

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АДАПТИВНОГО ТРЕНАЖНО-МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА СПЕЦИАЛИСТОВ УПРАВЛЕНИЯ АВИАЦИЕЙ

А. Р. Бестугин^а, доктор техн. наук, профессор

А. Ю. Иванов^а, аспирант

И. А. Киршина^а, канд. экон. наук, доцент

В. А. Санников^а, канд. техн. наук, доцент

А. Д. Филин^а, доктор техн. наук, профессор

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

Введение: постоянное увеличение интенсивности воздушного движения, ужесточение требований к безопасности полетов требуют планомерного совершенствования учебно-тренировочных средств для роста профессионального уровня специалистов управления авиацией. Поэтому разработка теории синтеза адаптивного тренажно-моделирующего комплекса с обликом экспертной системы является актуальной задачей. Интерес в данной проблеме связан с нахождением новых способов повышения эффективности функционирования тренажных комплексов за счет внедрения когнитивных технологий в структуру управления функционирования учебно-тренировочных средств. **Цель исследования:** создание имитационной модели адаптивного тренажно-моделирующего комплекса специалистов управления авиацией; разработка структуры управления процессом обучения, описывающей изменение состояния обучаемого в формализованном математическом представлении. **Результаты:** разработана структура имитационной модели адаптивного тренажно-моделирующего комплекса специалистов управления авиацией в виде совокупности подсистемы оценки. Модель обеспечивает получение объективных критериев соответствия знаний и навыков обучаемого требуемому уровню и формирование корректировочных воздействий, влияющих на текущий тематический раздел программы подготовки специалистов службы движения и подсистемы обучения, в которой в силу корректирующих действий формируется программа прохождения заданного тематического раздела в соответствии с индивидуальными особенностями обучаемых. Получен алгоритм вычисления комплексных оценок уровня подготовки по совокупности контролируемых параметров, в основу которого положено нахождение оценок по результатам выполнения тестовых упражнений из курсов специальной подготовки авиационных специалистов. В качестве обобщающей оценки параметров, обладающих различной природой, предлагаются усредняющие критерии безошибочности и быстродействия. Представленный метод позволяет получать оценки эффективности адаптивных тренажно-моделирующих комплексов с элементами экспертной системы. **Практическая значимость:** разработанная когнитивная структура системы управления процессом обучения и полученный алгоритм нахождения комплексных оценок уровня подготовленности специалистов управления авиацией определяют переход к созданию нового поколения эффективных тренажных комплексов, внедрение которых позволит поднять уровень безопасности полетов за счет повышения профессиональной подготовки авиационных специалистов.

Ключевые слова — имитационная модель, оценка эффективности, тренажно-моделирующий комплекс, адаптивное управление, экспертная система.

Введение

Усложнение процессов управления воздушным движением (УВД), внедрение новой техники и технологий процессов управления авиацией предъявляют все более высокие требования к уровню обучаемости и квалификации специалистов УВД, что в свою очередь обуславливает постоянное совершенствование системы их подготовки и переподготовки [1–3]. Вопросы оценки эффективности уровня подготовки требуют эволюционирования математического аппарата в соответствии с тенденциями развития сферы подготовки диспетчерского состава [4].

В качестве одного из перспективных направлений исследований системы подготовки диспетчеров УВД все более широкое применение находят методы теории адаптивного управления [4–7] и построения на их базе тренажных комплексов,

обеспечивающих практическую подготовку соответствующих специалистов. При рассмотрении процессов подготовки специалистов УВД в виде системы управления объектом управления будет являться обучаемый S . Если в качестве определяющих характеристик обучаемого принять уровень обученности S_{Π} и совокупность параметров, характеризующих его индивидуальные особенности L_{Π} , то реализацию процесса обучения можно выразить в виде преобразования объекта управления из исходного состояния, соответствующего его начальному уровню подготовки, в заданное конечное: $S_{start} \Rightarrow S_{\Pi max}, L_{start} \Rightarrow L_{\Pi max}$.

Уровень подготовленности обучаемого S_{Π} является основным показателем, используемым при анализе процесса обучения, и представляет собой способность диспетчера УВД выполнять заданную программу действий в соответствии с нормативными значениями показателей, с по-

мощью которых определяется степень развития той или иной группы профессиональных навыков [1, 8–10]. Параметры L_{Π} условно можно разделить на две группы:

- 1) индивидуального развития, относящиеся к профессионально важным качествам (внимание, память, скорость реакции и т. д.);
- 2) личной заинтересованности (уровень мотивации), а также психофизиологическое состояние обучаемого.

