

УДК 629.7.073

DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-5-42-52

Метод обучения пилотов воздушных судов последнего поколения взаимодействию с экипажами других воздушных судов

И.С. Муравьев¹

¹*Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации
имени Главного маршала авиации А.А. Новикова, г. Санкт-Петербург, Россия*

Аннотация: Обучение пилотов воздушных судов последнего поколения взаимодействию с другими экипажами в полете осложнено высокой автоматизацией кабин воздушных судов и информационной перегруженностью экипажей с одной стороны и ответственностью пилотов за принятые решения относительно воздушного движения с другой. Поскольку нет единой методики обучения пилотов взаимодействию с другими экипажами, находящимися в одном воздушном пространстве, возникает потребность в разработке качественного тренинга. Для решения этой проблемы разработан метод, основанный на предварительном расчете количества информации, которую пилоту необходимо обрабатывать в процессе обучения, в зависимости от вида этой информации, для эффективного формирования концептуальной модели воздушного движения в полете. Метод формирования концептуальной модели воздушного движения основан на применении математической модели «случайного блуждания с поглощением». Метод состоит из трех этапов. На первом этапе полета пилоту необходимо выполнить тренировочный полет по маршруту. В первом полете второго этапа обучения обучаемым пилотом оценивается тенденция на сближение (удаление) оцениваемого воздушного судна с воздушным судном обучаемого пилота. Во втором полете второго этапа местоположение оцениваемого воздушного судна определяется по докладам экипажа о месте положения и докладам о высоте, в третьем полете по докладу экипажа о месте положения, курсе полета и высоте. На третьем этапе обучения при выполнении трех полетов, преимущественно по маршруту, обучаемому пилоту необходимо провести оценку воздушной обстановки по всем параметрам, докладываемым экипажами воздушных судов, находящихся в одном районе полетов. После полетов второго и третьего этапа обучения пилоту необходимо проанализировать и оценить воздушную обстановку в процессе выполнения своего полета комплексно по количеству воздушных судов в районе полета, их местоположению и порядку их перемещения. Результаты эксперимента позволили определить, что участники экспериментальной группы на 24% эффективнее справлялись с оценкой воздушной обстановки и взаимодействием с другими экипажами, находящимися в полете в одном районе, по сравнению с летчиками контрольной группы. Обработка результатов экспериментов показала, что при применении предложенного метода подготовки статистически достоверно была повышена надежность взаимодействия экипажей воздушных судов последнего поколения в автоматическом режиме пилотирования.

Ключевые слова: пилотирование воздушных судов последнего поколения, профессиональная подготовка пилотов, тренинг пилотов, предъявление информации пилоту, запоминание информации пилотом, надежность пилотирования, взаимодействие экипажей, пилотирование в автоматическом режиме.

Для цитирования: Муравьев И.С. Метод обучения пилотов воздушных судов последнего поколения взаимодействию с экипажами других воздушных судов // Научный Вестник МГТУ ГА. 2023. Т. 26, № 5. С. 42–52. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-5-42-52

Method of training pilots of the latest-generation aircraft to interact with crews of other aircraft

I.S. Muravyov¹

¹*Saint Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation
A.A. Novikov, St. Petersburg, Russia*

Abstract: Training pilots of latest-generation aircraft to interact with other crews in flight is complicated by the high level of cockpit automation and information overload of crews, on the one hand, and by the responsibility of pilots for decisions made regarding air traffic, on the other hand. Since the unified methodology for training pilots to interact with other crews in the same

airspace is not available, the development of qualitative training is required. To address this issue, a method, based on a preliminary calculation of the amount of information which is necessary to process by a pilot when training depending on the type of this information for the efficient formation of a conceptual model of air traffic in flight, has been developed. The method of forming a conceptual model of air traffic is based on the application of a mathematical model of “random walk with absorption”. The method consists of three phases. In the first flight phase, a pilot should operate a training flight en route. In the first flight of the second training phase, a trainee evaluates the tendency for the approach (separation) of the assessed aircraft to the trainee aircraft. In the second flight of the second phase, the assessed aircraft position is determined by the crew position and altitude reports, in the third flight – by the crew position, heading and altitude reports. In the third training phase, when operating three flights primarily en route, a trainee is supposed to evaluate the air situation according to all the parameters reported by crews operating in the same airspace. After flights of the second and third training phases, the pilot is meant to analyze and evaluate the air situation while operating a flight comprehensively by the number of aircraft in the flight area, their position and the sequence of their motion. The experimental results made it possible to determine that participants in the experimental group were 24% more efficient in evaluating the air situation and interacting with other crews in flight in the same flight area compared to the control group pilots. Processing of the experimental results showed that when employing the proposed training method, the reliability of the latest-generation aircraft crew interaction at the automatic piloting mode was statistically significantly increased.

