Архитектура интеллектуального агентно-ориентированного учебного комплекса для подготовки специалистов технического профиля

Целью исследования, представленного в данной статье, является разработка, реализация и апробация в учебном процессе многоуровневой архитектуры интеллектуального агентно-ориентированного учебного комплекса для подготовки специалистов технического профиля. Интеллектуализация средств электронного обучения является одним из приоритетных направлений в реализации компетентностного подхода к обучению в высшей школе. При этом, перспективным направлением внедрения методов искусственного интеллекта в сферу электронного обучения, признанным в научном сообществе, является теория и практика проектирования агентно-ориентированных (многоагентных) систем.

В процессе исследования была разработана, обоснована и, в основном, реализована многоуровневая архитектура интеллектуального агентно-ориентированного учебного комплекса, которая сочетает в себе гибкость, открытость и хорошую масштабируемость. Показано, что заявленные показатели качества могут быть достигнуты за счёт органичного сочетания многоагентного и сервис-ориентированного подходов к проектированию программных продуктов учебного назначения. В архитектурном решении детально проработаны уровни сервисов и опирающиеся на них уровни интеллектуальных агентов. Каждый из заявленных уровней системы является относительно независимым, может быть разработан (протестирован) автономно, а способы взаимодействия между уровнями унифицированы. В статье рассмотрено назначение компонентов, входящих в состав каждого из архитектурных уровней, приведены некоторые ключевые аспекты реализации данной архитектуры и результаты педагогических экспериментов по адаптивному обучению студентов посредством интеллектуального агентно-ориентированного учебного комплекса.

К настоящему времени на основе представленной архитектуры сформирована интегрированная интеллектуальная среда обучения, наполненная учебным контентом, которая апробирована в учебном процессе Вологодского государственного университета при обучении бакалавров и магистров нескольких направлений, связанных с информационными технологиями. При этом предложенные архитектурные решения доказали свою жизнеспособность, а сформированная на их основе образовательная среда — привлекательность для студентов и положительное влияние в целом на эффективность процесса подготовки специалистов технического профиля, что подтверждается не только результатами педагогической диагностики, но и опросами работодателей.

В целом результаты исследования показывают, что применение агентно-ориентированного и сервис-ориентированного подходов в процессе формирования архитектуры образовательной среды вуза предоставляет удобные механизмы внедрения методов искусственного интеллекта в сферу электронного обучения, обеспечивая полноценную поддержку компетентностно-ориентированных технологий подготовки специалистов технического профиля. Сформированная в процессе выполнения исследования гибкая, открытая и масштабируемая образовательная среда находится в непрерывном развитии, постоянно приобретая новые возможности, позволяющие повысить качество подготовки студентов технических направлений.

Ключевые слова: образовательная среда, многоуровневая архитектура, интеллектуальный агентно-ориентированный учебный комплекс, агент, сервис

Anatoliy N. Schvetsov, Svetlana U. Rzhetskaya,
Anna P. Sergushicheva, Aleksey A. Sukonschikov

Vologda State University, Vologda, Russia

Architecture of intellectual agent-oriented educational complex for training of technical specialists

The purpose of the research, presented in this paper is the development, implementation and testing in the educational process of multi-level architecture of intelligent agent-oriented educational complex for training of technical specialists. Intellectualization of e-learning is one of the priority directions in the implementation of the competence approach to learning in higher education. At the same time, the theory and practice of design of agent-oriented (multi-agent) systems is a promising direction of introduction of artificial intelligence methods in the field of e-learning, recognized in the scientific community.

In the process of the research, a multi-level architecture of the intelligent agent-oriented educational complex was developed, justified and mainly implemented, which combines flexibility, openness and good scalability. It is shown that the stated quality indicators can

be achieved through an organic combination of multi-agent and service-oriented approaches to the design of software products for educational purposes. The architectural solution has detailed levels of services and levels of intelligent agents, based on them. Each of the declared levels of the system is relatively independent, can be developed (tested) independently, and the methods of interaction between the levels are unified. The paper considers the purpose of the components that make up each of the architectural levels, presents some key aspects of the implementation of this architecture and the results of pedagogical experiments on adaptive learning of students through intelligent agent-oriented learning complex.

By now, on the basis of the presented architecture an integrated intellectual learning environment is formed, filled with educational

content, which is tested in the educational process of the Vologda State University in the training of bachelors and masters of several areas, related to information technology. At the same time, the proposed architectural solutions have proved their viability, and the educational environment, formed on their basis is attractive for students and has a positive impact on the overall effectiveness of the process of training of specialists in technical field, which is confirmed not only by the results of pedagogical diagnostics, but also by surveys of employers. In general, the results of the research show that the use of agent-oriented and service-based approaches in the process of formation of

the educational environment of the University grants convenient mechanisms for the introduction of artificial intelligence methods in the field of e-learning, providing full support for competence-oriented technologies for training of technical specialists. The flexible, open and scalable educational environment, formed in the process of research is in continuous development, constantly acquiring new opportunities to improve the quality of training of students in technical areas.

