

ТРАНСПОРТ

УДК 629.7.072.4

DOI: 10.26467/2079-0619-2018-21-5-8-22

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДИКИ ПЕРВОНАЧАЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ПОДГОТОВКИ ПИЛОТОВ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ САМОЛЕТОВ С ЭЛЕКТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

С.Г. КОСАЧЕВСКИЙ¹, Д.В. АЙДАРКИН¹, Д.В. КАЧАН¹

¹Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, г. Ульяновск, Россия

В настоящее время образовательные организации гражданской авиации России, осуществляющие подготовку пилотов, полностью перешли на учебные воздушные суда нового поколения, особенностями которых являются высокая степень автоматизации управления и электронные системы отображения информации (EFIS – Electronic Flight Instrument System). При этом применяемые методы летного обучения основываются на исследованиях, проведенных для самолетов с аналоговыми системами отображения информации, что не позволяет в полной мере использовать широкие возможности нового поколения воздушных судов и тренажеров. Поэтому задача совершенствования методики первоначальной профессиональной подготовки пилотов, включающая обучение рациональным методам распределения и переключения зрительного внимания, является актуальной. Для решения этой задачи в 2017 году по заказу Федерального агентства воздушного транспорта Российской Федерации в Ульяновском институте гражданской авиации проведен комплекс научных исследований, позволивших разработать методику первоначальной летной подготовки пилотов с использованием воздушных судов с EFIS. При проведении исследований использовались окулометрические методы исследования распределения и переключения внимания курсантов (технология eye-tracking), что позволило более глубоко изучить формирование навыков пилотирования и влияние на них работы пилота с EFIS. Для оценки эффективности разработанной методики проведено две серии экспериментов, в которых участвовали курсанты Сасовского летного училища и Ульяновского института гражданской авиации, что позволило провести эксперименты на двух типах тренажеров самолетов: L-410 и DA40 NG. В статье предлагается использовать коэффициент корреляции и манхеттенское расстояние для оценки точности выдерживания параметров полета самолета в ходе тренажерной подготовки. По результатам первой серии экспериментов сделан вывод, что курсанты, отобранные в экспериментальную группу, имели более низкий исходный уровень летной подготовки по двум рассматриваемым критериям по сравнению с курсантами контрольной группы. Однако после проведенного обучения экспериментальной группы по разработанной методике уровень летной подготовки в обеих группах стал одинаковым. Для курсантов экспериментальной группы наблюдаются статистически значимые различия исходного и конечного уровней летной подготовки, в то время как курсанты контрольной группы завершили серию экспериментов без заметных изменений. Вторая серия экспериментов показала, что отсутствие летной практики у курсантов экспериментальной группы не помешало им продемонстрировать качественный уровень профессиональной подготовки при выполнении упражнений на летном тренажере. Такого результата помогла добиться проведенная с курсантами наземная подготовка по разработанной методике, что, несомненно, свидетельствует о ее эффективности.

Ключевые слова: первоначальная подготовка пилотов, самолет, электронные системы отображения информации, распределение и переключение зрительного внимания, коэффициент корреляции, манхеттенское расстояние, полет по приборам.

ВВЕДЕНИЕ

За последние годы в России произведена кардинальная модернизация материально-технической базы учебно-летного процесса, в результате чего для первоначальной профессиональной подготовки пилотов в подавляющем большинстве образовательных организаций гражданской авиации (ГА) используются воздушные суда (ВС), оборудованные электронными си-

стемами отображения информации (Electronic Flight Instrument System, EFIS) [1]. Вместе с тем до настоящего времени в Российской Федерации не проводились научные исследования, направленные на совершенствование методов первоначального обучения пилотов с учетом всех особенностей и возможностей нового поколения учебных ВС и тренажеров, в частности особенностей обучения пилотов рациональному распределению и переключению зрительного внимания (РПЗВ).

Необходимость проведения таких исследований подтверждается анализом результатов расследований авиационных происшествий и инцидентов, согласно которым летные экипажи современных самолетов могут терять контроль за основными параметрами полета из-за большой загрузки пилотов и применения ими нерациональных методов РПЗВ, что, в свою очередь, приводит к неправильному или несвоевременному восприятию информации и принятию решений. В этих условиях рациональная методика РПЗВ должна обеспечить пилотам резерв времени, необходимый как для контроля параметров полета, так и для выполнения всех необходимых действий [2].

Авиационные власти ряда государств и международные организации проводят исследования в этой области и разрабатывают соответствующие учебные пособия для пилотов^{1,2,3}. Результаты исследований, проведенных в Великобритании, где была создана рабочая группа по анализу фактов потери управления в полете, и во Франции, где исследования проводились по инициативе Бюро по расследованию авиационных происшествий ВЕА, подтвердили наличие проблемы потери контроля за основными параметрами полета, чему способствуют дефицит времени и большая рабочая нагрузка пилотов⁴. В США похожие исследования проводились на тренажере самолета Boeing-747-400 с использованием окулометрических систем, обеспечивающих регистрацию и сопровождение движения глаз, что позволило сделать выводы о важности взаимосвязи зрительной деятельности пилотов и динамики параметров полета, а также о необходимости изучения и учета структуры зрительной деятельности пилотов в процессе подготовки летного состава [3].

Отечественный опыт подготовки пилотов свидетельствует о том, что умение правильно распределять и переключать зрительное внимание при выполнении полета по приборам является для пилота одной из наиболее сложных задач. Объясняется это тем, что, в отличие от многих осваиваемых пилотом навыков, которые выполняются по заранее разработанному алгоритму и поэтому могут быть доведены до автоматизма, навык РПЗВ является подвижным и неустойчивым, т. к. он основывается на анализе большого количества случайных факторов. Поэтому методы рационального распределения зрительного внимания формируются не как строго определенная последовательность перевода взгляда по приборам, а в виде определенных принципов, позволяющих пилоту сознательно определить последовательность осмотра приборов с учетом складывающейся полетной ситуации [4].

