается индивидуальный характер выполнения тестовых упражнений. Делается это с помощью приема рандомизации параметров задания. Во-вторых, в компьютерном варианте задания имеют интерактивный характер, то есть учащийся при выполнении заданий может манипулировать виртуальными объектами, преобразуя их.

В-третьих, в компьютерном варианте информация подается полимодальным способом. При этом задействованы все каналы восприятия информации. Это цветовое оформление виртуальных объектов, звуковые эффекты и т.п.

В отличие от традиционных тестов, ДКТ имеют возможности создания диалога между учеником и компьюте-

ром. Эмоциональная окраска ДКТ поддерживает работоспособность учеников в течение достаточно длительного времени. При этом компьютер ведет протоколы (записи), в которых фиксируются успехи и неудачи ученика при выполнении тестовых заданий. Тестирование можно проводить как в индивидуальном порядке, так и фронтально.

Для компьютерной разработки ДКТ нужно вначале написать сценарии тестовых заданий. Затем разработать алгоритм, реализующий сценарий и составить программу. В качестве примера приведем сценарий тестового задания по алгебре.

В окне заданий выводится линейная функция $y = k \cdot x + b$. Ученик должен выполнить следующие задания:

а) преобразуя объект-график $y = x$, сконструировать график $y = k \cdot x + b$;

б) решить уравнение $k \cdot x + b = 0$ (с указанием не только численного значения корня, но и его положения на числовой оси с помощью объекта-точки, который ученик может перемещать вдоль оси OX);

в) решить неравенство $k \cdot x + b > 0$ или $k \cdot x + b < 0$. Неравенство ученик решает с помощью компьютерной штриховки соответствующего луча числовой оси.

Задания, реализуемые в ДКТ, органично вписываются в деятельностный подход [39; 40; 99].

Рассмотрим основные программные блоки компьютерной модели ДКТ. Первый блок отвечает за генерацию заданий. Возможны различные режимы работы этого блока. Основных можно указать два. Первый режим – генерация заданий и организация обратной связи осуществляются без учета предыстории выполнения предыдущих заданий. Это система генерации заданий без адаптации к уровню достижений ученика. Такая система ближе к реальной жизни, где ученику придется решать проблемы, поставленные жизнью,

которая, вообще говоря, не учитывает уровень его готовности к решению проблем.

Второй режим генерации заданий и организации обратной связи адаптивный. В этом режиме для каждого задания устанавливается обратная связь (помощь) с учетом уровня, достигнутого данным учеником. Тем самым реализуется дифференцированный подход к учащимся, который «...предусматривает не снижение сложности и объема заданий для слабоуспевающих, а прежде всего усиление текущей помощи им...» [15; 98]. При этом ученик избегает экстремальных ситуаций и его уровень постепенно растет.

Второй блок программы ДКТ отслеживает процесс выполнения заданий учеником, записывает в память машины информацию о результатах работы ученика и по заданным правилам делает компьютерный анализ процесса обучения. Этот блок, по сути, является центром управления идущей от ученика информации и реализует принцип обратной связи. Обратная связь необходима для управления, контроля и диагностики процесса тестирования на основе ДКТ.

Вопрос о том, какая информация должна считываться компьютером при выполнении задания, зависит от тех целей, которые ставит разработчик ДКТ. Самая примитивная информация – это информация о том, правильно или неправильно выполнено очередное задание. Количественно эта информация может быть выражена, например, так: правильно – 1, неправильно – 0. Информация накапливается в памяти машины в специальном файле, и поскольку тренажер подразумевает несколько сеансов работы с ним, то она позволяет отследить динамику процесса обучения в зависимости от номера сеанса. В ходе тестирования эта информация в обязательном порядке должна сообщаться ученику, причем не в конце работы с тренажером, а непосредственно после каждого задания.

Нами был проведен педагогический эксперимент в Туринской школе Эвенкийского округа, когда школьникам 9 классов было предложено работать с ДКТ по алгебре и никакой текущей информации о том, правильно или неправильно выполнил ученик задание, ему не сообщалось. Ученик мог узнать итог работы с ДКТ только по окончании тестирования. Количество заданий в тренажере 10. Результат был такой, что из 30 испытуемых всего лишь 3 ученика работали с ДКТ, проявляя интерес. Остальные либо отказывались работать с ДКТ, либо работали без интереса и видимых успехов. Это говорит о принципиальной важности обратной связи и создании «контура» постоянно циркулирующей оперативной информации.

Если целью является повысить диагностические возможности ДКТ, то задача – отследить характер и типы ошибок, которые допускает ученик при выполнении текущего задания, а также время выполнения каждой операции и суммарное время, затраченное на задание. Объем считываемой информации резко возрастает, но вместе с тем у ДКТ появляются не только контролирующие, но и диагностические возможности.

Понятно, что типы ошибок должны быть строго определены как количественно, так и качественно. Например, в ДКТ по теме «Преобразование квадратичной функции» (9 класс) число возможных типов ошибок 5 и все они математически строго идентифицируются. Получение и накопление такой информации позволяет ученику поставить диагноз, где, на каком этапе он совершает ошибки, и принять меры к их недопущению в следующих заданиях.

Для учителя подобного рода информация позволит не только провести диагностику конкретным ученикам, но и выявить слабые места в собственной методике. Собственные субъективные представления об эффективности или неэффективности тех или иных методик и методических прие-

мов заменяются при работе с ДКТ на объективные компьютерные измерения и анализ. Это позволит учителю осознанно управлять учебным процессом.

Другой целью получения информации может быть психолого-педагогическое исследование процесса решения задач. Для этого компьютер позволяет записывать наиболее полную информацию, включая компьютерную запись всех операций, производимых учеником, с хронометражем времени и фиксацией типов ошибок. В этом случае учитель или педагог-исследователь может после окончания работы ученика с ДКТ просмотреть и исследовать полную запись всех преобразований, которые выполнял ученик. Компьютер позволяет в определенной мере отразить «траекторию» мыслительного процесса ученика при выполнении задания.

На наш взгляд, для оперативного управления, контроля и диагностик такая подробная информация ученику не нужна, а вот учителю или педагогу-методисту эта информация позволит не только выявить особенности процесса выполнения заданий тренажера, но и более дифференцированно подойти к обучению учеников. Например, выявить скорость обучаемости учеников и т.д. Это позволит ввести объективные критерии для реализации методологии дифференцированного подхода к процессу обучения и идеологии личностно ориентированного обучения.

Деятельностный характер работы с заданиями ДКТ обусловлен их внутренней идеологией, которая основана на принципах компьютерного моделирования изучаемых объектов по заданным свойствам либо на извлечении информации о свойствах изучаемых моделей из наблюдений за ними. Как мы уже говорили, абстрактная информация представленная в наглядном, образном виде, лучше проходит через «семантический фильтр» и эффективнее встраивается в информационную систему правого полушария головного мозга. Здесь большое значение имеет то, что ком-

пьютер позволяет ученику манипулировать изучаемыми объектами или конструировать те или иные ситуации, создавая тем самым собственный предметный «мир». Это может быть «мир» алгебраических объектов, или «мир» слов, или биологических объектов и т.п.

Алгебраический «мир» – это мир, придуманный воображением и мыслью человека. Он по сути своей виртуален, хотя и отражает свойства материальных объектов и процессов.

Динамические компьютерные тесты приобретают совершенно новые качества, если включить фактор времени, то есть ввести ограничения на время выполнения задания. Это создает мини-стрессовую ситуацию для ученика и тем самым позволяет мобилизовать его внутренние ресурсы. При этом создается соревновательный эффект работы на время.

Заложенный в адапционном ДКТ принцип бесконфликтности в процессе обучения, формирования как можно более гладкой, без больших скачков траектории учебного процесса, на наш взгляд, принижает роль отклонений от нормы. Всякая ошибка, неспособность решить стандартную задачу есть отклонение от нормы, и именно оно дает тревожный управляющий сигнал ученику. В ДКТ без адаптации таких сигналов может быть целая серия, и это для ученика уже не досадная случайность, а «система отклонений». С другой стороны, если ДКТ позволяет уйти от тупиковых ситуаций, от непосильных заданий и понизить планку требований до приемлемого уровня, то это, безусловно, достоинство ДКТ.

Очень существенно то, что адапционные ДКТ обладают более объективными диагностическими возможностями, так как адаптация, или приспособление к существующему уровню знаний и умений ученика, позволяет точнее определить этот уровень.

ГЛАВА 4.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ СИСТЕМЫ «КОМПЬЮТЕР + УЧЕНИК»

Исследуя поведение обучаемых, мы сталкиваемся с необходимостью рассматривать изменение их состояния обученности, хотя понятие обученности является одной из характеристик состояния обучаемого. При обучении ученика изменяется не только обученность, но и ряд других, не менее важных свойств учащегося. Это, например, мотивационная и эмоциональная сферы ученика, состояние его здоровья и т.д. Состояние любой системы изменяется не мгновенно, а за некоторое время в результате переходного процесса.

«Системы, переход которых из одного состояния в другое может совершаться не мгновенно, а происходит в результате переходного процесса, называются динамическими системами» [68].

В принципе все реальные системы являются динамическими. Обучаемые системы также динамические системы. Переходы из одного состояния обученности в другое требуют некоторого времени. Причем **характерные времена переходов** являются важными характеристиками обучаемой системы, динамическими свойствами которых нельзя пренебрегать. Следует всегда учитывать то, что изменения состояний системы требуют конечного времени, следуя за причинами, их вызывающими. В обучающихся системах наибольший интерес представляют как раз переходные процессы, так как именно они являются отражениями тех внутренних изменений, которые происходят у обучающегося.

§ 4.1. Обучающаяся динамическая система

Прежде всего, надо определиться с понятием обучающейся динамической системы. Обучающуюся динамическую систему нужно рассматривать по отношению к конкретному виду деятельности, связанному с решением тех или иных задач. Режимы функционирования обучающейся динамической системы относятся к той деятельности, которой обучается динамическая система.

В кибернетическом подходе [19; 68; 71] можно выделить три характерных типа поведения обучающейся системы, три режима, в которых может находиться динамическая система: равновесный, переходный и периодический.

Равновесный режим обучающейся системы соответствует ситуации, когда ее состояние не изменяется во времени. В этом режиме у состояния не изменяется ни одна из ее «координат». В пространстве состояний системы ее равновесные состояния будут изображаться неподвижными точками.

В процессе научения динамической системы какой-либо целенаправленной деятельности можно выделить равновесное состояние, которое отвечает состоянию полной обученности этому виду деятельности. Для обучающихся в динамических системах в идеале должно быть одно равновесное состояние полной обученности. В этом состоянии обучающийся решает проблемы или задачи в автономном режиме.

Однако бывают обучающиеся системы, которые имеют не одно равновесное состояние, а два и более. Это накладывает ограничения на достижение состояния полной обученности. Обучающийся в процессе движения по состояниям может попасть в промежуточное равновесное состояние, не отвечающее полной обученности. В этом случае он будет осуществлять деятельность с внешними ограничениями. Например, ему будет необходима дополнительная внешняя информация для осуществления деятельности. Для того чтобы перевести обучающегося в состояние полной обу-

ченности из промежуточного равновесного состояния, необходимо вывести его из этого состояния достаточно далеко, так, чтобы обучающаяся система оказалась в области «притяжения» состояния полной обученности. Если этого не произойдет, то обучающаяся система снова вернется в прежнее равновесное состояние. Определение всех равновесных состояний обучаемой системы и их характеристик является важной задачей динамического тестирования, так как позволяет выявить причины, препятствующие достижению состояния полной обученности.

Переходный режим – режим движения системы из некоторого начального состояния к какому-либо ее установившемуся состоянию – равновесному или периодическому. С точки зрения обучаемой системы периодический режим можно характеризовать как движение обучаемой системы по циклу в пространстве двух переменных: одна из которых – энтропия деятельности ученика, а вторая – внешняя информация, используемая учеником для выполнения деятельности. Возрастает подача внешней информации – уменьшается энтропия выполняемой деятельности, и наоборот, уменьшается информация (подаваемая в систему, то есть внешняя по отношению к ученику) – возрастает энтропия. Периодический режим характеризуется тем, что в системе возникают колебания внешней информации и энтропии. Причем эти колебания происходят со сдвигом фаз, аналогично колебаниям скорости и координаты в пружинном маятнике. Если проводить аналогию дальше, то скорость или кинетическая энергия соответствует внешней информации, а координата или потенциальная энергия – энтропии. При этом деятельность осуществляет не только ученик, но и та часть системы, которая управляет его деятельностью, именно она подает внешнюю информацию (роль этой системы выполняет учитель или компьютер).

Таким образом, обучаемая система – это обучающийся плюс управляющий внешний центр. Роль внешнего цен-

тра – подавать ученику в нужные моменты внешнюю информацию, управляющие воздействия. Если система переходит в состояние полной обученности данному виду деятельности, то есть в равновесное состояние, то это будет означать, что управляющий внешний центр не будет вмешиваться в деятельность ученика, и энтропия деятельности ученика как параметра равна нулю.

Вернемся снова к рассмотрению переходного режима. Переходный режим возникает под влиянием изменения внешнего воздействия или изменения внутренних свойств систем. Например, ученик выполняет под управлением учителя или компьютера какую-либо учебную деятельность. Если управляющая система (учитель или компьютер) изменит управляющие воздействия, то возникнет переходный режим. Аналогично переходный режим может возникнуть при изменении внутренних свойств ученика. Например, повысилось внимание ученика к выполняемым операциям или у ученика резко поменялась мотивация учебной деятельности.

Периодический режим может быть вынужденный и свободный. Тот периодический режим, о котором говорилось выше, скорее можно отнести к вынужденному, так как внешней информацией управлялось извне. Свободные колебания в деятельности возникают, когда нет никаких внешних воздействий и нет «диссипации» информации.

§ 4.2. Фазовое пространство состояний обучающегося

Эффективное изучение поведения динамической системы возможно не в любом пространстве ее состояний. При неудачном выборе координат включаемых в пространство состояний движение системы может оказаться непредсказуемым. Например, можно выбрать в качестве обобщенных координат параметры, характеризующие вход и выход системы.

Для обучаемой системы вход характеризуется информацией, подаваемой управляющей системой. Количествен-

но она связана со значением коэффициента обратной связи. Он принимает значения, лежащие в интервале от 0 до 1. Выход в обучаемой системе характеризуется величиной, которая равна относительной доле правильных действий ученика на данный момент. Если коэффициент обратной связи обозначить k , а выход соответственно m , то фазовое пространство состояний обучаемого будет представлять из себя плоскость k, m (рис. 10):

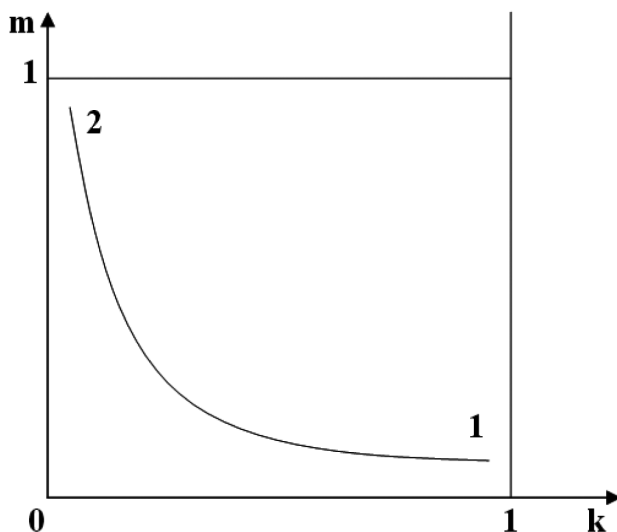


Рис. 10. Фазовое пространство состояний обучаемой системы

В квадрате возможных значений координат состояний системы в качестве примера изображена фазовая траектория перехода обучаемой системы из состояния 1 в состояние 2. Состояние 1 соответствует неумению ученика выполнять изучаемую деятельность, соответственно, параметр k близок к 1. Состояние 2 близко к тому состоянию, когда ученик выполняет деятельность без ошибок. Говорят, что у ученика сформировалась компетентность в предметной области решения задач.

Фазовое пространство состояний обучаемого в предложенной нами системе координат m, k отвечает следующим условиям: $k = (0,1)$; $m = (0,1)$.

Надо иметь в виду, что траектории системы в фазовом пространстве не пересекаются, то есть движение системы изображается непересекающимися траекториями. Семейство фазовых траекторий, изображающих движение системы, называется ее фазовым портретом. Фазовое пространство любой динамической системы плотно заполнено фазовыми траекториями, то есть через каждую точку этого пространства проходит траектория.

Изменяя внешнее воздействие на систему, можно существенно изменять ее фазовый портрет. Число измерений фазового пространства системы называется порядком системы. Для обучаемой системы (типа ученика) в настоящий момент невозможно указать число степеней свободы или координат, в пространстве которых определяется состояние системы. Однако возможность описывать состояние системы в спроецированном пространстве, несомненно, существует. Можно надеяться, что координаты – коэффициент обратной связи k и доля правильных действий m – интегрированно описывают состояние обучаемой системы.

Построение фазового портрета ученика

Фазовые портреты динамических обучаемых систем можно строить на основе экспериментальных данных. Для этого нужно получить зависимость коэффициента обратной связи от времени. Учебная деятельность, которой научается ученик, должна им повторяться, но каждый раз должны меняться параметры задачи. Соответственно, необходимо построить зависимость энтропии обучаемой системы от времени. Изображающая состояние системы точка будет отвечать одному и тому же моменту времени.

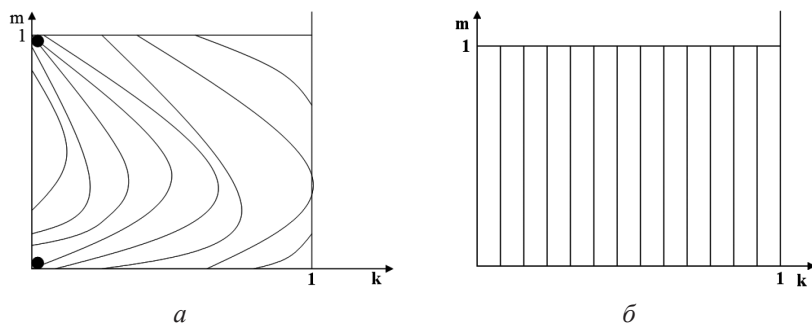


Рис. 11. Примеры фазовых портретов учеников

Если сравнить фазовые портреты процесса обучения различных учеников (рис. 11, а, б), то можно сделать вывод о том, что в случае *а* коэффициент обратной связи k зависит от частоты совершения правильных действий m , а в случае *б* коэффициент обратной связи не зависит.

§ 4.3. Устойчивое поведение обучающегося

Устойчивость характеризует одну из важнейших черт поведения системы. Можно быть уверенным, что это относится и к обучающимся системам. Понятие устойчивости применяется для описания постоянства какой-либо черты поведения системы, понимаемого в широком смысле. Это может быть постоянство состояния системы (его неизменность во времени) или постоянство некоторой последовательности состояний, пробегаемых системой в процессе ее движения и т.п.

По отношению к обучаемым системам устойчивость поведения является одной из важнейших характеристик системы. Точное и строгое определение понятия устойчивости применительно к состоянию равновесия динамической системы было дано выдающимся русским ученым А. Ляпуновым [71]. Пусть неподвижная точка A изображает в фазовом пространстве системы ее равновесное состояние.

Это равновесное состояние будет устойчивым, по Ляпунову, если для любой заданной области допустимых отклонений z от состояния равновесия можно указать такую область b (включающую состояние равновесия), что траектория любого движения, начавшегося в области b , никогда не достигнет границы области z .

Проблема исследования наличия устойчивых равновесных состояний у динамической системы является принципиально важной с точки зрения обучаемых систем. Со всем необязательно, чтобы фазовые траектории стягивались в точку устойчивого равновесия. Не всегда положение равновесия может быть устойчивым. Понятие устойчивого равновесного положения перекликается с понятием гомеостаза. В нем содержится представление об области допустимых значений параметров, обеспечивающих жизнедеятельность системы. В этом смысле система устойчива в плане самосохранения, если ее параметры не выходят за пределы гомеостаза.

