

<https://www.doi.org/10.33910/1992-6464-2021-199-115-124>

В. Р. Нымм, К. Р. Пиотровская

ФОРМИРОВАНИЕ ЯЗЫКОВЫХ НАВЫКОВ НА ОСНОВЕ CALL-ТЕХНОЛОГИЙ

В статье исследуется проблема формирования языковых навыков на основе ИТ-технологий. Обсуждаются вопросы формальной постановки целей обучения в условиях ограниченных знаний о процессе. Отсутствие модели, позволяющей в любой момент времени оценивать состояние обучаемого по отношению к предмету обучения, является главной проблемой для формальной постановки задачи обучения. Предлагается эволюционный подход к разрешению проблемы на основе массового эксперимента. Подробно описывается схема функционирования разработанной CALL-технологии и ее компонентов.

Ключевые слова: CALL (компьютерная поддержка обучения языку), CALL-технология, модель обучаемого, алгоритм управления процессом обучения, языковой навык.

V. Nymm, X. Piotrowska

THE DEVELOPMENT OF LANGUAGE SKILLS IN COMPUTER-ASSISTED LANGUAGE LEARNING

The paper focuses on the development of language skills through information technologies. One of the main challenges posed by computer-assisted language learning is the absence of a model to estimate the state of a student at each particular time instance. In the absence of the explicit learner model, a special attention is given to setting the learning goals. The paper discusses a possible solution to the challenge in question and offers an algorithm controlling the learning process.

Keywords: computer assisted language learning (CALL), CALL method, learner model, algorithm controlling the learning process, language skill.

В течение ряда лет рабочая группа университета развивает работы по исследованию проблемы компьютерного обучения иностранным языкам. В теоретическом плане проводимые работы концентрируются на исследовании проблемы приобретения языковых навыков иностранного языка в рамках выполнения письменных упражнений типа «стимул — реакция», в практическом — на создании эффективной компьютерной технологии, обеспечивающей формирование этих навыков в рамках самостоятельной работы студента. Несмотря на определенные успехи в области информатизации обучения иностранным языкам, в основном они связаны с обеспечением аудиторных занятий. В то же время самостоятельная работа сту-

дентов по формированию навыков иностранного языка остается наименее контролируемой преподавателем и наименее обеспеченной программными средствами областью их деятельности. При определении требований к разрабатываемой технологии мы исходили из знания среды, в которую она должна встраиваться, и ситуаций, которые она должна обслуживать, а в части формальной постановки и решения задач обучения опирались на работы по математической теории обучения [1; 2; 8]. Достаточно подробное описание общей концепции создания, использования и развития технологии приведено в статье В. Р. Нымма «Эволюционный подход к созданию и развитию CALL-технологий на базе вычислительного эксперимента» [6].

За время, прошедшее с момента опубликования статьи, положения концепции, связанные со структурой и методологией выполнения исследований, не претерпели существенных изменений. Изменилось их содержание. Прежде всего это касается постановки целей и методов их достижения в условиях более чем ограниченных знаний о процессах приобретения языковых навыков.

Постановка целей

С позиции преподавателя иностранного языка цель обучения (как желаемое или ожидаемое состояние обучаемого на момент его завершения) может быть выражена в терминах результатов контрольной или тестовой работы, проводимой после изучения темы или раздела, как

$$\frac{n_o}{N} < q,$$

где N — общее число упражнений, представленных в составе тестовой работы, n_o — количество упражнений, выполненных с ошибками, q — допустимая доля неправильных ответов обучаемого.

Выраженная в такой форме цель обучения (далее будем ее трактовать как внешнюю) естественна для языка преподавателя. Однако в плане формальной постановки задачи и реализации ее решения в форме алгоритма обучения такая форма выражения цели неприемлема. Степень ее достижения может быть определена только после полного завершения процесса обучения.

