

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА КОНТРОЛЯ НАВИГАЦИОННЫХ ЗНАНИЙ

А. П. Григорьев^{а, б}, ассистент, начальник проектно-конструкторского сектора

С. Г. Бурлуцкий^а, канд. техн. наук, доцент

А. О. Чернелевский^{а, в}, магистр, инженер

^аСанкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ

^бАО «Конструкторское бюро «Арсенал» им. М. В. Фрунзе», Санкт-Петербург, РФ

^вПАО «Техприбор», Санкт-Петербург, РФ

Постановка проблемы: при подготовке авиационных специалистов требуется непрерывный мониторинг успеваемости, таким образом, вопросы, связанные с обеспечением качественного контроля знаний, оценивания степени усвоения учебного материала на теоретическом этапе обучения становятся все более актуальными. **Цель исследования:** рассмотрение прикладных задач контроля навигационных знаний с использованием смысловых графовых моделей учебного материала, применяемых для структурирования учебных элементов предметной области, ранжирования (определения сложности) тестовых заданий при адаптивном тестировании с помощью аппарата нечеткой логики (определения степени приближения ответа обучаемого к эталонному), а также разработка программы автоматизированного тестирования для реализации непрерывной процедуры адаптивного контроля знаний. **Результаты:** сформулированы целевые задачи, решаемые программой: обеспечение контроля уровня усвоения теоретического материала, диагностика и восстановление неувоенных/неполных (фрагментарных) знаний на теоретическом этапе обучения с учетом адаптации к индивидуальным особенностям обучаемых. Предложен алгоритм адаптивного контроля знаний на базе тестирования закрытого типа (с приведенными вариантами ответа) для обучения авиационных специалистов. На основании алгоритма в среде графического программирования NI LabVIEW спроектирована программа, которая реализует процедуру адаптации уровня сложности тестовых заданий к уровню подготовки каждого конкретного обучаемого и организует автоматизированное тестирование. По результатам тестирования осуществляется автоматизированный контроль знаний и обеспечивается его объективность и безошибочность. Программа тестирования может быть использована также в качестве самодиагностирующей при реализации внеаудиторной самостоятельной работы обучаемых. Осуществляется частичная разгрузка инструктора (преподавателя) за счет его освобождения от выполнения ряда технологических операций, связанных с обработкой результатов тестирования. **Практическая значимость:** разработанная на базе языка графического программирования NI LabVIEW дистанционная адаптивная система обучения позволяет сократить время, отведенное на обучение в рамках теоретической подготовки, а также интенсифицировать обучающий процесс и в конечном счете повысить степень усвоения учебного материала.

Ключевые слова — подготовка авиационных специалистов, контроль знаний, семантический граф, графосемантические модели предметной области, адаптивные обучающие системы, системы контроля знаний, нечеткое оценивание знаний.

Введение

Профессиональная подготовка оператора летательного аппарата (ЛА) — это трудоемкий и дорогостоящий процесс, складывающийся из курса теоретического обучения, практических тренажерной и летной подготовок. Важно также отметить, что обучение оператора ЛА необходимо рассматривать как управляемый и контролируемый процесс решения тестовых навигационных заданий.

Тестовый контроль отличается эффективностью при самостоятельной работе; объективностью в оценке знаний; экономией времени преподавателя; высокой степенью дифференциации тестируемых по уровню знаний; возможностью индивидуализации процесса обучения; прогнозированием темпа и результата обучения; возможностью выявления структуры знаний каждого слушателя для дальнейшего изменения

методики обучения. Известные модели тестирования подробно изложены в работе [1]. Наиболее прогрессивными в настоящее время являются адаптивные модели тестирования, в которых сложность заданий меняется в зависимости от правильности ответов испытуемого.

Применение при автоматизированной проверке знаний адаптивного тестирования (АТ) позволяет повысить эффективность обучения за счет адаптации обучающего процесса под особенности каждого конкретного обучаемого.

Определение свойств этих заданий и выдача комментариев по каждому из них должны проводиться на основе идентификации знаний обучаемого на каждом шаге обучения. В процессе обучения должен соблюдаться принцип продвижения от простого учебного материала (УМ) к сложному, причем переход к новой теме осуществляется только в случае успешного усвоения предыдущего материала.



■ **Рис. 1.** Алгоритм адаптивного тестирования
 ■ **Fig. 1.** Adaptive testing algorithm

Рассмотрим АТ по алгоритму (рис. 1) на примере одного из параграфов главы «Учет влияния ветра на полет самолета» учебного пособия «Воздушная навигация и элементы самолетовождения», реализованное в среде графического программирования LabVIEW в виде программы автоматизированного адаптивного тестирования (ПААТ).