Key words: piloting the latest-generation aircraft, dedicated training of pilots, pilot training, presentation of information to the pilot, memorization of information by the pilot, reliability of piloting, interaction of crews, piloting at an automatic mode.

For citation: Muravyov, I.S. (2023). Method of training pilots of the latest-generation aircraft to interact with crews of other aircraft. Civil Aviation High Technologies, vol. 26, no. 5, pp. 42–52. DOI: 10.26467/2079-0619-2023-26-5-42-52

Введение

Практика показывает, что авиационные инциденты и происшествия возникают не только и не столько по причине ошибок операторов, управляющих воздушным движением, сколько по вине летных экипажей [1, 2]. Противоречие заключается в том, что концептуальная модель (КМ) своего полетного задания формируется пилотом в процессе предварительной подготовки перед полетом. А КМ воздушного движения в районе полета, где экипаж выполняет задачу, постоянно изменяется. Причем эта КМ воздушного движения должна быть единой для всех экипажей ВС, находящихся в этом воздушном пространстве. Информация, которая поступает экипажу от других ВС, имеет различный характер и, как правило, поступает не в полном объеме. Проблема эксплуатации воздушных судов последнего поколения (ВСПП) в подобных ситуациях заключается в том, что пилотам необходимо прогнозировать не только траекторию других ВС в воздушном пространстве, но и учитывать особенности функционирования автоматики своего ВС в изменяющейся воздушной обстановке. Современные методы и программы профессиональной подготовки не учитывают эти особенности [3–5].

Существующие методики подготовки основаны на многолетнем опыте эксплуатации воздушных судов, не имеющих высокоавтоматизированных управляющих систем. В статье предлагается новый метод подготовки пилотов взаимодействию с другими экипажами, выполняющими полет в одном и том же районе для повышения эффективности обучения пилотов при выполнении полетов на ВСПП. Это достигается за счет использования математической модели «случайного блуждания с поглощением», позволившей выполнить расчет количества информации, которую пилоту в полете необходимо обрабатывать, а также порядок использования этой информации в процессе всего периода обучения. Подставляя последовательно в математическую модель количество источников, которые пилот способен воспринять на текущем этапе полета, и количество источников, которые пилоту необходимо воспринять и обработать для принятия решения на управляющие воздействия, было определено следующее. Если разделить воспринимаемую пилотом информацию о полете и воздушной обстановке на визуальную, слуховую и концептуальную (находящуюся в сознании пилота – латентную) (рис. 1), то возможно найти такое взаимное соотношение визуальной, слуховой и концептуальной информа-