Любая система находится под влиянием внутренних и внешних возмущающих воздействий. Сколько малы не были бы воздействия, они всегда будут вызывать флуктуации состояния системы, в результате чего изображающая точка будет блуждать около своего среднего положения в некоторой области. Она рано или поздно пересечет границу любой наперед заданной области. Это будет означать, что система не обладает устойчивым равновесным состоянием.

Ученик как динамическая система, обладающая разумом, имеет единственное устойчивое равновесное состояние, которое характеризуется полной обученностью выполнения деятельности по решению задач. Это состояние соответствует автономной стадии, в решении проблем, которая отвечает сформировавшейся компетентности у ученика.

§ 4.4. Недостаточная специфическая обучаемость и циклический характер деятельности

В педагогической и психологической диагностике на явление недостаточной специфической обучаемости (НСО) обратили внимание в 70-х годах. В это же время начались интенсивные работы по разработке программ диагностики и коррекции НСО [11]. Педагоги все больше стали осознавать широкую распространенность этого препятствия для обучения среди школьников, студентов и взрослых. Хотя, надо иметь в виду, что возможны ошибки при отнесении тех или иных лиц к указанной категории лиц с НСО. В психодиагностике недостаточная специфическая обучаемость описывается как «...расстройство одного или более основных психических процессов, ответственных за понимание или использование речи, устной или письменной, которое может проявиться в недостаточной способности слушать, думать, говорить, читать, писать, произносить по буквам или производить математические вычисления. Данный термин включает такие состояния, как недостатки восприятия, повреждения мозга, минимальная мозговая дисфункция, дислексия и связанная с развитием афазия. Данный термин не относится к детям, чьи учебные проблемы имеют первичной причиной дефекты зрения, слуха или моторики, психическую задержку, эмоциональное расстройство и неблагоприятные средовые, культурные или экономические условия жизни» [11].

Диагноз НСО следует применять только к детям, которые:

1) обнаруживают «резкое несоответствие» интеллектуальной способности достигнутому уровню навыков коммуникации и математических действий и 2) не могут овладеть ими на уровне, соответствующем их возрасту и интеллектуальной способности, даже при обеспечении должного обучения.

Обычно дети с НСО демонстрируют нормальный интеллект, нередко даже превышающий средний уровень,

в сочетании с выраженными трудностями в овладении одним или несколькими основными школьными навыками (наиболее часто – чтением). Следует заметить, что НСО может встречаться на любом интеллектуальном уровне, даже если дети с НСО, сочетающейся с задержкой психического развития, не подходят под юридическое определение НСО. Дети с НСО проявляют различные поведенческие симптомокомплексы. Главными из них являются трудности в восприятии и кодировании информации, недостаточная интеграция входных сигналов разной модальности и нарушение сенсомоторной координации. Нарушения языкового развития типичны для детей с НСО. Ограниченность памяти, произвольного внимания и навыков отвлеченного мышления также часто встречаются у детей НСО. В частности, агрессия, а также другие эмоциональные и мотивационные проблемы могут вполне развиваться как ответ на неудачи ребенка в учении и фрустрации, вызванные его НСО. Многие специфические трудности, нормальные для раннего возраста, становятся признаками дисфункции, если сохраняются в старшем возрасте. Поэтому существует потребность в системе координат возрастного развития, хотя бы с качественными, если уж не с количественными нормативами.

Несмотря на наличие огромного количества тестов, которые используются для реализации современных принципов оценки НСО, многие исследователи неоднократно заявляли о потребности в новом, более информативном подходе к диагностике и оцениванию детей с НСО [11]. Чаще всего для диагностики НСО используют методику динамической оценки. Термин «динамическая оценка» охватывает множество разнообразных методик, которые предполагают намеренное отступление от стандартизованного или единого для всех тестов для получения дополнительных качественных данных об индивидууме. Несмотря на то что пользовались такими методиками и раньше, популярность этого подхо-

да начала расти с 1970-х гг. [6; 7]. Он служил способом получения дополнительных качественных данных об индивидууме, причем не только в случаях с НСО, но и при работе с другими детьми, испытывавшими трудности в обучении, например вследствие слабой или умеренной психической задержки. Была также в предварительном порядке проверена полезность этого подхода для оценки одаренности детей, особенно детей, растущих в экономически неблагоприятных условиях.

Одна из первых таких качественных адаптаций процедуры тестирования получила название «тестирование пределов». При этой процедуре тестируемому могут даваться дополнительные сведения или, иначе говоря, подсказки. И чем больше подсказок требуется для удовлетворительно-го выполнения задания, тем больше выражена НСО.

Несколько позднее был разработан подход, названный оценкой потенциала обучения [7; 8; 12; 13]. Термин «потенциал» в этом названии может быть отнесен к необоснованному предположению, будто исследуемая способность существовала всегда и ее нужно только «раскрыть». Однако на самом деле эти процедуры имеют структуру типа «тест – обучение – тест» и заключаются в обучении учащегося различным средствам выполнения задания, с которым он первоначально не смог справиться. Внешне эта процедура напоминает способ, используемый в некоторых прогностических образовательных тестах, где испытуемому дают выборочную задачу, требующую такого рода научения, с которым ему предстоит столкнуться в конкретном учебном курсе. Тем не менее процедура оценки потенциала обучения отличается от методики проведения прогностических тестов, по крайней мере, в двух отношениях: 1) обследуемому ученику дают указания или индивидуальные советы; 2) используемые задания обычно требуют более широких учебных умений и навыков решения задач.

Методики динамической оценки, начало которой было положено работами Фейерштейна [3] и др., открывают ряд перспектив. Связывая оценку и обучение, они стимулируют исследования пределов изменяемости академической способности и содействуют разработке программ оптимальной коррекции. В добавление к этому они дают в руки квалифицированного клинициста средство оценки, позволяющее получать более ясные описания когнитивной деятельности и ее чувствительности к корригирующим вмешательствам, чем стандартизованные тесты интеллекта.

С точки зрения фазового портрета ученика состояние НСО соответствует «устойчивым» предельным циклам. Понятие «устойчивость» применимо не только для оценки устойчивости равновесного состояния системы, но и для оценки характера движения системы. При устойчивом циклическом движении замкнутая траектория, которая изображает устойчивые колебания, устанавливается независимо от того, в каком начальном состоянии она находилась. Амплитуда и их частота не зависят от начальных условий. Это так называемые *автоколебания*. Они отличаются от вынужденных колебаний тем, что вызывающее их внешнее воздействие носит непериодический характер. Траектория, изображающая в фазовом пространстве устойчивые колебания, называется *устойчивым предельным циклом*. Ученик, деятельность которого в фазовом пространстве задач характеризуется устойчивым предельным циклом, страдает недостаточной специфической обучаемостью (НСО).

ГЛАВА 5.

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ДИНАМИЧЕСКОМ КОМПЬЮТЕРНОМ ТЕСТИРОВАНИИ

Между отдельными элементами какой-либо системы и между различными системами существуют связи, посредством которых они осуществляют информационное взаимодействие.

Такое информационное взаимодействие осуществляется посредством сигналов, циркулирующих в кибернетических системах. Сигналы можно передавать на расстояние и тем самым осуществлять связь между разобщенными в пространстве объектами. Запоминание сигналов позволяет осуществлять связь и передачу сигналов во времени, то есть связывать между собой объекты, разделенные во времени.

Обучаемые и обучающие системы, безусловно, имеют связи между собой и элементами, их составляющими. Основное взаимодействие между ними носит информационное содержание. Причем информационные связи осуществляются посредством сигналов, циркулирующих между элементами обучаемых и обучающих систем и между ними. Важное значение имеют обмены информацией между пространственно разделенными объектами и между объектами, разделенными между собой во времени. Действительно, обучаемый и обучающий – это объекты, один из которых – обучающий – носитель информации, второй – обучаемый – это объект, который является приемником информации. Кроме

того, что они разделены в пространстве, они еще и разделены во времени. Тот факт, что они разделены во времени, определяется тем, что информация, которую получила обучающая система, была ею получена в гораздо более раннее время, чем она потребовалась обучаемому. В качестве элементов системы, которая обучает и обучается, входят также носители информации, такие как книги, электронные издания и т.п.

§ 5.1. Информационные сообщения о состоянии обучающегося

Обучающиеся динамические системы характеризуются пространством состояний, которое может быть как дискретным, так и непрерывным. В дискретном пространстве состояний допускается возможность существования состояний, изображаемых отдельными точками. В непрерывном пространстве состояний допускается существование состояния, изображаемого любой точкой в некоторой допустимой области пространстве состояний.

Для обучаемых систем пространство состояний непрерывное, однако, осуществляя наблюдение за состоянием обучающейся системы, мы выделяем дискретный набор состояний. Это делается через введение уровней обученности, через виды деятельности и т.п. Выделение дискретного набора состояний обученности обучаемого в большой степени субъективно и условно. Тем не менее именно оно позволяет решать задачу слежения за координатами состояний обучаемой системы.

Общеизвестно утверждение о том, что ни один способ наблюдения не может доставить наблюдателю абсолютно точных сведений о значениях координат системы, хотя бы из-за ограничений разрешающей способности приборов. Ошибки измерений, помехи, флуктуации измеряемых величин ограничивают точность любого измерения, тем более

педагогического. Это означает, что всегда существуют достаточно близкие, но не одинаковые значения каждой координаты, которые при данном способе неразличимы. Поэтому даже такие системы, которые при математическом описании являются непрерывными, представляют собой, при некоторой конкретной процедуре наблюдения, дискретные системы с конечным числом возможных состояний.

Мы будем рассматривать *обучаемые системы*, включающие все их состояния. Во-первых, обучение всегда конкретно в плане того, что обучают всегда какой-либо деятельности. В процессе обучения обучаемый должен научиться решать некоторые задачи. Деятельность, которую совершает обучаемый, является целенаправленной.

Первое состояние, в которое попадает обучаемый, характеризуется тем, что он не обучен данному виду деятельности, т.е. без посторонней помощи не может правильно осуществлять деятельность по решению задачи. Однако в процессе обучения его состояние обученности изменяется. Это можно фиксировать по тому, что изменяется характер деятельности. Во-первых, уменьшается количество ошибочных действий, во-вторых, сокращается время выполнения операций (или действий) и, соответственно, их число. В пределе, когда можно считать, что обучаемый достиг состояния полной обученности, наступает явление «свертки», т.е. деятельность по решению данного типа задач превращается практически в одно действие.

Состояния обученности данному виду деятельности характеризуются огромным числом параметров. Однако в первом приближении можно ограничиться одним параметром – долей ошибочных действий от общего количества действий, совершаемых обучаемым при выполнении деятельности. Пусть, например, деятельность состоит из N операций. Предположим, что, совершив ошибочное действие, обучаемый имеет возможность исправить действие.

Исправление ошибочного действия происходит под влиянием обучающей системы (учитель, компьютерная система) или вследствие принятия решения обучаемым. Возможные состояния, в которых может побывать обучающаяся система, представляют собой траектории деятельности, состоящие: из N операций; $N+2$ операций (совершена одна ошибка); $N+4$ – две ошибки; ... $N+2*I$ – совершено I ошибочных операций; ... $N+2*N - N$ ошибок и N исправлений.

Таким образом, множество состояний в нашем случае состоит из N элементов. Если состояние системы представляется вектором, составляющие которого могут независимо друг от друга принимать $X_1=r_1$ значений, $X_2=r_2$ значений, ... $X_n=r_n$ значений, то число элементов, входящих в множество состояний системы, равно

$$N=r_1 * r_2 * \dots * r_n.$$

Будем называть событием, состояние обучающейся системы в определенный момент времени. Если в любой момент времени t обучающаяся система может находиться в любом из множества X ее состояний, то (X, t) будет представлять собой множество возможных событий для каждого момента времени.

Можно условиться каждому состоянию системы ставить в соответствие определенное значение какой-либо физической величины. При помощи этой величины можно передавать сообщение (сведения о событиях) от одного объекта к другому. Например, если обучаемый осуществляет учебную деятельность по решению задач на компьютере, то компьютерная система записывает сообщение о результатах его деятельности в виде последовательности нулей и единиц. Эта последовательность знаков, переданная учителю, является сигналом или сообщением о состоянии обучаемого. Причем имеется в виду состояние обучаемого по отношению к конкретной деятельности.

Материальное воплощение сигнала представляется в тех физических процессах, которые осуществляются в компьютерных системах. Передача сигнала происходит в существующих каналах связи. Это электронные сети, периферийные устройства компьютера и т.п.

Поскольку каждому состоянию X соответствует определенное сообщение X_c , то множеству возможных событий соответствует множество сообщений, передаваемых при помощи сигналов.

Формирование сообщения может рассматриваться как преобразование состояния обучающейся системы $X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ в X_c – одно из множества возможных сообщений $X = \{X_c^1, X_c^2, \dots, X_c^n\}$ посредством некоторого оператора P :

$$X_c^i = \{P\}\{X_i\}.$$

Оператор P преобразования какого-либо операнда в сообщение называется кодом, а операция преобразования посредством кода – кодированием. В качестве операнда такого преобразования может рассматриваться не только состояние системы X или событие (X, t) , но также сообщение X_c^i . Когда компьютер производит запись процесса деятельности ученика, а затем это сообщение передает учителю, то учитель имеет полную информацию о деятельности ученика. Анализ деятельности ученика на предмет ошибочных действий учитель должен производить сам. Однако компьютер может первоначальное сообщение перекодировать и формализовать таким образом, что учитель будет иметь перед собой сообщение о правильных и неправильных действиях обучаемого.

Операция перекодирования сообщения необходима в тех случаях, когда для удобства передачи сообщения или с целью соблюдения секретности передачи требуется сообщение X_c^i , закодированное одним способом, преобразовать в сообщение X_c^j , закодированное другим способом.

Такие преобразования сообщений можно представить как последовательное воздействие на X операторов $P_1, P_2, \dots, P_l$ по схеме:

$$X_c^1 = P_1 * X, X_c^2 = P_2 * X_c^1, \dots, X_c^l = P_l * X_c^{(l-1)}.$$

Для восстановления переданного сообщения, даже если оно подвергалось многократному перекодированию, не требуется последовательно восстанавливать все промежуточные коды. Для этого достаточно совершить над сообщением X_c^l одну операцию преобразования

$$X = P^{-1} X_c^l,$$

где

$$P^{-1} = P_1^{-1} P_2^{-1} \dots P_l^{-1},$$

причем знаком «-1» отмечены операторы, осуществляющие преобразование, обратное преобразованию, реализуемое оператором без такого значка. Операторы P_i и P_i^{-1} связаны между собой зависимостью

$$P_i^{-1} P_i X = X.$$

Примером сложной системы формирования сообщения, его кодирования и декодирования может служить компьютерная система слежения за учебной деятельностью обучаемого. Деятельность, которую осуществляет ученик с виртуальными объектами на экране монитора, записывается в специальных кодах (например, в ASCII коды). Происходит кодировка сообщений, которые «посылает» ученик о своем состоянии обученности. Специальная программа декодирования может восстановить всю картину деятельности ученика. Операторы P и P^{-1} , осуществляющие прямое и обратное преобразования сигнала (сообщения), представляют собой специально созданные программы.

Для формализации кодированного сообщения о деятельности ученика при решении задачи компьютер произ-

водит специальным образом организованную перекодировку. При этом выделяется существенная информация о процессе учебной деятельности обучаемого и часть информации теряется.

§ 5.2. Информация об учебной деятельности обучаемого

Из изложенного выше видно, что сообщение, записанное компьютерной системой, о процессе учебной деятельности ученика содержит некоторые сведения о его состоянии. Проблема состоит в том, чтобы оценить содержащиеся в сигнале сведения, оценить количество информации, которая приносится сообщением. Такая оценка необходима для принятия правильных решений об управлении процессом обучения, для расчетов пропускной способности каналов, по которым передается информация о степени развития внутренних систем контроля, хранения и переработки информации обучаемого и т.п.

Задача количественной оценки информации для некоторого довольно широкого класса задач, связанных с передачей информации от одного объекта к другому, записью и хранением информации, решена в теории Клода Шеннона в первой половине XX в. [111].

Рассмотрим основные положения теории. Если отвлечься от смыслового содержания информации, от ее формы и ценности для получателя, то всякое сообщение может рассматриваться как сведение об определенном событии X_i , t_i , содержащее данные, в каком из множества возможных состояний находилась обучаемая система S в момент t_i .

Более простой ситуацией является ситуация с дискретными сообщениями. *Дискретное сообщение* – это последовательность символов, взятых из некоторого набора символов – *алфавита*. Каждый отдельный символ называется буквой алфавита. Примером дискретного сообщения яв-

ляется обычный текст. Причем словами в тексте являются не только последовательности букв, но и знаки препинания, пробелы и т.п.

Использование дискретных сообщений позволяет передавать данные о состоянии, выбранном из сколь угодно большого числа возможных состояний посредством использования немногих различных символов, входящих в алфавит (эти символы называются *основанием кода*). Так, оказывается, что любое сколь угодно сложное сообщение можно передать при помощи последовательности, построенной из символов 0 и 1, которым могут соответствовать: 0 – отсутствие сигнала; 1 – наличие сигнала. В самом деле, если система может находиться в одном из N различных состояний X_i , множество которых $X_1, X_2, \dots, X_N$ известно получателю, то для передачи сведений о состоянии системы достаточно указать номер i ($i=1, 2, \dots, N$) состояния, в котором она находится. Этот номер представляет слово в алфавите, буквами которого являются цифры.

В двоичной системе счисления каждое число выражается комбинацией нулей и единиц, составляющих разряды этого числа. При этом всякое число i может быть записано в виде:

$$a_m a_{m-1} \dots a_1, \quad (*)$$

где каждое a может принимать только два значения: 0 или 1, и запись $(*)$ означает:

$$i = a_m * 2^{m-1} + a_{m-1} * 2^{m-2} + \dots + a_1.$$

Слово, закодированное в двоичной системе счисления, может быть передано в виде последовательности импульсов тока и соответствующих пауз. Различных двоичных последовательностей длины m имеется 2^m . Таким образом, с помощью двоичной последовательности длины m можно передать сообщение о событии, выбранном из N возможных событий, где $N = 2^m$, или, иначе, $m = \log_2 N$. Если бы мы передавали со-

общения не двоичным, а десятичным кодом (т.е. использовали бы десять различных символов), то нам потребовалась последовательность длины $m' = \log_{10} N$. При этом $m' = m \cdot \log_{10} 2$, т.е. m' отличается от m постоянным множителем, не зависящим от N . Каким бы ни было основание кода, длина последовательности, необходимой для передачи некоторого сообщения, пропорциональна логарифму числа возможных сообщений. Поэтому естественно предположение о том, что количество информации $H_{\max}$, содержащееся в сообщении, пропорционально его длине, т.е. $H_{\max} \sim m \sim \log N$.

Выбор коэффициента пропорциональности сводится к выбору основания логарифма. Чаще всего берут основание два. В этом случае за единицу принимается количество информации, заключающееся в одном двоичном разряде, т.е. в выборе одного из двух возможных сообщений. Такая единица информации называется битом. При этом $H_{\max} = \log_2 N$.

Эта мера максимального количества информации, которое может содержаться в сообщении, была предложена в 1928 г. американским ученым Л. Хартли. Она обладает двумя важными свойствами: монотонно возрастает с ростом N и является аддитивной.

Свойство аддитивности означает, что количество информации в совокупности двух независимых сообщений равно сумме количеств информации в каждом из этих сообщений.

Величина $H_{\max}$ указывает верхнюю границу количества информации, которое может содержаться в сообщении. Действительное количество информации зависит не только от числа возможных сообщений, но и от их вероятностей. В предельном случае, когда вероятности всех сообщений, кроме одного, равны нулю, количество информации равно нулю. Это связано с тем, что заранее известно, какое сообщение будет получено. Наоборот, когда априори все возможные сообщения равновероятны, количество информации должно быть максимальным.

К. Шеннон ввел в 1947 г. количественную меру информации. Пусть имеется опыт, исход которого заранее неизвестен. Известны лишь множество возможных исходов $x_1, x_2, \dots, x_n$ и вероятности исходов $p(x_1), p(x_2), \dots, p(x_n)$.