Первоначально обучаемому выдается вопрос среднего уровня сложности. Под объективной сложностью (т. е. рассчитанной математически) следует понимать степень вероятности выполнения обучаемым задания, а под субъективной сложностью (трудностью) — частную составляющую, характеризующую индивидуальные особенности выполнения обучаемым того или иного задания.

Для определения уровня сложности тестовых заданий (ТЗ) используют:

- 1) экспертную оценку, получаемую на основании мнения специалистов (экспертов) в целях последующего принятия решения;
- 2) графосемантическое ранжирование, являющееся математически интерпретируемым и обоснованным методом определения сложности ТЗ;
- 3) статистические методы обработки и анализа ответов обучающихся на ТЗ.

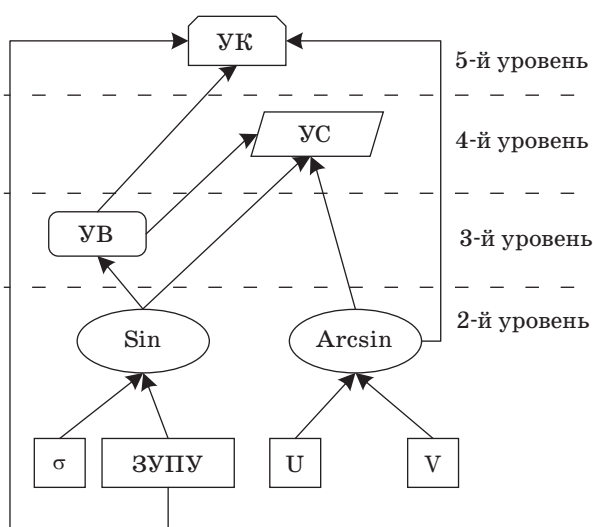
Как правило, при реализации АТ используются ТЗ закрытого типа (с приведенными вариантами ответа), которые могут быть представлены

в виде неполного определения, формулы и т. д. Напротив каждого варианта ответа имеются «пустые окошки». Обучаемый должен, выбрав вариант ответа, подтвердить свой выбор нажатием левой клавиши «мыши» на соответствующее «окно», в котором появится «метка». Для окончательного ответа на вопрос необходимо нажать клавишу «Ответить».

Построение семантического графа предметной области

Уровень сложности вопроса определялся с помощью семантического графа (рис. 2).

Семантический граф (семантическая сеть) представляет собой связанный ориентированный мультиграф $G(C, E)$, вершинами которого являются концепты множества C , а дугами — отношения множества E [2]. Очевидно, что граф, имеющий большее количество вершин или ребер, является более сложным [2]. Различают входные концепты — понятия или же определения курса; внутренние концепты, используемые для определения других понятий курса (следующий уровень графа), и выходные концепты — понятия, не используемые для определения других понятий курса. Очевидно, что концепт, связанный с большим количеством других концептов, позиционируется как более сложный. В нашем конкретном случае вопросы, ориентированные



■ **Рис. 2.** Семантический граф
 ■ **Fig. 2.** The semantic graph

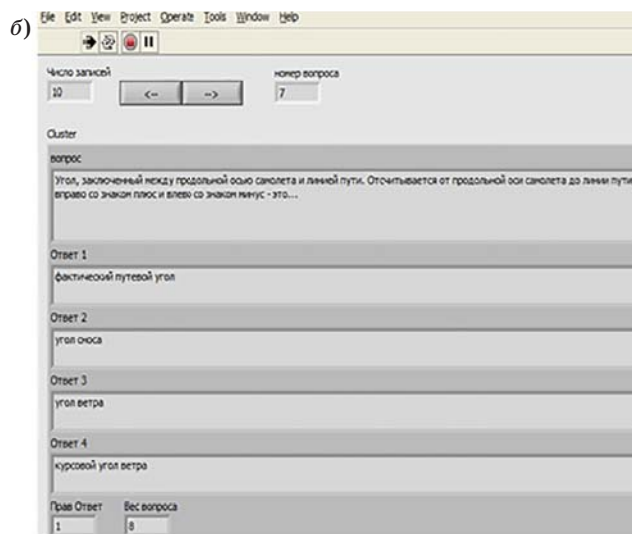
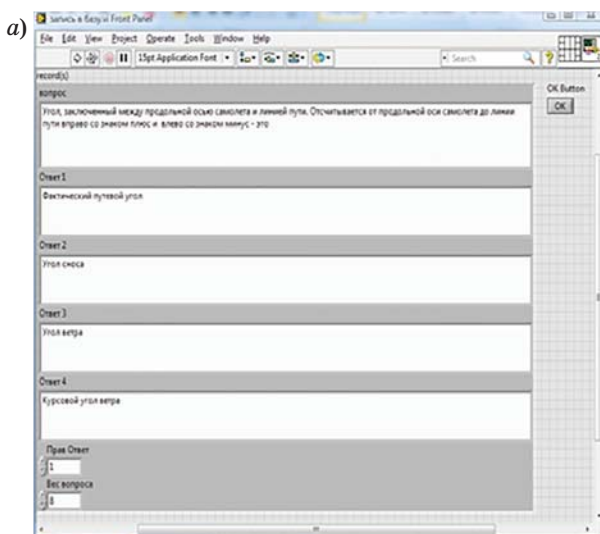
на знания входных концептов, считаются наиболее простыми; это, как правило, фундаментальные определения и понятия курса «Воздушная навигация», данным вопросам присваивается наименьший вес. Вопросы, ориентированные на знания концептов высших уровней, имеют следующие веса: 2 — тригонометрические функции и их отношения; 3 — понятие об угле ветра, расчет его направления; 4 — угол сноса и 5 — условный курс и его расчет. После ранжирования вопросов по сложности составляется общая база, в которой каждому вопросу присваивается свой собственный вес. Таким образом, моделировались задачи различного уровня сложности.