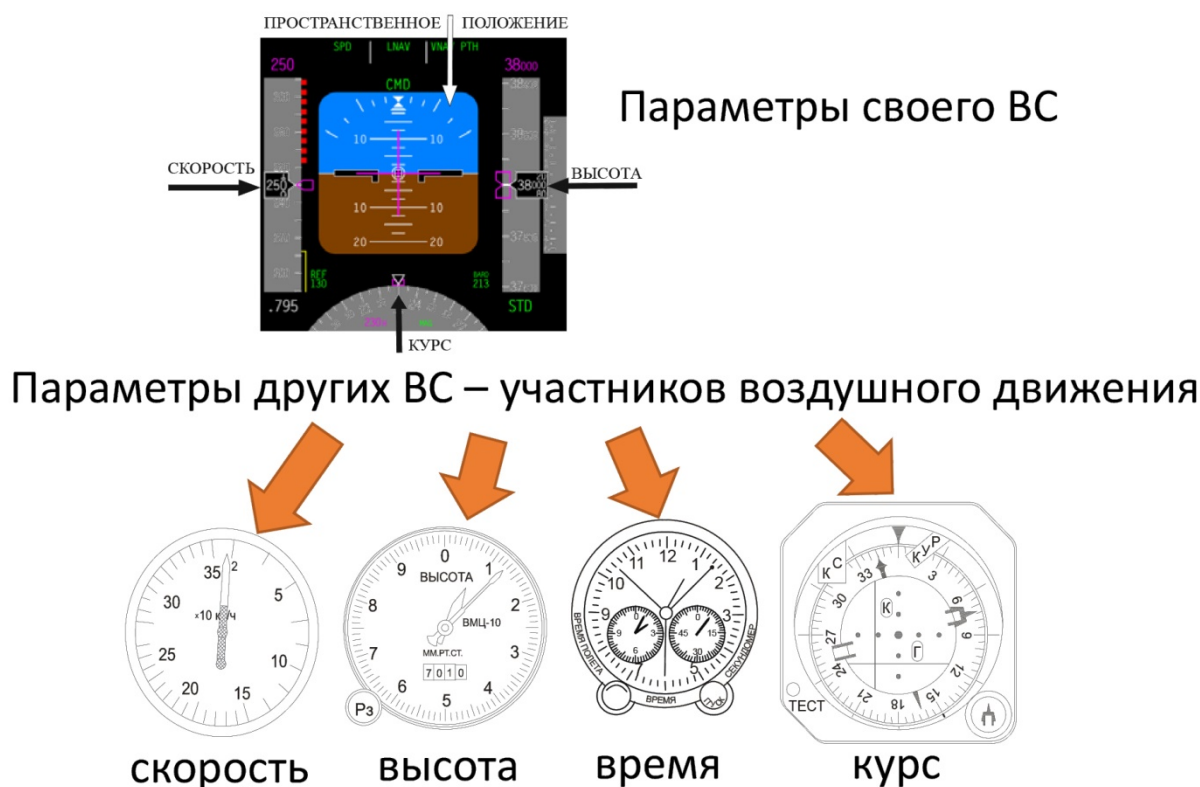


Рис. 1. Схема взаимосвязи между визуальной и концептуальной информацией
Fig. 1. Diagram of the relationship between visual and conceptual information

ции, которое позволит повысить эффективность выполнения полета на ВСПП [6–8].

Это будет выражено в увеличении вероятности безошибочных действий пилотов, эксплуатирующих ВСПП. Такой результат расчета достигается за счет увеличения количества источников, которые пилоту необходимо обработать на текущем этапе полета, и за счет уменьшения количества источников, которые пилот может видеть в своем рабочем поле зрения. Это позволяет установить, какой порядок использования источников информации необходимо предъявлять пилоту в процессе обучения, а также рационально задействовать обучаемому когнитивно-информационные преобразователи алгоритмов деятельности. Это в свою очередь способствуют наиболее эффективному формированию у пилотов ВСПП КМ воздушной обстановки в процессе выполнения полета.

С целью проверки разработанного метода был проведен эксперимент. Обработка данных эксперимента показала, что вероятность

успешного выполнения полета в автоматическом режиме пилотирования ВСПП при взаимодействии экипажа с экипажами других ВС, находящихся в воздушном пространстве одного района полетов, у экспериментальной группы пилотов на 24% больше, чем у пилотов контрольной группы. Следовательно, можно утверждать, что повысилась надежность рационального усваивания обучаемыми пилотами закономерностей взаимосвязей между различными видами информации и повысилась надежность формирования при этом когнитивно-информационных преобразователей алгоритмов деятельности на этапе профессиональной подготовки к самостоятельным полетам [9–16].

Метод

Особенность метода заключается в том, что предварительно выполняется расчет количества и качества предъявляемой пилоту

информации, которую пилоту необходимо будет анализировать и запоминать. С помощью этой информации пилот будет формировать концептуальную модель воздушной обстановки района полета, в котором он будет находиться. Кроме того, с помощью математического расчета планируется последовательность восприятия пилотом информации в зависимости от ее вида. Суть расчета состоит в следующем. Вся информация, которая находится в распоряжении пилота, подразделяется на три вида: визуальную, слуховую и концептуальную. В полете пилот постоянно обрабатывает информацию о полете своего ВС, второстепенно обрабатывает информацию о других ВС, находящихся в одном районе полетов с ним. Второстепенная обработка информации неизбежно увеличивает нагрузку на пилота, поэтому, для того чтобы обучить пилота рационально использовать поступающую к нему информацию от других ВС, чтобы эта информация не влияла на загруженность экипажа и безопасность полета, были произведены расчеты. Вероятность принятия пилотом решения на корректировку управления зависит от двух составляющих: количества информации, которое пилот может воспринимать на текущем этапе своей деятельности – m , и количества (а также и качества, так как у пилота всегда есть выбор, на основании какой информации принимать решение) информации, которое пилот должен воспринимать и обрабатывать на текущем этапе полета – u . В соответствии с моделью случайного блуждания с поглощением необходимо найти следующие вероятности перехода управляющего пилота между возможными состояниями:

- вероятность перехода пилота из состояния S_0 в состояние $S_1 - o_1 = \frac{u}{m}$;
- вероятность перехода пилота из состояния S_0 в состояние $S_2 - o_2 = 1 - o_1$;
- вероятность перехода пилота из состояния S_1 в состояние «поглощения» $A_1 - p_1 = \frac{u+1}{m}$;
- вероятность перехода пилота из состояния S_2 в состояние «поглощения» $A_2 - p_2 = 1 - p_1$.

Далее необходимо определить, как долго пилот будет принимать решение о корректировке управления воздушным судном или подаче информации в эфир в соответствии с моделью случайного блуждания с поглощением:

$$\Pr(L = n) = J(1 - J)^n, \quad (1)$$

где $J = o_1 p_1 + o_2 p_2$, n – количество циклов возврата пилота к исходному состоянию равновесия, которое было до появления каких-либо изменений в информационной модели полета.