О необходимости разработки научно обоснованных методов обучения пилотов рациональному распределению внимания при эксплуатации самолетов с EFIS свидетельствуют результаты опроса опытных пилотов, показавшего отсутствие у них понимания формирования принципов взаимодействия пилота с EFIS [5, 6].

Практика показывает, что многие пилоты, не овладевшие рациональным РПЗВ, могут обеспечить необходимое качество пилотирования самолета по приборам в нормальных условиях. Однако при возникновении в полете усложняющих обстоятельств, связанных, например, с

¹ Instrument Flying Handbook: FAA Handbook: FAA-H-8083-15B / U.S. Department of Transportation. CreateSpace Independent Publishing Platform. 2013. 368 p.

² Pilot's Handbook of Aeronautical Knowledge / Federal Aviation Administration. Skyhorse Publishing, 2017. 470 p.

³ Advanced Avionics Handbook / Federal Aviation Administration. Skyhorse Publishing, 2012. 128 p.

⁴ Study on Aeroplane State Awareness during Go-Around / Bureau d'Enquêtes et d'Analyse pour la sécurité de l'aviation civile. 2013. 142 p.

отказами авиационной техники, у них не остается необходимого резерва внимания для устранения возникшего отказа.

Для решения указанных задач в 2017 году по заказу Федерального агентства воздушного транспорта Ульяновским институтом гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева (УИ ГА) совместно с НИИ медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова и ООО «Новые информационные технологии в авиации» выполнена научно-исследовательская работа, в рамках которой разработана методика первоначальной летной подготовки пилотов в российских летных учебных заведениях ГА с использованием ВС с EFIS и высокой степенью автоматизации управления. Дополнительно к указанной методике разработаны рекомендации по обучению курсантов летных учебных заведений методам РПЗВ в полете по приборам, исключающему непреднамеренный вывод самолета за пределы эксплуатационных ограничений.

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПИЛОТИРОВАНИЯ

Совершенствование методики первоначального летного обучения невозможно без проведения исследований, предполагающих использование критериев не только для конечной оценки качества пилотирования, но и для анализа процесса формирования у курсантов необходимых навыков и компетенций. В действующих программах для оценки качества пилотирования используются бинарные критерии, отражающие способность или неспособность курсанта выдерживать параметры полета в заданном интервале, которые не позволяют выявить тенденцию развития навыков пилотирования и правильного восприятия информации. Способность записывать значения различных параметров полета с высокой частотой дискретизации, реализованная на современных летных тренажерах, используемых в образовательных организациях ГА, дает возможность разработать и использовать новые подходы к оценке качества пилотирования.

В работе [7] показано, что аналогом коэффициента корреляции Пирсона, используемым для определения степени близости двух функций $f(t)$ и $g(t)$, заданных набором значений $f_i = f(t_i)$ и $g_i = g(t_i)$ в n точках t_i с высокой частотой дискретизации на интервале от $t_0 = a$ до $t_n = b$, является коэффициент корреляции, вычисляемый по формуле

$$r_{fg} = \frac{\frac{1}{b-a} \int_a^b f(t) \cdot g(t) dt}{\sqrt{\frac{1}{b-a} \int_a^b f^2(t) dt} \cdot \sqrt{\frac{1}{b-a} \int_a^b g^2(t) dt}} = \frac{\int_a^b f(t) \cdot g(t) dt}{\sqrt{\int_a^b f^2(t) dt} \cdot \sqrt{\int_a^b g^2(t) dt}}. \quad (1)$$

Из формулы (1) видно, что коэффициент корреляции будет меньше нуля лишь в том случае, когда используемые для расчета значения функций $f(t)$ и $g(t)$ имеют разные знаки. Однако многие параметры полета самолета (например, его высота, приборная и воздушная скорости) не принимают отрицательных значений. В этом случае для расчета по формуле (1) можно использовать отклонения параметров полета относительно их среднего значения, вычисленного для исследуемого интервала времени.

Коэффициент корреляции (1) может применяться для сравнения значений параметров полета, наблюдаемых в ходе тренажерной подготовки курсантов, с соответствующими эталонными значениями. Чем ближе к единице значение этого критерия в ходе оценки точности выдерживания параметров полета ВС на летном тренажере, тем лучше выдерживаются эти параметры испытуемым. Следует отметить, что главным недостатком коэффициента корреляции (1) является его нечувствительность к масштабированию функций.

Второй по популярности группой мер сходства являются разнообразные меры расстояния. В то время как для рассмотренных выше коэффициентов корреляции значение, близкое к нулю, свидетельствует о том, что исследуемые объекты не похожи друг на друга, равное нулю расстояние между объектами можно получить только в том случае, если два объекта идентичны, т. к. описывающие их переменные принимают одинаковые значения.

В качестве меры сходства графиков двух функций $f(t)$ и $g(t)$, заданных дискретными значениями на интервале от $t_0 = a$ до $t_n = b$, в работе [7] предложено использовать манхеттенское расстояние, определяемое безразмерным коэффициентом

$$\bar{d}_{fg} = \frac{\int_a^b |f(t) - g(t)| dt}{\int_a^b g(t) dt}, \quad (2)$$

где функция $f(t)$ соответствует наблюдаемым значениям параметра полета в ходе тренажерной подготовки, а функция $g(t)$ – эталонным значениям.

Несмотря на важность метрик расстояния, они тоже имеют недостатки, главным из которых является нечувствительность к форме графиков сравниваемых функций.