Количество информации в сообщении об исходе такого опыта, согласно Шеннону, равно

$$H(X) = - \sum_{i=1}^{i=N} p(x_i) \log_2 p(x_i).$$

Если все исходы опыта равновероятны, то $p(x_i) = 1/N$ для всех x_i и

$$H = \log_2 N = H_{\max}.$$

Если $p(x_k) = 1$ для какого-то исхода x_k , а для всех остальных исходов $p(x_i) = 0$, то $H = 0$. В остальных случаях справедливо неравенство:

$$0 < H < \log_2 N.$$

Величина H называется *энтропией* случайного опыта. Она является мерой неопределенности исхода этого опыта, разнообразия его исходов. Сообщение об исходе опыта полностью «снимает» эту неопределенность и потому доставляет количество информации, равное H . Л. Больцман писал: «Энтропия есть мера недостающей информации о состоянии физической системы».

Когда ученик, обучается какому-либо виду деятельности, то он вынужден решать задачи, связанные с этой деятельностью. Каждый раз, когда перед ним встает необходимость решения задачи, то он, по сути, производит опыт, который характеризуется энтропией, играющей роль меры неопределенности результатов его действий.

Пусть в процессе решения задачи ученик произвел всего N действий и из них N_j – правильные. Эмпирически вероятность того, что ученик совершит действие правильно, можно определить как $p = N_j/N$. Вероятность того, что ученик совершит действие неверно, равна $q = 1 - p$. Отсюда мож-

но сделать вывод о том, что энтропия учебной деятельности ученика при решении задачи равна

$$H = -p \log_2 p - (1 - p) \log_2 (1 - p).$$

Пусть $p = 0.5$, то есть ученик совершает деятельность методом проб и ошибок. Тогда энтропия его деятельности равна 1. С сообщением о результате опыта, а опыт состоит в решении задачи или в осуществлении учеником деятельности, мы получим количество информации, равное 1 биту, и снимем неопределенность об исходе опыта. Обозначим количество информации буквой J . Тогда связь между информацией и энтропией запишется в виде:

$$J + H = 1.$$

На рис. 12 показано, как меняется энтропия опыта с двумя возможными исходами x_1 и x_2 в зависимости от вероятности p исхода x_1 .

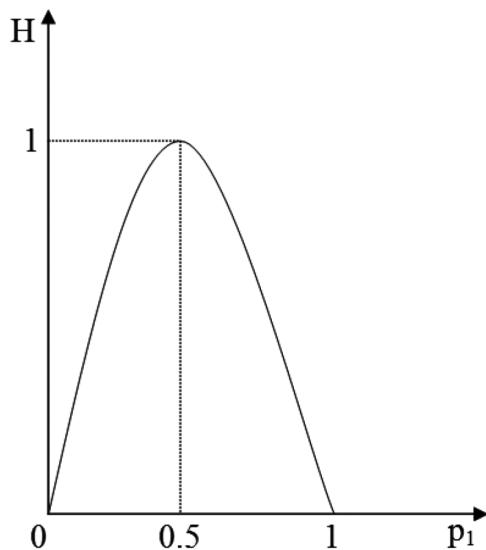


Рис. 12. Зависимость энтропии опыта с двумя возможными исходами от вероятности исхода p

Представим себе, что ученик все действия осуществляет правильно, то есть $p = 1$. Тогда энтропия его деятельности равна нулю. Исход опыта заранее известен и количество информации, которую получит учитель, равно нулю. Точно такая же ситуация и в том случае, когда ученик осуществляет действия неправильно с вероятностью 1. В этом случае количество информации, полученное учителем о результатах деятельности ученика, также равно нулю.

Если ученик впервые осуществляет деятельность по решению определенного типа задач, то неопределенность результата его деятельности вначале будет максимальной и соответственно количество информации, которую получит учитель, будет также максимальной. Если ученик будет повторять деятельность по решению задач каждый раз в несколько измененной ситуации, то неопределенность результатов его деятельности раз от разу должна уменьшаться. Это уменьшение энтропии деятельности ученика связано с обучением ученика решению данного типа задач.

§ 5.3. Передача сообщений об учебной деятельности

Передача сигнала или сообщения осуществляется всегда через какой-либо канал связи. Его можно рассматривать как некоторую систему, на вход которой подается передаваемый сигнал Y , а с выхода получается принимаемый сигнал X , как это показано на рис. 13.

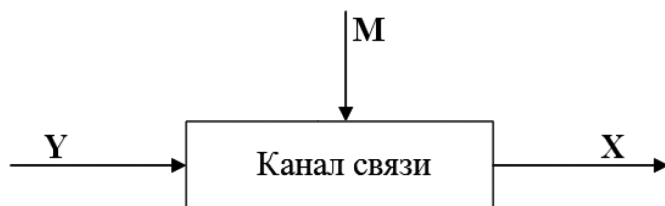


Рис. 13. Канал связи

Кроме этого, канал связи, как и всякая другая система, подвержен действию внешних и внутренних возмущений M . Источниками этих возмущений являются случайные внешние и внутренние помехи, а также неисправности элементов, составляющих канал связи.

Нас интересуют каналы связи, которые обеспечивают поступление информации, необходимой ученику для учебной деятельности. В их роли выступают компьютерные программы, визуализирующие задания и сигналы о состоянии учебной деятельности, которую осуществляет ученик. Кроме этого, в качестве каналов выступают каналы зрительного восприятия информации, а также аудио- и тактильные каналы связи.

При наличии помех выходной сигнал X не является взаимно-однозначной функцией входного сигнала Y . В качестве помех выступает множество внутренних факторов, например, пониженное внимание, соринка, попавшая в глаз, отсутствие мотивации учебной деятельности, плохое физическое самочувствие и т.п. Кроме того, существует множество внешних факторов, которые также могут искажать входной сигнал Y . В итоге выходной сигнал X связан с входным лишь вероятностными, статистическими зависимостями.

Естественно, возникает вопрос, как оценить количественно информацию, содержащуюся в знании значения одной случайной величины (выходной сигнал) о значении, которое принимает другая случайная величина (входной сигнал Y). Здесь уместно поставить вопрос, о каком выходном сигнале может идти речь, точнее, куда этот выходной сигнал поступает? По-видимому, в мозг ученика, для принятия им решения и осуществления того или иного действия. Это действие является элементом или единицей учебной деятельности ученика.

Будем считать выходным сигналом X действия, которые осуществляет ученик. Соответственно, вопрос о количестве

информации может быть поставлен по-другому: какое количество информации усвоено учеником вследствие восприятия им информации Y .

Проблему оценки количества информации, сохранившейся при её переходе через канал связи, решил Клод Шеннон [111]. Для этого вначале необходимо ввести понятие условной вероятности. Обозначим через B условие, от которого зависит событие A . Тогда вероятность события A при условии B называется условной вероятностью события A и обозначается $P(A/B)$. Если случайная величина Y принимает значения $y_1, y_2, \dots, y_N$, а случайная величина X значения $x_1, x_2, \dots, x_M$, то условной вероятностью $p(y_i/x_j)$ называется вероятность того, что Y примет значение y_i , если известно, что X приняло значение x_j . Безусловная вероятность $p(y_i)$ равна условной вероятности, усредненной по всем возможным значениям X :

$$p(y_i) = \sum_{j=1}^M p(x_j) p(y_i / x_j),$$

где $p(x_j)$ – вероятность j -го значения величины X . Величина $p(x_j)p(y_i/x_j)$ есть вероятность того, что X примет значение x_j , а Y – значение y_i . Это есть совместная вероятность события (x_j, y_i) . Она обозначается $p(x_j, y_i)$.

Для того чтобы выяснить, какую информацию о посылаемом сигнале мы получаем на приемном конце канала связи, запишем первоначальную (априорную) неопределенность сигнала Y . Она равна его энтропии:

$$H(Y) = - \sum_{i=1}^N p(y_i) \log_2 p(y_i).$$

Если бы принятый сигнал X был однозначно связан с посланным, после его получения неопределенность исчезла бы и мы получили бы количество информации, равное $H(Y)$.

Для обучаемого мы должны выяснить, что означает первоначальная неопределенность сигнала. Действительно,

ученику на вход подается информация (сигнал) о том, что он может выполнять действия из набора $\{y_i\}$. Если сигнал X однозначно связан с Y , то после выполнения действия (об этом как раз и подается сигнал X) мы получили бы информацию, равную $H(Y)$. В действительности же после приема сигнала x_j неопределенность посланного сигнала Y становится равна величине

$$H_{x_j}(Y) = -\sum_{i=1}^N p(y_i / x_j) \log_2(y_i / x_j),$$

поскольку нам становятся известны лишь условные вероятности $p(y_i / x_j)$ различных значений Y .

Так как принятый сигнал X может принимать любые значения $x_1, \dots, x_M$ с вероятностями $p(x_1), \dots, p(x_M)$, то средняя неопределенность посланного сигнала при известном принятом равна:

$$H(Y / X) = -\sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N p(x_j) p(y_i / x_j) \log_2(y_i / x_j).$$

Это условная энтропия случайной величины Y при задании случайной величины X . Условная энтропия всегда меньше безусловной:

$$H(Y / X) \leq H(Y).$$

Знак равенства выполняется тогда, когда знание величины X не меняет вероятностей значений величины Y .

В качестве меры количества информации в случайной величине X о случайной величине Y принимаем величину, на которую уменьшается (в среднем) неопределенность величины Y , если нам становится известным значение величины X , то есть разность между безусловной и условной энтропией:

$$I(X, Y) = H(Y) - H(Y / X) = \sum_{j=1}^M \sum_{i=1}^N p(x_j, y_i) \log_2 \frac{p(x_j, y_i)}{p(x_j)p(y_i)}.$$

Введенная таким образом мера количества информации позволяет решить вопрос о том, каким должен быть канал связи, чтобы по нему можно было передавать сообщения, создаваемые некоторым источником информации, независимо от конкретной природы и смысла этих сообщений.

Свойства количества информации – положительность и симметричность: $I \geq 0$ и $I(X, Y) = I(Y, X)$. Свойство симметричности означает, что количество информации в принятом сигнале о посланном равно количеству информации в посланном сигнале о принятом. Количество информации равно нулю, если входной и выходной сигналы независимы, т.е. никак, даже статистически не связаны друг с другом. Количество информации достигает максимума – величины $H(Y)$, когда принятый сигнал однозначно определяет посланный, т.е. $H(Y/X) = 0$ – неопределенность посланного сигнала при известном принятом равна нулю.

Пусть, например, на вход поступает сигнал Y , который может принимать два значения $y_0 = 0$ и $y_1 = 1$ с вероятностями, равными 0.5. Тогда $H(Y) = 1$ бит на каждый знак или букву. Допустим, что по большому числу наблюдений установлено, что при подаче на вход сигнала $y_1 = 1$ выходной сигнал $x_1 = 1$ появляется в 90 % случаев, то есть условная вероятность $p(y_1/x_1) = 0.9$ и условная вероятность того, что при входном сигнале $y_0 = 0$ на выходе получится сигнал $x_0 = 0$, также равна $p(y_0/x_0) = 0.9$. Условная энтропия $H(Y/X) = 0.5$, и количество информации, содержащееся в каждой букве выходного сигнала, составит уже не 1 бит, а 0.5 бита.

Попробуем рассмотреть деятельность ученика при выполнении заданий тренажера с точки зрения энтропии. Деятельность ученика состоит из действий или операций. Каждое действие, выполненное учеником, может

быть правильным или неправильным. Это может рассматриваться как некоторое сообщение или сигнал Y , который может принимать два значения $y_0 = 0$ и $y_1 = 1$. Первый сигнал означает, что действие выполнено неправильно, второе значение, равное 1, означает, что действие выполнено правильно. Если ученик действует методом проб и ошибок, то вероятности, соответствующие этим сигналам, равны 0.5. Энтропия деятельности ученика при этом равна 1 биту.

Сигналы y_0 или y_1 формируются учеником и принимаются компьютером. Обучающая система должна совершенно однозначно воспринимать эти сигналы, то есть не должно быть «перемешивания» сигнала Y на входе и сигнала X на выходе. Перемешивание состоит в том, что ученик делает неверную операцию, а компьютер интерпретирует ее как верную или неверную с соответствующими условными вероятностями. Компьютерный тренажер или обучающая программа должны принимать сообщения о действиях ученика так, чтобы $H(Y/X) = 0$, то есть принятый сигнал однозначно должен определять посланный сигнал.

Ученик как источник сигналов или сообщений о правильности операций не осознает, что он послал сообщение, совершая операцию. Однако действие воспринимается программой как сообщение ученика, которое интерпретируется в двухбуквенном алфавите 0 и 1. После того как информация о правильности или неправильности действия была получена, компьютер должен отреагировать, то есть послать сообщение ученику о том, как протекает его деятельность по решению задачи. В самом простом виде компьютер на каждое действие посылает сообщение, однозначно связанное с принятым, т.е. какое количество информации получил, такое же и отправил.

§ 5.4. Память как средство учета опыта решения задач ЭВМ

Для осуществления связи между состояниями ученика, разделенными во времени, необходимо иметь «резервуары», где информация сохраняется в течение интервалов, отделяющих момент возникновения сообщения от моментов, когда оно может потребоваться. У человека и животных роль таких «резервуаров» играет память, у компьютера также имеется память. Она позволяет накапливать и хранить огромные объемы информации.

В динамических компьютерных тестах ученик выполняет серию аналогичных заданий [55]. Естественно, его состояние меняется по мере перехода от задания к заданию. Можно представить себе такую ситуацию, когда первое задание ученик выполняет, применяя в чистом виде метод проб и ошибок. При этом вероятность того, что очередная операция выполнится правильно, равна 0.5, соответственно, неправильное выполнение действия или операции также равно 0.5. При выполнении следующего задания вероятность правильного выполнения действий должна увеличиться, если ученик обучаем и т.д. до тех пор, пока не станет равной 1.

Память ЭВМ позволяет сохранить параметры этого процесса для последующего анализа. Компьютерная система позволяет обратиться к сохраненной информации и, анализируя состояния ученика в предыдущие моменты времени, отследить эволюцию его состояния во времени.

ГЛАВА 6.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ТЕСТИРОВАНИЕ КАК ОСНОВА ПСИХОЛОГО-ПЕДАГОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

§ 6.1. Технология динамических компьютерных тестов

В этом параграфе рассмотрим вопросы, касающиеся разработки и создания ДКТ, основная область применения которых состоит в тестировании учебной деятельности процесса обучения обучающихся решению задач. В качестве предметной области для разработки ДКТ взят курс алгебры для средней школы, автором которого является А.Г. Мордкович [75; 76; 77]. Для демонстрационного задания возьмем преобразование графика функции $y = x^2$ в график функции $y = a(x - x_0)^2 + y_0$.

Динамический компьютерный тест представляет собой компьютерную систему, в которой имеются все атрибуты управления учебным процессом с соответствующими 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 успешно-

сти ученика. На начальном этапе коэффициент обратной связи равен 1.

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

Более тонкая структура организации деятельности учащихся связана с вариациями степени и характера обратной информационной связи (помощи). Информационное подкрепление можно рассматривать как своеобразный механизм обратной связи, образующий поток информации от учителя к ученику. Эта информация может нести упреждающий действие ученика характер. Однако ученик может получать 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 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.

Мы предлагаем отказаться от структуры представления деятельности в виде двух уровней усвоения: выполнения действий с подсказкой и без подсказки. Вместо этого мы вводим механизм обратной информационной связи. Частота управляющих сообщений является аналогом коэффициента обратной связи – k . Коэффициент обратной связи может изменяться от 1 до нуля. Значение коэффициента обратной связи, равное 1, означает, что каждое действие-операция комментируется обучающим устройством (например, учи-

телем или компьютером). Значение коэффициента обратной связи, равной нулю, означает, что вся деятельность по решению задач осуществляется без промежуточных комментариев (информации).

Процесс обучения решению задач мы рассматриваем 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 и, соответственно, в помощи. В этом случае можно с уверенностью сказать, что он овладел умением осуществлять деятельность по выполнению данного типа заданий. Однако утверждать, что у ученика сформировался навык, то есть автоматизм, в выполнении алгоритма нельзя. (Для этого необходимо ввести управляемое ограничение по времени и дать ученику возможность довести умение решать задачи до автоматизма, сокращая при этом время выполнения заданий.)

В каждом задании по преобразованию графиков параболы можно выделить конечное число элементарных операций. Это сдвиги вправо, влево, вверх, вниз, переворот, связанный с изменением знака коэффициента, сжатие и растяжение. Каждая операция выполняется по нажатию определенной клавиши управления на клавиатуре или соответствующей кнопки. В программе, согласно которой ученик выполняет это преобразование, производится запись действий, которые совершает ученик.

Запись последовательности действий производится скрытно от ученика и позволяет записать траекторию решения задачи. Процесс записи производится с хронометражем времени, затрачиваемого на каждую операцию.

Эта информация после обработки данных поступает к учителю в виде диаграмм, выводов о характере оши-

бок, о рациональности достижения цели и временных затратах ученика. Изучая динамику изменения стратегии ученика по достижении цели – преобразования графика параболы, учитель может сделать выводы о том, как быстро декларативные знания ученика превращаются в процедурные знания.

Таким образом, учитель получает информацию о *скорости обучения* ученика. В отличие от метода протокола записи решения задачи, используемой в психологии [35], компьютерная запись решения задачи с числовыми характеристиками – количество ходов, ошибок, времени, затрачиваемого на каждый ход, позволяет исключить влияние субъективного фактора.

В обучении очень важную роль играет учет отклонений от заданной алгоритмом последовательности действий. Как правило, отклонения приводят к ошибке. Цель при этом не достигается. Цикличность в генерации учебных заданий и отлаженная обратная связь позволяют ученику: во-первых, увидеть эти отклонения, во-вторых, скорректировать ход решения очередного задания с учетом ошибки. В простейшем случае обратная связь представлена информацией, выведенной на экран компьютера в виде: 1) сообщения типа «правильно, неправильно»; 2) графика верного решения, представленного другим цветом.

При работе с ДКТ ученик, выполняя тестовые задания, изменяется («преобразуется») в плане совершенствования деятельности по решению задач. Эти преобразования объекта, роль которого играет ученик, фиксируются компьютером в реальном времени, образуя временной ряд событий. Если ученик работает с тренажером по алгебре, то у него происходит преобразование состояния, которое заключается в том, что от задания к заданию он делает все меньше и меньше ошибок. В идеале он осваивает алгоритм выполнения заданий и не совершает ни одной ошибки.

Активное поведение объекта выражается в тех усилиях, которые совершает ученик, чтобы улучшить свой результат, и отражается в изменении отношений между входом (заданием) и выходом (действием учащегося). В компьютерных динамических тестах на вход подается серия аналогичных заданий. На выходе производится компьютерная запись деятельности ученика по выполнению каждого задания. Активное поведение ученика проявляется в том, что изменяется характер деятельности ученика, что отражается в записях. Другими словами, изменяется отношение между входом и выходом.

Целенаправленное активное поведение подразделяется на два класса: с обратной связью и без обратной связи. Нас интересует поведение с обратной связью. Обратная связь, в свою очередь, подразделяется на положительную и отрицательную. Положительная обратная связь усиливает отклонение поведения ученика от нормы и не корректирует его в направлении улучшения деятельности.

Процесс обучения как целенаправленное активное поведение ученика, осуществляется при наличии отрицательной обратной связи. Отрицательная обратная связь понимается нами в том смысле, что поведение объекта управляется величиной ошибки в положении объекта по отношению к некоторой специфической цели. В этом случае сигналы от цели используются для ограничения выходов, которые в противном случае шли бы дальше от цели.

Для организации отрицательной обратной связи в ДКТ необходимо организовать сигналы, идущие от цели к ученику [54; 55]. Тогда о величине ошибки ученик будет судить по интенсивности сигнала. Эта информация выводится ученику на экран компьютера и используются им для ограничения возможных ошибочных действий.

При формировании поведения ученика в процессе работы с ДКТ необходима специальная организация меха-

низма обратной связи. Этот механизм должен удовлетворять следующим правилам: первое – сигналы должны идти от цели к объекту; второе – сигналы должны восприниматься объектом, изменяя его поведение в деятельности по достижению цели.