Вне зависимости от используемого алгоритма суть процесса компьютерного обучения, реализуемого в рамках упражнений типа «стимул — реакция», можно описать несколькими предложениями. Процесс компьютерного обучения — это последовательность элементарных актов обучения, каждый из которых включает:

- предъявление обучаемому стимула упражнения;
- реакцию обучаемого на стимул упражнения (т. е. выполнение упражнения);
- реакцию системы на ответ обучаемого, трактуемую как подкрепление знаний;

реализуется в форме сообщения, которое либо подтверждает правильность ответа, либо (если ответ был неверным) содержит верный ответ и правило, которое его обосновывает.

Управление процессом обучения — это механизм выбора каждого очередного упражнения для предъявления обучаемому. Информация для выбора может складываться из двух составляющих:

- информации о реакциях обучаемого в ходе предыдущего обучения;
- информации о состоянии обучаемого по отношению к предмету обучения на момент выбора.

Если алгоритм использует функцию или какой-либо другой механизм, позволяющий прогнозировать значения величин, которые описывают состояние обучаемого в ходе обучения, он называется алгоритмом с моделью обучаемого, в противном случае — алгоритмом без модели.

Процесс обучения подразделяется на примерно одинаковые по времени сеансы. Выбор порции упражнений для каждого сеанса относится к компетенции алгоритма управления процессом обучения.

Отправной точкой нашего исследования служила работа Л. А. Растрюгина и М. Х. Эренштейн «Адаптивная система обучения с моделью обучаемого», посвященная постановке и решению простейшей задачи языкового обучения — задачи бесконтекстного обучения лексике английского языка [8]. Материалом обучения служил достаточно большой по объему набор пар «лексическая единица на английском языке — ее аналог на родном языке», а цель обучения состояла в том, чтобы научить обучаемого при предъявлении ему лексической единицы на английском языке воспроизводить ее перевод на родном языке.

В роли объекта управления авторы рассматривают обучаемого, а его состояние по отношению к предмету обучения в любой момент времени t описывают вектор-функ-

цией $p(t)$, которая трактуется как модель обучаемого

$$p(t) = (p_1(t), p_2(t), p_3(t), \dots, p_{n-1}(t), p_n(t)),$$

где t — время, n — общее число изучаемых лексических единиц, $p_i(t)$ — функция, прогнозирующая вероятность ошибочной реакции обучаемого на стимул i -ой ($1 \leq i \leq n$) лексической единицы (или просто вероятность ее незнания). Отметим, что здесь каждая i -я координата модели выражает отношение между обучаемым и i -ой лексической единицей.

Сконструированный авторами функционал $Q(p(t))$ позволяет, с одной стороны, прогнозировать результаты обучения, достигнутые на момент времени t , с другой — преобразуют целевое неравенство к виду

$$Q(p) = \sum_{i=1}^n \gamma_i p_i < q,$$

где γ_i — взвешенный коэффициент частотности лексической единицы в массиве текстов, на основе которых формировался список лексических единиц, составляющих предмет обучения. Выраженную в такой форме цель обучения далее будем называть внутренней. В отличие от внешней цели, выраженной на языке преподавателя, формально выраженная внутренняя цель ориентирована на алгоритм решения задачи.

В качестве второй цели в работе Растригина и Эренштейн рассматривается минимизация времени, за которое условие $Q(p) < q$ может быть достигнуто [8].

Предложенная авторами методология решения поставленной задачи была реализована в форме системы, которую они назвали «адаптивной системой обучения с моделью обучаемого».

Отметим основные моменты, связанные с обобщением рассмотренного подхода и применением к более широкому спектру задач языкового обучения.

Первый момент связан с измерением времени, затраченного на реализацию обучения. В представленной Растригиным и Эренштейн методологии непосредственное изучение

студентами иностранной лексики выполняется в течение строго определенного времени в ходе аудиторных занятий [8]. Для обучения, реализуемого студентами в процессе самостоятельной работы, эта величина теряет смысл. Она становится практически неизмеримой. В качестве ее адекватного заменителя нами рассматривается суммарное количество стимулов упражнений, предъявленных обучаемому в процессе обучения. Отметим также, что минимизация суммарного количества предъявлений стимулов в качестве формулировки одной из возможных целей обучения представляется более объективной и удобной в использовании, чем минимизация времени обучения.