Не менее важным показателем эффективности обучения является время $T_{\Pi \max}$, представляющее собой суммарное значение времени, затраченного на всех этапах обучения:

$$T_{\Pi \max} = \sum_{\Pi=1}^{\Pi \max} T_{\Pi} = \sum_{\Pi=1}^{\Pi \max} (t_{\Pi}^{n \max} - t_{\Pi}^0),$$

где t_{Π}^0 — время начала выполнения обучающих заданий, относящихся к подразделу программы обучения Π ; $t_{\Pi}^{n \max}$ — время окончания выполнения обучаемым обучающих заданий с учетом всех повторений n , вызванных корректировками программы обучения, связанными с психофизическими особенностями обучаемого.

Таким образом, для анализа системы подготовки по завершении обучаемым программы обучения Π_{\max} можно использовать оценки совокупности параметров, характеризующих конечный теоретический уровень подготовленности диспетчера УВД $S_{\Pi \max}$ и улучшение его профессиональных навыков $L_{\Pi \max}$, а также величину интервала времени $T_{\Pi \max}$, затраченного на подготовку.

Предлагаемый подход к моделированию системы управления процессом обучения

Система управления процессом подготовки диспетчера УВД является замкнутой и может быть отнесена к классу самонастраиваемых систем [11, 12]. Для реализации алгоритма обучения может быть применена адаптивная обучающая подсистема, задачей которой является выбор программы обучения и стратегии взаимодействия с обучаемым. В обобщенном виде предлагаемую обучающую адаптивную систему подготовки специалистов службы движения можно рассматривать в виде совокупности двух подсистем: 1) подсистемы оценки *Stage A*, в рамках которой производится оценка соответствия знаний и навыков обучаемого уровню P_{Π} и формирование корректировочных воздействий, влияющих на текущий тематический раздел программы подготовки специалистов службы движения (Π); 2) подсистемы обучения *Stage B*, в рамках которой под действием корректировки формируется программа прохождения заданного тематического раздела в соответствии с индивиду-

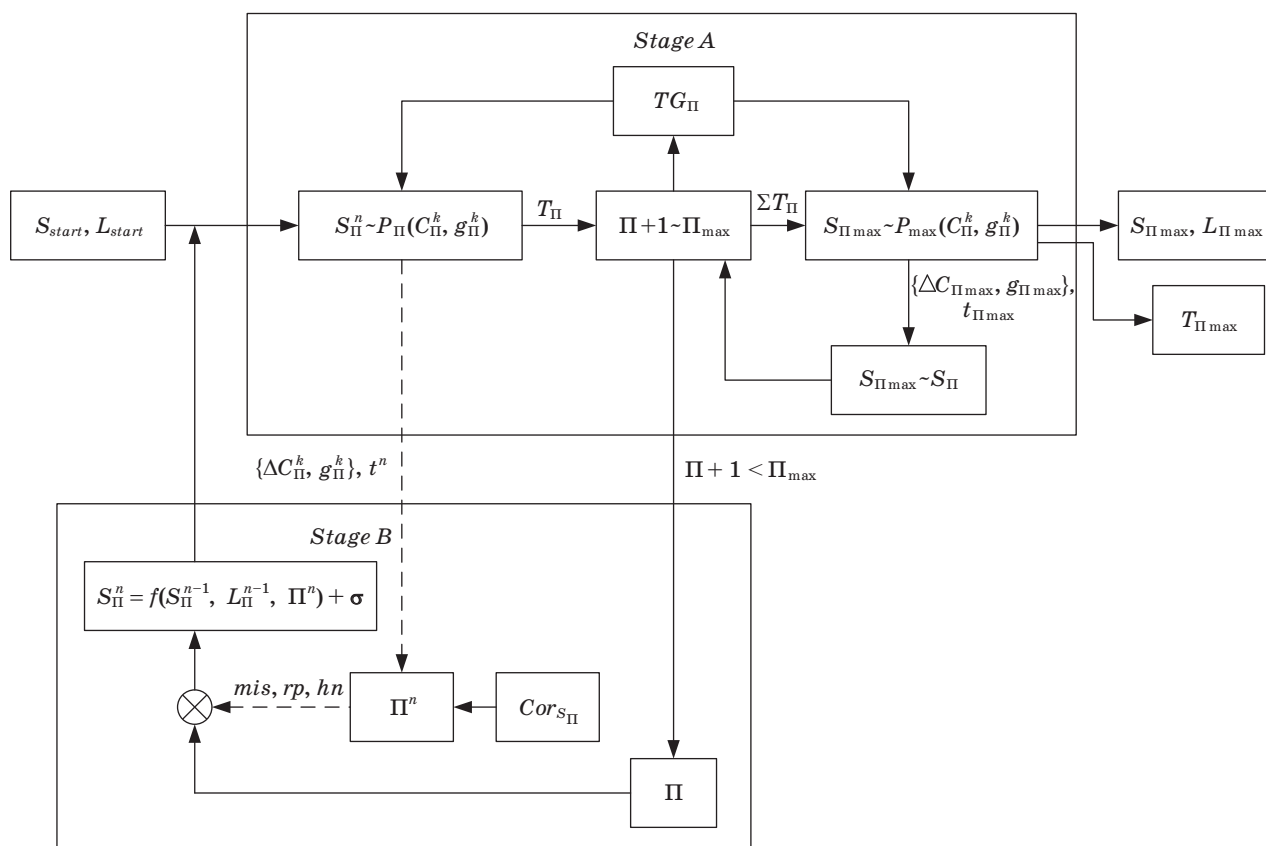
альными особенностями обучаемого. Структурная схема системы управления обучением специалистов управления авиацией представлена на рис. 1.