Keywords: learning environment, multilevel architecture, intelligent agent-oriented educational complex, agent, service

Введение

Задача информатизации образования приобретает особую актуальность в процессе подготовки инженерных кадров в техническом вузе, учитывая растущие потребности общества в квалифицированных специалистах технического профиля и стремительные темпы развития техники и технологий. Появляется необходимость своевременного обновления содержания технического образования, поиска новых методов и форм эффективного обучения. Требуется значительно усилить роль самостоятельной работы студентов, развить у них компетенции самостоятельного приобретения новых знаний, умений, навыков и, таким образом, подготовить к будущей профессиональной инженерной деятельности в условиях динамично меняющейся внешней среды.

Одним из приоритетных направлений в реализации принципов компетентностного подхода к обучению в высшей школе является интеллектуализация средств электронного обучения [1]. При этом, перспективным направлением внедрения методов искусственного интеллекта в сферу электронного обучения, признанным в научном сообществе, является теория и практика проектирования агентно-ориентированных (многоагентных) систем, что отмечается в [2,3,4,5]. Авторы данной статьи на протяжении ряда лет занимаются практическим применением агентно-ориентированного подхода к формированию

образовательной среды технического вуза, некоторые разработки по этой проблематике представлены в [6,7].

Тем не менее, имеется ещё много нерешённых проблем, которые возникают в процессе создания, развития и эксплуатации интеллектуальной среды обучения в техническом вузе. Так, в [8] отмечается важность основательного архитектурного проектирования в процессе формирования образовательного пространства вуза. Между тем, архитектурные решения, представленные, например, в [2,4,8] носят укрупнённый характер и нуждаются в детализации. Целью исследования, представленного в данной статье, является разработка, реализация и апробация в учебном процессе многоуровневой архитектуры интеллектуального агентно-ориентированного учебного комплекса (ИАОУК) для подготовки специалистов технического профиля. В результате выполненного исследования на основе предложенной архитектуры сформирована интеллектуальная среда обучения студентов технических направлений, которая позволила повысить эффективность процесса обучения, в том числе, самообучения студентов.

В статье представлена и обоснована многоуровневая архитектура учебного комплекса, приведены некоторые особенности его программной реализации и результаты педагогических экспериментов. В настоящее время ИАОУК используется при подготовке бакалавров и магистров ИТ-на-

правлений («Информатика и вычислительная техника», «Информационные системы и технологии», «Управление в технических системах» и «Программная инженерия»). Тем не менее, представленные архитектурные, программные и учебно-методические решения могут быть полезны при формировании образовательной среды по другим направлениям инженерной подготовки.

1. Многоуровневая архитектура ИАОУК

С архитектурной точки зрения ИАОУК является сложной распределенной многопользовательской информационной системой, которая может быть адекватно представлена при помощи многоуровневых (многослойных) архитектурных моделей, что вполне соответствует современным тенденциям проектирования программного обеспечения. Предлагаемая авторским коллективом многоуровневая детализированная архитектура ИАОУК с логически выделенными слоями программного обеспечения представлена на рис. 1.

В ней органично сочетаются многоагентный и сервис-ориентированный подходы. Достоинства такого сочетания подходов в многоагентных системах обоснованы в [8,9]. По сравнению с представленными в литературе вариантами данное архитектурное решение является более детализированным и прагматичным, его удобно использовать в процессе реализации, что уже provedено на практике.

Рис. 1. Архитектура интеллектуального агентно-ориентированного учебного комплекса

2. Назначение и состав отдельных архитектурных уровней ИАОУК

Компоненты слоя агентов выполняют функции интеллекта системы, опираясь на уровень сервисов, обеспечивающий все необходимые базовые функции учебного комплекса. Кратко представим каждый из уровней, выделенных в архитектуре.

Уровень взаимодействия с пользователем (front-end). Клиентский уровень (Front-end) обеспечивает пользовательский и программный интерфейс для доступа к системе. Он принимает запросы пользователей, передает запросы подходящим службам промежуточного слоя и отображает соответствующие ответы на запросы пользователя. Работа всех категорий пользователей учебного комплекса выполняется посредством графического интерфейса. Мы выделили отдельные роли для преподавателей-тьюторов (управление учебным процессом) и преподавателей-экспертов (пополнение учебного контента), хотя преподаватель технического вуза, ведущий ту или иную дисциплину, часто является и создателем учебного контента. Учитывая динамичный характер развития технических наук, интерфейс преподавателя должен обеспечить гибкое и удобное управление учебными материалами.

В качестве клиента может выступать Web-браузер (стандартное решение), отдельное приложение (на Java, C++, C# или VisualBasic) или мобильное приложение.