Описание интерфейса контролирующей программы

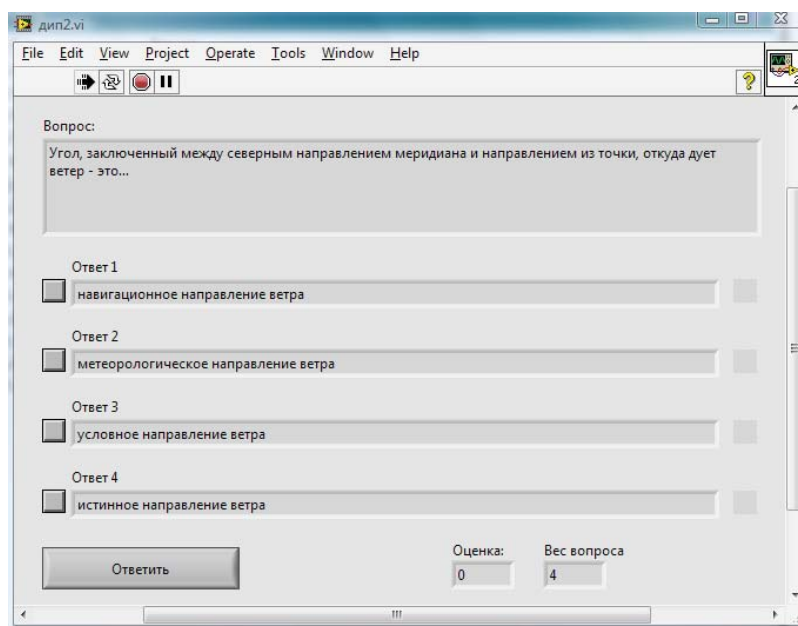
Разработанная ПААТ осуществляет проверку ответа обучаемого. Если ответ верен, то обучаемому выдается следующий вопрос, по уровню сложности выше предыдущего. Если ответ на вопрос неверный, обучаемому предлагается вопрос ниже по уровню сложности. Таким образом, после серии из пяти вопросов определяется уровень знаний. Это означает, что для каждого конкретного обучаемого программа сгенерирует свои вопросы и выдаст их для решения в требуемой адаптивной последовательности. По результатам прохождения тестирования обучаемому выставляется оценка по 4-балльной шкале (5, 4, 3, 2) [3]. Адаптивность такой обучающей системы выражена в адаптации уровня сложности к уровню подготовки обучаемого.

База тестовых вопросов создается в следующем порядке. Первоначально записывается каждый тестовый вопрос, при этом необходимо учитывать, что форма записи в базе вопросов строго определена и состоит из определенных полей (рис. 3, а), заполняемых разработчиком вручную:

- «Вопрос» — пустое поле для текстовой записи вопроса;
- «Ответ 1», «Ответ 2», «Ответ 3», «Ответ 4» — четыре варианта ответа на тестовый вопрос. Каждый из возможных вариантов ответа необходимо вписать в соответствующие порядковые номера полей;
- поле «Прав. ответ» используется для указания порядкового номера правильного ответа — правильный вариант находится в диапазоне 1÷4



■ **Рис. 3.** Общий вид подпрограммы «Запись вопросов» (а) и «Чтение вопросов» (б)
 ■ **Fig. 3.** General view of the subprogram «Record questions» (а) and «Reading questions» (б)



- *Рис. 4.* Общий вид окна «Программа тестирования»
- *Fig. 4.* General view of the «Testing program» window

и выбирается клавишей с изображением двунаправленной стрелки;

— поле «Вес вопроса» предназначено для указания веса вопроса, присвоенного с помощью семантического графа (см. рис. 2).