Блок *Stage A* содержит совокупность задач, ранжированных по степени сложности и упорядоченных в соответствии с выбранным тематическим разделом. Общепринятой методикой оценивания уровня подготовленности (обученности) является выполнение тестовых заданий. В качестве тестовых заданий можно использовать наборы упражнений из специальных курсов подготовки авиационного персонала при их соответствующей ранжировке. Оценка уровня подготовленности по завершении откорректированной программы обучения Π^n производится на основе выполнения тестовых упражнений, вырабатываемых генератором тестовых заданий TG_{Π} . Для оценки степени обученности диспетчера УВД по какой-либо одной (или нескольким) группам навыков, характеризующих качество усвоения обучаемым тематического раздела Π , используется промежуточный тест-контроль $S_{\Pi}^n \sim P_{\Pi}$. При неудовлетворительном результате прохождения промежуточного тест-контроля допускается повторное прохождение обучающей программы соответствующего тематического раздела Π . Окончание полного курса обучения Π_{\max} завершает итоговый тест-контроль ($S_{\Pi \max} \sim P_{\Pi \max}$), целью которого является всесторонняя оценка уровня подготовленности обучаемого $S_{\Pi \max}$. При неудовлетворительных результатах итогового тестового задания обучаемого возвращают к изучению соответствующего тематического раздела Π .

Блок *Stage B* представлен в виде двух контуров управления. Большой контур символизирует переход между тематическими разделами Π . В соответствии с результатами тренажа при $S_{\Pi}^n > P_{\Pi}$ здесь осуществляется переход к изучению следующего тематического раздела ($\Pi + 1$). В свою очередь малый контур Π^n предназначен для корректировки процесса обучения в рамках прохождения программы тематического раздела. При $S_{\Pi} < P_{\Pi}$, в зависимости от характера допущенных ошибок, а также под влиянием психологических особенностей обучаемого, первоначальный перечень задач заданного тематического раздела подвергается корректировке.

Связь между описанными подсистемами осуществляется за счет канала информирования о допущенных ошибках и времени, затраченном на выполнение тестового задания, служащими для выбора или корректировки программы тематического раздела обучения Π . Для хранения и передачи между уровнями *Stage A* \rightarrow *Stage B* информации об особенностях прохождения тестовых заданий применяется совокупность величин:

$\{\Delta C_{\Pi}^k, g_{\Pi}^k\}$ — меры несоответствия результатов



■ **Рис. 1.** Структурная схема системы управления процессом обучения специалистов службы движения
 ■ **Fig. 1.** Block diagram of a control system of process of training of experts of a traffic department

промежуточного тестирования S_{Π}^n цели обучения P_{Π} ; t_{Π} — времени, затраченного на прохождение тестового задания. В число факторов, оказывающих влияние на формирование корректирующих воздействий на заданный тематический раздел, также входят психологические особенности обучаемого ($Cor_{S_{\Pi}}$). К этим факторам целесообразно отнести совокупность значений пропускной способности обучаемого по восприятию и переработке учебной информации, пороги утомляемости, а также набор параметров, характеризующих особенности организации учебного процесса (количество занятий, их продолжительность, техническую базу). Используя данные обученности и значения индивидуальных навыков обучаемого, достигнутые в результате прохождения скорректированной программы изучения тематического раздела Π^{n-1} , можно представить изменение обученности диспетчера УВД с уровня $n - 1$ до уровня n в виде формулы

$$S_{\Pi}^n = f(S_{\Pi}^{n-1}, L_{\Pi}^{n-1}, \Pi^n) + \sigma, \quad (*)$$

где S_{Π}^{n-1} — уровень подготовки обучаемого программе тематического раздела Π на $(n - 1)$ -м шаге коррекции индивидуальной программы; L_{Π}^{n-1} —

значения индивидуальных навыков обучаемого, получивших развитие на $(n - 1)$ -м шаге корректировки программы заданного тематического раздела; σ — вектор внешних возмущающих воздействий.

Получение оценки результатов обучения тематического раздела Π обуславливает необходимость осознания целей обучения P_{Π} . Формирование целей обучения P_{Π} осуществляется исходя из состава требований к уровню профессиональной подготовки специалистов службы движения, предъявляемых к каждому разделу Π полного курса обучения. Вследствие существования большого количества взаимозависимых составляющих, совокупность которых и образует P_{Π} , уровень подготовленности диспетчера УВД при формировании отдельных групп навыков целесообразно оценивать с помощью комплексного критерия, представленного в виде взвешенной суммы нормированных частных показателей [8]:

$$P_{\Pi} = \sum_1^k (C_{\Pi}^k g_{\Pi}^k),$$

где C_{Π}^k — частный нормативный показатель, характеризующий степень владения диспетчера

УВД навыком k ; g_{Π}^k — весовой коэффициент, характеризующий меру значимости тематического раздела Π с учетом специфики применения навыка k .