Рассмотренные меры сходства имеют свои достоинства и недостатки, взаимно дополняя друг друга. Поэтому предлагается одновременно использовать коэффициент корреляции (1) и манхеттенское расстояние (2) для оценки точности выдерживания параметров полета ВС в ходе первоначальной подготовки пилотов на летном тренажере. Совместное применение этих мер сходства позволяет оценить как форму графика зависимости исследуемого параметра полета от времени, так и точность его выдерживания по сравнению с эталонной зависимостью.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Первая серия экспериментов по оценке эффективности разработанной методики проводилась в Сасовском ЛУ ГА – филиале УИ ГА на тренажере самолета L-410. Для проведения эксперимента были сформированы экспериментальная и контрольная группы курсантов по 10 человек каждая. Все отобранные для эксперимента курсанты завершили летную подготовку на самолете первоначального обучения Cessna-172 и приступили к выполнению полетов на выпускном самолете L-410.

На первом этапе каждый курсант выполнил заход на посадку по инструментальной системе неточного захода на посадку ОСП с включенными огнями подхода и огнями приближения полосы. Полет начинался в районе 3-го разворота на удалении 6 морских миль (11,1 км) от торца полосы на высоте 600 метров в посадочной конфигурации и заканчивался на высоте 60 м. После выполнения первого полета с курсантами экспериментальной группы было проведено занятие по разработанной методике обучения РПЗВ для самолета с EFIS.

На втором этапе курсанты контрольной и экспериментальной групп повторно выполнили заход на посадку с целью оценки эффективности проведенной подготовки курсантов экспериментальной группы. В табл. 1 и 2 приведены значения оценок точности выдерживания высоты полета ВС в ходе первоначальной подготовки пилотов на летном тренажере. В качестве критериев для оценки качества пилотирования на начальном этапе тренажерной подготовки использовались коэффициент корреляции r_{fg} и манхеттенское расстояние d_{fg} , вычисленные по формулам (1) и (2) соответственно.

Таблица 1
Table 1

Результаты оценки качества пилотирования в экспериментальной группе
The results of piloting quality assessment for a cadet group under experiment

Испытуемые (cadets)	Исходный уровень критерия (initial level of the criterion)		Конечный уровень критерия (final level of the criterion)		Изменение, z (changes)	
	$r_{fg\text{ исх.}}$	$d_{fg\text{ исх.}}$	$r_{fg\text{ кон.}}$	$d_{fg\text{ кон.}}$	$z(r_{fg})$	$z(d_{fg})$
Курсант 1	0,9586	29,07 %	0,9817	18,44 %	0,0231	-10,63 %
Курсант 2	0,9796	33,11 %	0,9822	17,40 %	0,0027	-15,71 %
Курсант 3	0,9662	28,88 %	0,9896	17,78 %	0,0233	-11,10 %
Курсант 4	0,9754	25,96 %	0,9871	15,40 %	0,0118	-10,57 %
Курсант 5	0,9645	36,66 %	0,9955	8,87 %	0,0310	-27,80 %
Курсант 6	0,9974	21,27 %	0,9890	14,33 %	-0,0084	-6,95 %
Курсант 7	0,9433	51,32 %	0,9993	3,40 %	0,0560	-47,92 %
Курсант 8	0,9889	14,59 %	0,9982	8,47 %	0,0093	-6,12 %
Курсант 9	0,9857	17,00 %	0,9785	19,27 %	-0,0071	2,27 %
Курсант 10	0,9549	29,85 %	0,9893	13,77 %	0,0344	-16,08 %
Среднее выборочное, $\bar{x}_{\text{выб}}$	0,97145	28,77 %	0,98905	13,71 %	0,01760	-15,06 %
Исправленная выборочная дисперсия, s_x^2	0,00029	0,0111	0,00005	0,0027	0,00040	0,0194

По имеющимся данным найдены основные статистические оценки параметров распределения (среднее выборочное и значение исправленной выборочной дисперсии) для экспериментальной и контрольной групп курсантов.

Таблица 2
Table 2

Результаты оценки качества пилотирования в контрольной группе
The results of piloting quality assessment for a cadet control group

Испытуемые (cadets)	Исходный уровень критерия (initial level of the criterion)		Конечный уровень критерия (final level of the criterion)		Изменение, z (changes)	
	$r_{fg\text{ исх.}}$	$d_{fg\text{ исх.}}$	$r_{fg\text{ кон.}}$	$d_{fg\text{ кон.}}$	$z(r_{fg})$	$z(d_{fg})$
Курсант 11	0,9904	16,21 %	0,9933	11,34 %	0,0030	-4,87 %
Курсант 12	0,9970	12,67 %	0,9950	9,66 %	-0,0020	-3,01 %
Курсант 13	0,9981	9,71 %	0,9846	17,37 %	-0,0135	7,66 %
Курсант 14	0,9951	9,97 %	0,9863	19,19 %	-0,0088	9,22 %
Курсант 15	0,9826	20,22 %	0,9901	15,08 %	0,0075	-5,14 %
Курсант 16	0,9990	6,70 %	0,9811	18,52 %	-0,0180	11,82 %

Продолжение таблицы 2

Испытуемые (cadets)	Исходный уровень критерия (initial level of the criterion)		Конечный уровень критерия (final level of the criterion)		Изменение, z (changes)	
	$r_{fg\text{ исх.}}$	$d_{fg\text{ исх.}}$	$r_{fg\text{ кон.}}$	$d_{fg\text{ кон.}}$	$z(r_{fg})$	$z(d_{fg})$
Курсант 17	0,9597	34,40 %	0,9941	10,24 %	0,0344	-24,16 %
Курсант 18	0,9753	32,35 %	0,9929	12,94 %	0,0175	-19,41 %
Курсант 19	0,9860	15,43 %	0,9962	8,32 %	0,0102	-7,10 %
Курсант 20	0,9868	17,79 %	0,9946	10,52 %	0,0078	-7,27 %
Среднее выборочное, $\bar{y}_{\text{выб}}$	0,98701	17,54 %	0,99082	13,32 %	0,00381	-4,23 %
Исправленная выборочная дисперсия, s_y^2	0,00015	0,0086	0,00003	0,0016	0,00024	0,0136