Следующий момент связан с наличием знаний о процессах обучения, на которые мы собираемся распространить подход. В терминах действий над структурными единицами ассоциативной памяти Т. Кохонен выделяет два основных типа ассоциативной выборки: гетероассоциативную (heteroassociative) и автоассоциативную (autoassociative) [5]. Первый из перечисленных типов выборки характеризуется тем, что «выходной образ не соответствует никакому из ключевых элементов или признаков своего входного прообраза (т. е. стимула) и формируется как ответ на специфический ключевой образ». Обучение, реализуемое путем многократного выполнения операций этого типа, к которому относится бесконтекстное обучение иностранной лексике, достаточно однородно и хорошо изучено. В качестве возможных альтернатив Растригин и Эренштейн, авторы работы [8], использовали модели относительно «близких» по содержанию процессов обучения гетероассоциативной выборки, ранее разработанные Р. Аткинсоном, Г. Бауерсом, Э. Кротерсом в рамках их исследований по экспериментальной психологии [1], а для сравнения и выбора наилучшей — использовали методику, представленную Р. Бушем и Ф. Мостеллером в работе «Сравнение восьми моделей» [2].

Основная же часть письменных упражнений по изучению лексики и особенно грамматики иностранного языка, реализуется путем выполнения упражнений, которые относятся к операциям автоассоциативной выборки. В упражнениях этого типа поиск правильного ответа (или правильной реакции) производится по некоторой части или набору признаков своего входного прообраза, представленного стимулом. Процессы языкового обучения, реализуемые в рамках операций автоассоциативной выборки, наоборот, многообразны и достаточно разнородны.

Моделирование этих процессов существенно зависит от наличия или отсутствия подобных языковых явлений в родном языке обучаемого, различий в средствах их выражения и т. п. Применительно к задачам языкового обучения какие-либо исследования, направленные на построение моделей, описывающих динамику изменения состояния обучаемого в процессах обучения этого типа, нам не известны.

Любой практический курс иностранного языка делится на разделы и далее на темы, подразделы и юниты. Разбиение теоретического материала юнита, предшествующего практическим заданиям, по отдельным языковым явлениям является определенным подобием кластеризации. В более строгом смысле механизм кластеризации, основанный на выделении ключевых признаков и формальном описании входного прообраза, представленного стимулом упражнения, описан в статье В. Р. Нымма «Эволюционный подход к созданию и развитию CALL-технологий на базе вычислительного эксперимента» [6]. В контексте рассматриваемой проблемы каждый выделенный (по сходству ключевых признаков) класс упражнений считается представляющим определенное языковое явление.

Разбиение пространства упражнений (как существующих, так и потенциально возможных) на классы эквивалентности позволяет представить состояние обучаемого по отношению к предмету обучения (модулю,

разделу, теме) в любой момент времени t в форме вектора p

$$p(t) = (p_1(t), p_2(t), p_3(t), \dots, p_{n-1}(t), p_n(t)),$$

где n — число классов эквивалентности, а $p_i(t)$ ($1 \leq i \leq n$) — функция, прогнозирующая вероятность ошибочной реакции обучаемого при выполнении упражнений i -го класса. Введение структуры вектор-функции $p(t)$, где каждая i -я координата выражает отношение между обучаемым и навыком владения языковым явлением, представленным упражнениями i -го класса эквивалентности, логично. Однако для постановки целей и создания системы, призванной управлять достижением этих целей, необходима модель обучаемого. Аргументами любой цели, выраженной формально, являются координаты вектор-функции, представляющей модель обучаемого. Отметим, что эти величины не обязательно должны вероятностный характер. Они могут быть величинами любой природы. С другой стороны, именно цель определяет природу или смысл величин, являющихся координатами модели. Они должны быть наблюдаемыми или вычислимыми через значения наблюдаемых величин.