Следует отметить, что P_{Π} может быть использована для определения уровня подготовки диспетчера УВД — как одного, так и нескольких групп профессиональных навыков.

Цель обучения P_{Π} позволяет рассчитать величину вектора рассогласования $\{\Delta C_{\Pi}^k, g_{\Pi}^k\}$, которая является одной из величин, определяющих изменение стратегии процесса обучения Π^n . Значение $\{\Delta C_{\Pi}^k, g_{\Pi}^k\}$ вычисляется в результате сравнения достигнутого уровня подготовленности обучаемого S_{Π}^n и соответствующего нормативного значения показателя P_{Π} . Кроме различия между фактическим и требуемым уровнем обученности, $\{\Delta C_{\Pi}^k, g_{\Pi}^k\}$ содержит также дополнительную информацию, включающую характер и частоту ошибок, допущенных в процессе обучения. Таким образом, в совокупности с временными параметрами деятельности диспетчера УВД t^n $\{\Delta C_{\Pi}^k, g_{\Pi}^k\}$ включает исходные данные, достаточные для получения индивидуальных параметров обучаемого. Если в качестве величины, устанавливающей допустимую границу уровня обученности, по достижении которой обучение в соответствии с тематическим разделом Π считается завершенным, принять $\{\delta C_{\Pi}^k, g_{\Pi}^k\}$, то условие изменения стратегии изучения тематического раздела $\Pi + 1$ можно записать в виде

$$\{\delta C_{\Pi}^k, g_{\Pi}^k\} = P_{\Pi} - S_{\Pi}^n \text{ при } \{\delta C_{\Pi}^k, g_{\Pi}^k\} \leq \{\Delta C_{\Pi}^k, g_{\Pi}^k\}.$$

В случае $\{\delta C_{\Pi}^k, g_{\Pi}^k\} > \{\Delta C_{\Pi}^k, g_{\Pi}^k\}$ принимается решение о проведении $(n + 1)$ -й коррекции программы обучения. В качестве корректирующих воздействий используются повторения отдельных элементов программы rp , подсказки hn , а также непосредственные указания ошибки mis .

При всей своей гибкости формула (*) не позволяет судить о процедуре вычисления значения оценки уровня обученности S_{Π}^1 . Для решения данного вопроса можно воспользоваться аналогией со способом получения комплексной оценки уровня подготовки диспетчерского состава S_{Π} по совокупности контролируемых параметров, рассмотренным в работе [13], где предложена методика вычисления величины обученности по результатам выполнения обучаемым тестовых упражнений из курсов специальной подготовки авиационных специалистов. В качестве обобщающей оценки параметров, обладающих различной природой, предлагается брать усредняющие критерии безошибочности или быстродействия.

Показатель, характеризующий быстродействие диспетчера, можно рассчитать следующим образом:

$$C\tau_{\Pi}^k = \Theta\tau_{\Pi}^k / \tau_{\Pi}^k,$$

где $\Theta\tau_{\Pi}^k$, τ_{Π}^k — нормативное и среднее значение времени выполнения тематического раздела Π с учетом специфики применения навыка k .

При этом целесообразно вводить ограничение

$$\tau_{\Pi}^{k'} = \begin{cases} M[\tau_{\Pi}^{k'}], & \text{если } M[\tau_{\Pi}^{k'}] > \Theta\tau_{\Pi}^k \\ \Theta\tau_{\Pi}^k, & \text{если } M[\tau_{\Pi}^{k'}] \leq \Theta\tau_{\Pi}^k \end{cases},$$

где $M[\tau_{\Pi}^{k'}]$ — математическое ожидание фактического времени выполнения тематического раздела Π с учетом специфики применения навыка k .

Показатель безошибочности работы диспетчера можно рассчитать следующим образом:

$$Cu_{\Pi}^k = \Theta u_{\Pi}^k / u_{\Pi}^k,$$

где Θu_{Π}^k — максимально допустимое количество ошибок тематического раздела Π с учетом специфики применения навыка k ; $u_{\Pi}^{k'}$ — относительное количество ошибок, допущенных обучаемым при выполнении тематического раздела Π с учетом специфики применения навыка k :

$$u_{\Pi}^{k'} = \frac{1}{D} \sum_{i=1}^{\eta} \omega_i \beta_i.$$

Здесь D — общее количество операций, по которым производится оценка безошибочности; ω_i — коэффициент важности (цена) ошибки; β_i — количество совершенных ошибок i -го типа.