Запись вопросов, проводимая в порядке возрастания их сложности, осуществляется по умолчанию на диск C:\. Сохраняется база вопросов в виде файла без расширения. Сам файл базы вопросов представляет собой запись данных в формате datalog. Этот формат используется в среде LabVIEW для ведения архива сложных данных при непрерывном процессе измерения. Данные в этом формате хранятся в виде массива однотипных данных, структура которых задается разработчиком (программистом). В нашем случае такой записью является кластер из четырех текстовых и двух числовых полей соответственно.

Чтение базы вопросов осуществляется с помощью подпрограммы (рис. 3, б), которая позволяет получать требуемое число записей тестовых вопросов и проверять их корректное сохранение в базе вопросов. Кнопки «→» и «←» предназначены для просмотра имеющихся в базе записей. Индикатор «номер вопроса» показывает порядковый номер вопроса в базе.

Контроль знаний при использовании ПААТ происходит следующим образом: обучаемому предлагается тест, состоящий из пяти вопросов с четырьмя вариантами ответа на каждый (рис. 4).

Разработанная ПААТ была апробирована при тестировании группы студентов III курса

Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП) в рамках дисциплины «Бортовые вычислительные комплексы навигации и самолетовождения» по теме «Учет влияния ветра на полет ЛА». Каждому обучаемому было отведено по 3 мин для ответа на пять вопросов закрытого типа. Программа содержала базу из множества вопросов, каждый из которых имел свой вес. При правильном ответе на вопрос загорался индикатор зеленого цвета и программа автоматически выдавала следующий вопрос, который имел более высокий вес и, следовательно, сложность, если же ответ на вопрос был неверен, то загорался индикатор красного цвета и выдавался вопрос на уровень ниже. По окончании опроса на экран выводилась оценка. Если обучаемый не успевал ответить на все вопросы за отведенное время, то программа завершала свою работу с выставлением оценки 0 баллов.

Программа выставляет оценки в абсолютной шкале (десятичные дроби), а также в стандартной 4-балльной шкале [3]. Для оценивания знаний обучаемых преподавателем использовалась 4-балльная шкала [3].

Нечеткая логика в адаптивном контроле навигационных знаний

В процессе тестирования степень суммарной истинности ответов обучаемого на все вопросы теста оценивается подсчетом результирующей функции принадлежности (ФП) всего теста.

Итоговая оценка знаний тестируемого выводится сравнением полученной результирующей ФП всего теста с эталонными ФП [4].

Формально модель нечеткого оценивания знаний может быть представлена в виде [4]

$$\forall t_i \in T : F(t_i, M_E, I) \rightarrow N_i, \quad (1)$$

где F — процедура задания степени истинности предлагаемых вариантов ответов на каждое тестовое задание $t_i \in T$; M_E — эталонная модель знаний; N_i — нечеткое множество вариантов возможных ответов; $I = [I_1, I_2, \dots, I_m]$ — лингвистическая переменная, определяющая шкалу оценивания истинности ответов, m — число значений I , I_k — значения, используемые в качестве оценочных категорий при построении ФП, $k = 1, m$ [3]. Например, для пятизначной шкалы $m = 5$, соответственно, $I_1 = \text{«правильно»}$, $I_2 = \text{«не совсем правильно»}$, $I_3 = \text{«неполно»}$, $I_4 = \text{«неточно»}$, $I_5 = \text{«неправильно»}$.

Для вывода итоговой оценки по результатам тестирования формируется шкала итоговых оценок в виде нечеткого множества

$$S_O = \{(s_r, \mu_r)\}, \quad (2)$$

где s_r — значение оценки; μ_r — эталонная ФП, определяющая, в какой степени суммарная истинность ответов тестируемого на все вопросы теста соответствует оценке s_r , $r = 1, R$, R — число значений итоговой оценки, выставляемой по результатам тестирования. Для 4-балльной системы оценивания знаний $R = 4$, и, соответственно, получаем: $s_1 = \text{«неудовлетворительно»}$, $s_2 = \text{«удовлетворительно»}$, $s_3 = \text{«хорошо»}$, $s_4 = \text{«отлично»}$.

Эталонные ФП μ_r задаются в виде

$$\mu_r = \{O_{1r}/I_1, O_{2r}/I_2, \dots, O_{mr}/I_m\}, \quad (3)$$

где O_{kr} — степень соответствия совокупности ответов тестируемого оценочной категории I_k .