В предлагаемых компьютерных тестах мы имеем дело с целями, не изменяющимися во времени. Это упрощает задачу организации отрицательной обратной связи и позволяет управлять ею через коэффициент обратной связи. В качестве коэффициента обратной связи мы берем относительную частоту k , с которой подаются сигналы от цели к ученику. Коэффициент обратной связи для учащегося может изменяться от единицы до нуля. Различные значения коэффициента обратной связи отражают различия в уровне степени самостоятельности ученика при принятии им решений. Нами введены десять уровней степени самостоятельности учащихся, каждый из которых характеризуется коэффициентом обратной связи.

Значение коэффициента обратной связи, равное единице, означает, что каждое действие комментируется обучающим устройством. Это соответствует первому (самому низкому) уровню степени самостоятельности ученика. Когда $k = 1$, то информация о ходе выполнения задания поступает непрерывно и ученик может корректировать процесс выполнения задания, практически не формируя собственную мыслительную систему отслеживания результатов своих действий.

Когда $k < 1$, то сигналы от цели поступают реже (уровни степени самостоятельности со второго по девятый). В этом случае ученик частично осуществляет свою деятельность без опоры на внешний (компьютерный) источник сигналов о ходе выполнения задания. Появляющиеся сигналы свидетельствует о том, что у ученика процесс образования собственного механизма обратной связи не закончился. Ко-

нечной целью деятельности ученика при работе с тренажером является выполнение заданий с $k = 0$, что соответствует десятому уровню степени самостоятельности. Это состояние, при котором внутренний механизм обратной связи сформировался и ученик выполняет задание без промежуточных комментариев. Его умений достаточно для того, чтобы осуществлять контроль и коррекцию деятельности по выполнению заданий.

Таким образом, в процессе работы с компьютерным тренажером ученик формирует собственный механизм обратной связи с опорой на компьютерную обратную связь, которая уменьшается до нуля по мере возрастания эффективности собственной обратной связи. Критерием того, что внутренний механизм обратной связи сформирован, может служить тот факт, что относительная доля ошибочных действий ученика при выполнении задания равна нулю.

Рассмотрим характер реакций компьютера на выполнение учащимся заданий теста. Итак, при выполнении задания возможны только два исхода: 1) задание выполнено правильно; 2) задание выполнено неправильно.

При этом если задание выполнено правильно, то возможны три типа реакции компьютера:

- если учащийся при выполнении задания не сделал ни одного ошибочного действия, то он переводится на три уровня степени самостоятельности выше текущего положения;

- если учащийся при выполнении задания делал ошибочные действия, но их число составляет менее 20 процентов от общего числа выполненных действий, то он переводится на один уровень степени самостоятельности выше текущего положения;

- если учащийся при выполнении задания сделал много (более 20 процентов от общего числа действий) неправильных действий, то он остается на прежнем уровне степени самостоятельности.

Аналогичны реакции компьютера и в случае, когда учащийся задание выполнено неверно. При этом также возможны три исхода:

- если учащийся при выполнении задания не сделал ни одного ошибочного действия, то он остается на прежнем уровне степени самостоятельности;

- если учащийся при выполнении задания делал ошибочные действия, но их число составляет менее 20 процентов от общего числа выполненных действий, то он переводится на один уровень степени самостоятельности ниже текущего положения;

- если учащийся при выполнении задания сделал много (более 20 процентов от общего числа действий) неправильных действий, то этот учащийся переводится на три уровня степени самостоятельности ниже текущего положения.

На схеме (рис. 14) изображены типы реакций компьютера на результат выполнения задания в зависимости от характера его выполнения.

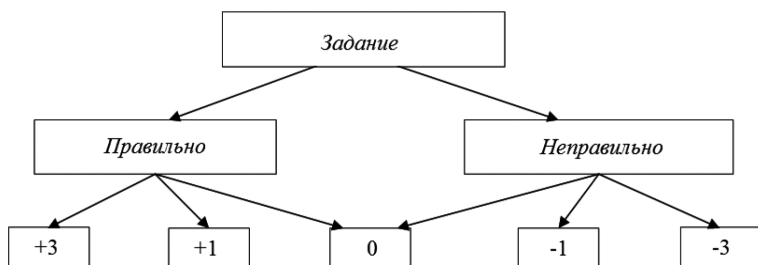


Рис. 14. Типы реакций компьютера

Если уровень деятельности, на который перешел ученик, оказался для него слишком высоким, то есть ученик, несмотря на сигналы от цели, делает много ошибок, то компьютерная система управления деятельностью переводит ученика на более низкий уровень с большим значением коэффициента обратной связи.

Таким образом, адаптация к уровню деятельности ученика по выполнению заданий осуществляется через управление значением коэффициента компьютерной обратной связи посредством самоорганизации учеником внутреннего механизма обратной связи.

Рассмотрим организацию компьютерной обратной связи на примере ДКТ «Преобразование графика квадратичной функции».

Этот тест позволяет 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 дисплея выводится геометрический образ функции $Y = x^2$. С помощью управляющих клавиш ученик может смещать, деформировать и переворачивать параболу. По окончании преобразований он вводит ответ нажатием клавиши ENTER.

Параметры квадратичной функции **a**, **x₀**, **y₀** рандомизированы, то есть изменяются случайным образом от задания к заданию. Сигнал от цели, показывающий, как далеко находится текущий график функции от искомого графика функции $Y = a(x - x_0)^2 + y_0$, идет в пространстве параметров **a**, **x₀**, **y₀** и представляется в виде гистограммы из трех столбцов. Высота каждого столбца равна модулю разности между соответствующими значениями параметров текущей и конечной парабол (рис. 15).

Чем больше высота столбцов, тем больше отклонение текущей параболы от искомой параболы, которая представляет собой цель деятельности ученика в рамках выполняемого задания.

Достижение цели – правильное выполнение задания – приведет к нулевой высоте столбцов гистограммы по трем параметрам квадратичной функции.

При работе с ДКТ ученик выполняет целенаправленную деятельность по достижению промежуточной цели, которая

состоит в выполнении текущего задания. Основная цель работы ученика с тренажером состоит в том, чтобы сформировать собственный механизм обратной связи по выполнению алгоритма. Для ученика эта цель формулируется как достижение режима выполнения заданий, при котором компьютер не выводит на экран гистограмму, показывающую ему отклонение от цели.

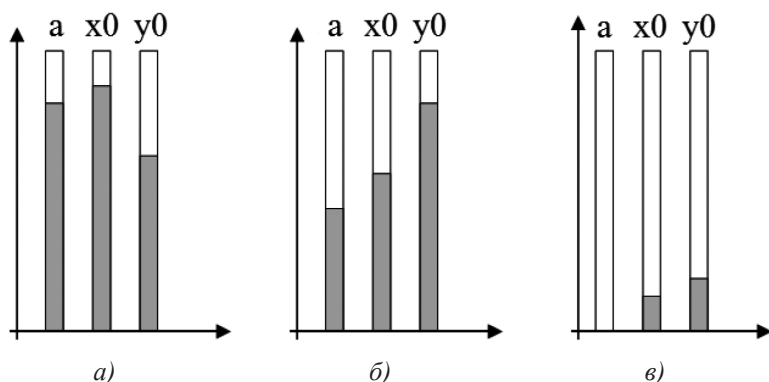


Рис. 15. Гистограмма параметров отклонения от цели:

- а) гистограмма начальных отклонений параметров функции от цели;
 б) гистограмма 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) гистограмма показывает, что параметр a у цели и преобразуемого объекта совпадают, а отклонение параметров x_0 , y_0 от параметров цели стало небольшим

Понятно, что ученики достигают этого состояния по-разному. Эта индивидуальность отражается в «траекториях» перемещения учеников по уровням самостоятельной деятельности.

В зависимости от уровня подготовки и способностей к обучению количество выполненных учениками заданий может сильно отличаться. Так, если ученик очень хорошо обучается или просто владеет учебным материалом, то ко-

личество выполненных им заданий будет равно 6 или 7. Его «уровневая траектория» короткая и, как правило, представляет собой быстрый переход от 1 уровня к 10.

Деятельность нормально обучаемого ученика отражается в планомерном повышении от задания к заданию уровня самостоятельной деятельности от 1 до 10 с небольшими скачками через 1 или реже 3 уровня.

Для ученика, который обучается плохо, количество заданий не ограничено, так как его переход на более высокий уровень самостоятельной деятельности приводит к тому, что он выполняет задание неверно и компьютер возвращает его на уровень, лежащий ниже. «Его уровневая траектория» имеет сложный вид с многочисленными возвратами с верхних уровней на более низкий уровень, и наоборот.

В качестве характеристик обучения естественно принять скорости перемещения испытуемого по уровням как во времени, так и по числу выполненных заданий. Если за время t испытуемый достиг уровня U , то средняя скорость перемещения испытуемого по уровням V_t во времени определится как

$$V_t = U/t.$$

Поскольку уровень U может быть достигнут учеником *при выполнении различного числа заданий, то аналогично введем параметр V_n* , который показывает среднее приращение уровня, приходящееся на одно выполненное задание при выполнении n заданий:

$$V_n = U/n.$$

Параметры V_t и V_n характеризуют скорость обучения учащихся алгоритмической деятельности.

Одной из существенных особенностей динамических компьютерных тестов является то, что параметры заданий генерируются случайным образом. Это отличает ДКТ от множества традиционных тестов, в которых зада-

ния и соответствующие данные фиксированы. Рандомизация параметров (данных) заданий имеет ряд существенных особенностей. Первое и главное ограничение на рандомизацию накладывается требованием однозначности определения – правильности или неправильности – выполнения учеником заданий. Кроме этого, на рандомизацию накладываются ограничения, связанные с особенностями геометрии расположения алгебраических объектов. При этом уровень самостоятельности алгоритмической деятельности при выполнении ДКТ задается компьютером в зависимости от количества ошибочных существенных операций и от того, правильно или неправильно выполнил ученик задание. Это позволяет проводить тестирование с учетом индивидуальных особенностей ученика.

Деятельность ученика при работе на ДКТ имеет два вида временных масштаба, определяемых целями:

- 1) стратегической – выход на самый верхний уровень выполнения алгоритма;
- 2) тактическими – выполнение правильным образом заданий.

В первом случае временной ряд событий представляет собой процесс, состоящий из правильно или неправильно выполненных заданий, на соответствующем уровне организации обратной связи. Во втором случае временные ряды событий состоят из действий, совершаемых учеником при выполнении конкретных заданий. Успешность динамического тестирования определяется правильностью выполнения так называемой существенной операции или действия. Под существенной операцией подразумевалось действие, в результате которого ученик делает выбор, типа «да – нет»; «правильно – неправильно».

Известно, что время простой (автоматической) реакции у человека не зависит от подаваемого сигнала и его значение составляет порядка 0.1 сек. Когда перед учеником стоит

проблема выбора правильного ответа (хода), то часто возникают ситуации, когда реакция на ответы является автоматический, то есть ученик оценивает их не производя предварительного мысленного анализа. Такие действия или операции мы предлагаем считать несущественными. В противоположность им ситуации, в которых ученик проводит анализ, прежде чем определиться с выбором «да – нет», требуют существенно большего времени для реакции. Поэтому мы предлагаем считать такие операции или действия существенными. В открытых компьютерных тестовых заданиях компьютер записывает временной ряд событий, которые представляют собой все существенные операции или действия, производимые учеником над алгебраическим или физическим объектом.

Существенные операции или действия мы определим как сложные реакции ученика на ситуации, требующие времени для принятия решения больше, чем 0.1 сек. Предполагается, что при временах, больших, чем 0.1 сек, ученик производит мыслительную деятельность по переработке и усвоению информации, по работе с заданиями. Если ученик осознанно думает над очередной существенной операцией под номером j , то значение функции $f(t)$ равно j на протяжении промежутка времени от t_1 до t_2 . Если существенная операция выполнена правильно, то функция скачком увеличивается на одну единицу, в противном случае она скачком уменьшается. Таким образом, процесс деятельности ученика по выполнению заданий описывается скачкообразными функциями $f(t)$, представляющими временные ряды событий, каждое из которых является существенной операцией или осознанным выбором действия ученика.

На рис. 16 приведен пример графика, схематично отражающий временной ряд событий в процессе выполнения задания. Вдоль оси ординат отложены координаты существенных операций (n), горизонтальная ось – ось времени.

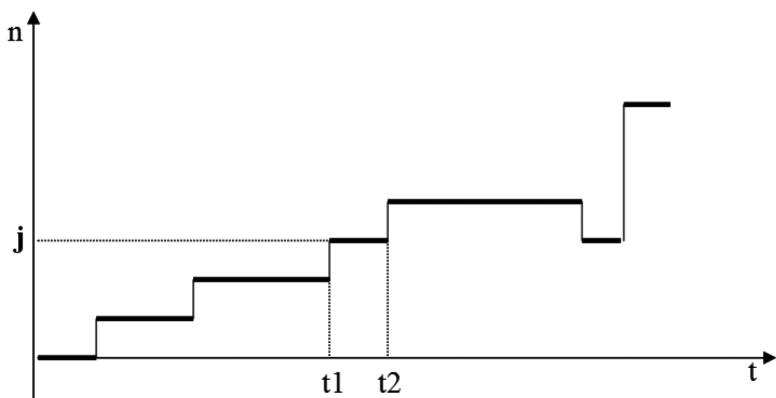


Рис. 16. Ряд событий в процессе выполнения задания

Экспериментальные траектории деятельности ученика при решении задач приведены на рис. 17. Слева приведена траектория вначале обучения (вначале тренировки), справа – в конце. Видно, что конечная траектория не имеет случайных скачков вниз. При этом все действия ученика верные и траектория состоит из скачков, направленных вверх. Это свидетельствует о положительной динамике процесса обучения ученика решению задач. В качестве предметной области была взята математика.

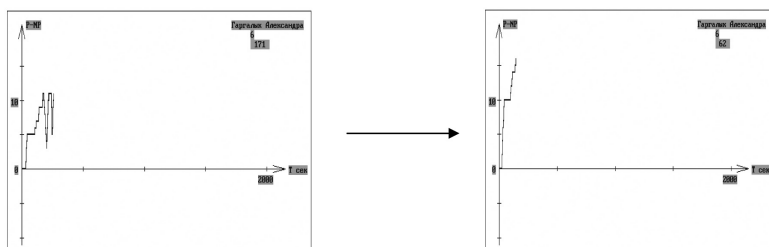


Рис. 17. Траектории деятельности ученика при обучении решению задач по алгебре (задачи по преобразованию графиков функций)

§ 6.2. Психолого-педагогический эксперимент применения динамического тестирования

Педагогический эксперимент проводился в средних школах Эвенкии и г. Красноярска. В эксперименте участвовали около 150 учеников 9–10 классов. Участникам эксперимента было дано объяснение цели их деятельности при выполнении тестовых заданий, которая состояла в том, что каждый из тестируемых должен выйти на уровень, соответствующий полной самостоятельности в алгоритмической деятельности. Количество заданий теста-тренажера не ограничивалось. Тестирование считалось законченным, если ученик, выйдя на высший уровень, выполнял подряд 4 задания. Если же ученик устойчиво не двигался вверх по уровням, то после определенного числа заданий тестирование прекращалось по решению преподавателя.

1. *Целенаправленная деятельность учащихся по достижению высшего уровня деятельности по решению задач.* В ходе выполнения заданий на компьютере перед учащимися была поставлена цель – достичь десятого уровня и выполнить на этом уровне пять заданий подряд. Каждый из учеников начинал выполнение заданий с первого уровня. Дальнейшее продвижение с уровня на уровень у каждого ученика проходило индивидуально в зависимости от правильности выполнения заданий и количества неправильных шагов (действий) при выполнении этого задания. На рис. 18 приведена траектория успешно обучающегося ученика.

Из рисунка видно, что учащийся в случае успешного выполнения задания (точка А) 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 (точка В), где роль самоконтроля учащегося повышается, а частота «подсказок» со стороны обучающей системы уменьшает-

ся. Из графика видно, что учащийся опять переведен на более низкие уровни (он не смог справиться с заданием на таком уровне самостоятельности) и ему еще необходима более частая внешняя помощь.

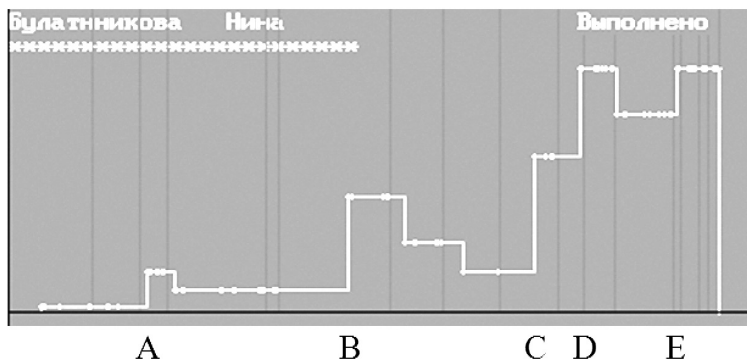


Рис. 18. Траектория успешно обучающегося ученика

Выполнив несколько заданий на этом уровне, учащийся опять переводится на более высокий уровень (точка C). А потом еще выше (точка D), достигнув наивысшего десятого уровня. Находясь на высшем уровне, 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 десятый уровень (точка E), где выполняет правильно пять заданий подряд. Таким образом, видим, что данный ученик достиг поставленной цели. Причем следует обратить внимание, что время выполнения заданий существенно сократилось от 203.6 сек в начале до 21.3 сек в конце работы с ДКТ. В Приложении приведена распечатка файла отчета, где записывалась информация о ходе выполнения заданий учащимся из рассмотренного выше примера.

Однако далеко не все ученики достигают этого уровня. Некоторые, несмотря на огромный объем тренажных упражнений, достигают невысоких результатов (3–4 уровня самостоятельности). Это показано на рис. 19. Такие ученики постоянно нуждаются во вспомогательной информации для выполнения заданий. Как правило, они невнимательны, постоянно совершают ошибки. Деятельность у них осуществляется в основном методом проб и ошибок.

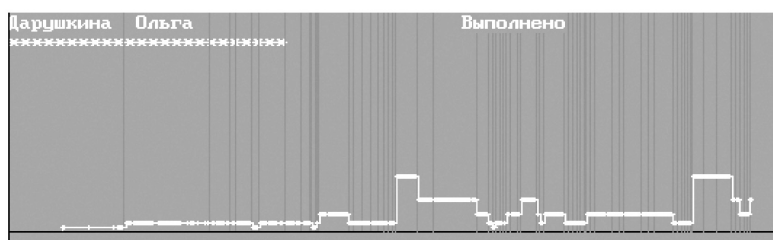


Рис. 19. Траектория ученика, испытывающего затруднения

1. *Экспериментальное измерение энтропии и скорости обучения при выполнении теста.* ДКТ позволяют получать информацию, не только о конечных результатах выполнения заданий, но и отслеживают то, каким образом ученик осуществляет деятельность выполняя задание.

На рис. 20 приведено семейство траекторий деятельности по выполнению заданий. Справа налево расположены траектории деятельности при решении задач в порядке возрастания уровня самостоятельности деятельности ученика. Видно, что количество ошибочных операций быстро уменьшается.

Соответствующие значения энтропии деятельности ученика как функции номера заданий приведены на рис. 21. Видно, что энтропия уменьшается до нуля на определенном уровне.