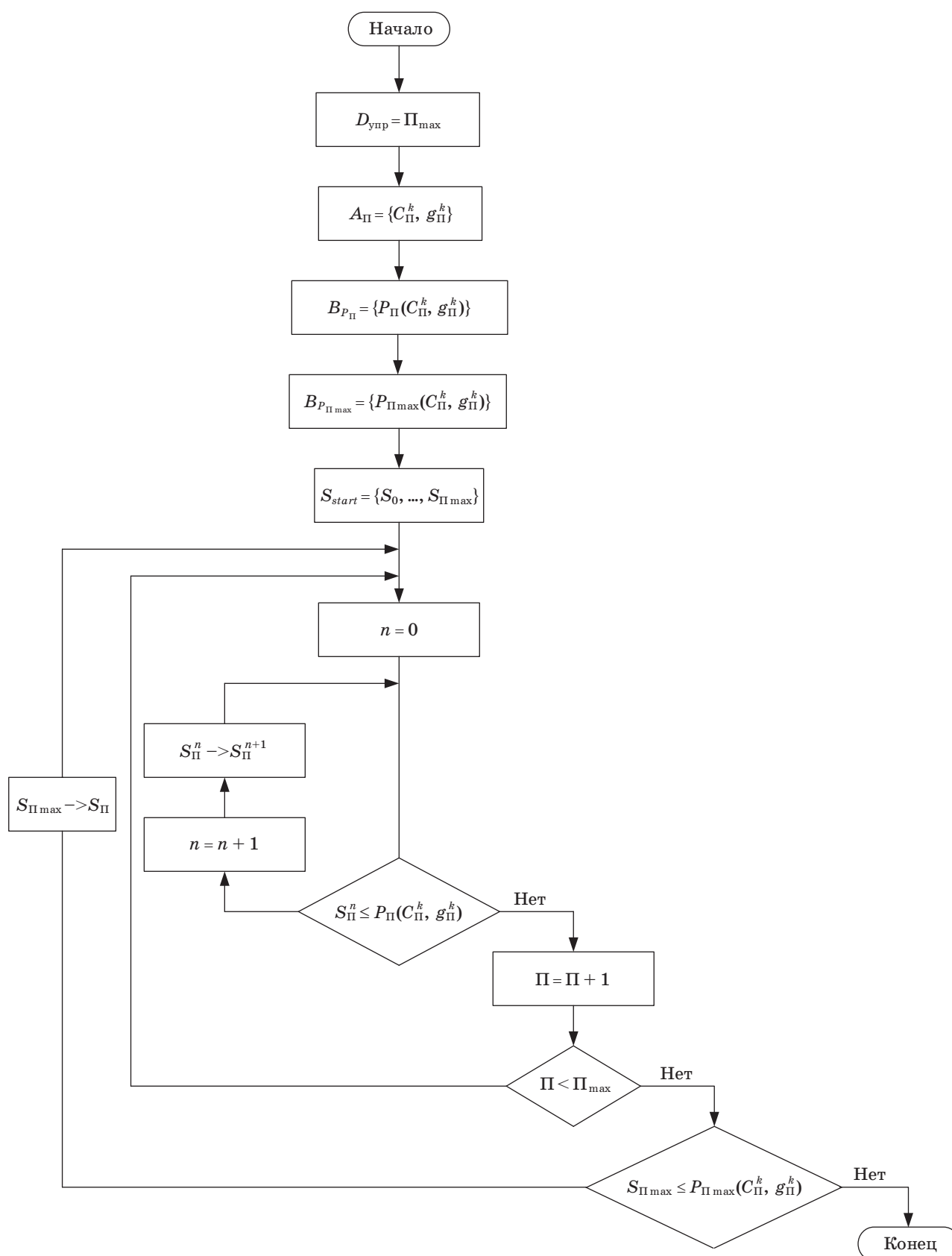
При расчете показателя безошибочности также необходимо ввести ограничение

$$u_{\Pi}^{k'} = \begin{cases} U_{\Pi}^{k'}, & \text{если } U_{\Pi}^{k'} > \Theta u_{\Pi}^k \\ \Theta u_{\Pi}^k, & \text{если } 0 \leq U_{\Pi}^{k'} \leq \Theta u_{\Pi}^k \end{cases},$$

где $U_{\Pi}^{k'}$ — фактическое число ошибок, допущенных при выполнении тематического раздела Π с учетом специфики применения навыка k .

В качестве обобщения изложенных выше положений можно предложить следующий алгоритм вычисления комплексных оценок уровня подготовки диспетчеров по совокупности контролируемых параметров (рис. 2).