Подставляя различные значения m и u для каждого этапа полета и для каждого перехода пилота между возможными состояниями при формировании концептуальной модели воздушной обстановки, можно подобрать такое их взаимное соотношение, при котором будет наблюдаться увеличение вероятности правильного принятия пилотом решения на корректировку управления ВС или принятия решения пилотом на выход в эфир. Такой результат расчета достигается при общем сокращении количества источников информации, которые пилот может воспринимать (m), и при общем увеличении количества информации, которую пилот должен обрабатывать при принятии решения (u). Обоснования этого расчета приведены в [17, 18].

Разработанная методика обучения, основанная на вышеизложенном методе, состоит из трех этапов. Первый этап состоит из одного полета по маршруту. Второй и третий этап состоят из трех полетов каждый. Полеты в период проведения второго и третьего этапа необходимо проводить или по маршруту, или в зону, при условии что в районе полетов сосредоточено не менее трех воздушных судов.

При выполнении первого этапа полета пилоту необходимо выполнить тренировочный полет по маршруту для ознакомления с районом полетов. На втором этапе задача пилота состоит в том, чтобы в процессе полета по докладам экипажей определить местоположение одного из воздушных судов и оценить порядок его перемещения в воздушном пространстве. В первом полете второго этапа

обучения местоположение ВС оцениваемого экипажа определяется по докладам этого экипажа. При этом оценивается тенденция на сближение (удаление) оцениваемого ВС с ВС обучаемого пилота. Во втором полете второго этапа местоположение оцениваемого ВС определяется по докладам экипажа о месте положения и докладам о высоте, в третьем полете по докладу экипажа о месте положения, курсе полета и высоте. После выполнения каждого полета обучаемому пилоту необходимо проанализировать и оценить воздушную обстановку в процессе выполнения своего полета по количеству ВС в районе полета и конкретно оценить местоположение одного из выбранных ВС на маршруте и порядок его перемещения. На третьем этапе обучения при выполнении трех полетов, преимущественно по маршруту, обучаемому пилоту необходимо провести оценку воздушной обстановки по всем параметрам, докладываемым экипажами воздушных судов, находящихся в одном районе полетов. После полетов третьего этапа обучения пилоту также необходимо проанализировать и оценить воздушную обстановку в процессе выполнения своего полета комплексно по количеству ВС в районе полета, их местоположению и порядку перемещения.

Экспериментальная часть

Разработанная методика использовалась для обучения летного состава. Для чего был проведен типологический отбор по методикам, изложенным в [7, 13], 20 летчиков в экспериментальную группу. Они имели приблизительно одинаковый налет (опыт летной работы), не имели перерывов в летной работе в период последних двух лет, разница в возрасте между самым старшим и самым младшим составляла не более трех лет. Все пилоты являлись командирами, имеющими небольшой опыт эксплуатации ВС последнего поколения с общим налетом на эксплуатируемый тип ВС 1500–2000 часов. Эти пилоты прошли дополнительную подготовку по разработанной методике обучения.

Кроме того, была сформирована контрольная группа из 20 человек с учетом тех же типологических характеристик, что и экспериментальная группа, но уже прошедших обучение по существующим программам подготовки.

После прохождения этапа подготовки пилотов экспериментальной группы по разработанной методике, был проведен эксперимент.

Эксперимент проводился в два этапа. Целью первого этапа являлась проверка достижения уравнивания опытных групп по типологическим характеристикам. На этом этапе пилоты выполняли по одному полету по маршруту. При этом руководитель полетов оценивал соблюдение испытуемыми пилотами правил ведения радиообмена, а также соответствие докладываемого местоположения пилотом и его фактического местоположения по локатору, расположенному у руководителя полетов. Результаты выполнения первого этапа эксперимента представлены в табл. 1. Эти результаты показывают, что условия отбора летчиков по выбранным параметрам в основном обеспечили уравнивание групп по типологическим характеристикам.

Таблица 1
Table 1

Результаты первого этапа эксперимента
Results of the experiment first phase

Количество допущенных отклонений при полете по маршруту	Количество человек, допустивших ошибки в пилотировании	
	Контрольная группа	Экспериментальная группа
0	–	2
3	1	2
5	2	1
7	6	4
9	4	4
11	1	2
13	3	2
15	3	3

На втором этапе эксперимента определялось отличие навыков пилотов экспериментальной группы от навыков пилотов кон-

трольной группы по взаимодействию пилотов воздушных судов последнего поколения с другими экипажами. А также проверялась гипотеза о том, что контрольная и экспериментальная группы принадлежат к одной генеральной совокупности. В процессе второго этапа эксперимента каждый летчик оценивался в безопасном выполнении полета по маршруту или в зону при условии автоматического режима пилотирования ВС. При этом круг полетов был обязательно задействован таким образом, что там постоянно находились одно или два ВС. Задача испытуемых пилотов состояла в том, чтобы выполнить полеты безопасно в соответствии с правилами выполнения визуальных полетов. Для этого было необходимо выполнить в одном упражнении полет по кругу, полет в зону и полет по маршруту каждому испытуемому пилоту. Оценка испытуемых пилотов проводилась следующим образом. Летчик-инструктор и руководитель полетов (РП) оценивали три параметра действий пилотов:

1) своевременность выполнения команд от руководителя полетов;

2) меру выдерживания дистанции допереди летящего ВС (независимо от расстояния до последнего), при условии что экипаж осведомлен о наличии ВС, которое выполняет полет по одному и тому же маршруту или находится на одной траектории с ВС, экипаж которого оценивается;

3) меру осведомленности испытуемых пилотов, о воздушной обстановке и нахождении ближайших воздушных судов относительно воздушного судна, которое управляется испытуемым пилотом.