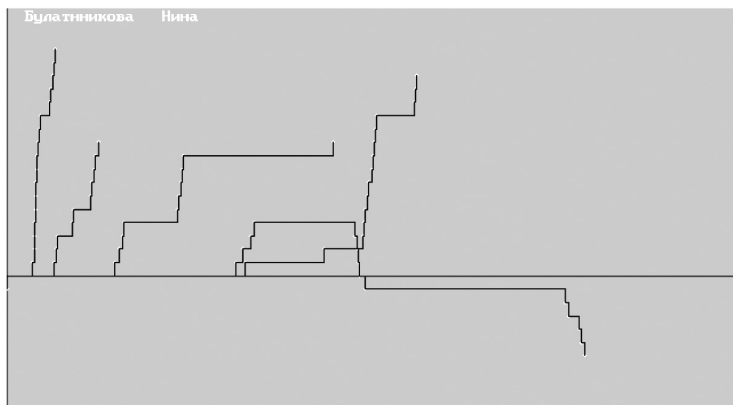


Рис. 20. Последовательность траекторий деятельности ученика при работе с ДКТ

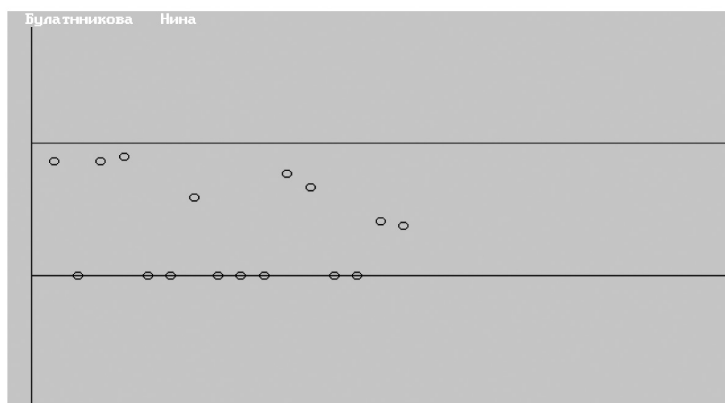


Рис. 21. Энтропия деятельности ученика как функция номера задания. Максимальная энтропия равна единице и выделена горизонтальной чертой

При переходе ученика на более высокий уровень энтропийный фактор деятельности ученика возрастает, так как уменьшается частота внешней помощи. Выполнив некоторое число заданий, ученик опять добивается уменьшения энтропии. При этом компьютер переводит его на более вы-

сокий уровень, где энтропийный фактор снова возрастает, и т.д. Из рис. 21 видно что таких переходов у ученика было четыре.

Состояние учеников, определяемое в пространстве скоростей, описывается точкой на плоскости скоростей $V(t)$ и $V(n)$. На рис. 22 ниже вся выборка учеников представлена множеством точек, характеризующих их способности к обучению алгоритмической деятельности. Прямая линия, проведенная на плоскости скоростей, является линейной зависимостью между скоростями, полученной методом минимизации суммы квадратов отклонений экспериментальных данных от гипотетической линейной зависимости. Эта прямая линия является интегральной характеристикой данной выборки учеников. Коэффициент корреляции между скоростями,

вычисленный по формуле
$$R = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}},$$
 равен $R=0,672379$.

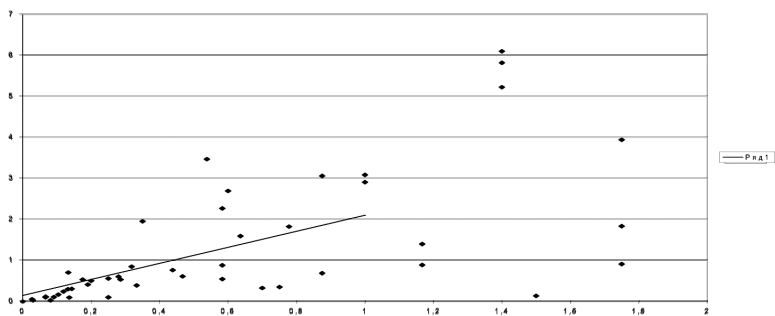


Рис. 22. Состояние учеников в пространстве скоростей

При выполнении заданий ДКТ подстраивается под учащегося, предлагая ему задания на доступном уровне степени самостоятельности. Если учащийся затрудняется с выполнением задания на данном уровне, то он переводит-

ся на более низкий. Если же задание выполняется успешно, то учащийся переводится на более высокий уровень, т.е. уровень самостоятельности повышается. Причем величина повышения или понижения уровня осуществляется в зависимости от личных достижений учащегося. *ДКТ, управляя учебной деятельностью, адаптируется к индивидуальным особенностям конкретного ученика.*

Таким образом, каждый учащийся обучается в соответствии с его индивидуальными возможностями по своей траектории. При необходимости учащемуся оказывается помощь, частота которой определяется в ходе выполнения задания. Она для каждого ученика определяется индивидуально, т.е. *реализуется принцип дифференцированного подхода в обучении* [16].

После выполнения заданий ДКТ каждый из учащихся оказался в итоге 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 же, достигшим уровней от 8 до 10, можно предоставить полную самостоятельность. 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...» [15].

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 в итоге уровня ко времени, затраченно-

му на выполнение всех заданий, даст нам величину скорости V_t 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_t . 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 ДКТ результатов сравним их с данными экспертов. Сравниваются уровни степени самостоятельности, полученные в результате эксперимента, и данные уровня 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 еще 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, на основании которых учащиеся были ранжированы.

Эти данные представлены в виде двух графиков, где вдоль горизонтальной оси откладывается порядковый номер учащегося в списке, а вдоль вертикальной – его ранг, определенный на основе ДКТ, и ранг, определенный на основе данных экспертов. Для большей наглядности соединим полученные точки для обоих случаев линиями (рис. 23).

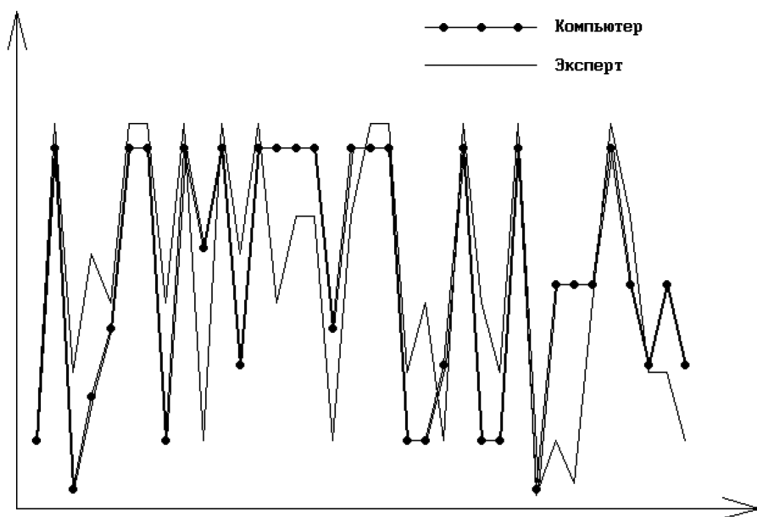


Рис. 23. Оценка уровней самостоятельности

Определим коэффициент корреляции результатов эксперимента и данных эксперта. Для вычисления коэффициента корреляции P для шкал порядка (что мы и имеем в нашем случае) применяем формулу Спирмена:

$$P = 1 - \frac{6 \cdot \sum_{i=1}^N D_i^2}{N \cdot (N^2 - 1)},$$

где P – коэффициент корреляции, D_i – разность уровней (по данным эксперта и результатам эксперимента), N – число учащихся.

В результате получаем, что $P=0,75$. Таким образом, между данными, полученными на основе ДКТ и экспертными оценками, существует прямая значительная связь, т.е. данные эксперимента и эксперта близки.

§ 6.3. Динамическое тестирование процесса поиска решения математических задач в изменяющихся условиях

Обычно выделяют три стадии в развитии навыка (компетентности) или навыков [10]. На первой стадии учащиеся осуществляют декларативное кодирование навыка, то есть запоминают набор фактов, знаний, соответствующих навыку. Обучающиеся обычно повторяют эти факты, когда впервые выполняют какое-то действие. Например, когда ученик впервые выполняет преобразование графика функции, он все время будет повторять информацию о правилах преобразования.

Ставшая известной ученику информация о правилах преобразования и соответствующих способах управления объектом-графиком образовала набор операторов решения проблемы для преобразования графиков функций. Например, нам нужно было сдвинуть график влево, для этого существовал оператор, состоящий в перемещении графика влево. Несмотря на то что мы знали, что нужно делать с графиком функции, мы использовали эти знания слишком медленно, потому что они существовали по-прежнему в декларативной форме. Ученику нужно было постоянно вспоминать определенные факты и увязывать их с решением проблемы. У ученика не было знаний в процедурной форме.

Вторая стадия приобретения навыков называется ассоциативной. На этой стадии происходят две главные вещи. Во-первых, постепенно обнаруживаются и исправляются ошибки в исходном понимании проблемы. Во-вторых, усилилась связь между различными элементами, необходимыми для успешного выполнения действия. Таким образом, ученику требуется всего лишь несколько секунд, чтобы вспомнить, как преобразуется график функции, и вы-

полнить эти преобразования. В основном результатом ассоциативной стадии является способность успешно реализовывать навык. Но не всегда процедурная репрезентация знаний сменяет декларативную. Иногда эти две формы сосуществуют вместе. При этом мы вроде бы знаем и умеем выполнять правила преобразования графиков функций, но всегда удерживаем эти правила в памяти.

Процедуры, которые являются результатом ассоциативной стадии, описаны правилами продукции.

Если вы должны преобразовать график функции $y = x^2$ в график функции $y = 2(x - 3)^2$ и знак у x_0 минус и $a > 0$, то подцели будут:

- 1) сдвинуть исходный график на три единицы вправо;
- 2) сжать график в два раза.

Третья стадия в процессе формирования компетентности (приобретения навыков) – *автономная стадия*. На этой стадии процедура становится все более автоматизированной и быстрой. Понятие автоматизма связано с такими автоматизированными перцептивно-моторными задачами, которые становятся настолько автоматическими, что требуют незначительного участия внимания. При этом люди могут выполнять такую деятельность, одновременно делать еще что-то, что требует внимания. Например, навыки вождения автомобиля могут быть такими, что человек может при этом разговаривать и попутно выполнять еще какие-нибудь операции (прикуривать сигареты).

В результате тренировки возрастают скорость и точность действия. Процедуры применяются все быстрее и уместнее. В работах [1; 2] повышение точности выполнения процедур называют настройкой. Процесс настройки приводит к выработке правила продукции, включающего в себя дополнительные тесты на уместность этого действия.

Реализация сложных навыков, предполагающая гармоничное функционирование многих простых навыков, улучшается в соответствии со степенным законом $T = A * P^{-b}$, где T – время выполнения задания, P – номер выполняемого задания, A и b – константы, определяемые, например, сложностью заданий, психологическими особенностями учащегося и т.д.

Время, затрачиваемое на когнитивный компонент реализации навыка, при достаточной тренировке стремится к нулю. Степенная зависимость в логарифмической шкале представляется в виде линейной зависимости, так как записано ниже:

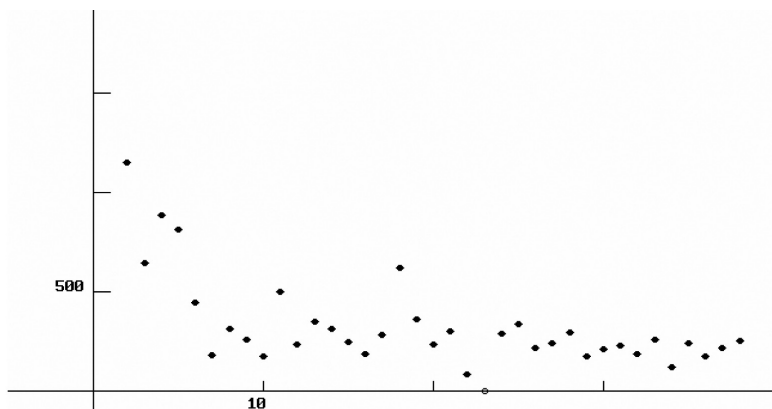
$$\log(T) = A - b \log(P),$$

где T – время выполнения, P – количество имеющейся практики данного навыка.

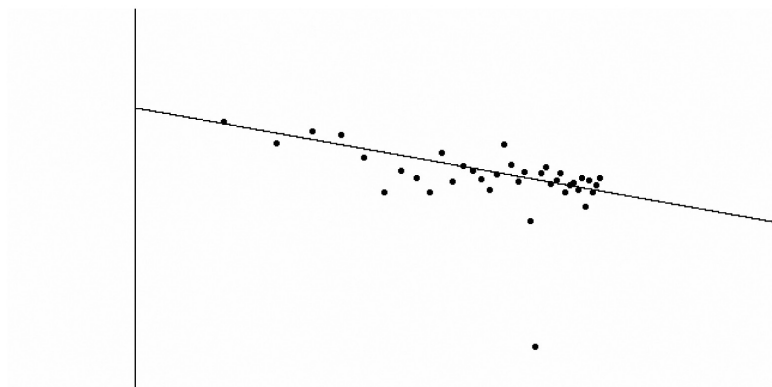
На рис. 24, а и рис. 24, б показаны экспериментальные данные зависимости времени выполнения упражнения от его номера. Они отражают влияние тренировки при решении сложных проблем преобразования графиков квадратичной функции. Данные получены с помощью динамического компьютерного тестирования. На рисунках показана функция научения для данного вида деятельности, как в обычном так и в логарифмическом масштабах. Степенная зависимость, соответствующая экспериментальным данным, в логарифмической шкале имеет вид:

$$\ln(T) = 7.4 - 0.6 \ln(P).$$

Анализ экспериментальных данных показывает, что положительный эффект дальнейшей тренировки быстро уменьшается. Поэтому независимо от того, сколько мы имеем практического опыта, польза от дальнейшей тренировки будет незначительной.



а

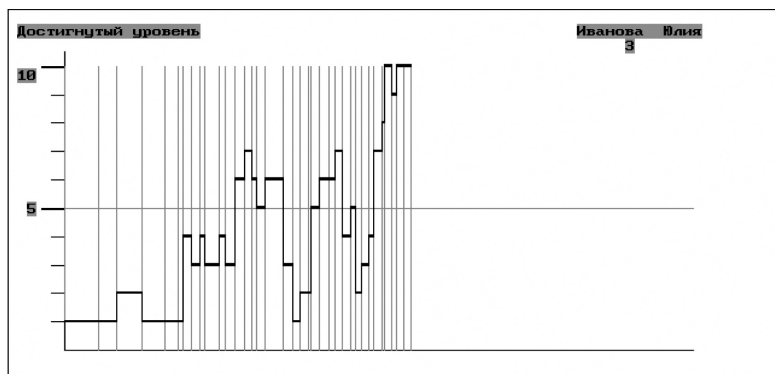


б

Рис. 24. Время, необходимое для решения задачи преобразования графика квадратичной функции как функция количества уже выполненных заданий: а – функция в обычных координатах; б – функция в логарифмических координатах

В динамических компьютерных тестах-тренажерах обучение ученика проходит аналогично машинному обучению с подкреплением [70]. На рис. 25 показана траектория движения ученика по уровням компетентности выполнения

заданий по преобразованиям графика функции. Как на рис. 24, так и на рис. 25 приведены данные, касающиеся одного и того же испытуемого.



*Рис. 25. Уровневая траектория самостоятельности ученика.
Задания выделены вертикальными линиями*

Начиная с середины 70-х гг. проводилось множество исследований компетентности в таких областях, как математика, программирование и физика. В ходе этих исследований сравнивались люди с разным уровнем развития компетентности. В результате было выявлено, что основным механизмом формирования компетентности является процедурализация.

§ 6.4. Процедурализация поиска решения задач

Процесс преобразования декларативного знания в процедурное называют процессом процедурализации. При процедурализации происходит уменьшение времени, которое ученик тратит на решение задачи. Он реже обращается к декларативной репрезентации знаний, необходимых для решения задачи, к «рабочей памяти». Заметно резкое сокращение времени выполнения заданий. Протоколы первых заданий (Приложение) содержат множество сбоев «рабочей памяти» ученика. Это проявляется в большом количе-

стве ошибочных действий, которые сделаны и исправлены. В момент «сбоя» ученик восстанавливает информацию, которую забыл. Для того чтобы это зафиксировать, необходимо в ДКТ ввести страничку помощи, в которой ученик мог бы обратиться к декларативным знаниям о правилах решения задачи. Это надо сделать, не отменяя помощи, представленной в виде диаграммы: расстояние до цели.

Следующее отличие протоколов выполнения первых заданий состоит в том, что ученик непоследователен в своих действиях. Он часто может бросить выполнение операции и перейти к другому действию. Например, не закончив преобразования графика по оси OY , перейти к операции деформации графика.

В протоколах выполнения следующих заданий ученик действует последовательно, не меняя тактику по ходу решения проблемы. Он переходит к следующей операции только после завершения предыдущей. Это свидетельствует о том, что он не полагается на вербальное вспоминание правил преобразования графика; он продвинулся к точке, где может вспомнить применение преобразования графика в целостном виде (в виде паттерна).

Можно представить эту способность в виде следующего правила продукции.

Если цель состоит в том, чтобы преобразовать график функции $y=x^2$ в график функции $y=a(x-x_o)^2+y_o$ и $a<0$, $x_o>0$, $y_o<0$, то поставьте в порядке следования подцели:

1) деформировать график функции $y=x^2$ согласно знаку и величине коэффициента a ;

2) сместить график функции $y=ax^2$ вдоль оси Ox на величину x_o ;

3) сместить график вдоль вертикали на y_o .

Таким образом, ученик преобразовал вербальное или декларативное знание правил преобразования графика функции в процедурное знание, что выражено в приведен-

ном выше правиле продукции. Как было отмечено выше, этот процесс преобразования называется *процедурализацией*. Надо отметить, что Гальперин и Талызина [40] этот процесс описали в своей теории поэтапного формирования знаний, умений и навыков. При этом этап внутриречевой деятельности соответствует ассоциативному этапу формирования компетентности. Автономный режим в определенной степени отвечает умственной форме деятельности и т.п. Хотя, безусловно, есть и отличие. Например, процедурное знание подразумевает автоматическое выполнение задания «не думая». Другими словами, процедурализация – это процесс перехода от явного использования декларативного знания к прямому применению процедурного.

§ 6.5. Недостаточная специфическая обучаемость на примере математики

Недостаточность специфической обучаемости (НСО) [11] приводит к тому, что у учеников затруднено формирование предметных компетентностей. Диагностика наличия НСО и его уровня позволяет внести коррективы в процесс обучения. Традиционно НСО диагностируется с помощью динамического тестирования, которое включает в себя отслеживание динамики выполнения заданий с варьированием частоты помощи со стороны исследователя. Если испытуемый не может решать проблемы в данной предметной области без внешней помощи, то у него присутствует НСО данному виду деятельности.

Уровень НСО определяется предельной частотой требуемой помощи, которая необходима испытуемому для решения задач. С возрастанием частоты подсказок уровень НСО возрастает, и наоборот.

Для учеников, у которых конкретная специфическая обучаемость имеется (например, он обучаем математике), процесс формирования компетентности проходит последова-

тельно все три стадии: декларативную, ассоциативную и автономную. И если на первых двух стадиях ученику требуется внешняя помощь (подсказка и т.п.), то на автономной стадии ученик не нуждается во внешней информации. При этом он становится компетентным. Ученик с НСО характеризуется заикленностью на ранних стадиях формирования компетентности, т.е. уменьшение частоты оказываемой помощи приводит к увеличению ошибок и, соответственно, к невозможности решения задачи. Однако стоит увеличить частоту помощи, как ученик начинает успешно решать проблемы.

Для компьютерной диагностики НСО по математике разработаны компьютерные динамические тесты по математике. Они включают в себя генератор алгебраических задач, который создает виртуальный мир математических объектов. Ученик в интерактивном режиме решает математические задачи. Задачи подобны друг другу, но в каждой из них присутствуют элементы случайности. Это отражается в рандомизации параметров задач. Подсказка, выводимая на экран компьютера, представляет собой информацию, которая помогает ученику различать текущее состояние решения задачи от целевого состояния. Частота подсказок уменьшается с возрастанием доли правильных действий δ и увеличивается с уменьшением δ . Понятно, что $\delta = \delta(t)$ есть функция времени. Введем понятие фазового портрета ученика в пространстве $(\delta, \frac{d\delta}{dt})$.

Для обучаемой системы вход характеризуется информацией, подаваемой управляющей системой [96]. Количество информации может быть выражено значением коэффициента обратной связи. Он принимает значения, лежащие в интервале от нуля до 1. Выход в обучаемой системе характеризуется величиной, которая пропорциональна энтропии его деятельности. Она равна относительной доле ошибочных действий ученика на данный момент. Если коэффициент обратной связи обозначить k , а выход соответственно m ,

то фазовое пространство состояний обучаемого будет представлять из себя плоскость k, m .

Надо иметь в виду, что траектории системы в фазовом пространстве не пересекаются, то есть движение системы изображается непересекающимися траекториями. Семейство фазовых траекторий, изображающих движение системы, называется ее фазовым портретом.