С помощью критерия Фишера – Снедекора [8] проверялась нулевая гипотеза о равенстве генеральных дисперсий при конкурирующей гипотезе $D(X) > D(Y)$. Например, для исходного уровня коэффициента корреляции r_{fg} получено

$$F_{\text{набл}}(r_{fg\text{ исх.}}) = \frac{s_x^2}{s_y^2} = \frac{0,00029}{0,00015} \approx 1,9080. \quad (3)$$

Аналогично найдены значения критерия Фишера – Снедекора для исходного уровня манхеттенского расстояния d_{fg} , а также конечного уровня обоих критериев.

$$F_{\text{набл}}(d_{fg\text{ исх.}}) \approx 1,2807; F_{\text{набл}}(r_{fg\text{ кон.}}) \approx 1,8797; F_{\text{набл}}(d_{fg\text{ кон.}}) \approx 1,7329.$$

По таблице критических точек распределения Фишера – Снедекора [9] для уровня значимости $\alpha = 0,05$ и чисел степеней свободы $k_1 = 9$, $k_2 = 9$ найдем критическую точку:

$$F_{\text{кр}}(\alpha; k_1, k_2) = F_{\text{кр}}(0,05; 9; 9) = 3,18.$$

Так как для всех рассмотренных критериев качества пилотирования выполняется условие $F_{\text{набл}} < F_{\text{кр}}$, то нет оснований отвергать гипотезу о равенстве генеральных дисперсий. То есть выборочные исправленные дисперсии отличаются незначимо, что свидетельствует о том, что точность измерения значений критериев качества пилотирования в обеих группах была одинаковой.

Затем при уровне значимости $\alpha = 0,05$ проверялась нулевая гипотеза о равенстве математических ожиданий (генеральных средних) двух малых выборок ($n = m = 10$), предполагая, что они извлечены из нормальных генеральных совокупностей с одинаковыми дисперсиями,

$$H_0: M(X) = M(Y)$$

при конкурирующей гипотезе

$$H_1: M(X) \neq M(Y).$$

Чтобы сравнить средние выборочные для исходного уровня коэффициента корреляции в экспериментальной и контрольной группах, вычислялось наблюдаемое значение критерия Стьюдента [10] для независимых выборок по формуле

$$T_{набл} = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\sqrt{(n-1)s_x^2 + (m-1)s_y^2}} \cdot \sqrt{\frac{n \cdot m(n+m-2)}{n+m}}. \quad (4)$$

Подставив числовые значения входящих в эту формулу величин, получим $T_{набл}(r_{fg\text{ исх.}}) \approx 2,3618$.

Конкурирующая гипотеза имеет вид $M(X) \neq M(Y)$, поэтому критическая область двусторонняя. Для выбранного уровня значимости и числа степеней свободы $k = n + m - 2 = 18$ имеем критическую точку $t_{двуст.кр}(0,05; 18) = 2,1009$. Так как $T_{набл}(r_{fg\text{ исх.}}) > t_{двуст.кр}$, то нулевую гипотезу о равенстве средних следует отвергнуть. Другими словами, выборочные средние исходного уровня коэффициента корреляции в экспериментальной и контрольной группах различаются статистически значимо, т. е. курсанты экспериментальной группы имели более низкий исходный уровень летной подготовки по указанному критерию качества пилотирования.

Похожий результат получен в ходе сравнения средних выборочных для исходного уровня манхеттенского расстояния в экспериментальной и контрольной группах. Наблюдаемое значение критерия Стьюдента, вычисленное по формуле (4), $T_{набл}(d_{fg\text{ исх.}}) \approx -2,5305$. Поэтому нулевую гипотезу о равенстве средних выборочных для исходного уровня манхеттенского расстояния в экспериментальной и контрольной группах также следует отвергнуть, т. е. курсанты экспериментальной группы имели более низкий исходный уровень летной подготовки и по второму выбранному критерию качества пилотирования.

Иной результат был получен в ходе сравнения средних выборочных конечного уровня коэффициента корреляции и манхеттенского расстояния после проведенной подготовки курсантов экспериментальной группы по разработанной методике первоначальной профессиональной подготовки пилотов для эксплуатации самолетов с EFIS.

Наблюдаемые значения критерия Стьюдента, вычисленные по формуле (4):

$$T_{набл}(r_{fg\text{ кон.}}) \approx 0,6432; \quad T_{набл}(d_{fg\text{ кон.}}) \approx -0,1911.$$

При конкурирующей гипотезе $M(X) \neq M(Y)$ для указанного уровня значимости и числа степеней свободы для обоих критериев получим неравенство $|T_{набл}| < t_{двуст.кр}$, т. е. нет оснований отвергать нулевую гипотезу о равенстве средних выборочных для конечного уровня выбранных критериев качества пилотирования в экспериментальной и контрольной группах после проведенной подготовки, значит уровень летной подготовки в обеих группах стал одинаковым.

Рассмотрим теперь, каким образом повлиял использованный метод профессиональной подготовки курсантов на изменение значений критериев качества пилотирования отдельно для каждой группы испытуемых. Исходно требуется при выбранном уровне значимости проверить нулевые гипотезы о равенстве генеральных средних нормальных совокупностей критериев качества пилотирования с неизвестными дисперсиями по соответствующим парам зависимых выборок одинакового объема отдельно в экспериментальной и контрольной группах.