Отсутствие функций $p_i(t)$ или любого другого механизма, позволяющего определять или прогнозировать значения величин, описывающих состояние обучаемого в разные моменты времени, приводит к ситуации, которую в теории управления иногда называют парадоксом цели.

Общая схема решения задачи

Методологической основой проводимых нами исследований, направленных на изучение проблемы и разрешение парадокса цели, является вычислительный эксперимент.

В своем первоначальном виде идея вычислительного эксперимента исходила из того, что, приступая к моделированию объекта или процесса, мы имеем априорные данные, достаточные для построения приближенной модели, которую можно последовательно улучшать путем сравнения дан-

ных, вычисленных по модели с помощью компьютера, и данных, получаемых в ходе натуральных экспериментов или реального использования [8]. По мере его использования понятие вычислительного эксперимента модифицировалось, хотя суть его оставалась прежней. В настоящей статье под вычислительным экспериментом понимается эволюционная стратегия синтеза модели объекта или процесса, каждую итерацию которой составляют три последовательные стадии: анализ, синтез, оценка, выполнение которых осуществляется на основе знаний, накопленных в ходе предыдущих итераций.

В нашем случае объектом моделирования в рамках вычислительного эксперимента является как сама программа компьютерного обучения, рассматриваемая как воспроизводящая модель процесса, так и составляющие ее компоненты (стратегия обучения, используемые эвристики, модель обучаемого и т. д.).

Реализация вычислительного эксперимента основана на главном преимуществе компьютерного обучения по сравнению с традиционным, которое состоит в возможности сбора данных о реакциях обучаемого в ходе обучения. Полученные данные могут использоваться как для оперативного управления процессом обучения, так и для последующих аналитических исследований с целью получения новых знаний о процессах обучения и улучшения используемых программой алгоритмов обучения [6].

Реализующая эти возможности программа одновременно выполняет обе функции вычислительного эксперимента. Построенная на основании одних знаний, программа обеспечивает (после обработки данных, полученных в ходе ее эксплуатации) знания для создания своей новой версии.

Для эффективного использования в рамках вычислительного эксперимента структура программы была спроектирована так, чтобы инкапсулировать (на уровне классов) те части программы, которые реализуют:

а) выполнение различных типов упражнений;

б) алгоритм управления процессом обучения.

Инкапсуляция операций выполнения различных типов упражнений обеспечила открытость системы для включения в ее состав функциональных модулей, реализующих новые типы языковых упражнений. В настоящее время программа обеспечивает реализацию практически всех типов упражнений, представленных в университетских пособиях по английскому языку.

Еще более важным является инкапсуляция частей программы, реализующих алгоритм управления процессом обучения. Какую бы задачу обучения (в строго формальном смысле) ни реализовывала программа, ее решение обеспечивает алгоритм управления. Каким бы сложным ни был алгоритм управления, объем программного кода, который его реализует, достаточно мал по сравнению с объемом кода приложения в целом. В этом контексте инкапсуляция частей программы, реализующих алгоритм управления, в виде отдельного модуля обеспечивает «безболезненную» (т. е. без сколько-нибудь существенных перестроек программы) замену одних алгоритмов управления другими. Более того, это дает возможность одновременно эксплуатировать и сопровождать несколько экземпляров приложения с разными алгоритмами управления.

Отсутствие механизма, позволяющего прогнозировать значения величин, определяющих текущее состояние обучаемого в ходе обучения, вынуждает обратиться к априорным знаниям об обучаемом и процессе его обучения. Но что мы знаем о процессе приобретения навыка? Только то, что в результате выполнения многочисленных упражнений он вырабатывается. «Вообще говоря, в процессе приобретения любого навыка — будь то умение танцевать, водить машину или говорить на иностранном языке — мы должны на первых порах медленно, трудно и осознанно следовать правилам.