Изменяя внешнее воздействие на систему, можно существенно изменять ее фазовый портрет. Число измерений фазового пространства системы называется порядком системы. Для обучаемой системы (типа ученика) в настоящий момент невозможно указать число степеней свободы или координат, в пространстве которых определяется состояние системы. Однако возможность описывать состояние системы в спроецированном пространстве, несомненно, существует.

Фазовые портреты динамических обучаемых систем можно строить на основе экспериментальных данных. Эффективное изучение поведения динамической системы возможно не в любом пространстве ее состояний. При неудачном выборе координат, включаемых в пространство состояний, движение системы может оказаться непредсказуемым. Например, можно выбрать в качестве обобщенных координат параметры, характеризующие вход и выход системы.

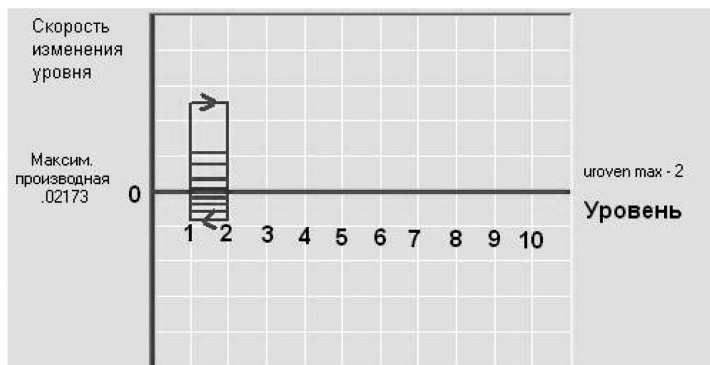


Рис. 26. Фазовый портрет ученика с НСО

Для ученика с НСО фазовый портрет представляет собой устойчивый цикл, положение которого определяет уровень НСО. На рис. 26 приведен пример устойчивого цикла, который расположен между первым и вторым уровнями НСО. Данный пример фазового портрета показывает, что у ученика не сформирована специфическая обучаемость, успешное выполнение задания (доля правильности действий) зависит от увеличения подсказок. Как только частота появления подсказок мала (при переходе на более высокий уровень частота появления подсказок уменьшается), ученик начинает допускать ошибки и скатывается на более низкий уровень, где частота подсказок возрастает. Этот процесс происходит до тех пор, пока ученик не уяснит алгоритм решения задачи.

Ученики, у которых нет проблем с обучаемостью математике, имеют в качестве фазового портрета траектории, сходящиеся в неподвижную точку – фокус с координатами $\delta = 1, \frac{d\delta}{dt} = 0$. Пример данного фазового портрета показан на рис. 27.

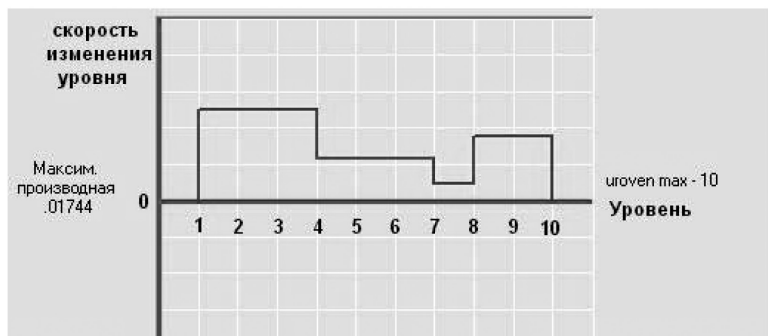


Рис. 27. Фазовый портрет деятельности ученика с хорошей обучаемостью решению задач по математике

На рис. 28. представлен фазовый портрет ученика, который с некоторыми затруднениями научился алгоритму решения задания.

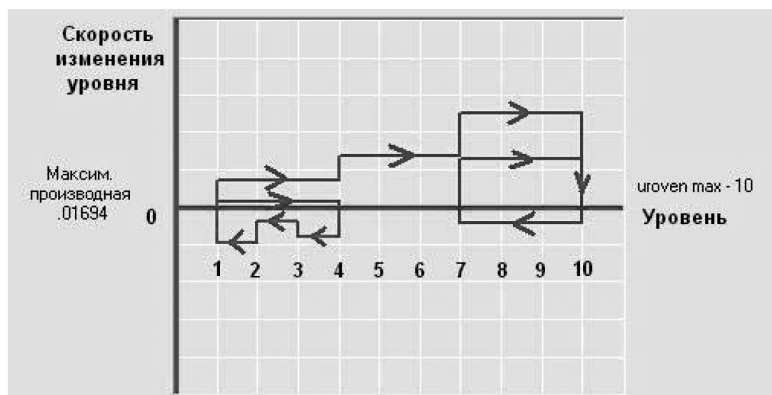


Рис. 28. Фазовый портрет деятельности ученика со средней обучаемостью

Для построения фазовых портретов обучаемых компьютерная система имеет программный модуль, записывающий все операции, производимые учеником при решении задач. Компьютерная система слежения за текущим состоянием решения проблемы (задачи) позволяет представить в формализованном виде траекторию деятельности ученика и определить в каждый момент времени значение функции $\delta = \delta(t)$.

Из приведенного выше обзора результатов педагогических экспериментов по динамическому компьютерному тестированию следует, что ДКТ может применяться как эффективное средство диагностики динамики процессов формирования предметных компетентностей, включая:

- а) уровневые траектории деятельности учеников и траектории решения задач;
- б) фазовые портреты обучаемости, позволяющие идентифицировать недостаточную специфическую обучаемость (предельные циклы) и переходы в неподвижную точку.

§ 6.6. Самооценка как индикатор предметной компетенции профессиональной подготовки студентов

На смену традиционному информационно-объяснительному способу обучения как базовому приходит системно-деятельностный, в основе которого лежит самообучение студентов. В этой связи актуальной идеей развития образования являются построение и использование универсальных образовательных автоматизированных информационных систем [31], которые расширили бы возможности индивидуального подхода к студентам и в наиболее полной мере способствовали бы реализации продуктивной учебной деятельности. Подача готовой информации применяется главным образом для того, чтобы увлечь обучающихся идеей предстоящей работы, настроить их на самостоятельную продуктивную учебную деятельность. Как указывает автор работы [97], «...эффективность учебной деятельности во многом зависит от уровня организационной, познавательной самостоятельности студентов и средств индивидуальной поддержки их образовательной деятельности».

Организовать любую деятельность, в том числе учебно-познавательную, без оценки невозможно, так как именно оценка является одним из компонентов деятельности, ее регулятором, показателем результативности. Очевидным является тот факт, что необходима такая система оценивания учебного труда, в которой учитывается мнение самих обучающихся. Это содействует переходу к развивающему обучению.

Высшая школа, функционирующая в режиме развивающего обучения, пытается научить выпускника учиться всю жизнь. Это предполагает овладение не только систематическими знаниями, но и системой апробированных способов деятельности по отношению к себе, обществу, природе, миру вообще.

Переосмысление ценностей образования приводит к тому, что в центре внимания педагогов оказывается необхо-

димось обучения студентов самоорганизации деятельности. Как утверждают авторы работы [106], «...это требует введения содержательной самооценки, которая воспринимается как мобилизационно-побудительный механизм саморегуляции учебной деятельности и залог ее успешности». При этом очень важным компонентом становится способность студентов к организации самостоятельной деятельности, осуществлению рефлексивных действий в случае встретившихся затруднений. Очевидно, что в этом случае оценке должна подвергаться степени индивидуального продвижения обучающегося в режиме саморазвития. Важно, чтобы студенты имели адекватную самооценку способностей по учебному предмету, знали самих себя. Необходимо применять индивидуальные эталоны оценки учебной деятельности, чтобы сформировать у обучающихся понимание необходимости использования любого вида деятельности для саморазвития.

Развивающее обучение организуется на основе внутренней мотивации, которая обязательно связана с обеспечением саморегуляции студентов в процессе личностного развития, основанной на самооценке. Самооценка как один из компонентов деятельности связана с процедурой оценивания и более всего с характеристикой процесса выполнения заданий.

Самооценка является важным конструктом самосознания личности. Она определяет эмоциональную составляющую мотивации целенаправленной деятельности человека, энергетику его психической активности.

В процессе обучения возникает потребность в развитии самооценки студентов до такого уровня, когда она становится механизмом, корректирующим деятельность, создающим условия, в которых возникает ситуация-стимул, позволяющая студенту самоопределиваться и выстроить самостоятельный план действий. По мнению авторов статьи [53], при организации самостоятельной работы студентов

возникает необходимость решения проблемы формирования у них механизмов самоуправления в профессиональном становлении. Главный смысл самооценки заключается в самоконтроле обучающихся, его саморегуляции, самостоятельной экспертизе собственной деятельности и в самостимуляции. Доминирующими функциями самооценки в этом случае будут: констатирующая – что из изученного материала хорошо усвоено, а что требует доработки; мобилизационно-побудительная – многое удалось в работе, но в каких-то вопросах остались неясности; проектировочная – чтобы не испытывать затруднений в дальнейшей работе, необходимо повторить.

Большинство из известных методов диагностики самооценки и уровня притязаний являются статичными тестами или опросниками [29], в которых испытуемому предоставляется возможность представить себя в той или иной ситуации, иными словами, смоделировать ситуацию и свое поведение в ней. Таким образом, результат тестирования строится на воображении испытуемого, на его субъективном представлении ситуации и своем поведении и часто на подмене реального образа Я идеальным.

В данной работе предложен новый инструментальный метод компьютерной диагностики самооценки (СО) учебной деятельности человека в процессе научения решению задач. Обучающийся дает самооценку деятельности, которую он совершает в режиме реального времени

Структура управления деятельностью и диагностика самооценки

Деятельность обучающегося в проблемной среде регулируется системой автоматического управления (САУ) [52; 56], которая состоит из местной и главной петли обратной связи. Местная петля под номером 2 на рис. 29 контролирует рассогласование между текущим и целевым состояниями решения задачи и через датчик сообщает обучающемуся ин-

формацию о «расстоянии до цели». Главная петля САУ деятельности под номером 1 на рис. 29 включает мотивационное и рефлексивное управляющее воздействие.

На рис. 29 цифрами 1, 2, 3 показаны петли обратной связи: мотивационного и рефлексивного – 1; информационного – 2 управления; генератор задач – 3. Два контура 2 и 3 отражают иерархический характер адаптации обучающегося к проблемной среде. На верхнем уровне производится адаптация структуры системы действий U_v , а на нижнем – параметров U_I этой структуры. Очевидно, что эти два уровня управления работают в разных временных режимах. Темп времени параметрической адаптации (контур 2) существенно выше темпа структурной адаптации (контур 1). Задачу управления адаптацией обучающегося к проблемной среде можно представить в виде:

$$Q(U_v, U_I) \rightarrow \min_{U_v \in E_{U_v}} \min_{U_I \in E_{U_I U_v}} \Rightarrow U_v^*, U_{IU_v}^*, \quad (1)$$

где E_{U_v} – множество допустимых структур U_v ; $E_{U_I U_v}$ – множество допустимых параметров U_I , соответствующих структуре, определяемой U_v ; U_v^* – оптимальная структура; $U_{U_v}^*$ – оптимальные параметры этой структуры.

Мотивационное управление задается системой уровней сложности проблемной среды обучающегося, а рефлексивное управление основано на том, что на вход управляемого объекта (обучающегося, совершающего учебную деятельность) подается информация о величине рассогласования между самооценкой и оценкой деятельности обучающегося САУ.

Рефлексивное управление подразумевает диагностику СО деятельности обучающегося в режиме реального времени. Оно позволяет осознать и оценить результаты совершенной деятельности. В интерфейсе САУ рефлексивные управляющие воздействия реализуются с помощью датчика, отражающего величину рассогласования между самооценкой и оценкой САУ достигнутого уровня самостоятельности.

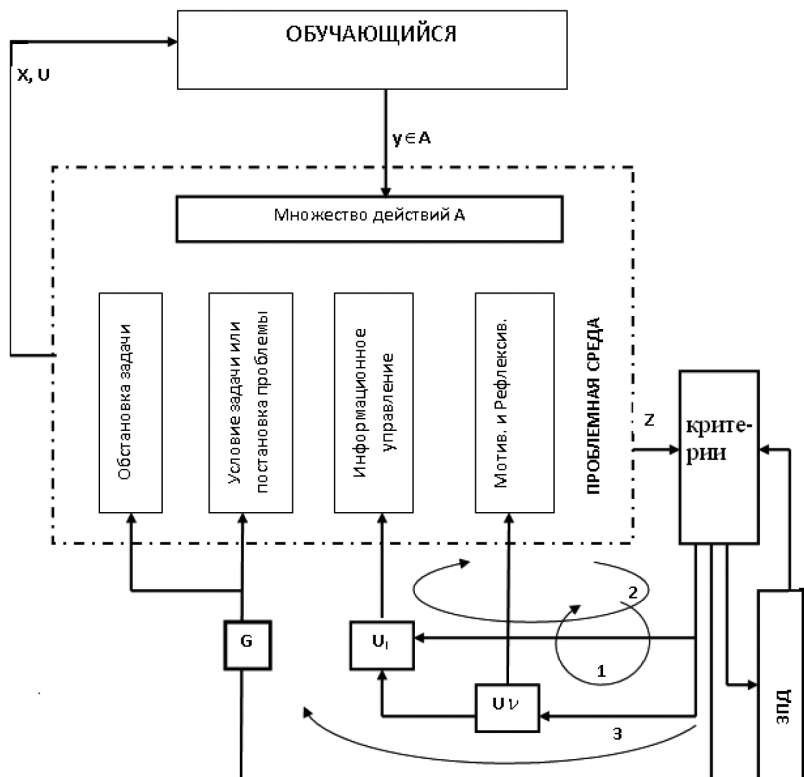


Рис. 29. Трехконтурная структурная система управления учебной деятельностью обучающегося: 1 – главная петля обратной связи; 2 – местная петля обратной связи; ЗПД – запись продуктов деятельности обучающегося и управляющего центра

СО является самостоятельным элементом структуры самосознания, не сводящимся ни к образу Я, ни к отношению, ни к самосознанию в целом. По мнению Борозиной [29], функция СО состоит в процедуре собственно оценивания общего потенциала субъекта или его отдельных свойств с помощью той или иной шкалы ценностей. Но с точки зрения деятельностного подхода связь СО с общим потенциалом «размыта», так как человек зачастую оцени-

вает какой-то конкретный вид деятельности и некорректно эту самооценку переносить на другой вид деятельности. Результат оценивания может влиять на самоотношение, внося в него качественно новые знания. СО подвержена изменению в процессе жизни человека и по содержанию, и по формальным параметрам: высоте, устойчивости, адекватности. Высота СО определяется обучающимся путем выбора соответствующего значения (уровня), ее адекватность характеризует склонность к завышению или занижению СО относительно объективной оценки. Устойчивость СО отражает ее стабильность во времени.

Для диагностики СО была использована проблемная среда «Пространственные пазлы» [109]. После выполнения каждого задания обучающемуся предлагалось оценить свою деятельность при решении задачи по десятибалльной шкале. При анализе протоколов деятельности оценка, определенная обучающимся, сравнивалась с оценкой деятельности, определенной САУ [52]. Рассматриваемый метод диагностики СО был апробирован на выборке из 170 студентов ИМФИ Красноярского государственного педагогического университета им. В.П. Астафьева [45; 46].

В ходе проведения исследования было введено количественное определение адекватности СО, отражающее накопленное рассогласование между оценками, нормированное на количество выполненных заданий:

$$L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i), \quad (2)$$

где x_i – оценка собственной деятельности, определенная обучающимся после выполнения i задания; y_i – оценка деятельности обучающегося, определенная САУ; n – количество выполненных заданий. Распределение обучающихся по адекватности СО приведено на рис. 30.

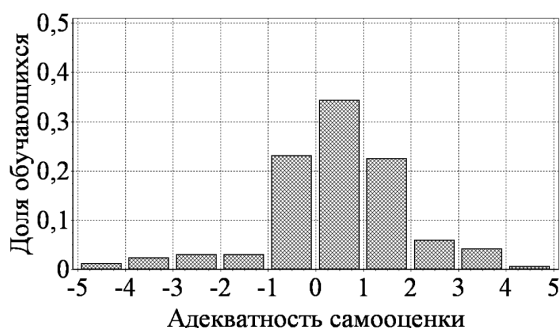


Рис. 30. Распределение обучающихся по адекватности СО

Значение $L = 0$ соответствует адекватной СО, $L > 0$ говорит о завышенной СО, а $L < 0$ – заниженной. Учитывая, что критерии оценки деятельности для обучающегося определены весьма неточно («меньше ошибок – выше уровень»), будем считать адекватными оценки, для которых $L \in [-1;1]$: в этом случае среднее рассогласование между оценками составляет менее 10 %.

Самую многочисленную группу составляют обучающиеся с адекватной СО: у 57 % обследованных $L \in [-1;1]$. Заниженную СО показали 10 %, а завышенную – 33 %. Интересно отметить, что заметно завышенную СО ($L > 2$) продемонстрировали те же 10 % обучающихся.



Рис. 31. Диаграммы оценок, определенных компьютерной системой и обучаемым

На рис. 31, а, б, в в соответствующем порядке приведены диаграммы определенных оценок, характерные для представителей указанных категорий обучающихся, развернутые в масштабе выполненных заданий. Сплошной линией показана динамика изменения реальной оценки деятельности обучающегося, а пунктирной – оценка, данная обучающимся самостоятельно.

Противовесом приведенным диаграммам служит диаграмма, изображенная на рис. 32. Параметр адекватности для этого обучающегося $L = -0,1$ (усреднено), обучающийся адекватно оценивает свою деятельность, но внимание привлекают разброс значений оценок и неоднократная смена знака рассогласования. Они указывают на неустойчивость СО, которую необходимо выразить количественно.

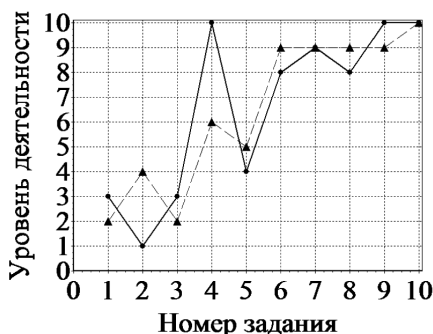


Рис. 32. Неустойчивая самооценка

Введем еще одну количественную меру – параметр устойчивости СО – объективную характеристику, которая позволит ввести шкалу и ранжировать по ней обследованных обучающихся:

$$D = \frac{|Z - V| + A}{n}, \quad (3)$$

где Z – количество завышенных самооценок, V – количество заниженных самооценок, A – количество адекватных самооценок, n – количество выполненных заданий.

Очевидно, что при устойчивой СО (когда рассогласование не меняет знак) $|Z - V| + A = n$, что делает $D = 1$. Другой крайний случай, когда нет ни одной адекватной оценки, а количество завышенных и заниженных оценок совпадает. В этом случае $D = 0$, что указывает на неустойчивую СО. Распределение обучающихся по устойчивости СО приведено на рис. 33.

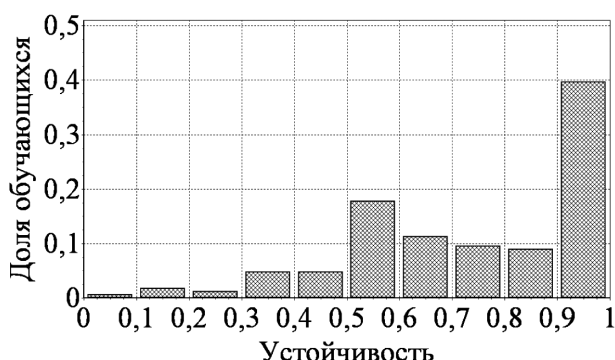


Рис. 33. Распределение обучающихся по устойчивости СО

Большая группа обучающихся (более 39 %) имеют устойчивую СО: параметр устойчивости СО лежит в интервале $D \in [0,9; 1]$. Отметим также, что доля обучающихся с низким параметром устойчивости $D < 0,5$ составляет 13 %.

В свете сказанного представляет отдельный интерес диаграмма распределения обучающихся по адекватности СО с учетом ее устойчивости. Такая диаграмма представлена на рис. 34.