Уровень агентов. Уровень агентов является центральным в архитектуре любой агентно-ориентированной среды обучения, в ИАОУК все интеллектуальные функции реализованы в виде соответствующих агентов. Ввиду значительного

разнообразия интеллектуальных агентов в структуре ИАОУК не удастся ограничиться одним предопределенным типом модели и одной из архитектур интеллектуальных агентов. Поэтому представляется целесообразным использовать гибридную архитектуру агентов и реализовать иерархическую модель их взаимодействия [6]. В соответствии с этим был выделен отдельный метаагент (агент-координатор), осуществляющий координацию распределенного решения задач агентами и межагентное взаимодействие, обеспечивая совместимость форматов сообщений между агентами. Агенты-координаторы могут присутствовать и внутри каждого сообщества интеллектуальных агентов, эти агенты играют роль брокеров между агентами, запрашивающими некоторые ресурсы, которыми обладают другие агенты, и теми агентами, которые эти ресурсы могут предоставить.

В гибридной агентно-ориентированной архитектуре мы выделили три уровня агентов:

- уровень человеко-машинного взаимодействия, отвечающий за представление информации пользователям ИАОУК (обучаемые и преподаватели) и интерактивное взаимодействие с каждым конкретным пользователем с максимальным удобством для него, вне зависимости от того, каким клиентом (браузер, мобильный клиент, другой клиент) он пользуется для связи с ИАОУК;

- уровень пользовательских агентов, каждый из которых реализует логику взаимодействия с пользователем в зависимости от его роли в ИАОУК – каждого из таких агентов можно рассматривать как индивидуального помощника для конкретного пользователя;

- уровень базовых агентов, которые несут основную нагрузку в ИАОУК, обеспечивая возможности параллельного и независимого протекания двух

основных процессов, работающих на один общий результат – адаптивного обучения студентов и управления обучающими материалами со стороны преподавателей (создание и модификация учебных курсов, анализ качества обучения и т.д.).

Агент человеко-машинного взаимодействия принимает на себя все функции взаимодействия программных моделей с различными клиентами, управляет процессами подключения новых видов клиентов и модернизации существующих клиентских приложений. Благодаря наличию данного агента вся основная часть ИАОУК является инвариантной по отношению к типу клиента.

Уровень пользовательских агентов включает множество агентов обучаемых и преподавателей (по ролям). Наличие собственного агента для каждого обучаемого позволяет организовать индивидуализированное адаптивное обучение студентов на основе динамически пополняемой модели обучаемого [7,10]. Агенты преподавателей, являясь их индивидуальными помощниками, для преподавателей-тьюторов служат поддержкой в принятии решений по стратегии и тактике адаптивного обучения (при этом обеспечивают автоматическое выполнение некоторых функций обучения) и создают комфортные условия преподавателям-экспертам в процессе подготовки обучающих материалов.

Интеллектуальной основой ИАОУК является множество базовых интеллектуальных агентов, которые исполняют свои функции по запросам пользовательских агентов. Среди них выделим сообщество агентов процесса обучения, которые по запросам агентов обучаемого и преподавателя-тьютора выполняют интеллектуальные функции поддержки процесса гибкого адаптивного обучения. В процессе обучения они могут ис-

пользовать результаты работы агентов генерации тестовых заданий.

Процесс управления знаниями в ИАОУК обеспечивается группой соответствующих интеллектуальных агентов, в которую входят агенты управления знаниями, взаимодействующие с агентами семантического поиска информации.

Функции управления согласованной совместной работой интеллектуальных агентов исполняют административные агенты, они же обеспечивают исполнение стандартных административных функций (регистрация пользователей, авторизация и аутентификация, открытие и завершение сеансов работы, запуск стандартных служб и т.д.), опираясь на соответствующие сервисы.

Уровень сервисов. Уровень сервисов осуществляет трансляцию запросов агентов в необходимые действия по работе с распределенными данными. Помимо выполнения роли посредника между агентами и базовыми компонентами, сервисы могут выполнять ряд вспомогательных функций, таких как ведение истории работы пользователей, запись log-файлов и др. Они выполняют необходимые операции, включающие доступ к back-end ресурсам и форматирование данных для предоставления агентам.

Уровень сервисов может быть функционально разделен на два уровня: уровень базовых сервисов и уровень прикладных сервисов. Уровень базовых сервисов необходим для обработки запросов агентов к низкоуровневым компонентам, в то время как уровень прикладных сервисов используется для выполнения операций уровня бизнес-логики.

Базовые сервисы предлагаемой архитектуры включают:

1. сервисы регистрации, аутентификации и авторизации
2. сервисы доступа к данным

3. сервисы извлечения знаний

Основное назначение данных сервисов — обеспечить независимость агентов и других исполнительных компонентов от технологий хранения, доступа к данным и базовых функций обработки данных. Алгоритмы, используемые в сервисах поиска данных и извлечения знаний, представлены в [11,12].

Прикладные сервисы предлагаемой архитектуры включают:

1. сервис формирования учебных материалов
2. сервис представления учебных материалов
3. сервис сбора данных о процессе обучения
4. сервис генерации тестовых заданий и тестирования

Сервисы формирования и представления учебных материалов необходимы для создания учебно-методического обеспечения.