Задачу сравнения двух средних можно свести к задаче сравнения одной выборочной средней с гипотетическим значением генеральной средней, рассмотрев в качестве случайной величины изменения критериев качества пилотирования:

$$z(r_{fg}) = \bar{r}_{fg \text{ кон.}} - \bar{r}_{fg \text{ усх.}}; \quad z(d_{fg}) = \bar{d}_{fg \text{ кон.}} - \bar{d}_{fg \text{ усх.}}$$

Тогда нулевые гипотезы примут вид

$$H_0: M(\bar{z}(r_{fg})) = 0, \quad H_0: M(\bar{z}(d_{fg})) = 0,$$

а конкурирующие гипотезы можно записать так:

$$H_1: M(\bar{z}(r_{fg})) \neq 0, \quad H_1: M(\bar{z}(d_{fg})) \neq 0.$$

В качестве критерия согласия используем коэффициент Стьюдента, вычисляемый по формуле (8)

$$T_{\text{набл}}(z) = \frac{\bar{z} \cdot \sqrt{n}}{\sqrt{\frac{\sum z_i^2 - (\sum z_i)^2 / n}{n-1}}} = \frac{\bar{z} \cdot \sqrt{n}}{s_z}. \quad (5)$$

Подставляя числовые значения в формулу (5), получим для экспериментальной группы

$$T_{\text{набл}}(z(r_{fg})) \approx 2,7796; \quad T_{\text{набл}}(z(d_{fg})) \approx -3,4199.$$

Для указанных конкурирующих гипотез имеем двустороннюю критическую область. Для выбранного уровня значимости и числа степеней свободы $k = n - 1 = 9$ найдем критическую точку $t_{\text{двуст. кр}}(0,05; 9) = 2,262$. Так как $T_{\text{набл}}(z(r_{fg})) > t_{\text{двуст. кр}}$ и $|T_{\text{набл}}(z(d_{fg}))| > t_{\text{двуст. кр}}$, то нулевую гипотезу о равенстве средних следует отвергнуть. Другими словами, выборочные средние исходного и конечного уровней выбранных критериев качества пилотирования в экспериментальной группе различаются статистически значимо, т.е. подготовка курсантов экспериментальной группы с помощью предлагаемой методики оказалась результативной.

Проведя аналогичные вычисления, получим для контрольной группы

$$T_{\text{набл}}(z(r_{fg})) \approx 0,7777; \quad T_{\text{набл}}(z(d_{fg})) \approx -1,1445.$$

Сравнивая полученные значения с критической точкой, можно сделать вывод, что нет оснований отвергать нулевую гипотезу о равенстве средних выборочных для исходного и конечного уровня выбранных критериев качества пилотирования в контрольной группе, значит, качество летной подготовки осталось на прежнем уровне.

Дальнейшие исследования по оценке эффективности разработанной методики проводились в тренажерном центре УИ ГА на тренажере DA40 NG. Были сформированы контрольная и экспериментальная группы. В контрольную группу вошли 5 курсантов, полностью завершивших летную подготовку на самолете первоначального обучения DA40 NG с налетом 100 часов. Экспериментальная группа была сформирована из 6 курсантов, прошедших полный курс теоретической и наземной подготовки к полетам на данном типе ВС, за-

вершивших первоначальную подготовку на тренажере в объеме 15 часов, но не приступавших к полетам на самолете. Подготовка курсантов экспериментальной группы проводилась по разработанной методике, а курсанты контрольной группы завершили подготовку на самолете первоначального обучения по действующей программе, но без дополнительных занятий по разработанной методике.

Каждый курсант выполнил три упражнения: заход на посадку в директорном режиме по инструментальной системе точного захода ILS CAT I (метеорологический минимум 60×550 метров) с включенными огнями подхода и огнями приближения полосы, заход на посадку по неточной системе ОСП (NDB), а также восходящую спираль с креном 30° и вертикальной скоростью 500 ft/min.

В табл. 3 представлены результаты оценки качества пилотирования по приборам при заходе на посадку с использованием ILS для экспериментальной и контрольной групп. Результаты оценки качества пилотирования по приборам при заходе на посадку с использованием ОСП (NDB) показаны в табл. 4. В качестве критериев для оценки качества пилотирования в ходе выполнения этих упражнений использовались коэффициент корреляции и манхеттенское расстояние, вычисленные по формулам (1) и (2) для графиков, представляющих зависимость высоты ВС и его скорости от времени. Для оценки качества пилотирования при выполнении спирали применялись коэффициент корреляции и манхеттенское расстояние, вычисленные для графиков, представляющих зависимость высоты и крена ВС от времени. Соответствующие результаты оценки качества пилотирования для двух групп курсантов УИ ГА представлены в табл. 5.

Таблица 3
Table 3

Результаты оценки качества пилотирования по приборам
при заходе на посадку с использованием ILS
The results of instrument piloting quality assessment for ILS approach

Испытуемые (cadets)	Зависимость высоты от времени (Dependence of height on time)		Зависимость скорости от времени (Dependence of velocity on time)	
	Коэффициент корреляции (the correlation coefficient) $r_{fg}(H)$	Манхеттенское расстояние (Manhattan distance) $d_{fg}(H)$	Коэффициент корреляции (the correlation coefficient) $r_{fg}(V)$	Манхеттенское расстояние (Manhattan distance) $d_{fg}(V)$
Экспериментальная группа (the cadets under the experiment)				
Курсант 1	0,9966	4,88 %	0,7862	2,26 %
Курсант 2	0,9883	8,22 %	0,9277	5,51 %
Курсант 3	0,9926	6,78 %	0,9504	7,13 %
Курсант 4	0,9947	5,52 %	0,8345	2,18 %
Курсант 5	0,9947	5,40 %	0,8590	3,75 %
Курсант 6	0,9896	8,95 %	0,8793	3,32%
Контрольная группа (the reference group)				
Курсант 1	0,9951	4,65 %	0,9397	6,10 %
Курсант 2	0,9890	8,47 %	0,8637	2,27 %
Курсант 3	0,9936	5,59 %	0,8732	5,97 %
Курсант 4	0,9938	6,13 %	0,8743	3,56 %
Курсант 5	0,9986	12,59 %	0,6687	1,17 %