Затем наступает момент, когда управление, наконец, передается телу» [4]. Этот момент, обозначающий переход от сознательного выполнения упражнений к бессознательному, как раз и соответствует моменту приобретения навыка. Другими словами, цель обучения любому языковому явлению — достижение навыка его использования, а средство достижения цели — выполнение соответствующих упражнений.

Исходя из представления голографического устройства распределенной памяти человека [5], можно сформулировать следующую гипотезу функционирования механизма становления языкового навыка. «В ходе выполнения многочисленных упражнений обучаемый осознанно или неосознанно выучивает “правильные реакции” в контексте стимулов заданий, создавая тем самым в своей распределенной памяти ядро контекстов (или примеров), образующих некий коллективный образ изучаемого языкового явления, который впоследствии используется (путем “наведения соответствующих ассоциативных связей”) при выполнении последующих упражнений, формировании фрагментов речи и текста» [3, с. 121].

Несмотря на свою простоту, мысль о том, что обучение языковым явлениям реализуется путем запоминания правильных реакций в контексте стимулов выполняемых упражнений, является достаточно продуктивной. Идея ее использования состоит в реализации схемы, представленной на рисунке 1.

В качестве внешней цели рассматривается приобретение навыков по языковым явлениям, представленным в корпусе учебных упражнений, в качестве внутренней цели — решение задачи запоминания правильных реакций в контексте стимулов упражнений этого корпуса.

Индикаторами достижения целей являются процедуры контрольного и итогового тестирования, которые выполняются после завершения процесса обучения.

Контрольное тестирование оценивает степень реализации внутренней цели. Содержа-

ние контрольной тестовой работы формируется как достаточно представительная выборка из тех упражнений, на основе которых выполнялось обучение.

Итоговое тестирование оценивает степень реализации внешней цели. Если внутренняя цель относится к ограниченному набору упражнений, представляющих некоторый набор языковых явлений, то внешняя — к множеству всех потенциально возможных упражнений, представляющих тот же набор языковых явлений. В соответствии с этим содержание итоговой тестовой работы не должно содержать упражнений, на основе которых выполнялось обучение.

Результаты тестирований оцениваются дифференцированно по группам упражнений, представляющим то или иное языковое явление.

Третий (наряду с результатами контрольного и итогового тестирований) канал обратной связи обеспечивает процедура сбора данных о реакциях обучаемого в процессе обучения.

Каждое использование программы рассматривается как элемент массового эксперимента. В этом контексте реализацию обратных связей, обозначенных на рисунке 1 пунктирными линиями, следует рассматривать не относительно каждого отдельного использования, а относительно результатов массового эксперимента.

Результаты массового эксперимента оцениваются по модулю разности между целью обучения и соответствующим средним значением оцениваемого параметра. Если значение этой величины для внутренней цели обучения не превышает установленного для нее порогового значения, цель считается достигнутой. В противном случае требуется корректировка алгоритма обучения. Если значение этой величины для внешней цели обучения не превышает установленного порогового значения, цель считается достигнутой. В противном случае требуется корректировка объема и, возможно, содержания корпуса упражнений.