Для каждой задачи из тематического раздела Π выбирается набор целей обучения $B_{P_{\Pi}}$. В свою очередь для каждой из целей обучения P_{Π} выбирается перечень частных нормативных показателей A_{Π} , характеризующий степень овла-



■ **Рис. 2.** Алгоритм определения комплексных оценок уровня подготовленности диспетчера
 ■ **Fig. 2.** Algorithm of definition of complex estimates of level of readiness of the dispatcher

дения диспетчером УВД знаниями и навыками тематического подраздела П. При этом весовые коэффициенты находятся путем экспертного опроса диспетчеров-инструкторов и составляют базу данных весовых коэффициентов. Состав A_{Π} устанавливается исходя из значения цели конкретного упражнения. Нормативные значения A_{Π} определяются экспериментальным путем для соответствующих показателей (безошибочности или быстродействия) в зависимости от критериев оценивания контролируемого параметра:

$$A_{\Pi} = \begin{cases} \{\Theta\tau_0^0, \dots, \Theta\tau_{\Pi\max}^{k\max}\} \\ \{\Theta u_0^0, \dots, \Theta u_{\Pi\max}^{k\max}\} \end{cases}.$$

«Обучающий вектор» характеризуется численными значениями состояний уровня обученности $\{S_1, S_2, \dots, S_{\Pi\max}\}$, каждое из которых в свою очередь определяется вектором частных нормативных показателей $\{C_{\Pi}^k\}$ индивидуально для каждого тематического раздела П. В процессе выполнения программы тематического раздела Π^n , адаптированной для обучаемого, найдется величина S_{Π}^n , характеризующая уровень подготовки диспетчера согласно программе тематического раздела П. При этом

$$S_{\Pi}^n = \begin{cases} \{\tau_0^{0'}, \dots, \tau_{\Pi\max}^{k\max'}\} \\ \{U_0^{0'}, \dots, U_{\Pi\max}^{k\max'}\} \end{cases}.$$

Полученное значение сравнивается со значением цели обучения $P_{\Pi}(C_{\Pi}^n, g_{\Pi}^k)$.

По достижении Π_{\max} выполняется итоговая общая проверка, охватывающая все пройденные тематические разделы П, по результатам которой принимается окончательное решение о соответствии достигнутого уровня обученности диспетчера УВД нормативным требованиям. В случае выявления недостаточности навыков в отдельных тематических областях диспетчер проходит заново программу тематического раздела, в изучении которого был показан отрицательный результат. При проведении итоговой общей проверки можно воспользоваться по аналогии методом определения граничной комплексной цели обучения $P_{\Pi\max}(C_{\Pi}^n, g_{\Pi}^k)$ [14].

В процессе принятия решения о результатах прохождения итоговой общей проверки возможно появление ошибок первого и второго рода. Если известны законы распределения показателя $S_{\Pi\max}$, то вероятности этих ошибок легко могут быть найдены по таблицам процентных точек распределения. Если вероятность ошибок первого и второго рода достаточно велика (т. е. имеется большое число расхождений оценок инструктора с результатами расчета), то необходима последовательная коррекция исходных данных (C_{Π}^n, g_{Π}^k) , а также уточнение значения граничной комплексной цели обучения $P_{\Pi\max}(C_{\Pi}^n, g_{\Pi}^k)$. Для обеспечения сходимости оценок в первую очередь следует уточнить значения весовых коэффициентов g_{Π}^k , данные процедуры должны быть выполнены при отладке и тестировании на примере специальных курсов подготовки специалистов.

Заключение

Изложенный метод позволяет получать оценки эффективности адаптивных тренажно-моделирующих комплексов с элементами экспертной системы на базе использования методов теории адаптивного управления. Применение представленного метода позволяет синтезировать структуру системы управления обучением, в общем виде описывающую изменение состояния обучаемого от S_{start} до $S_{\Pi\max}$ с математической точки зрения. Синтезированная при этом упорядоченная последовательность математических операций является ключом к формализации описания процесса изменения обученности специалиста управления движением в целях последующего ее представления в виде конкретных числовых величин. В дальнейшем это позволит осуществлять детальное сравнение показателей эффективности существующих тренажно-моделирующих комплексов с вновь разрабатываемыми строго формализованными математическими методами.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, грант № 15-07-00065а, грант № 16-07-00030а.

Литература

1. Дос 9868. Правила аэронавигационного обслуживания. Ч. IV: Подготовка и оценка персонала по организации воздушного движения (ОрВД). Изд. 2-е. — ИКАО, 2016. С. IV-1-1–IV-3-1.
2. Scholz D., Thorbeck J. Computer based Training in Aircraft Design Education// ICAS 2000 Congress. P. 173.1–173.12.
3. Филин А. Д., Шатраков А. Ю. Тренажерные комплексы радиолокационного контроля воздушного пространства: монография/ под науч. ред. Ю. Г. Шатракова. — СПб.: ГУАП, 2013. — 221 с.
4. Бестугин А. Р., Шатраков Ю. Г., Филин А. Д. и др. Автоматизированные системы управления воздушным движением: монография/под науч. ред. Ю. Г. Шатракова. — СПб.: Политехника, 2014. — 450 с.