Таблица 4
Table 4

Результаты оценки качества пилотирования по приборам
при заходе на посадку с использованием ОСП (NDB)
The results of instrument piloting quality assessment for NDB approach

Испытуемые (cadets)	Зависимость высоты от времени		Зависимость скорости от времени	
	Коэффициент корреляции (the correlation coefficient) $r_{fg}(H)$	Манхеттенское расстояние (Manhattan distance) $d_{fg}(H)$	Коэффициент корреляции (the correlation coefficient) $r_{fg}(V)$	Манхеттенское расстояние (Manhattan distance) $d_{fg}(V)$
Экспериментальная группа (the cadets under the experiment)				
Курсант 1	0,9893	9,39 %	0,8339	5,70 %
Курсант 2	0,9964	5,57 %	0,8889	4,86 %
Курсант 3	0,9842	8,23 %	0,8225	4,63 %
Курсант 4	0,9883	6,75 %	0,8847	3,55 %
Курсант 5	0,9901	6,92 %	0,7898	2,86 %
Курсант 6	0,9932	6,67 %	0,8184	2,56 %
Контрольная группа (the reference group)				
Курсант 1	0,9777	4,43 %	0,8814	4,26 %
Курсант 2	0,9955	5,43 %	0,8704	2,93 %
Курсант 3	0,9811	9,12 %	0,8519	6,69 %
Курсант 4	0,9831	8,20 %	0,9110	3,36 %
Курсант 5	0,9804	6,06 %	0,8714	4,40 %

Таблица 5
Table 5

Результаты оценки качества пилотирования при выполнении спирали
The results of piloting quality assessment while performing a spiral

Испытуемые (cadets)	Зависимость высоты от времени		Зависимость крена от времени	
	Коэффициент корреляции (the correlation coefficient) $r_{fg}(H)$	Манхеттенское расстояние (Manhattan distance) $d_{fg}(H)$	Коэффициент корреляции (the correlation coefficient) $r_{fg}(\gamma)$	Манхеттенское расстояние (Manhattan distance) $d_{fg}(\gamma)$
Экспериментальная группа (the cadets under the experiment)				
Курсант 1	0,9323	16,08 %	0,9658	3,98 %
Курсант 2	0,9739	13,41 %	0,9923	9,02 %
Курсант 3	0,9949	6,45 %	0,9806	10,67 %
Курсант 4	0,9980	5,71 %	0,9961	6,11 %
Курсант 5	0,9363	18,63 %	0,9920	4,90 %
Курсант 6	0,9305	9,85 %	0,9861	3,06 %
Контрольная группа (the reference group)				
Курсант 1	0,9954	8,13 %	0,9601	14,10 %
Курсант 2	0,9811	11,66 %	0,9737	9,79 %
Курсант 3	0,9400	18,80 %	0,9774	10,88 %
Курсант 4	0,9958	4,37 %	0,9715	12,11 %
Курсант 5	0,9862	8,82 %	0,9897	5,28 %

Так как для выбранного уровня значимости для всех рассмотренных критериев качества пилотирования выполняется условие $F_{\text{набл}} < F_{\text{кр}}$, то можно утверждать, что выборочные исправленные дисперсии отличаются незначимо, следовательно, точность измерения значений критериев качества пилотирования в обеих группах была одинаковой.

Затем при уровне значимости $\alpha = 0,05$ проверялась нулевая гипотеза о равенстве генеральных средних для указанных критериев качества пилотирования в выборках, представленных экспериментальной и контрольной группами, предполагая, что они извлечены из нормальных генеральных совокупностей с одинаковыми дисперсиями, при конкурирующей гипотезе $H_1: M(X) \neq M(Y)$. По формуле (4) получены следующие значения критерия Стьюдента для критериев оценки качества пилотирования при заходе на посадку с использованием ILS:

$$T_{\text{набл}}(r_{fg}(H)) \approx 0,629; \quad T_{\text{набл}}(d_{fg}(H)) \approx 0,580; \quad T_{\text{набл}}(r_{fg}(V)) \approx 0,584; \quad T_{\text{набл}}(d_{fg}(V)) \approx 0,172;$$

при заходе на посадку с использованием ОСП (NDB):

$$T_{\text{набл}}(r_{fg}(H)) \approx -1,966; \quad T_{\text{набл}}(d_{fg}(H)) \approx -0,610; \quad T_{\text{набл}}(r_{fg}(V)) \approx 1,898; \quad T_{\text{набл}}(d_{fg}(V)) \approx 0,372$$

и при выполнении спирали:

$$T_{\text{набл}}(r_{fg}(H)) \approx 1,095; \quad T_{\text{набл}}(d_{fg}(H)) \approx -0,415; \quad T_{\text{набл}}(r_{fg}(\gamma)) \approx -1,666; \quad T_{\text{набл}}(d_{fg}(\gamma)) \approx 2,191.$$

С учетом двусторонней критической области для выбранного уровня значимости и числа степеней свободы $k = n + m - 2 = 9$ имеем критическую точку $t_{\text{двуст.кр}}(0,05; 9) = 2,2622$. Так как для всех рассмотренных критериев качества пилотирования выполняется условие

$$|T_{\text{набл}}| < t_{\text{двуст.кр}},$$

то нет оснований отвергать нулевую гипотезу о равенстве средних выборочных для критериев качества пилотирования в двух малых выборках, представленных экспериментальной и контрольной группами, после проведенной подготовки. Значит, уровень летной подготовки в обеих группах стал одинаковым при заходе на посадку с использованием ILS и ОСП (NDB), а также при выполнении спирали.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что в первой серии экспериментов курсанты, отобранные в экспериментальную группу, имели более низкий исходный уровень летной подготовки по двум рассматриваемым критериям точности выдерживания высоты полета ВС в ходе первоначальной подготовки на летном тренажере самолета L-410 по сравнению с курсантами контрольной группы. Однако после проведенного обучения курсантов экспериментальной группы по разработанной методике первоначальной профессиональной подготовки пилотов для эксплуатации самолетов с EFIS уровень качества пилотирования в обеих группах стал одинаковым. Аналогичный вывод был получен в ходе оценки влияния метода профессиональной подготовки курсантов (с помощью предложенной методики для экспериментальной группы или действующей программы подготовки для контрольной группы) на изменение значений критериев качества пилотирования отдельно для каждой группы испыту-