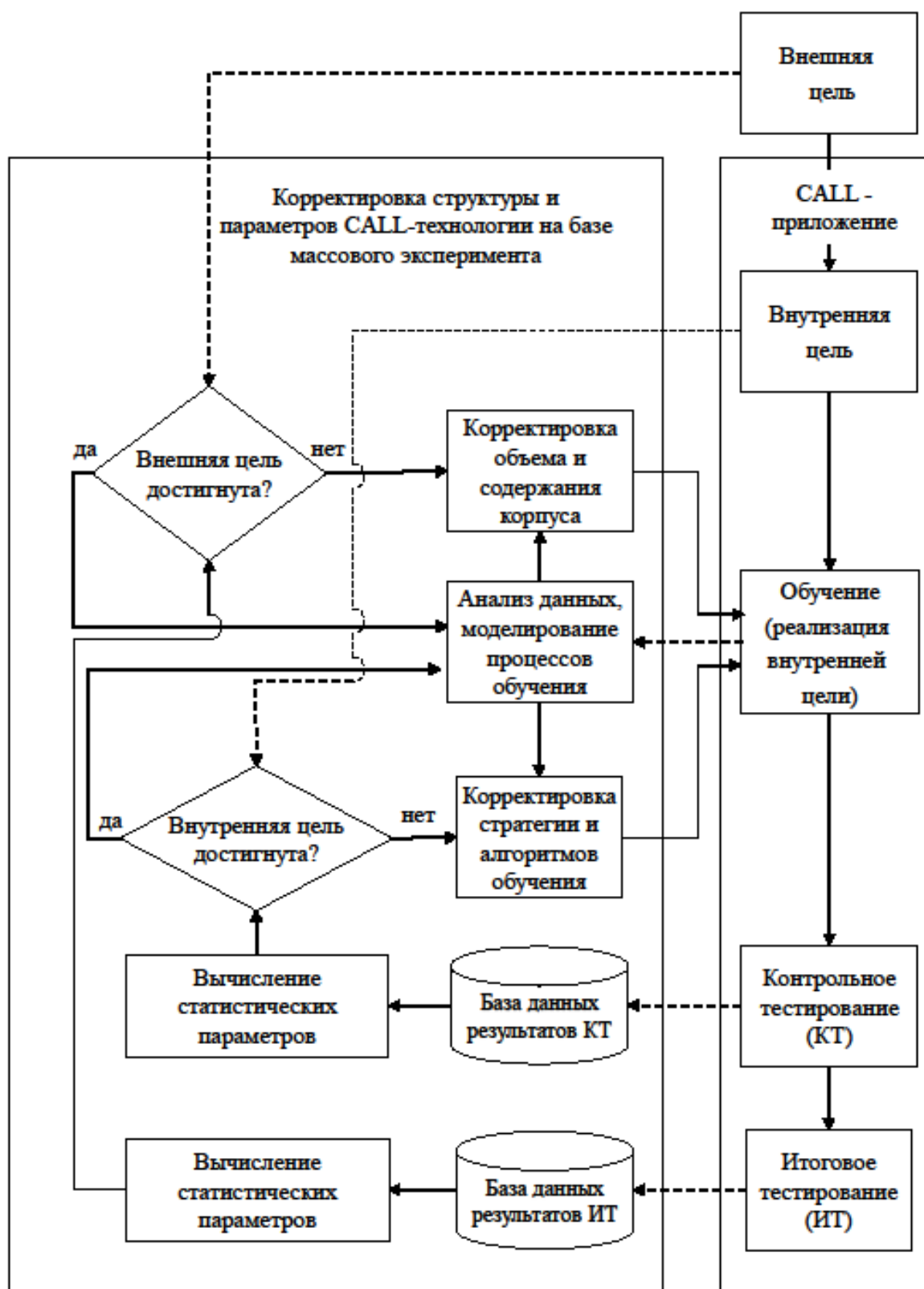


Рис. 1. Схема вычислительного эксперимента на основе CALL-технологии

Все описанные функции по реализации схемы вычислительного эксперимента, включая алгоритм управления, который обеспечивает решение задачи запоминания правильных реакций в контексте представленных в базе упражнений, а также процедуры контрольного и итогового тестирования, реализуются в рамках единой программы, разработанной на филологическом факультете университета.

В плане выполнения своей основной функции разработанная программа легко встраивается в существующую систему практического обучения иностранным языкам в вузе. Для этого корпус тренировочных упражнений по изучаемой теме (или разделу) разбивается на отдельные юниты, соответствующие, например, недельным домашним заданиям. Алгоритм применяется к каждому отдельному юниту как к целостному корпусу. Такая форма использования программы позволяет идеально согласовать по информации и скорректировать по времени аудиторную и самостоятельную работу студента.