При использовании четырехзначной шкалы оценивания экспертным путем может быть задана эталонная ФП оценки $s_4 = \text{«отлично»}$ следующим образом: $\mu_4 = \{1/\text{«правильно»}, 0,3/\text{«не совсем правильно»}, 0,1/\text{«неполно»}, 0,0/\text{«неточно»}, 0,0/\text{«неправильно»}\}$.

Эталонная ФП оценки $s_2 = \text{«удовлетворительно»}$ может быть задана так: $\mu_2 = \{0,2/\text{«правильно»}, 0,4/\text{«не совсем правильно»}, 0,9/\text{«неполно»}, 0,7/\text{«неточно»}, 0,3/\text{«неправильно»}\}$.

Для контроля знаний обучаемого формируется конечное множество ТЗ

$$T = \{t_i\}, \quad (4)$$

где $i = \overline{1, I_{\max}}$, I_{\max} — число заданий, включенных в множество T . Для каждого i -го задания создается нечеткое множество вариантов возможных ответов

дается нечеткое множество вариантов возможных ответов

$$N_i = \{(n_{ji}, \mu_{ji})\}, \quad j = \overline{1, P_i}, \quad (5)$$

где n_{ji} — j -й вариант ответа на i -е задание; μ_{ji} — ФП, определяющая степень правдоподобия ответа n_{ji} ; P_i — мощность множества N_i (число вариантов ответов на ТЗ).

Функции принадлежности μ_{ji} определяются в виде

$$\mu_{ji} = \{O_1 / I_1, O_2 / I_2, \dots, O_m / I_m\}, \quad (6)$$

где O_k — степень соответствия ответа n_{ji} оценочной категории I_k [4].

В процессе контроля знаний обучаемому последовательно предъявляются ТЗ $t_i^{mj} \in S_O$ и варианты ответов $N_i = \{n_{ji}\}$ на каждое i -е задание. На основании выбранных вариантов ответов $n_{ji}^* \in N_i$ и соответствующих этим ответам ФП μ_{ji} рассчитывается суммарная истинность ответов тестируемого на все задания теста в виде ФП μ_Σ , нормированной относительно количества заданий n :

$$\mu_\Sigma = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \mu_{ji}^* = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n O_{1ji}^* / I_1, \right. \\ \left. \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n O_{2ji}^* / I_2, \dots, \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n O_{mji}^* / I_m \right\}. \quad (7)$$

Итоговая оценка O_T за тест определяется по результатам сравнения рассчитанного значения μ_Σ со всеми эталонными ФП μ_r . Для каждого допустимого значения оценки $s_r \in S_O$ вычисляется скалярное расстояние $\Delta\mu_r$ между ее ФП μ_r и результирующей ФП всего теста μ_Σ : $\Delta\mu_r = \mu_\Sigma / \mu_r$, а при использовании меры Хемминга значение $\Delta\mu_r$ вычисляется по формуле

$$\Delta\mu_r = \sum_{j=1}^m |O_{jr} - O_{j\Sigma}|, \quad (8)$$

где O_{jr} — степень соответствия совокупности ответов тестируемого оценочной категории I_j , $j = \overline{1, m}$, эталонных ФП; $O_{j\Sigma}$ — степень соответствия совокупности ответов тестируемого оценочной категории I_j расчетных суммарных ФП ответов тестируемых.

Итоговая оценка вычисляется по формуле

$$O_T = s_r \mid \Delta\mu_r = \min_{\forall j=1..R} (\Delta\mu_j). \quad (9)$$

В качестве итоговой оценки принимается то значение оценки $s_r \in S_O$, для которого скалярное расстояние $\Delta\mu_r$ между ее ФП μ_r и результирующей ФП μ_Σ всего теста оказывается минимальным.

Анализ адекватности и эффективности адаптивного контроля навигационных знаний

Проведенный эксперимент в группе студентов показал, что по серии из 14 статистик адекватность программы контроля составила 93 %. Расхождение между оценками преподавателя и ПААТ составило 7 % (рис. 5, обучаемый № 9).

Контрольное АТ показало, что студенты с невысоким уровнем знаний затруднялись отвечать на вопросы среднего уровня сложности, как следствие — шесть неудовлетворительных оценок, в то время как студенты с высокой успеваемостью (две оценки — отлично, три оценки — хорошо) не испытывали затруднений даже при ответе на вопросы высокой сложности. Это свидетельствует о сильно выраженной «стратификации» успеваемости обучаемых, что необходимо учитывать при построении базы ТЗ и ранжировании сложности тестовых вопросов.