емых, рассматривая их как зависимые выборки. Для курсантов экспериментальной группы наблюдаются статистически значимые различия исходного и конечного уровней качества пилотирования, в то время как курсанты контрольной группы завершили серию экспериментов без заметных изменений.

Вторая серия экспериментов, в ходе которой испытуемые выполняли три упражнения на тренажере DA40 NG, показала, что отсутствие летной практики у курсантов экспериментальной группы не помешало им продемонстрировать практически одинаковый уровень профессиональной подготовки при выполнении указанных упражнений по сравнению с курсантами контрольной группы, завершившими летную подготовку на самолете первоначального обучения DA-40NG и имевшими налет 100 часов. Такого результата курсантам экспериментальной группы помогла добиться проведенная с ними наземная подготовка по разработанной методике подготовки пилотов для эксплуатации самолетов с EFIS, что, несомненно, свидетельствует о ее эффективности. В качестве критериев для оценки качества пилотирования в ходе этой серии экспериментов использовались коэффициент корреляции и манхеттенское расстояние, вычисленные для графиков, представляющих зависимость высоты ВС, его скорости и угла крена от времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные экспериментальные исследования подтверждают влияние методов распределения и переключения зрительного внимания пилота при эксплуатации самолетов с EFIS на качество пилотирования. Исходя из этого, можно сделать вывод о важности разработки научно обоснованной методики первоначальной летной подготовки курсантов, включающей в себя освоение рациональных методов распределения и переключения зрительного внимания.

В качестве результатов проведенных исследований можно отметить разработанную методику оценки качества пилотирования на основе сочетания коэффициентов корреляции и манхеттенского расстояния, которая позволяет оценить не только качество пилотирования, но и процесс формирования у курсантов необходимых навыков и компетенций. Применение такого подхода в отличие от использования бинарных критериев, отражающих только способность курсанта выдерживать параметры полета в заданном интервале, позволяют выявить тенденцию развития навыков пилотирования и правильного восприятия информации, что особенно важно при первоначальном летном обучении. Также обоснована эффективность окулومترических измерений с использованием технологии ай-трекинга для исследования процессов распределения зрительного внимания пилота при работе с EFIS в процессе первоначального летного обучения.

На основе полученных результатов сформулированы предложения по совершенствованию методики первоначальной профессиональной подготовки пилотов и рекомендации по обучению курсантов летных учебных заведений ГА распределению зрительного внимания в полете по приборам, исключающему непреднамеренный вывод ВС за пределы эксплуатационных ограничений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Столяров Н.А., Столяров Н.Н. Безопасность, контроль параметров полета и управление воздушным судном: монография. Ульяновск: УИ ГА, 2016. 138 с.
2. Столяров Н.А. Экспериментальные исследования распределения и переключения зрительного внимания пилотов самолетов с EFIS / С.Г. Косачевский, Д.А. Локайчук, С.Д. Королев, В.В. Максимова, С.А. Калинина, А.Г. Меркулова // Научный вестник УВАУ ГА. 2016. Т. 8. С. 50–56.

3. **Mumaw R.J.** A Simulator Study of Pilots' Monitoring Strategies and Performance on Modern Glass Cockpit Aircraft / M.I. Nicolich, N.B. Sarter, C.D. Wickens // Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings. 2001. 45(2). Pp. 73–77. DOI: 10.1177/154193120104500216.

4. **Кочаровский И.Б.** Распределение и переключение внимания при полете по приборам. М.: Воениздат, 1972. 104 с.

5. **Кузнецов И.Б.** Экспериментальные исследования зрительной деятельности пилота при пилотировании ВС с электронной системой отображения информации // Научный Вестник МГТУ ГА. 2011. № 172. С. 122–128.

6. **Кузнецов И.Б.** Методология распределения внимания пилота. СПб.: Политехника, 2012. 167 с.

7. **Айдаркин Д.В., Качан Д.В., Косачевский С.Г.** Разработка критериев для оценки процесса формирования навыков пилотирования в ходе первоначального летного обучения пилотов // Научный вестник УИ ГА. 2017. № 9. С. 91–97.

8. **Sullivan M. III.** Fundamentals of Statistics. 3rd ed. New York: Prentice Hall, 2011. 720 p.

9. **Гмурман В.Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Юрайт, 2014. 479 с.

10. **Brandt S.** Data Analysis. Statistical and Computational Methods for Scientists and Engineers. 4th ed. Springer, 2014. 523 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Косачевский Сергей Григорьевич, кандидат технических наук, доцент, помощник по науке проректора по УНР Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, kosach-51@mail.ru.

Айдаркин Дмитрий Викторович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры летной эксплуатации и безопасности полетов Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, aidarkin.dv@yandex.ru.

Качан Дмитрий Владимирович, начальник летно-методического центра Ульяновского института гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, dmitry.k@inbox.ru.