5. Бестугин А. Р., Филин А. Д., Шатраков Ю. Г. Совершенствование процесса обучения летного состава и специалистов управления авиационных подразделений // Информационно-управляющие системы: сб. науч. тр. СПб.: Политехника, 2014. С. 1–15.
6. Александров А. Г. Оптимальные и адаптивные системы. — М.: Высш. шк., 2003. — 263 с.
7. Антохина Ю. А., Филин А. Д., Шатраков Ю. Г. Инновационные технологии при развитии тренажеров управления авиацией // Вестник воздушно-космической обороны. 2015. Вып. 1. С. 116–122.
8. Филин А. Д., Рачков В. П., Шатраков Ю. Г. Метод объективной оценки эффективности использования тренажно-моделирующих комплексов летных экипажей и специалистов боевого управления авиацией // Вестник воздушно-космической обороны. 2017. Вып. 1. С. 15–25.
9. Санников В. А. Использование статистических методов для оценки уровня квалификации диспетчеров управления воздушным движением // Научный вестник МГТУГА. 2010. № 159. С. 11–19.
10. Филин А. Д., Бестугин А. Р., Киршина И. А., Шатраков Ю. Г. Автоматизированные средства обучения для дистанционной системы поддержания квалификации авиационных специалистов // Техника и технология: новые перспективы развития: материалы XX Междунар. науч.-практ. конф., Москва, 5–7 апреля 2016 г. С. 33–39.
11. Крыжановский Г. А., Цепляев Ю. Ф. Некоторые задачи исследования и оптимизации процессов профессиональной подготовки операторов // Автоматика и Телемеханика. 1982. № 7. С. 148–156.
12. Крыжановский Г. А., Цепляев Ю. Ф. К оценке уровня квалификации операторов сложных автоматизированных систем управления // Автоматика и Телемеханика. 1986. № 1. С. 151–161.
13. Бестугин А. Р., Филин А. Д., Киршина И. А., Санников В. А. Безопасность полетов и направления развития тренажеров специалистов управления авиацией: монография / под науч. ред. А. Р. Бестугина. — СПб.: ГУАП, 2015. — 516 с.
14. Бестугин А. Р., Филин А. Д., Санников В. А. Разработка автоматизированной системы обучения и контроля знаний для подготовки специалистов управления авиацией // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф. Т. I. — СПб.: Стратегия будущего, 2016. С. 5–12.

UDC 351.814

doi:10.15217/issn1684-8853.2017.4.51

Simulation Model of an Adaptive Training Complex for Aviation Management Specialists

Bestugin A. R.^a, Dr. Sc., Tech., Professor, fresguap@mail.ruIvanov A. I.^a, Graduate Student, young3@yandex.ruKirshina I. A.^a, PhD, Econ., Associate Professor, ikirshina@mail.ruSannikov V. A.^a, PhD, Tech., Associate Professor, valerisannikov@gm.comFilin A. D.^a, Dr. Sc, Tech., Professor, fadadf@rambler.ru^aSaint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaja St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: The constantly increasing air traffic intensity and tough safety demands require the systematic improvement of training and educational facilities for upgrading the professional level of aviation management specialists. Therefore, developing a theory of synthesizing an adaptive training simulator looking like an expert system is an important task. Our interest to this problem is associated with finding new ways of increasing the efficiency of training complexes by introducing cognitive technologies into the management structure of the training facilities. **Purpose:** The goal is to create a simulation model of an adaptive training simulator for aviation management specialists, and to develop a learning process management structure which would describe the change in the state of a learner in a formalized mathematical representation. **Results:** The structure has been developed for a simulation model of an adaptive training simulator for aviation management specialists, as an evaluation subsystem subset. The model provides objective criteria for judging whether the learner's knowledge and skills match the required level. Also, the model generates corrective actions which affect the current thematic section of the training program for the traffic service and the training subsystem in which, due to the corrective actions, a program is formed for mastering the given thematic section according to the individual traits of the trainees. An algorithm is obtained to calculate complex estimates of the training level for a set of monitored parameters. This algorithm finds estimates based on the results of test exercises from special training courses for aviation specialists. As a generalizing estimate for parameters of different nature, it is suggested to use the averaging criteria of accuracy and performance. The proposed method allows you to obtain estimates of the efficiency of adaptive training simulators with elements of an expert system. **Practical relevance:** The developed cognitive structure of a learning process management system and the obtained algorithm for determining complex estimates of aircrew proficiency level allow you to proceed to the creation of a new generation of effective training complexes whose introduction will improve the flight safety due to better professional training of the aviation specialists.

Keywords — Simulation Model, Efficiency Evaluation, Simulator Complex, Adaptive Control, Expert System.