Данный факт указывает на необходимость реализации более «плавной» адаптации к уровню знаний и скорости усвоения УМ, о необходимости индивидуализации процесса передачи УМ, особенно при работе с «отстающими» студентами. В данном случае при расширении базы вопросов и пересмотре структуры семантического графа указанные недостатки могут быть ликвидированы.

Для реализации более «плавной» адаптации целесообразно варьировать длину шага при выборе сложности очередного вопроса из базы данных. Если представить базу данных вопросов в абсолютной величине в интервале 0...1, то нулю будет соответствовать самый легкий вопрос, а единице — самый сложный. Общее число ша-

гов соответствует количеству вопросов ТЗ. Для определения оптимальной длины каждого шага может быть использован любой из методов одномерной оптимизации, но с точки зрения наибольшей эффективности целесообразно использовать метод чисел Фибоначчи.

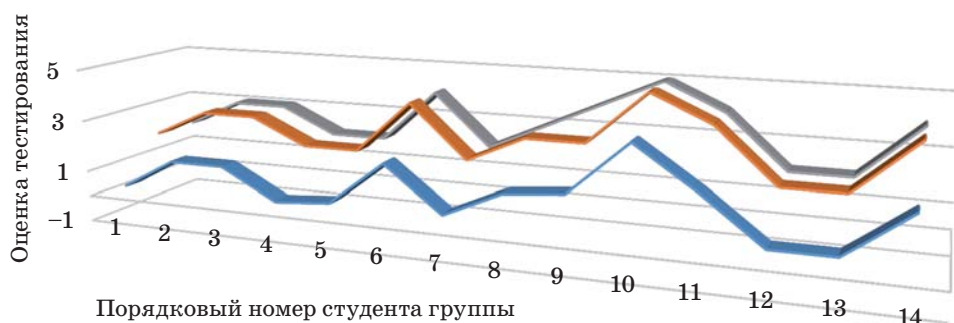
Помимо всего прочего, необходимо отметить, что важным недостатком спроектированных таким образом ПААТ часто является низкая степень адаптации к индивидуальным психофизиологическим особенностям обучаемых, взаимодействующих с системой [5, 6].

Для эффективного решения задач обучения и преодоления этого недостатка авторами статьи предложено внедрить в ПААТ систему психофизиологической диагностики (ПФД) обучаемых [5, 6].

Осуществим повторный эксперимент после проведения ПФД по алгоритмам, методикам и программам, подробно рассмотренным в работах [5, 6] (рис. 6).

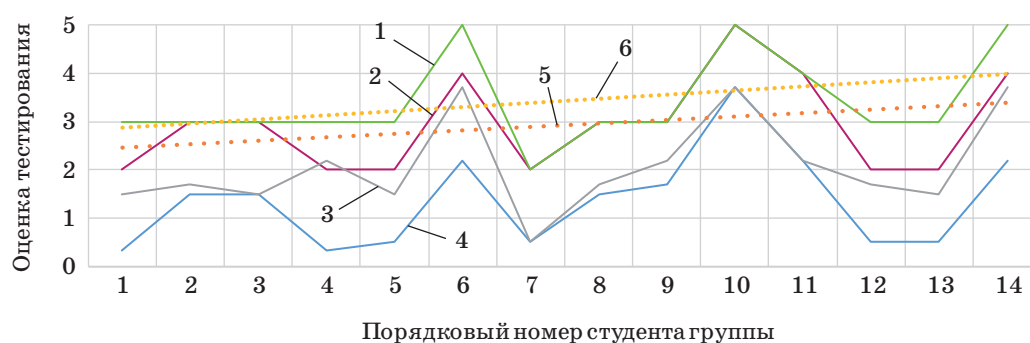
Из представленных графиков очевидно, что после проведения ПФД текущая успеваемость группы увеличилась преимущественно за счет задания адаптивных временных диапазонов, отводимых для тестирования. В данном конкретном случае диапазоны задавались в соответствии с результатами тестирования, полученными на основании работ [5, 6], исходя из индивидуальных типологических особенностей нервной системы обучаемого.

Сравнивая полученные результаты, отметим, что при организации ПФД средняя оценка по 4-балльной шкале составила 3,4 (см. рис. 6, линия 3) по сравнению со средним значением 2,8, полученным по результатам тестирования, не учитывающим ПФД (см. рис. 6, линия 5).