Оценка проводилась по следующим критериям:

- своевременное выполнение команд от РП – 1 балл, задержка в выполнении команды на две-три секунды – 2 балла; задержка в выполнении команды на 5–7 секунд – 3 балла;
- самостоятельное изменение скорости и высоты при появлении на траектории полета ВС испытуемого пилота других ВС с докладом РП – 1 балл, самостоятельное изменение скорости и высоты без доклада руко-

водителю полетов – 2 балла, изменение режима полета только после команды, данной руководителем полетов, – 3 балла;

- ответ на запрос руководителя полетов о своем местонахождении и об осведомленности о местоположении других ВС: осведомлен и докладывает о правильном решении на маневр – 1 балл, осведомлен и выдает неправильное решение на маневр (или не осведомлен) – 3 балла, осведомлен и ждет указаний – 2 балла.

В результате эксперимента получены данные, отображенные в табл. 2.

Таблица 2
Table 2

Результаты оценивания пилотов
при выполнении полетов на втором этапе
эксперимента
Results of the pilot evaluation during a flight
operation in the experiment second phase

№	Сумма баллов за все оцениваемые элементы		Мера сформированности навыка
	Контрольная группа	Экспериментальная группа	
1	6	3	1
2	6	3	2
3	6	3	3
4	6	3	4
5	6	3	5
6	7	4	6
7	7	4	7
8	8	5	8
9	8	5	9
10	8	6	10
11	8	6	11
12	9	7	12
13	9	7	13
14	9	7	14
15	11	7	15
16	11	8	16
17	11	8	17
18	12	8	18
19	14	8	19
20	15	9	20

Обработка результатов эксперимента

Для того чтобы выяснить принадлежность выборок (экспериментальной и контрольной группы) к одной генеральной совокупности, а также с целью проверки эффективности метода обучения, который использовался при подготовке летчиков в экспериментальной группе, были вычислены коэффициенты корреляции r -Пирсона и t -Стьюдента в программе SPSS (см. табл. 3–5) [19, 20]. Вычисления показали, что коэффициент корреляции r -Пирсона имеет устойчивую положительную взаимосвязь между контрольной и экспериментальной группами по шести исследованным признакам (0,919, (табл. 4)), Это дает основания утверждать, что обе выборки можно отнести к одной генеральной совокупности.

Проверка гипотезы об эффективности разработанного метода обучения показала следующие результаты. Эмпирическое значение критерия t -Стьюдента составило 12,4, значимость которого составила $p < 0,01$ (табл. 5), следовательно, между группами есть различия и разработанная методика эффективна. На рис. 2 изображен график зависимости меры сформированности навыка по убыванию у испытуемых пилотов контрольной и экспериментальной групп. График показывает, что навык по взаимодействию с экипажами других ВС в автоматическом режиме пилотирования у пилотов экспериментальной группы приблизительно на 24 % больше, чем у пилотов контрольной группы. Необходимо отметить, что пилоты как контрольной, так и экспериментальной группы эксплуатируют воздушные суда последнего поколения.

Таким образом, вероятность успешного выполнения полета в автоматическом режиме пилотирования ВСПП при взаимодействии экипажа с экипажами других ВС у экспериментальной группы пилотов на 24 % больше, чем у пилотов контрольной группы. Это является показателем повышения надежности обучения при использовании предложенного метода и разработанной на его основе методики обучения.

Таблица 3
Table 3

Статистика парных выборок
Statistics of matched samples

		Среднее	N	Стандартное отклонение	Стандартная ошибка
Пара	Контрольная группа	8,9	20	2,7	0,6
	Экспериментальная группа	5,7	20	2,1	0,5

Таблица 4
Table 4

Корреляции парных выборок
Correlations of matched samples

Пара	N	Корреляция	Уровень значимости
Контрольная и экспериментальная группы	20	0,919	0,0

Таблица 5
Table 5

Критерий парных выборок
Criterion of matched samples

Пара	Парные разности					t	Статистическая связь	Уровень значимости (двухсторонняя)
	Среднее	Стандартное отклонение	Стандартная ошибка	95%-ный доверительный интервал для разности				
				Нижняя	Верхняя			
Контрольная и экспериментальная группы	3,6	1,1	0,3	2,6	3,7	12,4	19	0,0