Процесс обучения по разделу (теме) завершается выполнением обучаемыми процедур контрольного и итогового тестирования. Допуск обучаемого к контрольному тестированию осуществляется программой после полного прохождения процесса обучения. Контрольное тестирование выполняется обучаемым самостоятельно без участия преподавателя. Выполнение процедуры контрольного тестирования служит основанием для допуска обучаемого к итоговому тестированию, которое проводится в компьютерном классе при участии преподавателя.

Сервисные функции по обеспечению самостоятельной работы студента также выполняются программной системой. Роль обучаемого в ходе сеанса обучения сводится к регистрации и последовательному выполнению заданий, предлагаемых ему программой, в ожидании сообщения о том, что сеанс обучения успешно завершен.

Вопросы организации работ по развитию CALL-технологии на основе интеграции

учебной и созидательной деятельности студентов университета рассмотрены в предыдущих работах авторов настоящей статьи [6; 10].

Алгоритм управления

Приведем пример одного из алгоритмов управления, реализующих решение задачи запоминания правильных реакций в контексте стимулов упражнений, представленных в учебном корпусе.

Алгоритм построен на базе одноэлементной модели обучения [1], в основе которой лежит утверждение о том, что ассоциация, связывающая стимул и реакцию, не может формироваться частично или постепенно. Предполагается, что, однажды возникнув, ассоциация сохраняется в течение длительного времени, и обучаемый будет давать верный ответ при каждом новом предъявлении ему стимула.

Для одноэлементной модели состояние обучаемого по отношению к предмету обучения (корпусу Ω , включающему n упражнений) в любой момент времени описывается вектором $s(t)$

$$s(t) = (s_1(t), s_2(t), \dots, s_n(t)),$$

каждая i -ая ($1 \leq i \leq n$) координата которого имеет значение 1, если по упражнению ассоциация сформирована, и значение 0 — в противном случае.

Основная цель обучения определяется системой равенств

$$s_i(t) = 0, (1 \leq i \leq n).$$

Вторая цель — минимизация суммарного числа предъявлений стимулов упражнений — рассматривается как установочный принцип при конструировании алгоритма.

Центральным моментом успешности использования одноэлементной модели состоит в определении момента перехода обучаемого из состояния 0 в состояние 1. В качестве критерия завершения обучения по каждому отдельному упражнению рассматривается событие $A_k =$ [в течение k следующих друг за другом (не обязательно подряд) сеансов обучаемый дает верный

ответ с первого же предъявления стимула этого упражнения]. Здесь стоит отметить, что в алгоритмах с критерием A_k , где $k > 1$, для обозначения промежуточных состояний используются модели обучаемого, координаты которых принимают более двух значений.

Описание алгоритма с критерием A_1 = [на одном из сеансов обучаемый дает верный ответ с первого же в ходе текущего сеанса предъявления стимула этого упражнения] приведено в статье О. В. Демчук и др. «Управление процессом обучения языку с помощью CALL-технологий» [7]. Если считать, что в день реализуется не более одного сеанса, это означает, что верный ответ с первого раза был дан не менее чем через 24 часа после предыдущего предъявления этого стимула.

В ходе обучения программа формирует набор данных, каждый из которых описывает полную траекторию реакций обучаемого в отношении каждого упражнения. Вместе с результатами контрольного и итогового тестирования эти данные каталогизируются и сохраняются. На их основе вычисляются средние значения параметров, необходимые для:

- оценки и сравнения различных алгоритмов управления процессом обучения и их корректировки;
- корректировки объема и содержания корпуса учебных упражнений (дифференцированно по группам упражнений, представляющим то или иное языковое явление);
- аналитического исследования динамики процессов формирования навыков.

Сравнение различных алгоритмов выполняется по следующим двум показателям:

- суммарное количество сеансов, которое потребовалось обучаемому до завершения обучения по каждому упражнению;
- суммарное число предъявлений стимулов упражнений в ходе этих сеансов.