Сервис сбора данных о процессе обучения необходим для оценки эффективности педагогических действий. Задачи оценки включают много целей на разных уровнях. Это и оценка обученности студентов, и оценка учебного материала, и оценка процесса проведения обучения. Сервис, автоматически сохраняющий информацию обо всех деталях процесса обучения, служит основой для функционирования базовых агентов.

Основные задачи сервиса тестирования: подготовка тестовых материалов в соответствии с целями тестирования, формирование (генерация) тестов, оценка их качества. Формирование (генерация) тестов в соответствии с заданной структурой и содержанием в ИАОУК должно преимущественно осуществляться в автоматическом режиме.

Уровень представлений. Компоненты этого уровня позволяют полностью абстрагироваться от способов хранения

информации в базах данных и особенностей конкретных СУБД. В процессе разработки на уровне агентов можно оперировать такими логическими понятиями как модель обучаемого, модель преподавателя, нормативная модель (требования образовательных стандартов к компетенциям, которые должны быть сформированы в процессе обучения в соответствии с направлением подготовки), модель процесса обучения (используется при построении и корректировке индивидуальных траекторий обучения) и, возможно, некоторые другие модели.

Уровень базовых компонентов (back-end). Основная задача back-end уровня — обеспечение средств хранения, извлечения и обработки данных. Этот уровень включает функциональность операционных систем, баз данных и специфических для ИАОУК приложений.

3. Реализация представленной архитектуры ИАОУК

Достоинствами представленной архитектуры являются гибкость, открытость и хорошая масштабируемость, что вполне соответствует базовым требованиям к открытым образовательным пространствам, представленным в [13]. Такая архитектура позволяет выполнять формирование интеллектуальной среды обучения поэтапно, активно использовать имеющиеся возможности операционных систем и СУБД, применять свободно распространяемое программное обеспечение для реализации типовых функций процесса обучения. Открытая архитектура позволила выполнить глубокую интеграцию ИАОУК с программными средствами электронного обучения, используемыми до начала формирования интеллектуальной

среды и хорошо зарекомендовавшими себя в процессе обучения.

В их числе система дистанционного обучения (СДО) Moodle, дополненная плагинами собственной разработки, для которой подготовлен обучающий контент по большинству дисциплин ИТ-направлений. Более десяти лет успешно используется разработанный преподавателями и студентами кафедры автоматики и вычислительной техники Вологодского государственного университета дистанционный практикум по профильным дисциплинам [14] с автоматической проверкой (в том числе, и на плагиат) решенных студентами задач по программированию и составленным ими запросов к базам данных. Для построения или корректировки психолого-когнитивной модели обучаемого применяются средства анкетирования, тестирования и опросов, многие из которых – собственная разработка. Перечисленные

программные средства, ранее существовавшие как отдельные программные продукты, сейчас представляют собой единое целое, а каждый студент, зарегистрированный в ИАОУК, имеет единый универсальный идентификатор для доступа к любым обучающим ресурсам.

Разработка программных компонентов слоя агентов, безусловно, требует значительных усилий, поскольку выполняется, в основном, своими силами, тем не менее, к настоящему времени многие интеллектуальные функции уже реализованы и апробированы в учебном процессе.

Отметим, что основной задачей, которую помогает решить сформированная среда на данном этапе, является активизация самостоятельной работы студентов и приобретение ими компетенций самообучения. С этих позиций значительное внимание было уделено реализации одной из самых важных интеллектуаль-

ных функций ИАОУК – организации индивидуализированного адаптивного обучения с учётом уровня развития компетенций студентов и их личностных качеств. Рассмотрим некоторые аспекты реализации адаптивного обучения, которые нам представляются важными.

Агенты, предназначенные для реализации моделей адаптивного обучения, относятся к группе базовых агентов, которые не взаимодействуют с пользователями (преподавателями и студентами) непосредственно, но принимают запросы от их агентов и предоставляют им все необходимые ресурсы, исполняя при этом интеллектуальную поддержку процесса адаптивного обучения. Они непосредственно взаимодействуют (разумеется, через уровни сервисов и представлений) с информационными базами, извлекая из них всю информацию, необходимую для принятия решения по стратегии и тактике обуче-

Рис. 2 Схема агентного взаимодействия в процессе адаптивного обучения

ния с учетом индивидуального профиля обучаемого.

Схема взаимодействия агентов друг с другом и с элементами уровня представлений архитектуры ИАОУК в процессе адаптивного обучения показана на рис. 2.

Центральным звеном в процессе формирования индивидуального сценария (траектории) обучения является агент процесса обучения. Он выполняет функции анализа (осмысления) информации о ходе процесса обучения и формирования на этой основе сценария, оптимального для данной предметной области и конкретного обучаемого (возможно, с участием преподавателя-тьютора и самого обучаемого). Сценарий обучения представляет собой последовательность элементарных учебных шагов, содержащих ссылки на атомарные (неделимые) учебные единицы (УЕ).