Обсуждение полученных результатов

Увеличение надежности обучения летчиков можно объяснить успешным использованием математической модели «случайного блуждания с поглощением», позволившей выполнить расчет количества необходимой информации, с которой пилоту в полете необходимо взаимодействовать, а также порядок использования этой информации в процессе всего периода обучения. Методом перебора значений m и n для каждого этапа полета и для каждого перехода пилота между возможными состояниями при формировании концептуальной модели воздушной обстановки можно подобрать такое их взаимное соотношение, при котором будет наблюдаться увеличение вероятности правильного принятия пилотом решения на корректировку управления ВС или принятия решения пилотом на выход в эфир. Такой результат расчета достигается при общем сокращении количества источников информации, которые пилот может воспринимать (m), и при общем увеличении количества информации, которую пилот должен обрабатывать при принятии решения (n). Что в свою очередь позволило пилотам экспериментальной группы быстрее и эффективнее ориентироваться в воздушной обстановке и принимать правильные решения, влияющие на безопасность воздушного движения.

Это позволило определить порядок восприятия пилотом трех видов информации в процессе полета (визуальной, слуховой и концептуальной) при управлении пилотом своей деятельностью. Также это позволило обучаемым пилотам наиболее рационально усваивать закономерности взаимосвязей между этими видами информации и формировать при этом когнитивно-информационные преобразователи алгоритмов деятельности на этапе профессиональной подготовки к самостоятельным полетам.

Кажется очевидным, что подобный метод обучения возможно использовать при обучении операторов других высокоавтоматизированных систем.

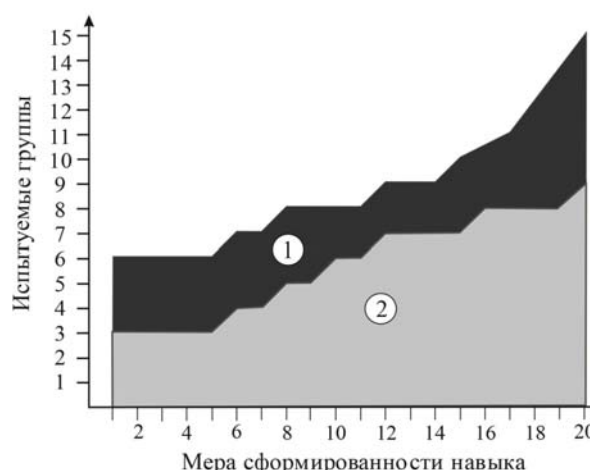


Рис. 2. Графическое представление сокращения количества ошибок, допускаемых в экспериментальной группе по сравнению с контрольной (1 – экспериментальная группа, 2 – контрольная группа)

Fig. 2. Graphical representation of the reduction in the number of errors made in the experimental group compared to the control group (1 – experimental group, 2 – control group)

Список литературы

1. Серегин С.Ф., Харитонов В.В. Ключевые проблемы совершенствования системы безопасности полетов государственной авиации // Транспортный вестник. 2016. № 1. С. 1–22.
2. Коваленко Г.В., Муравьев И.С. Проблемы взаимодействия в системе «экипаж – автоматизированное воздушное судно – среда» // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2018. № 1 (18). С. 5–17.
3. Мирошниченко А.В. Поддержание навыков ручного пилотирования ВС A320 при включенном автопилоте. М.: RIDERO, 2018. 15 с.
4. Гандер Д.В., Алексеенко М.С. Теоретико-методологический анализ проблемы управления высокоавтоматизированным воздушным судном при выполнении пилотом отвлекающей деятельности // Проблемы безопасности полетов. 2018. № 9. С. 3–14.

5. Гандер Д.В. Методологические и теоретические предпосылки психологических исследований летного труда на современном этапе развития авиации / Д.В. Гандер, А.А. Ворона, В.А. Пономаренко, М.С. Алексеев // Психология и психотехника. 2016. № 11 (98). С. 906–912.

6. Муравьев И.С. Анализ результатов исследований в области управления современными воздушными судами // Математические методы в технологиях и технике. 2022. № 10. С. 73–76. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2022_10_73

7. Muraviov I., Kovalenko G., Bogomolov A. Method for improving the reliability of an ergatic control system for an automated aircraft // International Russian Automation Conference RusAutoCon-2022. Sochi, 2022. Pp. 628–632. DOI: 10.1109/RusAutoCon54946.2022.9896244

8. Коронков С.О. Методика автоматизированного исследования рабочей нагрузки летчика // Программные системы и вычислительные методы. 2022. № 4. С. 63–74. DOI: 10.7256/2454-0714.2022.4.36459

9. Пономаренко В.А., Чунтул А.В. Человек и безопасность полетов: научно-практические аспекты снижения авиационной аварийности по причине человеческого фактора. М.: Когито-Центр, 2013. 287 с.