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
■ оценка ПААТ в абсолютной величине, баллы	0,33	1,5	1,5	0,33	0,5	2,2	0,5	1,5	1,7	3,7	2,2	0,5	0,5	2,2
■ оценка ПААТ в 4-балльной шкале	2	3	3	2	2	4	2	3	3	5	4	2	2	4
■ оценка преподавателя в 4-балльной шкале	2	3	3	2	2	4	2	3	4	5	4	2	2	4

■ Рис. 5. Результаты тестового контроля
 ■ Fig. 5. Results of the test control



- 1 — оценка ПААТ в абсолютной величине, баллы
- 2 — оценка ПААТ в 4-балльной шкале
- 3 — оценка ПААТ в абсолютной величине после проведения ПФД, баллы
- 4 — оценка ПААТ в 4-балльной шкале после проведения ПФД
- 5 — линейная (оценка ПААТ в 4-балльной шкале)
- 6 — линейная (оценка ПААТ в 4-балльной шкале после проведения ПФД)

■ **Рис. 6.** Результаты тестового контроля после проведения ПФД
 ■ **Fig. 6.** Results of the test control after the psychophysiological diagnostics

Таким образом, ПФД обучаемых не только может быть эффективно интегрирована в обучающий процесс на любом из этапов обучения, но и позволит существенно повысить и адаптивность, и эффективность обучения в компьютерных обучающих системах.

В итоге после устранения указанных недостатков разработанная программа позволяет:

- автоматизировать процесс контроля навигационных знаний обучаемого;
- разгрузить преподавателя от монотонных технологических операций, связанных с проверкой ТЗ;
- адаптировать процесс контроля знаний для каждого конкретного студента;
- исключить предвзятое отношение со стороны преподавателя при выставлении оценки;
- повысить общую адаптивность ПААТ;
- обеспечить должное качество и адекватность полученных результатов за счет более полного описания модели обучаемого с учетом индивидуальных психофизиологических особенностей нервной системы.

Программа может быть использована в качестве эффективной дистанционной системы контроля и психофизиологической самодиагностики при условии размещения на персональном компьютере обучаемого. Наличие в составе ПААТ системы тестирования психофизиологических характеристик позволяет адаптировать обучающую систему к индивидуальным характеристикам обучаемого за счет задания временных параметров системы контроля знаний, что обеспечивает адекватную оценку знаний и повышает качество обучения.

Дальнейшие исследования адекватности полученных моделей тестирования направлены на

придание подходу интеллектуальности за счет возможности использования нечетких шкал оценивания [7] и реализации диагностики на базе искусственных нейронных сетей [8]. В настоящее время для решения задач распознавания и классификации широкое распространение получили искусственные нейронные сети, которые требуют незначительного объема обучающих статистик (case-based). Необходимо лишь иметь достаточное количество примеров для качественной настройки сети с заданной степенью достоверности.

Заключение

Таким образом, разработанная на базе языка графического программирования NI LabVIEW дистанционная адаптивная система обучения позволяет сократить время, отведенное на обучение в рамках теоретической подготовки, а также интенсифицировать обучающий процесс и в конечном счете повысить степень усвоения учебного материала. Представленная программа может быть использована в качестве самодиагностирующей при реализации внеаудиторной самостоятельной работы обучаемых, помогает осуществить частичную разгрузку преподавателя за счет освобождения его от выполнения технологических операций, связанных с обработкой результатов тестирования.

Материалы данной статьи использованы в учебном процессе Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения» на кафедре аэрокосмических приборов и измерительно-вычислительных комплексов.

Литература

1. Глова В. И., Дуплик С. В. Модели педагогического тестирования обучаемых // Вестник Казан. гос. тех. ун-та им. А. Н. Туполева. 2003. № 2. С. 74–79.
2. Лаптев В. В. Модель предметной области и оценка ее сложности в обучающей системе по программированию // Вестник Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер. Управление, вычисл. техн. и информ. 2010. № 2. С. 35–44.
3. Васильев В. И., Тягунова Т. Н., Хлебников В. А. Триадная сущность шкалы оценивания // Дистанционное образование. 2000. № 6. С. 19–25.
4. Рудинский И. Д. Модель нечеткого оценивания знаний как методологический базис автоматизации педагогического тестирования // Информационные технологии. 2003. № 9. С. 46–51.
5. Григорьев А. П., Орлов А. А. Адаптация АОС к психофизиологическим особенностям обучаемых // Сб. докл. научной сессии ГУАП. СПб.: ГУАП, 2014. С. 22–26.
6. Григорьев А. П., Писаренко Е. С. Моделирование психофизиологического тестирования обучаемых высшей технической школы // Сб. докл. научной сессии ГУАП. СПб.: ГУАП, 2014. С. 26–29.
7. Дуплик С. В. Модель адаптивного тестирования на нечеткой математике // Открытое и дистанционное образование. 2004. № 4. С. 78–88.
8. Haykin S. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. 2nd ed. — Prentice-Hall, 1998. — 842 p.