В процессе самостоятельной работы студенты технических направлений должны выполнить большое количество практических заданий — только так они могут приобрести и развить свои профессиональные компетенции. Одна из основных целей адаптивного обучения состоит в подборе сценария, максимально соответствующего по сложности (трудности) степени подготовленности обучаемого, и своевременной корректировке сценария с учётом результатов обучения [15,16]. Известно, что легкие задания не обладают заметным развивающим потенциалом, в то время как трудные задания у большинства студентов снижают учебную мотивацию [17]. Для организации адаптивного обучения важно найти сопоставимую меру сложности заданий и меру степени подготовленности студента к выполнению этих заданий.

Сложность УЕ можно определить либо экспертным способом (экспертная оценка

сложности), либо с помощью анализа эмпирических данных, накопленных в процессе обучения (эмпирическая оценка сложности). Второй способ мы активно применяем к учебно-тренировочным или контрольным заданиям, анализируя результаты их выполнения студентами. Это позволяет:

- получить оценки сложности тех заданий, для которых нет экспертных оценок;

- скорректировать экспертные оценки сложности заданий, если они немного отличаются от эмпирических;

- обратить внимание преподавателей-экспертов на те задания, для которых экспертные оценки резко отличаются от эмпирических оценок, поскольку такие задания или неудачно сформулированы, или содержат ошибки;

- расположить задания строго в порядке возрастания сложности при формировании учебно-тренировочных и экзаменационных тестов;

- выдавать каждому конкретному обучаемому только те задания, которые соответствуют уровню его готовности их выполнить.

В процессе самостоятельной работы студенты могут не только выполнять задания, но и изучать дополнительный или непонятый на аудиторных занятиях материал. Для таких УЕ также можно сформировать эмпирические оценки сложности. Для этого достаточно включить в состав УЕ входной и выходной тесты, а затем по результатам их выполнения студентами определить эмпирическую сложность данной УЕ. Таким образом, сложность является одной из универсальных характеристик учебного материала, учитываемой в процессе составления и корректировки сценария обучения.

Детали реализации алгоритма адаптивного обучения выходят за рамки данной статьи. Отметим только, что задачу определения эмпирической

сложности задания мы решаем как задачу классификации учебных единиц по уровням сложности, используя интерпретируемую и способную к отбору наиболее значимых характеристик учебного процесса модель деревьев решений [18]. По мере накопления опыта планируются к использованию и более точные модели классификации, например, нейросети. Самый простой (но очень грубый) способ прикидки сложности задания состоит в определении процентного отношения студентов, сумевших выполнить задание (решить задачу) к общему количеству студентов, выполнявших это задание (решавших задачу).

4. Результаты педагогических экспериментов

Экспериментальные исследования предлагаемой архитектуры велись в разных направлениях. В данном разделе представим результаты экспериментов, связанных с распределением учебных материалов по уровням сложности (классификацией УЕ по уровням сложности).

Исходя из фактически трехбалльной системы оценок (удовлетворительно, хорошо, отлично) видится целесообразным выделение трех уровней сложности учебных материалов (простые, средние и сложные) или пяти, если использовать болонскую систему положительных оценок (А, В, С, D, E). При подготовке УЕ для развития иноязычной компетенции используется стандартная международная классификация уровней владения языком (A1, A2, B1, B2, C1, C2) [10]. Экспертный уровень сложности может быть связан а) с объемом учебных материалов, б) с их содержанием, в) с регулированием в материале лекции количества УЕ различной сложности или г) строиться на основе структуры познавательного процес-

Таблица 1

**Эффективность изучения отдельных разделов дисциплины
«Метрология, стандартизация и сертификация» посредством ИАОУК
в режиме адаптивного обучения**

Распределение участников эксперимента по уровням сложности учебных материалов		Результаты выполнения предметных тестов. Средний балл по тесту по 10 бальной шкале			Процент усвоения учебного материала		Эффективность, %
Уровень	Количество участников, которым присвоен уровень	T0	T1	T2	Эксперимент 1, %	Эксперимент 2, %	
1	66	2,568	2,947	4,726	29,5	47,3	17,8
2	47	3,429	4,873	4,324	48,7	47,6	-1,2
3	28	3,316	6,833	5,292	68,3	63,5	-4,8
Всего	141	2,805	4,753	4,725	47,5	56,7	9,2

Таблица 2

Процентный состав измерительных материалов

Тесты	Состав измерительных материалов					
	ожидаемый			полученный		
	Количество тестовых заданий разного уровня сложности, %					
	простых	средних	сложных	простых	средних	сложных
T2.1	50	40	10	50	40	10
T2.2	40	40	20	45	18	36
T2.3	30	40	30	33	25	42

са и в соответствии с матричной моделью познавательной деятельности студентов [19,20]. Способы эмпирической оценки мы рассмотрели в предыдущем разделе.