10. Солдатов С.К. Априорное оценивание профессиональной надежности летчика на этапе подготовки к полетам / С.К. Солдатов, А.Г. Гузий, А.В. Богомолов, А.А. Шишов, Ю.А. Кукушкин, С.А. Щербаков, С.В. Кирий // Проблемы безопасности полетов. 2007. № 8. С. 33.

11. Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Автоматизация персонифицированного мониторинга условий труда // Автоматизация. Современные технологии. 2015. № 3. С. 6–8.

12. Солдатов С.К. Психофизиологические профессионально важные качества летчиков-инструкторов и возможности их развития / С.К. Солдатов, К.И. Засядько, А.В. Богомолов, А.П. Вонаршенко, М.Н. Язлюк // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2019. Т. 53, № 1. С. 86–91. DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-1-86-91

13. Ушаков И.Б., Богомолов А.В. Диагностика функциональных состояний человека в приоритетных исследованиях отечественных физиологических школ // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2021. № 3. С. 91–100. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-3-91-100

14. Засядько К.И. Анализ профессионально важных качеств летчиков-инструкторов и возможностей их развития / К.И. Засядько, А.П. Вонаршенко, С.К. Солдатов, А.В. Богомолов, М.Н. Язлюк // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2020. Т. 54, № 1. С. 52–56. DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-52-56

15. Засядько К.И. Психофизиологические особенности профессиональной деятельности летчика при визуальном поиске и обнаружении малоразмерных наземных объектов в сложных метеоусловиях / К.И. Засядько, С.К. Солдатов, А.В. Богомолов, А.П. Вонаршенко, М.Н. Язлюк // Психология. Психофизиология. 2020. Т. 13, № 4. С. 87–99. DOI: 10.14529/jpps200410

16. Bogomolov A.V. Information-logical modeling of information collection and processing at the evaluation of the functional reliability of the aviation ergate control system operator / A.V. Bogomolov, G.A. Sviridyuk, A.V. Keller, V.N. Zinkin, M.D. Alekhin // Proceedings of the 3rd International Conference: Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (Ergo 2018). St. Petersburg, 04–07 July 2018. Pp. 106–110. DOI: 10.1109/ERGO.2018.8443849

17. Щербаков С.А. Психофизиологические аспекты совершенствования методов изучения ошибочных действий летного состава на основе концепции человеческого фактора / С.А. Щербаков, Ю.А. Кукушкин, С.К. Солдатов, В.Н. Зинкин, А.В. Богомолов // Проблемы безопасности полетов. 2007. № 8. С. 10.

18. Гузий А.Г., Кукушкин Ю.А., Богомолов А.В. Методология стабилизации функционального состояния оператора системы «человек-машина» // Мехатроника, автоматизация, управление. 2002. № 5. С. 9–14.

19. **Наследов А.Д.** IMB SPSS Statistics 20 и AMOS: профессиональный статистический анализ данных. СПб.: Питер, 2013. 413 с.

20. **Бешелев С.Л., Гурвич Ф.Г.** Математико-статистические методы экспертных оценок. М.: Статистика, 1980. 263 с.

References

1. **Seregin, S.F., Kharitonov, V.V.** (2016). Key problems of improving the state aviation safety system. *Transportnyy Vestnik*, no. 1, pp. 1–22. (in Russian)

2. **Kovalenko, G.V., Muravyev, I.S.** (2018). The problems of the interaction in system “crew – aircraft – external environment”. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta grazhdanskoy aviatsii*, no. 1 (18), pp. 5–17. (in Russian)

3. **Miroshnichenko, A.V.** (2018). Maintaining the skills of manual piloting of the A320 aircraft with the autopilot on. Moscow: RIDERO, 15 p. (in Russian)

4. **Gander, D.V., Alekseenko, M.S.** (2018). Theoretic-methodological analysis of the problem of management of a highly automatic aircraft when perforating the pilot of attracting activity. *Problemy bezopasnosti poletov*, no. 9, pp. 3–14. (in Russian)

5. **Gander, D.V., Vorona, A.A., Ponomarenko, V.A., Alekseenko, M.S.** (2016). Methodological and theoretical prerequisites for psychological studies of flight labor at the present stage of aviation development. *Psychology and Psychotechnics*, no. 11 (98), pp. 906–912. (in Russian)

6. **Muravyev, I.S.** (2022). Results in the field of modern aircraft control research analysis. *Mathematical methods in technologies and technics*, no. 10, pp. 73–76. DOI: 10.52348/2712-8873_MMTT_2022_10_73 (in Russian)

7. **Muravyev, I., Kovalenko, G., Bogomolov, A.** (2022). Method for improving the reliability of an ergatic control system for an automated aircraft. In: *International Russian Automation Conference RusAutoCon-2022*, pp. 628–632. DOI: 10.1109/RusAutoCon54946.2022.9896244