Каждое использование программы рассматривается как элемент массового эксперимента.

В ходе обучения программа формирует набор данных, каждый из которых описывает полную траекторию реакций обучаемого в отношении каждого упражнения. Вместе с результатами контрольного и итогового тестирования эти данные каталогизируются и сохраняются. На их основе вычисляются средние значения параметров, необходимые для:

- оценки и сравнения различных алгоритмов управления процессом обучения и их корректировки;
- корректировки объема и содержания корпуса учебных упражнений (дифференцированно по группам упражнений, представляющим то или иное языковое явление);
- аналитического исследования динамики процессов формирования навыков.

Заключение

Статья посвящена проблеме формирования языковых навыков на основе CALL-технологий. Приведенные в статье материалы дают достаточно полное представление о направлении, структуре и содержании проводимых исследований, актуальном состоянии проекта. Основное внимание уделено формальной постановке задач обучения и возможности их решения в условиях ограниченных знаний о процессах. Методологической основой реализации проекта, обеспечивающей его саморазвитие, является вычислительный эксперимент. Разработанная в рамках проекта CALL-технология совмещает в себе две функции. С одной стороны, она обеспечивает самостоятельную работу студентов по формированию языковых навыков, с другой стороны, — реализует (в рамках вычислительного эксперимента) функции инструмента исследования процессов формирования этих навыков. Технология легко встраивается

в существующую в университете систему обучения иностранным языкам.

Дальнейшие шаги по развитию системы (кроме тех, которые очевидным образом следуют из содержания статьи) предполагают:

а) разработку сетевых средств, обеспечива-

ющих эффективный контроль за самой закрытой от преподавателя деятельностью студентов — их самостоятельной работой;

б) разработку версии программы, ориентированной на формирование языковых навыков русского языка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аткинсон Р., Бауерс Г., Кротерс Э.* Введение в математическую теорию обучения. М.: Мир, 1969. 486 с.
2. *Буш Р., Мостеллер Ф.* Сравнение восьми моделей // Математические методы в социальных науках: сборник статей: сокращ. пер. с англ. / под ред. П. Ф. Лазарсфельда, Н. Генри. М.: Прогресс, 1973. С. 295–315.
3. *Демчук О. В., Нымм В. Р., Пиотровская К. Р.* Управление процессом обучения языку с помощью CALL-технологий // Известия Российского государственного педагогического университета им. А. И. Герцена. 2015. № 178. С. 119–124.
4. *Дрейфус Х.* Чего не могут вычислительные машины. Критика искусственного разума. М.: Прогресс, 1978. 333 с.
5. *Кохонен Т.* Ассоциативная память. М.: Мир, 1980. 238 с.
6. *Нымм В. Р.* Эволюционный подход к созданию и развитию CALL-технологий на базе вычислительного эксперимента // Известия Российского государственного педагогического университета имени А. И. Герцена. 2015. № 173. С. 137–147.
7. *Нымм В. Р., Пиотровская К. Р., Быстрая В. А.* CALL-технологии: управление процессом обучения языку // Высокотехнологичная информационная образовательная среда. Сборник статей Международной научно-практической конференции / под ред. В. В. Лаптева. СПб.: Книжный дом, 2015. С. 172–179.
8. *Растригин Л. А., Эренштейн М. Х.* Адаптивная система обучения с моделью обучаемого. Рига: Зинатне, 1988. 160 с.
9. *Самарский А. А.* Математическое моделирование и вычислительный эксперимент // Вестник АН СССР. 1979. № 5. С. 38–49.
10. *Нутт В., Piotrowskaya X., Nott S.* Применение стохастической теории обучения и корпусных технологий в компьютерной лингводидактике // R. Piotrowski's readings in language engineering and applied linguistics. Proceedings. CEUR-WS, Vol. 2233 / ed. by A. Ronzhin, T. Noskova, A. Karpov. Saint Petersburg: Creative Commons ССО, 2018. P. 166–176.