Педагогические эксперименты проводились в рамках различных дисциплин, далее мы приведём результаты эксперимента по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация». В педагогическом эксперименте приняли участие более 140 студентов. Им предлагались учебные материалы примерно одинакового объема (количество символов (строк, страниц)). Экспертное разделение по уровням сложности осуществлялось за счет изменения объема информации, содержащегося в учебных единицах. Были подготовлены учебные материалы трех уровней сложности.

Перед началом эксперимента испытуемым было предложено определить психолого-когнитивные особенности (уровень интеллекта, внимания, памяти) и компетентностные характеристики, необходимые для усвоения теоретического материала по дисциплине (входной тест, T0). По итогам тестирования для конкретного студента был автоматически определён уровень сложности учебных материалов.

Педагогический эксперимент по метрологии включал два этапа. На первом этапе всем студентам предлагался учебный материал одинакового (среднего) уровня сложности. На втором – каждый студент получал материалы того уровня сложности, который был для него определён. Эффективность обучения оценивалась тестами: T1 – на первом этапе и T2 – на втором. При этом, тест T2 представляет собой набор из трех тестов T2.1, T2.2 и T2.3, различающихся по уровню сложности. Эффективность обучения посредством ИАОУК в режиме адаптивно-

го обучения оценивалась как разность усвоения учебного материала на втором и первом этапах эксперимента в процентном отношении.

Из таблицы 1 видно, что наибольший эффект (17,8%) достигнут в самой многочисленной группе студентов, изучавшей предложенные материалы первого уровня сложности. А во второй и третьей группах наблюдается некоторое снижение уровня усвоения УЕ. Так как тесты T2.1-T2.3 различались по составу заданий, была выдвинута гипотеза о том, что реальная (эмпирическая) сложность тестовых заданий не соответствует экспертной оценке и в этом кроется одна из причин, вызвавших отрицательный эффект. Анализ результатов тестирования с целью определения эмпирической сложности тестовых заданий подтвердил эту гипотезу (см. табл. 2): T2.2 и T2.3 содержат повышенный процент сложных заданий. По резуль-

татам анализа оценка сложности тестовых заданий была скорректирована, а сами тесты частично переформированы.

В результате повторного тестирования студенты всех трёх групп показали повышение уровня усвоения учебного материала в процессе адаптивного обучения в сформированной интеллектуальной информационной среде.

Заключение

К настоящему времени представленная в статье многоуровневая архитектура интеллектуального агентно-ориентированного учебного комплекса в основном реализована, интегрированная интеллектуальная образовательная среда сформирована, наполнена учебным контентом и апробирована в учебном процессе Вологодского государственного университета при обучении бакалавров и магистров нескольких на-

правлений, связанных с информационными технологиями. При этом предложенные архитектурные решения доказали свою жизнеспособность, а сформированная на их основе образовательная среда — привлекательность для студентов и положительное влияние в целом на эффективность процесса подготовки специалистов технического профиля. Это подтверждается не только результатами педагогической диагностики, но и опросами работодателей,

которые в последнее время проявляют живой и всё возрастающий интерес к процессу и результатам подготовки ИТ-специалистов в университете.

Результаты исследования показывают, что применение многоагентного и сервис-ориентированного подходов в процессе формирования архитектуры образовательной среды технического вуза предоставляет удобные механизмы внедрения методов искусственного интеллекта в сферу электрон-

ного обучения, обеспечивая полноценную поддержку компетентностно-ориентированных технологий подготовки специалистов технического профиля. Сформированная в процессе выполнения исследования гибкая, открытая и масштабируемая интеллектуальная образовательная среда находится в непрерывном развитии, постоянно приобретая новые возможности, позволяющие повысить качество подготовки студентов технических направлений.

Литература

1. Голенков В.В., Емельянов В.В., Тарасов В.Б. Виртуальные кафедры и интеллектуальные обучающие системы // Новости искусственного интеллекта. 2001. № 4. С. 3–13.
2. Aseere, Ali, Gerding, Enrico and Millard, David. A Voting-Based Agent System for Course Selection in E-Learning. At IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology, Canada. 31 Aug – 03 Sep 2010. P. 303–310.
3. Луговская Е.А., Тарасов В.Б. Многоагентные системы поддержки открытого образования в техническом университете // Программные продукты и системы. 2001. № 2. С. 29–34.
4. Трембач В.М. Электронные обучающие системы с использованием интеллектуальных технологий // Открытое образование. 2013. № 4. С. 52–62.
5. Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А., Козлова О.А. Динамическая интеллектуальная система управления процессами в информационно-образовательном пространстве высших учебных заведений // Открытое образование. 2013. № 1 (96). С. 40–49.
6. Швецов А.Н. Интеллектуальные агентно-ориентированные учебные комплексы для подготовки специалистов технического профиля. Интеллектуальные системы: труды одиннадцатого международного симпозиума. Под ред. К.А. Пупкова. М.: РУСАКИ. 2014. С. 508–512.
7. Давыдова Е.Н., Сергушичева А.П. Модели обучаемого и преподавателя для мультиагентной обучающей системы // Открытое образование. 2015. № 5. С. 25–31.
8. Трембач В.М. Инжиниринг интеллектуальных обучающих систем вуза // Статистика и экономика. 2016. № 4. С. 64–67.
9. Тельнов Ю.Ф., Казаков В.А., Трембач В.М. Создание информационно-образовательного пространства высших учебных заведений на ос-