8. **Koronkov, S.O.** (2022). Methodology of automated study of the workload of a helicopter pilot. *Software Systems and Computational Methods*, no. 4, pp. 63–74. DOI: 10.7256/2454-0714.2022.4.36459 (in Russian)

9. **Ponomarenko, V.A., Chuntul, A.V.** (2013). Man and flight safety: scientific and practical aspects of reducing aviation accidents due to the human factor. Moscow: Kogito-Tsentr, 287 p. (in Russian)

10. **Soldatov, S.K., Guziy, A.G., Bogomolov, A.V., Shishov, A.A., Kukushkin, Yu.A., Shcherbakov, S.A., Kiriy, S.V.** (2007). A priori assessment of the professional reliability of a pilot at the stage of preparation for flights. *Problemy bezopasnosti piletov*, no. 8, p. 33. (in Russian)

11. **Bogomolov, A.V., Kukushkin, Yu.A.** (2015). Personalized monitoring automation of the labor conditions. *Avtomatizatsiya. Sovremennyye tekhnologii*, no. 3, pp. 6–8. (in Russian)

12. **Soldatov, S.K., Zasyadko, K.I., Bogomolov, A.V., Vonarshenko, A.P., Yazlyuk, M.N.** (2019). Psychophysiologic occupationally important qualities of pilot-instructors and their development. *Aerospace and Environmental Medicine*, vol. 53, no. 1, pp. 86–91. DOI: 10.21687/0233-528X-2019-53-1-86-91 (in Russian)

13. **Ushakov, I.B., Bogomolov, A.V.** (2021). Diagnostics of human functional states in priority studies of russian physiological schools. *Mediko-biologicheskiye i sotsialno-psikhologicheskiye problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*, no. 3, pp. 91–100. DOI: 10.25016/2541-7487-2021-0-3-91-100 (in Russian)

14. **Zasyadko, K.I., Vonarshenko, A.P., Soldatov, S.K., Bogomolov, A.V., Yazlyuk, M.N.** (2020). Analysis of qualities professionally important for flight instructor and their enhancement. *Aerospace and Environmental Medicine*, vol. 54, no. 1, pp. 52–56. DOI: 10.21687/0233-528X-2020-54-1-52-56 (in Russian)

15. **Zasyadko, K.I., Soldatov, S.K., Bogomolov, A.V., Vonarshenko, A.P., Yazlyuk, M.N.** (2020). Psychophysiological features of aircraft pilots during visual search and detec-

tion of small-size ground objects in difficult weather conditions. *Psychology. Psychophysiology*, vol. 13, no. 4, pp. 87–99. DOI: 10.14529/jpps200410 (in Russian)

16. **Bogomolov, A.V., Sviridyuk, G.A., Keller, A.V., Zinkin, V.N., Alekhin, M.D.** (2018). Information-logical modeling of information collection and processing at the evaluation of the functional reliability of the aviation ergate control system operator. In: *Proceedings of the 3rd International Conference: Human Factors in Complex Technical Systems and Environments (Ergo - 2018)*, St. Petersburg, 04–07 July, pp. 106–110. DOI: 10.1109/ERGO.2018.8443849 (in Russian)

17. **Shcherbakov, S.A., Kukushkin, Yu.A., Soldatov, S.K., Zinkin, V.N., Bogomolov, A.V.** (2007). Psychophysiological aspects of improving the methods of studying the erroneous ac-

tions of the flight crew based on the concept of the human factor. *Problemy bezopasnosti poletov*, no. 8, p. 10. (in Russian)

18. **Guziy, A.G., Kukushkin, Yu.A., Bogomolov, A.V.** (2002). Methodology for stabilizing the functional state of the operator of the “man-machine” system. *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravleniye*, no. 5, pp. 9–14. (in Russian)

19. **Nasledov, A.D.** (2013). *IMB SPSS Statistics 20 and AMOS: Professional statistical data analysis*. St. Petersburg: Piter, 413 p. (in Russian)

20. **Beshelev, S.L., Gurvich, F.G.** (1980). *Mathematical and statistical methods of expert assessments*. Moscow: Statistika, 263 p. (in Russian)

Сведения об авторе

Муравьев Иван Станиславович, кандидат технических наук, докторант, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации имени Главного маршала авиации А.А. Новикова», mantus87@mail.ru.

Information about the author

Ivan S. Muravyov, Candidate of Technical Sciences, Postdoctoral Student, Federal State-owned Publicly Funded Institution of Higher Education “Saint Petersburg State University of Civil Aviation named after Chief Marshal of Aviation A.A. Novikov”, mantus87@mail.ru.

Поступила в редакцию	17.04.2023	Received	17.04.2023
Одобрена после рецензирования	15.05.2023	Approved after reviewing	15.05.2023
Принята в печать	21.09.2023	Accepted for publication	21.09.2023