Диагональной штриховкой отмечена доля обучающихся с устойчивой СО, а перекрестной штриховкой – обучающихся с неустойчивой СО. Анализируя диаграмму, можно отметить, что полярные оценки (и завышенная, и заниженная) являются устойчивыми, в то время как близкие к адекватной СО в большинстве случаев неустойчивые.

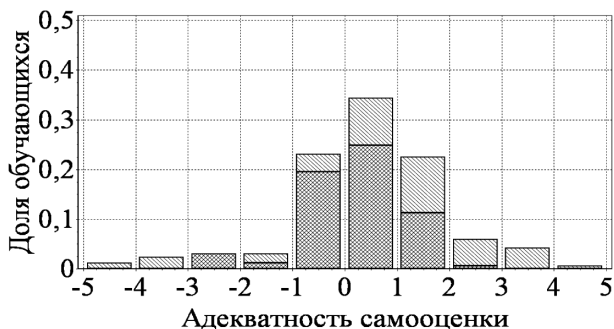


Рис. 34. Распределение обучающихся по адекватности СО с учетом ее устойчивости

Таким образом, проблемная среда, в которой обучающийся осуществляет деятельность по решению задачи и самостоятельно дает оценку этой деятельности, позволяет определить соотношение между субъективной и объективной оценками и проводить диагностику самооценки обучающихся. Введенные количественные параметры объективно характеризуют адекватность и устойчивость самооценки деятельности обучающихся при решении задач.

Наибольшее количество обучающихся, прошедших диагностику по описанному методу, обладают адекватной СО, а в совокупности с несколько завышенной, близкой к адекватной СО, группа составляет 80 % от общего числа обследованных.

§ 6.7. Самоорганизация учебной деятельности студентов как условие формирования профессиональной компетентности

В традиционном подходе к определению целей образования исходят из того, что студент может достигнуть личностных, профессиональных результатов за счет приобретения необходимых знаний, умений и навыков (ЗУНов). Предполагается, что управление учебной деятельностью обучаемого

позволяет достигать целей обучения, невзирая на сложность, обусловленную его субъектностью. Диагностика ЗУНов учебной деятельности носит статусный характер, включая уровень обученности, фактологические знания, умения и навыки и т.п. Студент рассматривается как некий «сосуд» для информации. Цель обучения – наполнить его знаниями, они задаются извне, так же как и алгоритмы их достижения.

Адаптивный подход учитывает сложность объекта управления, включая наличие у него собственного центра управления и то, что он является субъектом, имеющим собственные предпочтения и цели. Управление и диагностика учебной деятельности основываются на представлении о саморегуляции поисковой активности обучающихся и наличии гомеостатических механизмов адаптации обучающихся к проблемной среде. Проблемная среда – это совокупность условий, необходимых для поиска решения задач (проблем), решению которых должен научиться обучающийся. Возник и получил развитие деятельностный, личностно ориентированный подход, появились адаптивные системы обучения. Адаптивные системы обучения предполагают стабильное устойчивое функционирование обучающихся, основу которого составляют принципы гомеостаза и иерархичности [31].

В основе компетентностного подхода к обучению лежит получение опыта самостоятельного решения проблем. Цель образовательной деятельности состоит в научении студентов решению проблем в изменяющихся (неопределенных) условиях. Обучающиеся рассматриваются как открытые системы, в которых происходят процессы саморазвития учебной деятельности и возрастает роль ценностно-смысловой сферы обучающихся. Саморазвитие учебной деятельности происходит в состоянии неустойчивости обучающихся. В результате саморазвития формируется более совершенная структура системы действий обучающегося. Как отмечает В.С. Степин, в процессе самоорганизации учебной

деятельности происходит смена механизмов саморегулирования действий обучающихся [97]. Каждый механизм саморегулирования представляет собой некоторое устойчивое состояние жизнедеятельности субъекта обучения. Смена механизмов саморегулирования может происходить в точке бифуркации процесса развития. При бифуркации состояния обучающегося возникает, по крайней мере, два возможных пути развития учебной деятельности. Первый – приводит обучающегося к прогрессу и, соответственно, к более высокой самоорганизации учебной деятельности. Вторым – к регрессу, резкому увеличению числа ошибок и дезорганизации учебной деятельности.

Самоорганизация учебной деятельности происходит в результате продуктивной деятельности обучающихся. Условиями самоорганизации являются [106]: 1) неустойчивость состояния обучающегося, вызванное как внутренними, так и внешними причинами, например неопределенностью проблемной среды или недостатком информации; 2) наличие тезауруса или базовых знаний о предметной области или проблемной среде; 3) необходимость перевода информации с языка одной семиотической системы знаков на язык другой семиотической системы знаков.

Для анализа неустойчивых состояний обучающегося, возникающих в процессе самостоятельного научения решению задач, использовалась компьютерная программа «Системное мышление», интерфейс которой приведен на рис. 35. Эта программа позволяет идентифицировать процесс самоорганизации учебной деятельности.

Обучающийся должен научиться расставлять в определенном порядке геометрические фигуры на поле 3*3. При первом выполнении задания обучающийся определяет правильность или неправильность действия по датчику «расстояние до цели». После достижения цели он может смотреть и изучать систему расположения фигур без ограничения

времени. При нажатии на кнопку «далее» система управления определяет уровень самостоятельности деятельности обучающегося и самосогласованно изменяет частоту подключения датчика «расстояние до цели» [53].

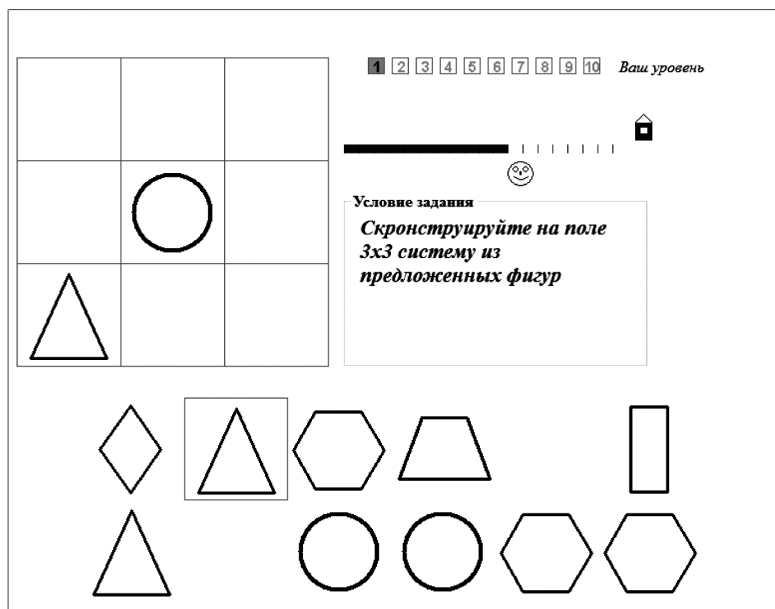


Рис. 35. Интерфейс программы «Системное мышление»

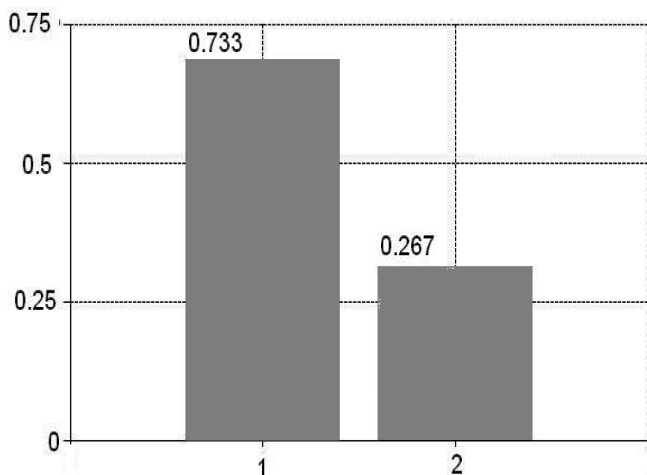
Обучающийся должен научиться расставлять в определенном порядке геометрические фигуры на поле 3*3. При первом выполнении задания обучающийся определяет правильность или неправильность действия по датчику «расстояние до цели». После достижения цели он может смотреть и изучать систему расположения фигур без ограничения времени. При нажатии на кнопку «далее» система управления определяет уровень самостоятельности деятельности обучающегося и самосогласованно изменяет частоту подключения датчика «расстояние до цели» [53]. Обучающийся выполняет то же самое задание до тех пор, пока не до-

стигнет 10 уровня самостоятельности. Для анализа процесса научения применяется метод актиограмм (см. [53]), в основе которого лежит графическое отображение учебной деятельности во времени. Это позволяет анализировать эволюцию развития учебной деятельности. В настоящей работе метод актиограмм применяется для анализа бифуркаций учебной деятельности, инициируемых изменением неопределенности проблемной среды.

Была исследована учебная деятельность 75 студентов ИМФИ КГПУ им. В.П. Астафьева. В неустойчивых ситуациях, которые возникали при резком уменьшении внешней информации, учебная деятельность большинства испытуемых (55 человек) претерпевала регресс. Это приводит к уменьшению уровня самостоятельности. Уровень самостоятельности не уменьшался у 20 испытуемых. У этих испытуемых происходила самоорганизация учебной деятельности. На рис. 36 приведена гистограмма распределения испытуемых по двум группам: 1 – группа со срывом с достигнутого уровня самостоятельности (регресс); 2 – группа без срыва с достигнутого уровня самостоятельности (прогресс). Учебная деятельность приобретает самостоятельный характер при научении решению задач «без учителя». В процессе научения решению задач обучающемуся не сообщается, как поступить или какое действие предпринять.

Обучающийся на основе собственного опыта в процессе поиска решения задачи определяет, какие действия приводят к целевому состоянию задачи.

Действия обучающегося определяются не только сиюминутным результатом, но и последующими действиями и случайными подкреплениями со стороны проблемной среды. Эти два свойства (метод «проб и ошибок» и подкрепление) являются основными характеристиками системы управления самостоятельной учебной деятельностью обучающихся решению задач.



*Рис. 36. Гистограмма распределения испытуемых:
1 – со срывом; 2 – без срыва уровня самостоятельности*

Таким образом, для достижения целей обучающийся сам определяет тактику и стратегию своей деятельности. Чтобы оптимизировать процесс научения, обучающийся не только опирается на свои знания (тезаурус), но и исследует пространство состояний задач данного типа, с тем чтобы найти (генерировать) правильный алгоритм поиска решения задач. Очевидно, что одна решенная задача не даст нужного результата в исследовании процесса поиска решения задач. Для получения обучающимся достоверной информации об алгоритме решения задач проводимые им исследования должны многократно повторяться.

Информацию, накопленную обучающимся при осуществлении деятельности в проблемной среде после выполнения i заданий, можно оценить как меру снятой неопределенности. В начале обучения недостаток внутренней информации у обучающихся компенсируется управляющими воздействиями системы обучения [53]. На рис. 37 приведены графики зависимости уровней самостоятельности от но-

мера выполнения заданий для двух испытуемых. Как видно из рисунка, уровни самостоятельности кривых обучения обучающихся I и II при выполнении 1 и 2 задания совпадают.

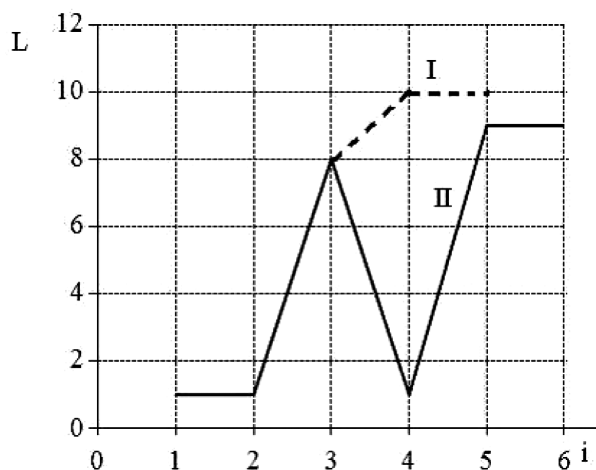


Рис. 37. Кривые развития учебной деятельности I и II испытуемых (вертикальная ось L – уровень самостоятельности учебной деятельности, горизонтальная ось i – номер задания)

После выполнения 2 задания оба обучающихся переходят на 8 уровень самостоятельности. Но чем больше уровень самостоятельности обучающегося, тем меньше внешней информации, подкрепляющей действия обучающегося. Возрастает неопределенность проблемной среды, которая инициирует бифуркацию, или неустойчивое состояние обучающихся при выполнении 3 задания. У обучающегося I при прохождении неустойчивого состояния произошла самоорганизация учебной деятельности, сопровождаемая уменьшением числа ошибочных действий. Это видно из актиограммы учебной деятельности обучающегося I, приведенной на рис. 38, а. Обучающийся II при выполнении 3 задания не смог мобилизовать свой внутренний потенциал и, как следствие этого, самоорганизация его учебной деятель-

ности не произошла. Состояние неустойчивости, возникшее у обучающегося II, привело к деградации структуры учебной деятельности. На актиограмме учебной деятельности (рис. 38, б) это отражено возрастанием числа ошибочных действий.

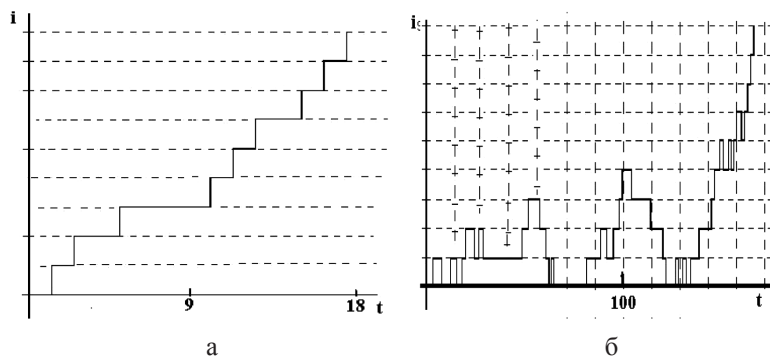


Рис. 38. Актиограммы учебной деятельности при выполнении 3 задания (см. рис. 37): а – обучающийся I; б – обучающийся II

Как следует из анализа учебной деятельности испытуемых I и II, безошибочное решение задач не всегда означает, что обучающийся научился данному виду деятельности. Для того чтобы проверить это, необходимо создать условия для возникновения неустойчивого состояния обучающихся. Это можно сделать, варьируя неопределенность проблемной среды, например, посредством уменьшения внешней информации, которая гасит внутреннюю неопределенность обучающегося в процессе поиска решения задачи. Если процесс самоорганизации учебной деятельности не завершился, то это можно выявить, если уменьшить количество внешней информации, содействующей поиску решения задач.

При этом может возникать каскад бифуркаций со срывом уровня самостоятельности (рис. 39, а). Объяснение каскаду бифуркаций со срывом уровня самостоятельности

состоит в том, что при каждом понижении уровня самостоятельности испытуемый эффективно использует внешнюю информацию и совершает мало ошибок. Это задает высокий уровень самостоятельности при выполнении следующего задания, но поскольку внутренней информации обучающегося недостаточно для безошибочного выполнения следующего задания, то в учебной деятельности снова много ошибок и снова падение уровня самостоятельности. Можно сделать вывод о том, что испытуемый действует с опорой на внешний контекст. Как только внешний контекст изменяется, то есть датчик «расстояние до цели» исчезает, возникает неустойчивость и уровень самостоятельности уменьшается.

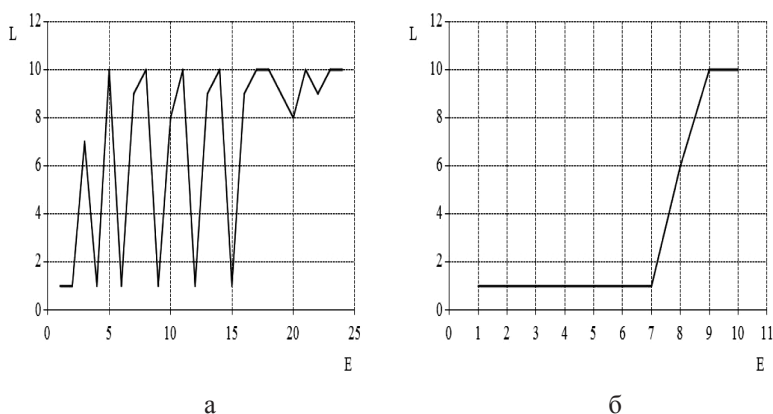


Рис. 39. Развитие учебной деятельности:
а – неустойчивое; б – устойчивое

На рис. 39, б представлен график уровней самостоятельности в зависимости от номера задания для испытуемого, который действует с опорой на внутренний контекст. При этом он не фиксирует свое внимание на внешних сигналах (подкреплениях датчика «расстояние до цели»), а пытается запомнить и понять то, как правильно выполнить за-

дание, как организована конструируемая система. Поэтому он достаточно долго находится на первом уровне самостоятельности. Поскольку проблемная среда не изменяется, то развитие учебной деятельности носит устойчивый характер. От задания к заданию идет накопление полезной информации о том, как нужно правильно действовать, и только после 7 задания уровень самостоятельности обучающегося возрастает.

Для интерпретации бифуркации учебной деятельности используем модель Хокинса [105]. Согласно модели Хокинса, основные функции мозга – запоминание и прогнозирование. Запоминаются временные ряды событий, из которых затем выделяются инвариантные ряды события, определяющие решение задачи. У тех испытуемых, которые остались на 10 уровне, процесс выделения инвариантных событий закончился, то есть события, связанные с сигналами среды (подкреплениями), являются просто шумом. Поэтому уменьшение внешней информации до нуля никак не влияет на успешность их деятельности. Деятельность таких обучающихся происходит с опорой на внутренний контекст.

Испытуемые, у которых ряды инвариантных событий не выделены, нуждаются в полном ряду событий, включая сигналы среды. Поэтому исключение событий, несущих внешнюю информацию, компенсирующую недостаток внутренней информации, приводит к дезорганизации деятельности испытуемого и совершению ошибок.

Приведенные объяснения бифуркации учебной деятельности согласуются с представлениями синергетики, так как исключение второстепенных событий из инвариантной последовательности действий является механизмом саморегуляции с более высоким уровнем организации деятельности.

Продолжительность взаимодействия с определенной средой, уровень развития индивидуального когнитивного

ресурса личности и величина информационной энтропии помогают выработать наиболее эффективный способ взаимодействия. Динамика саморазвития когнитивной стратегии решения задачи с доминированием наиболее эффективного механизма саморегулирования поиска решения задач является показателем обучаемости испытуемых как основного критерия в учебном процессе.

Установлено, что при саморазвитии ведущую роль играет учебная деятельность по научению решению задач, которая носит существенно нелинейный характер. Из анализа эволюции поиска решения задач следует, что обучающийся, согласно работе В.С. Степина, является саморазвивающейся системой, которая «...характеризуется развитием, в ходе которого осуществляется переход от одного вида саморегуляции к другому» [97]. Саморегулирование учебной деятельности в методе проб и ошибок сменяется структурой систематической, пооперационной учебной деятельностью, а затем происходит переход к интеллектуальному поиску решения задач.

Темы рефератов и курсовых работ

Темы рефератов и курсовых работ к 1 главе

1. Синергетика, наука о самоорганизации сложных систем.
2. Обучаемость. Компьютерная диагностика обучаемости.
3. Классический подход к тестированию и диагностики учебно-познавательной деятельности.
4. Роль обратных связей для управления учебной деятельностью.
5. Управление конфликтами как способ регулирования учебной деятельностью.
6. Методы компьютерной психолого-педагогической диагностики.
7. Динамическое тестирование как диагностика процессуальных, динамических параметров учебной деятельности.

Темы рефератов и курсовых работ к 3 главе

1. Математические модели учебной деятельности
2. Марковская модель учебной деятельности.
3. Черный ящик. Идентификация системы управления.
4. Оптимизация управления процессом обучения.
5. Информационная модель обучающегося.
6. Модель процесса обучения Буша – Мотрелли.
7. Моделирование систем искусственного интеллекта. «Модель равных цен».

Темы рефератов и курсовых работ к 6 главе

1. Механизмы подкреплений процесса научения. Работы Скиннера.
2. Рефлексия. Роль рефлексии в самореализации обучающегося.