References

1. Golenkov V.V., Emel'yanov V.V., Tarasov V.B. Virtual'nye kafedry i intellektual'nye obuchayushchie sistemy. Novosti iskusstvennogo intellekta. 2001. No. 4. P. 3–13. (In Russ.)
2. Aseere, Ali, Gerding, Enrico and Millard, David. A Voting-Based Agent System for Course Selection in E-Learning. At IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology IEEE/WIC/ACM International Conference on Intelligent Agent Technology, Canada. 31 Aug – 03 Sep 2010. P. 303–310.
3. Lugovskaya E.A., Tarasov V.B. Mnogoagentnye sistemy podderzhki otkrytogo obrazovaniya v tekhnicheskoy universitete. Programmnye produkty i sistemy. 2001. No. 2. P. 29–34. (In Russ.)
4. Trembach V.M. Elektronnye obuchayushchie sistemy s ispol'zovaniem intellektual'nykh tekhnologiy. Otkrytoe obrazovanie. 2013. No. 4. P. 52–62. (In Russ.)
5. Tel'nov YU.F., Kazakov V.A., Kozlova O.A. Dinamicheskaya intellektual'naya sistema upravleniya protsessami v informatsionno-obrazovatel'nom prostranstve vysshih uchebnykh zavedeniy. Otkrytoe obrazovanie. 2013. No. 1 (96). P. 40–49. (In Russ.)
6. SHvetsov A.N. Intellektual'nye agentno-orientirovannye uchebnye komplekсы dlya podgotovki spetsialistov tekhnicheskogo profilya. Intellektual'nye sistemy: trudy odinnadtsatogo mezhdunarodnogo simpoziuma. Ed. K.A. Pupkova. Moscow: RUSAKI. 2014. P. 508–512. (In Russ.)
7. Davydova E.N., Sergushicheva A.P. Modeli obuchaemogo i prepodavatelya dlya mul'tiagentnoy obuchayushchey sistemy. Otkrytoe obrazovanie. 2015. No. 5. P. 25–31. (In Russ.)
8. Trembach V.M. Inzhiniring intellektual'nykh obuchayushchikh sistem vuza. Statistika i ekonomika. 2016. No. 4. P. 64–67. (In Russ.)
9. Tel'nov YU.F., Kazakov V.A., Trembach V.M. Sozdanie informatsionno-obrazovatel'nogo prostranstva vysshih uchebnykh zavedeniy na osnove

нове сервисно-ориентированной архитектуры и многоагентной технологии // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2013. № 3. С. 533–540.

10. Харина М.В. Модели развития иноязычной коммуникативной компетенции студентов технического вуза в интегрированной информационной обучающей среде // Ярославский педагогический вестник. Том 2. Психолого-педагогические науки. 2014. № 4. С. 114–118.

11. Лисс А.Р., Андрианов И.А. Использование разреженных суффиксных деревьев для задач обработки текстов // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2013. № 3. С. 51–57.

12. Андрианов И.А., Чернов А.Ф. Индексирование и поиск в последовательностях для больших баз данных: монография. Вологда: ВоГУ. 2013. 167 с.

13. Зиндер Е.З. Базовые требования к информационно-образовательным пространствам, основанные на их фундаментальных свойствах // Открытое образование. 2015. № 3 (110). С. 83–94.

14. Андрианов И.А., Менухова Н.О. Разработка и особенности использования дистанционного лабораторного практикума по программированию // Современное общество, образование и наука: Сб. науч. тр. по материалам Междунар. науч.-практ. конф. 2012. С. 10–12.

15. Тархов С.В. Адаптивное электронное обучение и оценка его эффективности // Открытое образование. 2005. № 5. С. 37–47.

16. Stean Oppl, Florian Reisinger, Alexander Eckmaier and Christoph Helm. A flexible online platform for computerized adaptive testing. International Journal of Educational Technology in Higher Education. 2017. 14:2.

17. Аванесов В.С. Педагогические измерения: язык и понятия // Педагогическая диагностика. 2015. № 2. С. 3–16.

18. Ржеуцкий А.В. Применение эволюционного алгоритма классификации данных в интеллектуальных учебных комплексах // Проведение научных исследований в области информационно-телекоммуникационных технологий: Материалы всероссийской конференции. М.: 2010. С. 73–75.