References

1. Doc 9868. *Pravila aeronavigatsionnogo obsluzhivaniia. Chast' IV. Podgotovka i otsenka personala po organizatsii vozdušnogo dvizheniia (OrVD)* [Rules of Air Navigation Service. Part IV. Preparation and Performance Appraisal on Air Traffic Management]. Ed. 2nd. ICAO Publ., 2016, pp. IV-1-1–IV-3-1.
2. Scholz D., Thorbeck J. Computer based Training in Aircraft Design Education. *ICAS 2000 Congress*, pp. 173.1–173.12.
3. Filin A. D., Shatrakov A. Yu. *Trenazhernye komplekсы radiolokatsionnogo kontroliia vozdušnogo prostranstva* [Air Traffic Control Training Complexes]. Ed. Iu. G. Shatrakov. Saint-Petersburg, GUAP Publ., 2013. 221 p. (In Russian).
4. Bestugin A. R., Shatrakov Yu. G., Filin A. D. *Avtomatizirovannye sistemy upravleniia vozdušnym dvizheniem* [Automated Air Traffic Control Systems]. Ed. Iu. G. Shatrakov. Saint-Petersburg, Politekhnik Publ., 2014. 450 p. (In Russian).
5. Bestugin A. R., Filin A. D., Shatrakov Yu. G. Improvement of the Training Process for the Flight Crew and Aviation Department Specialists. *Sbornik nauchnykh trudov "Informatsionno-upravliaiushchie sistemy"*, Saint-Petersburg, Politekhnik Publ., 2014, pp. 1–15 (In Russian).
6. Alexandrov A. G. *Optimal'nye i adaptivnye sistemy* [Optimum and Adaptive Systems]. Moscow, Vysshiaia shkola Publ., 2003. 263 p. (In Russian).
7. Antohina Yu. A., Filin A. D., Shatrakov Yu. G. Innovation Technologies in the Development of Aviation Simulators. *Vestnik vozdušno-kosmicheskoi oborony*, 2015, iss. 1, pp. 116–122 (In Russian).
8. Filin A. D., Rachkov V. P., Shatrakov Yu. G. The Method of Objective Evaluation of using Air Traffic Control Training Systems for Pilots and Combat Air Controllers. *Vestnik vozdušno-kosmicheskoi oborony*, 2017, iss. 1, pp. 15–25 (In Russian).
9. Sannikov V. A. Use of Statical Methods to Assess the Skill Level of Air Traffic Controllers. *Nauchnyi vestnik MGTUGA*, 2010, no. 159, pp. 11–19 (In Russian).
10. Filin A. D., Bestugin A. R., Kirshina I. A., Shatrakov Yu. G. Automated Training Facilities for the Distance System for the Maintenance of Aviation Specialists. *Materialy XX Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Tekhnika i tekhnologii: novye perspektivy razvitiia"* [Proc. of the XX Intern. Scientific and Practical Conf. "Engineering and Technology: New Development Prospects"], Moscow, April 5–7, 2016, pp. 33–39 (In Russian).
11. Kryzhanovskii G. A., Tsepliaev Yu. F. Some Research Problems and Optimization of Processes of Vocational Training of Operators. *Avtomatika i Telemekhanika*, 1982, no. 7, pp. 148–156 (In Russian).
12. Kryzhanovskii G. A., Tsepliaev Yu. F. To Assess the Skill Level of Operators of Complex Automated Control Systems. *Avtomatika i Telemekhanika*, 1986, no. 1, pp. 151–161 (In Russian).
13. Bestugin A. R., Filin A. D., Kirshina I. A., Sannikov V. A. *Bezopasnost' poletov i napravleniia razvitiia trenazherov spetsialistov upravleniia aviatsiei* [Safety of Flights and Directions of Development of Simulators of Specialists in Aviation Management]. Ed. by A. R. Bestugin. Saint-Petersburg, GUAP Publ., 2015. 516 p. (In Russian).
14. Bestugin A. R., Filin A. D., Sannikov V. A. Development of an Automated System Of Training and Knowledge Control for the Training of Air Traffic Controllers. *Materialy XIII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Fundamental'nye i prikladnye issledovaniia v sovremennom mire"* [Proc. of the XIII Intern. Scientific and Practical Conf. "Fundamental and Applied Research in the Modern World"], Saint-Petersburg, Strategiiia budushchego Publ., 2016, vol. 1, pp. 5–12 (In Russian).

УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Научная электронная библиотека (НЭБ) продолжает работу по реализации проекта SCIENCE INDEX. После того как Вы регистрируетесь на сайте НЭБ (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), будет создана Ваша личная страничка, содержание которой составят не только Ваши персональные данные, но и перечень всех Ваших печатных трудов, имеющих в базе данных НЭБ, включая диссертации, патенты и тезисы к конференциям, а также сравнительные индексы цитирования: РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), h (индекс Хирша) от Web of Science и h от Scopus. После создания базового варианта Вашей персональной страницы Вы получите код доступа, который позволит Вам редактировать информацию, помогая создавать максимально объективную картину Вашей научной активности и цитирования Ваших трудов.