UDC 004.89

doi:10.15217/issn1684-8853.2017.4.95

Adaptive System for Navigational Knowledge Control

Grigoryev A. P.^{a,b}, Assistant Professor, Head of Design and Engineering Sector, alexgrid-1986@mail.ruBurlutsky S. G.^a, PhD, Tech., Associate Professor, sergey_burluckiy@mail.ruChernelevsky A. O.^{a,c}, M. Sc., Engineer, anatoliy.chernelevskiy@mail.ru^aSaint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaya St., Saint-Petersburg, 190000, Russian Federation^bJSC «Arsenal Design Bureau named after Mikhail Vasil'evich Frunze», 1-3, Komsomola St., Saint-Petersburg, 195009, Russian Federation^cPJSC «Techpribor», 5a, Varshavskaya St., Saint-Petersburg, 196084, Russian Federation

Introduction: The training of aviation specialists presumes continuous monitoring of academic performance. Thus, the issues related to ensuring the knowledge quality control and assessing the mastering of the educational material at the theoretical stage of the training are becoming increasingly relevant. **Purpose:** We have to consider the applied problems of navigation knowledge control using semantic graph models of the educational material used for structuring the learning elements of the subject area, ranking the tests according to their complexity in adaptive testing using fuzzy logic (determining how close the learner's answer is to the reference one), and developing an automated testing program in order to implement a continuous procedure of adaptive knowledge control. **Results:** The target tasks have been formulated for the program: to provide control over the level of mastering the theoretical material, to diagnose and restore unassigned or incomplete (fragmentary) knowledge at the theoretical stage of education, taking into account the adaptation to the individual traits of the trainees. An adaptive knowledge control algorithm has been proposed for the training of aviation specialists, based on testing of the closed type (with given options for the answer). On the base on this algorithm, in NI LabVIEW graphical programming environment, a program has been developed which adapts the test task complexity level to the level of every individual trainee and organizes automated testing. According to the results of the testing, automated control of the knowledge is carried out with properly ensured objectivity and correctness. The testing program can also be used as a self-diagnostic tool for independent out-of-class work of the trainees. The teaching load of the instructor becomes smaller due to the removal of certain technological operations related to the processing of the test results. **Practical relevance:** The remote adaptive training system developed on the base of graphic programming language NI LabVIEW allows you to reduce the time for training in the theoretical preparation framework, to intensify the teaching process and, ultimately, to improve the academic performance.

Keywords — Training of Aviation Specialists, Knowledge Control, Semantic Graph, Graphosemantic Domain Models, Adaptive Training Systems, Knowledge Control System, Fuzzy Estimation of Knowledge.

References

1. Glova V. I., Duplik S. V. Models for Pedagogical Testing of Students. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. A. N. Tupoleva*, 2003, no. 2 (34), pp. 74–79 (In Russian).
2. Laptev V. V. Domain Model and Estimation of its Complexity in the Training System for Programming. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Ser. Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*, 2010, no. 2, pp. 35–44 (In Russian).
3. Vasil'ev V. I., Tiagunova T. N., Khebnikov V. A. Triadic Nature of Assessment Scales. *Distantionnoe obrazovanie*, 2000, no. 6, pp. 19–25 (In Russian).
4. Rudinskii I. D. Model of Fuzzy Evaluation of Knowledge as a Methodological Basis of Pedagogical Testing Automation. *Informatsionnye tekhnologii*, 2003, no. 9, pp. 46–51 (In Russian).
5. Grigoryev A. P., Orlov A. A. Adaptation of Adaptive Training Systems to Psychophysiological Features of Trainees. *Sbornik dokladov nauchnoi sessii GUAP* [Collection of Presentations at the Scientific Session of the SUAI]. Saint-Petersburg, GUAP Publ., 2014, pp. 22–26 (In Russian).
6. Grigoryev A. P., Pisarenko Ye. S. Modeling of Psychophysiological Testing of Students of Higher Technical School. *Sbornik dokladov nauchnoi sessii GUAP* [Collection of Presentations at the Scientific Session of the SUAI]. Saint-Petersburg, GUAP Publ., 2014, pp. 26–29 (In Russian).
7. Duplik S. V. Model of Adaptive Testing on Fuzzy Math. *Открытое и дистанционное образование* [Open and Distance Education], 2004, no. 4 (16), pp. 78–88 (In Russian).
8. Haykin S. *Neural Networks: A Comprehensive Foundation*. 2nd ed. Prentice-Hall, 1998. 842 p.