19. Рябинова Е.Н. Адаптивная система персонализированной профессиональной подготовки студентов технических вузов. М.: Машиностроение. 2009. 258 с.

20. Наймушина О.Э., Стариченко Б.Е. Многофакторная оценка сложности тестовых заданий // Образование и наука. 2010. № 2 (70). С. 58–70.

servisno-orientirovannoy arkhitektury i mnogoagentnoy tekhnologii. Otkrytye semanticheskie tekhnologii proektirovaniya intellektual'nykh sistem. 2013. No. 3. P. 533–540. (In Russ.)

10. KHarina M.V. Modeli razvitiya inoyazychnoy kommunikativnoy kompetentsii studentov tekhnicheskogo vuza v integrirovannoy informatsionnoy obuchayushchey srede. YAroslavskiy pedagogicheskii vestnik. Vol. 2. Psikhologo-pedagogicheskie nauki. 2014. No. 4. P. 114–118. (In Russ.)

11. Liss A.R., Andrianov I.A. Ispol'zovanie razrezhennykh suffiksnykh derev'ev dlya zadach obrabotki tekstov. Izvestiya SPbGETU LETI. 2013. No. 3. P. 51–57. (In Russ.)

12. Andrianov I.A., CHernov A.F. Indeksirovanie i poisk v posledovatel'nostyakh dlya bol'shikh baz dannykh: monografiya. Vologda: VoGU. 2013. 167 p. (In Russ.)

13. Zinder E.Z. Bazovye trebovaniya k informatsionno-obrazovatel'nyim prostranstvam, osnovannye na ikh fundamental'nykh svoystvakh. Otkrytoe obrazovanie. 2015. No. 3 (110). P. 83–94. (In Russ.)

14. Andrianov I.A., Menukhova N.O. Razrabotka i osobennosti ispol'zovaniya distantsionnogo laboratornogo praktikuma po programmirovaniyu. Sovremennoe obshchestvo, obrazovanie i nauka: Sb. nauch. tr. po materialam Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 2012. P. 10–12. (In Russ.)

15. Tarkhov p.V. Adaptivnoe elektronnoe obuchenie i otsenka ego effektivnosti. Otkrytoe obrazovanie. 2005. No. 5. P. 37–47. (In Russ.)

16. Stean Oppl, Florian Reisinger, Alexander Eckmaier and Christoph Helm. A flexible online platform for computerized adaptive testing. International Journal of Educational Technology in Higher Education. 2017. 14:2. (In Russ.)

17. Avanesov V.S. Pedagogicheskie izmereniya: yazyk i ponyatiya. Pedagogicheskaya diagnostika. 2015. No. 2. P. 3–16. (In Russ.)

18. Rzhetskiy A.V. Primenenie evolyutsionnogo algoritma klassifikatsii dannykh v intellektual'nykh uchebnykh kompleksakh. Provedenie nauchnykh issledovaniy v oblasti informatsionno-telekommunikatsionnykh tekhnologiy: Materialy vserossiyskoy konferentsii. Moscow: 2010. P. 73–75. (In Russ.)

19. Ryabinova E.N. Adaptivnaya sistema personalizirovannoy professional'noy podgotovki studentov tekhnicheskikh vuzov. Moscow: Mashinostroyeniye. 2009. 258 p. (In Russ.)

20. Naymushina O.E., Starichenko B.E. Mnogofaktornaya otsenka slozhnosti testovykh zadaniy. Obrazovanie i nauka. 2010. No. 2 (70). P. 58–70. (In Russ.)

Сведения об авторах

Анатолий Николаевич Швецов

Д.т.н., профессор кафедры информационных систем и технологий

ВоГУ, Вологда, Россия

E-mail: smithv@mail.ru

Светлана Юрьевна Ржеуцкая

К.т.н., доцент кафедры автоматики и вычислительной техники

ВоГУ, Вологда, Россия

E-mail: rzezyzki@yandex.tu

Анна Павловна Сергушичева

К.т.н., доцент кафедры автоматики и вычислительной техники

ВоГУ, Вологда, Россия

E-mail: annpas@list.ru

Алексей Александрович Суконых

К.т.н., заведующий кафедрой автоматики и вычислительной техники

ВоГУ, Вологда, Россия

E-mail: avt@mh.vstu.edu.ru

Information about the authors

Anatoliy N. Schvetsov

Dr. Sci. (Engineering), Professor of the Department of information systems and technologies

VSTU, Vologda, Russia

E-mail: smithv@mail.ru

Svetlana U. Rzehtskaya

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of automation and computer engineering

VSTU, Vologda, Russia

E-mail: rzezyzki@yandex.tu

Anna P. Sergushicheva

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of automation and computer engineering

VSTU, Vologda, Russia

E-mail: annpas@list.ru

Aleksey A. Sukonschikov

Cand. Sci. (Engineering), Head of the Department of automation and computer engineering

VSTU, Vologda, Russia

E-mail: avt@mh.vstu.edu.ru