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS METHODS OF INITIAL PILOTS' PROFESSIONAL TRAINING TO OPERATE THE AIRCRAFT EQUIPPED WITH ELECTRONIC FLIGHT INSTRUMENT SYSTEMS

Sergey G. Kosachevskiy¹, Dmitriy V. Aidarkin¹, Dmitriy V. Kachan¹
¹*Ulyanovsk Civil Aviation Institute, Ulyanovsk, Russia*

ABSTRACT

Nowadays, educational institutions carrying out pilots' training in the Russian Federation use completely new generation aircraft different with high degree of control automatisation (EFIS – Electronic Flight Instrument System). At the same time, the applied methods of flight training are based on studies carried out for aircraft with analog instruments, which does not allow to use new generation aircraft and simulators wide possibilities at their full capacity. Therefore, there is a vital necessity of enhancing the method of pilots' initial professional training that should contain teaching rational methods of distribution and switching visual attention. In 2017 in accordance with the Order of the Federal Air Transport Agency of the Russian Federation in the Ulyanovsk Institute of Civil Aviation a complex of research was carried out that allowed developing the method of initial pilots' flight training

on the aircraft equipped with EFIS. During the research, the oculometric research methods of cadets' distribution and switching attention (the "eye-tracking" technology) were used, which allowed a deeper study of the piloting skills formation and their impact on pilot's operation with EFIS. To assess the effectiveness of the developed methods, two series of experiments involving cadets of Ulyanovsk Institute of Civil Aviation and its branch in Sasovo were conducted. Two types of simulators: L-410 and Diamond 40 NG were used for research purposes. In this article it is proposed to use the correlation coefficient and the Manhattan distance to assess the accuracy of maintaining flight parameters during cadet simulator training. According to the results of the first series of experiments, it was found out that the cadets under the experiment showed a lower level of flight training compared to the control group of cadets. However, after training the group under the experiment on the developed method, a level of flight preparation in the both groups became equal. Statistically significant differences of initial and final levels of flight training for the cadets of the experimental group were observed while cadets of a control group completed the series of experiments without any significant changes. The second series of experiments revealed that the lack of flight practice among the cadets of the experimental group did not prevent them from demonstrating a qualitative level of professional training when practicing on the flight simulator. Such a result was achieved due to the ground preparation of cadets on the developed method what, undoubtedly, indicates its effectiveness.

Key words: pilots' initial training, airplane, electronic flight instrument system, visual distribution and switching, correlation coefficient, Manhattan distance, instrument flight.

REFERENCES

1. **Stolyarov, N.A. and Stolyarov, N.N.** (2016). *Bezopasnost, kontrol parametrov poleta i upravlenie vozдушным судном* [Safety, performance monitoring and aircraft control]. Ulyanovsk: UCAI, 138 p. (in Russian)
2. **Stolyarov, N.A., Kosachevskiy, S.G., Lokaychuk, D.A., Korolev, S.D., Maksimova, V.V., Kalinina, S.A. and Merkulova, A.G.** (2016). *Ekspериментальные исследования распределения и переключения зрительного внимания пилотов самолетов с EFIS* [Experimental Researches of Pilots' Visual Attention Distribution and Switch while Operating EFIS Equipped Aircraft]. *Nauchnyy vestnik UVAU GA* [Scientific herald UHCAS], vol. 8, pp. 50–56. (in Russian)
3. **Mumaw, R.J., Nolic, M.I., Sarter, N.B. and Wickens, C.D.** (2001). *A Simulator Study of Pilots' Monitoring Strategies and Performance on Modern Glass Cockpit Aircraft*. Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting Proceedings, vol. 2, no. 45, pp. 73–77. DOI: 10.1177/154193120104500216.
4. **Kocharovskiy, I.B.** (1972). *Raspredelenie i pereklyuchenie vnimaniya pri polete po priboram* [Distribution and Switching of Attention during Instrument Flight]. Moscow: Voenizdat, 104 p. (in Russian)
5. **Kuznetsov, I.B.** (2011). *Ekspериментальные исследования зрительной деятельности пилота при пилотировании ВС с электронной системой отображения информации* [Experimental Studies of the Pilot's Visual Activity during Piloting Electronic Flight Instrument System Aircraft]. Scientific Bulletin of the Moscow State Technical University of Civil Aviation, no. 172, pp. 122–128. (in Russian)
6. **Kuznetsov, I.B.** (2012). *Metodologiya raspredeleniya vnimaniya pilota* [Methodology of the Pilot's Attention Distribution]. St. Petersburg: Politehnika, 167 p. (in Russian)
7. **Aydarkin, D.V., Kachan, D.V. and Kosachevskiy, S.G.** (2017). *Razrabotka kriteriev dlya otsenki protsessа formirovaniya navykov pilotirovaniya v khode pervonachalnogo letnogo obucheniya pilotov* [Development of Criteria to Assess the Piloting Skills Formation Process during the Ab-initio Pilot Training]. *Nauchnyy vestnik UIGA* [Scientific herald UCAI], no. 9, pp. 91–97. (in Russian)
8. **Sullivan, M. III.** (2011). *Fundamentals of Statistics*. 3rd ed. New York: Prentice Hall, 720 p.
9. **Gmurman, V.E.** (2014). *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Probability Theory and Mathematical Statistics]. Moscow: Yurayt, 479 p. (in Russian)
10. **Brandt, S.** (2014). *Data Analysis. Statistical and Computational Methods for Scientists and Engineers*. 4th ed. Springer, 523 p.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Sergey G. Kosachevskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Assistant for Science of the Vice-rector for Academic Affairs and Research of Air Chief Marshall Bugaev Ulyanovsk Civil Aviation Institute, kosach-51@mail.ru.

Dmitriy V. Aidarkin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Air Chief Marshall Bugaev Ulyanovsk Civil Aviation Institute, aidarkin.dv@yandex.ru.

Dmitriy V. Kachan, the Head of Flight Training Centre of Ulyanovsk Civil Aviation Institute, dmitry.k@inbox.ru.

Поступила в редакцию 22.06.2018
Принята в печать 18.09.2018

Received 22.06.2018
Accepted for publication 18.09.2018