3. Теория функциональных систем.
4. Живые конечные автоматы.
5. Динамическая теория информации.
6. Синергетические модели образовательных систем.
7. Информационный подход в обучающихся системах.
8. Теория развивающихся систем.
9. Рефлексивное управление самообучением учащихся.
10. Процессуальные характеристики поиска решения задач.

Библиографический список

1. Anderson J.R. Acquisition of cognitive skill / Psychological Review, 89, 369. 1982. 406 p.
2. Anderson, J.R. The architecture of cognition. Cambridge, MA: Harvard University Press, 1983.
3. Feuerstein R. The dynamic assessment of retarded reformers: The Learning Potential Assessment Device, theory, instruments, and techniques. Baltimore: University Park Press, 1979.
4. Newell F., Simon H. Human problem solving. Englewood cliffs, NJ Prentice-Hall., 1972.
5. Rosenblatth A., Winer N. The role of Models in Science // Philosophy of Science. 1945. Vol.12, № 14.
6. Аванесов В.С. Методологические и теоретические основы тестового педагогического контроля: дис. ... д-ра пед. наук. М., 1994.
7. Аванесов В.С. Научные проблемы тестового контроля знаний. М.: МСиС, 1994.
8. Аванесов В.С. Теоретические основы разработки заданий в тестовой форме. М.: МГТА, 1995.
9. Амосов Н.М. Моделирование мышления и психики. Киев, 1965.
10. Андерсон Джон Р. Когнитивная психология. 5-е изд. СПб.: Питер, 2002. 496 с.
11. Анастаси А., Урбина С. Психологическое тестирование. СПб.: Питер, 2003. 688 с. (Мастера психологии).
12. Архангельский С.И. Учебный процесс в высшей школе, его закономерные основы и методы. М.: Высш. шк., 1980. 256 с.
13. Астратов Ю. Размышления об использовании компьютера в учебном процессе // ИНФО. 1987. № 5.
14. Аткинсон Р. Адаптивные обучающие системы: Попытки оптимизировать процесс обучения // Р. Аткинсон. Человеческая память и процесс обучения. М., 1980.
15. Бабанский Ю.К. Методы обучения в современной образовательной школе. М.: Просвещение, 1985. 208 с.
16. Бабанский Ю.К., Поташник М.М. Оптимизация педагогического процесса (в вопросах и ответах). Киев: Радянська школа, 1983. 287 с.

17. Белошапка В.К., Лесневский А. Основы информационного моделирования // ИНФО. 1989. № 3.
18. Беляев Р.В., Кравец О.Я. Автоматизация адаптивного управления траекториями обучения // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2011. Т. 7, № 7. 109–114 с.
19. Берг А.И. Кибернетика наука об оптимальном управлении. М.: Энергия, 1964.
20. Борулава Г.А. Диагностика и развитие мышления подростков. Бийск: НИЦБиГПИ, 1993.
21. Бесекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп. СПб.: Профессия, 2003. 752 с.
22. Беспалько В.П. Стандартизация образования: основные идеи и понятия // Педагогика. 1993. № 5. С. 51–57.
23. Беспалько В.П. Дидактические основы программированного управления процессом обучения: автореф. дис. ... д-ра пед. наук. М., 1968.
24. Беспалько В.П. Образование и обучение с участием компьютера (педагогика третьего тысячелетия). М.: Модэк, 2002. 351 с.
25. Беспалько В.П. Опыт разработки и использования критериев качества усвоения знаний // Советская педагогика. 1968. № 4.
26. Беспалько В.П. Основы теории педагогических систем. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1977.
27. Беспалько В.П. Слагаемые педагогической технологии. М.: Педагогика, 1989. 192 с.
28. Беспалько В.П., Татур Ю.Г. Системно-методическое обеспечение учебно-воспитательного процесса подготовки специалистов. М.: Высш. шк., 1989.
29. Борозина Л.В. Теоретико-экспериментальное исследование самооценки: место в структуре самосознания, возрастная динамика, соотношение с уровнем притязаний, влияние на продуктивность деятельности.: дис. ... д-ра психол. наук. М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 1999. 413 с.
30. Братко А.А., Волков П.П., Кочергин А.Н., Царегородцев Г.И. Моделирование психической деятельности. М., 1969.

31. Буданов В.Г. Синергетическая методология в постнеклассической науке и образовании // Синергетическая парадигма. Синергетика образования. М.: Прогресс-Традиция, 2007. С. 174–211.
32. Булаков Н.Л., Волков Д.В. и др. Математическое моделирование и перспективы развития школьного образования. М.: Препринт ИПМ, 1987.
33. Бурков В.Н. и др. Механизмы функционирования социально-экономических систем с сообщением информации // Автоматика и телемеханика. 1966. № 3. С. 3–25.
34. Бурков В.Н. и др. Теория активных систем: состояние и перспективы. М.: Синтез, 1999. 128 с.
35. Величковский Б.М., Капица М.С. Психологические проблемы изучения интеллекта. Интеллектуальные процессы и их моделирование. М.: Наука, 1987. 120 с.
36. Вильямс Р., Маклин К. Компьютеры в школе: пер. с англ. М.: Прогресс, 1988.
37. Воскерчмян С.И. Об использовании метода тестов // Советская педагогика. 1963. № 10. С. 28–38.
38. Выготский Л.С. Педагогическая психология / под ред. В.В. Давыдова. М.: Педагогика, 1991. 456 с.
39. Гальперин П.Я. Введение в психологию. М.: МГУ, 1976. 150 с.
40. Гальперин П.Я., Талызина Н.Ф. Современное состояние теории поэтапного формирования умственных действий // Вестник МГУ. Сер. 14. 1979. № 4. С. 54–64.
41. Гергей Т.Б., Машбиц Е.И. Психолого-педагогические проблемы эффективного применения компьютера в учебном процессе // Вопросы психологии. 1985. № 3.
42. Давыдов В.В. Виды обобщения в обучении. М.: Педагогика, 1972. 228 с.
43. Далингер В.А., Костюченко Р.Ю. Аналогия в геометрии: учеб. пособие. Омск: Изд-во ОмГПУ, 2001. 149 с.
44. Доррер А.Г. Моделирование и разработка интерактивных обучающих систем с адаптацией: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2005. С. 159.

45. Дьячук И.П., Кудрявцев В.С., Шадрин И.В. Компьютерная диагностика самооценки учебной деятельности на основе инструментального метода // Вестник КГПУ им. В.П. Астафьева. 2013. № 3. С. 106–109.
46. Дьячук И.П., Кудрявцев В.С., Шадрин И.В. Самооценка как индикатор рефлексивного самоуправления учебной деятельности // Международный электронный журнал «Образовательные технологии и общество (educational technology & society)». 2013. №1, т. 16. С. 647–654.
47. Дьячук П.П. Дьячук П.П. (мл.), 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.
48. Дьячук П.П. Моделирование учебной деятельности Марковскими цепями на примере конструирования пространственных объектов // Системы управления и информационные технологии. 2010. Т. 39, № 1.2. С. 229–233.
49. Дьячук П.П., Бортновский С.В., Шадрин И.В. О компьютерном динамическом тестировании: тезисы докладов Международной научно-методической конференции «Развитие системы образования в России XXI века». Красноярск: КГУ, 2003. С. 101–103.
50. Дьячук П.П., Дроздова Л.Н., Дьячук П.П. (мл.), Бортновский С.В., Шадрин И.В. Управление адаптацией обучающихся в проблемных средах и диагностика процессов саморегуляции учебных действий / Краснояр. гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева. Красноярск, 2010. 384 с.
51. Дьячук П.П., Дроздова Л.Н., Кудрявцев В.С., Шадрин И.В. Диагностика динамических параметров учебной деятельности по конструированию звуковых объектов // Системы управления и информационные технологии. 2010. № 1.2 (39). С. 233–238.
52. Дьячук П.П., Дроздова Л.Н., Шадрин И.В. Системы автоматического регулирования учебных действий // Информационно-управляющие системы. 2010. № 5. С. 5–12.
53. Дьячук П.П., Кудрявцев В.С., Шадрин И.В. Метод актиограмм в системах управления и диагностики деятельности

сти человека // Материалы V Международной конференции «Системный анализ и информационные технологии». Красноярск, 2013. Т. 1 С. 212–217.

54. Дьячук П.П., Лариков Е.В. Информационные модели процесса обучения и динамических тестов-тренажеров // Научный ежегодник КГПУ. Красноярск: РИО КГПУ, 2003. С. 273–280.
55. Дьячук П.П., Лариков Е.В., Дьячук П.П. (мл.). Динамика процесса обучения решению алгоритмических зада. // Научный ежегодник КГПУ. Красноярск: РИО КГПУ, 2003. С. 314–322.
56. 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.
57. Дьячук П.П., Шадрин И.В. Динамическое компьютерное тестирование энтропийного фактора деятельности учащихся // Педагогическая информатика. 2005. № 2. С. 8–12.
58. Захаров А.Н., Матюшкин А.М. Проблемы адаптивных систем обучения // Кибернетика и проблемы обучения: сб. переводов под ред. А.Н. Захарова, А.М. Матюшкина. М.: Прогресс, 1970.
59. Ильина Т.А. Тестовая методика проверки знаний и программированное обучение // Советская педагогика. 1967. № 2. С. 122–135.
60. Ингемкамп К. Педагогическая диагностика. М.: Педагогика, 1991.
61. Ительсон Л.Б. Лекции по современным проблемам обучения. Владимир, 1972. 383 с.
62. Касаткина А.А. Компетентностные модели как системный ресурс повышения качества инновационных образовательных программ // Вестник СИБГУТИ. 2010. № 1 (77). С. 77–84.
63. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений. М.: Прогресс, 1979. 504 с.
64. Кравец О.Я. Управление в образовательных системах: проблемы и решения // Психология. Социология. Педагогика. 2011. № 7. С. 19–26.
65. Кудрявцев В.В., Вашик К., Строгалов А.С., Алисейчик П.А., Перетрухин В.В. Об автоматном моделировании процесса обучения // Дискретная математика. 1996. Т. 8, № 4. С. 3–10.

66. Лапчик М.П. Информатика и информационные технологии в системе общего педагогического образования: монография. Омск: Изд-во ОмГПУ, 1999. 294 с.
67. Леонтьев А.Н. Деятельность. Сознание. Личность. М.: Наука, 1982.
68. Лернер А.Я. Начала кибернетики. М.: Наука, 1967. 400 с.
69. Логиновский О.В., Козлов А.С. Модель управления социально-экономической системой с двойной петлей обратной связи // Вестник ЮУрГУ. 2012. № 3. С. 72–80.
70. Люгер Дж. Искусственный интеллект (стратегия и методы решения сложных проблем). 4-е изд.: пер. с англ. М.: Вильямс, 2003. 864 с.
71. Ляпунов А.А. Кибернетика живого. Биология и информация. М.: Наука, 1984. 140 с. (Кибернетика неограниченные возможности и возможные ограничения).
72. Ляудис В.Я., Тихомиров О.К. Психология и практика автоматизированного обучения // Вопросы психологии. 1983. № 6.
73. Мазурак Т.Л. Интеллектуальные средства автоматизации управления обучением // Образовательные технологии и общество (Educational Technology & Society). 2012. Т. 15, № 3. С. 502–521.
74. Машбиц Е.И. Психолого-педагогические проблемы компьютеризации обучения. М.: Педагогика, 1988. 192 с.
75. Мордкович А.Г. Алгебра. 7–9 кл.: методическое пособие для учителя. М.: Мнемозина, 2000. 80 с.
76. Мордкович А.Г. Алгебра. 7–9 кл.: тесты. М.: Мнемозина, 2000.
77. Мордкович А.Г. Учебники алгебры. 7–9 кл. М.: Мнемозина, 2001.
78. Немов Р.С. Психология. М., 1990. 550 с.
79. Никандров В.В. Метод моделирования в психологии: учеб. пособие. СПб.: Речь, 2003. 55 с.
80. Новиков А.М. Методология образования. М.: Эгвес, 2002.
81. Новиков Д.А. Закономерности итеративного научения. М.: Ин-т проблем управления РАН, 1998. 77 с.
82. Новиков Д.А. Механизмы функционирования многоуровневых организационных систем. М.: Фонд «Проблемы управления», 1999. 150 с.

83. Новиков Д.А., Цветков А.В. Механизмы функционирования организационных систем с распределенным контролем. М.: ИПУ РАН, 2001. 118 с.
84. Орловский С.А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации. М.: Наука, 1981. 206 с.
85. Пак Н.И. Нелинейные технологии обучения в условиях информатизации: монография. Красноярск: КГПУ, 1999. 148 с.
86. Пак Н.И. О концепции информационного подхода в обучении // Вестник КГПУ им. В.П. Астафьева. 2011. № 1. С. 91–97.
87. Пидкасистый П.И. Самостоятельная деятельность учащихся. Дидактический анализ процесса и структуры восприятия и творчества. М.: Педагогика, 1972.
88. Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. М., 1957. Т. 1.
89. Поспелов Д.А. Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных аспектов. М., 1989.
90. Растригин Л.А. Адаптация сложных систем (методы и приложения). Рига, 1981. 375 с.
91. Рей У. Методы управления технологическими процессами: пер. с англ. М.: Мир, 1983. 368 с.
92. Рубинштейн С.Л. Проблемы общей психологии. М.: Педагогика, 1973. 423 с.
93. Серых В.И., Гребцова Л.В., Чернышевская Е.И. Модели измерений уровня подготовленности студентов // Вестник СибГУТИ. 2011. № 3 (35). С. 35–44.
94. Смолянинов В.В. Структурные и функциональные инварианты распределения биологических систем: автореф. дис. ... канд. наук. Пушино: Ин-т биофизики АН СССР, 1985. 43 с.
95. Смолянинов В.В. От инвариантов геометрии к инвариантам управления // Интеллектуальные процессы и их моделирование. М.: Наука, 1987.
96. Сосновский В.И., Тесленко В.И. Вопросы управления в обучении (педагогическое тестирование). Красноярск: РИО КГПУ, 1995. Ч. 1.
97. Степин В.С. Саморазвивающиеся системы и постнеклассическая рациональность // Вопросы философии. 2003. № 3. С. 5–17.

98. Талызина Н.Ф. Актуальные проблемы обучения в высшей школе // Педагогика высшей школы. Воронеж: ВГУ, 1974.
99. Талызина Н.Ф. Деятельностный подход к построению модели специалиста // Вестник высшей школы. 1986. № 3. С. 10–14.
100. Талызина Н.Ф. Управление процессом усвоения знаний. Психологические основы. М.: МГУ, 1984.
101. Тюков А.А. Рефлексия в науке и обучении. Новосибирск: НГУ, 1984. 124 с.
102. Усачев А.В. Нейросетевая мультилингвистическая система адаптивного обучения терминологической лексике: дис. ... канд. техн. наук. Красноярск, 2005. С. 158.
103. Формирование учебной деятельности у студентов / под ред. В.Я. Ляудис и др. М.: МГУ, 1989.
104. Хегенхан Б., Олсон М. Теории научения. 6-е изд. СПб.: Питер, 2004. 474 с.
105. Хокинс Дж., Блейкли С. Об интеллекте: пер. с англ. М.: И.Д. Вильямс, 2007. 240 с.
106. Чернавский Д.С. Синергетика и информация. Динамическая теория информации. М.: Книжный дом «Либроком», 2013. 304 с.
107. Шадрин И.В. Автоматический регулятор учебной деятельности «Tr@сК»: Современное образование: содержание, технологии, качество: материалы Международного форума. Санкт-Петербург, 21–22 апреля 2010. СПб., 2010. С. 74–76.
108. Шадрин И.В. Взаиморегулирование структуры системы действий в информационной системе «Обучающийся. Пазловая проблемная среда» // Управляющие системы и машины. 2010. № 2. С. 17–22.
109. Шадрин И.В. Инструментальный метод исследования деятельности обучающихся конструированию пространственных объектов // Системы управления и информационные технологии. 2008. № 2.2(32). С. 308–311.
110. Шадрин И.В. Функциональная информационная система «Обучающийся. Пазловая проблемная среда» // Новые информационные технологии в образовании для всех: инновационные методы и модели. Киев, 2009. С. 148–156.

111. Шеннон К. Математическая теория связи // Работы по кибернетике и теории информации. ИЛ. 1963.
112. Эльконин Д.Б. Психология формирования личности и проблемы обучения // Научные труды АПН СССР, НИИ общей педагогики / под ред. Д.Б. Эльконина, И.В. Дубровиной. М., 1980. 166 с.
113. Энциклопедический словарь: Сов. энциклопедия, 1983. 1600 с.
114. Эрдниев П.М. Укрупнение дидактических единиц в обучении математике. М.: Просвещение, 1986.
115. Юрков Н.К. Интеллектуальные компьютерные обучающие системы: монография. Пенза: Изд-во ПГУ, 2010. 304 с.

Цифры, стоящие в столбце с названием «Уровень», равны числу операций, через которые появляется подсказка. Для 10 уровня подсказка появляется через 100 операций, т.е. практически ученик делает задание самостоятельно. Единицей времени служит 0.1 сек. Правильность операции кодируется двоичным кодом: 0 – неправильно; 1 – правильно.

Действие	Время	Правильность	Уровень
Задание 1			
x+1	188	0	1
x+1	8	0	1
x+1	7	0	1
y+1	42	0	1
y+1	5	0	1
y+1	7	0	1
y-1	36	1	1
y-1	6	1	1
y-1	5	1	1
y-1	10	1	1
y-1	4	1	1
y-1	5	1	1
y-1	63	1	1
y-1	5	1	1
y-1	10	1	1
x-1	23	1	1
x-1	5	1	1
x-1	7	1	1
x-1	3	1	1
x-1	6	1	1
x-1	4	1	1
y+1	25	0	1

y-1	16	1	1
x-1	27	0	1
y-1	11	0	1
y+1	18	1	1
x+1	10	1	1
+	238	0	1
+	22	1	1
+	3	1	1
Enter	37		

Действие	Время	Правильность	Уровень
----------	-------	--------------	---------

Задание 2

x-1	129	0	1
x-1	7	0	1
x+1	12	1	1
x+1	7	1	1
x+1	5	1	1
x+1	11	1	1
x+1	13	1	1
y+1	57	0	1
y-1	10	1	1
y-1	5	1	1
y-1	5	1	1
y-1	10	1	1
Enter	44		

Задание 12

x-1	37	1	14
x-1	4	1	14
x-1	4	1	14
x-1	5	1	14
x-1	5	1	14
y-1	26	1	14

y-1	5	1	14
y-1	4	1	14
y-1	5	1	14
+	44	0	14
Enter	46		

Задание 13

x+1	63	1	11
x+1	3	1	11
x+1	3	1	11
x+1	4	1	11
x+1	4	1	11
x+1	4	1	11
x+1	6	1	11
x+1	7	1	11
x+1	7	1	11
x+1	8	1	11
x+1	8	1	11
x+1	10	1	11

Действие Время Правильность Уровень

+	43	1	11
+	17	0	11
Enter	52		

Задание	14		
x+1	59	1	11
x+1	7	1	11
y-1	50	1	11
y-1	5	1	11
y-1	7	1	11
y-1	6	1	11
y-1	7	1	11

y-1	6	1	11
y-1	5	1	11
Enter	82		

Задание	15		
x+1	40	1	100
x+1	2	1	100
x+1	1	1	100
x+1	1	1	100
x+1	2	1	100
x+1	2	1	100
x+1	1	1	100
x+1	2	1	100
x+1	9	1	100
x+1	4	1	100
y+1	27	1	100
y+1	5	1	100
y+1	7	1	100
y+1	6	1	100
+	48	1	100
+	5	1	100
Enter	14		

Учебное издание

Игорь Владимирович Шадрин
Петр Павлович Дьячук
Павел Петрович Дьячук
Данил Сергеевич Бажин

ДИНАМИЧЕСКИЕ КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕСТЫ
УЧЕБНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Учебное пособие

Электронное издание

Редактор *М.А. Исакова*
Корректор *Ж.В. Козуница*
Верстка *Н.С. Хасанишина*

660049, Красноярск, ул. А. Лебедевой, 89.
Редакционно-издательский отдел КГПУ,
т. 217-17-52, 217-17-82

Подготовлено к изданию 17.06.15
Формат 60х84 1/16.
Усл. печ. л. 13,5.