

УДК 629.7.072.4

## ВИДЕООКУЛОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПИЛОТА

**И. Б. Кузнецов,**

канд. техн. наук

Учебно-тренировочный центр, г. Санкт-Петербург

*Приводятся методика и результаты экспериментального исследования зрительной деятельности пилота, обосновывается необходимость обучения и предлагается использование специального оборудования для подготовки пилотов на комплексных и пилотажных тренажерах.*

**Ключевые слова** — авиационный тренажер, распределение, переключение зрительного внимания, пилотажные параметры, система отображения информации.

### Введение

Условия эксплуатации современных воздушных судов (ВС) предъявляют к пилотам высокие профессиональные и психофизиологические требования, соответствие которым является одним из важнейших факторов, влияющих на надежность и безопасность функционирования эргатической авиационной системы (ЭАС) «пилот — ВС — среда». В указанной системе наиболее динамично развивающимися и разработанными остаются технические составляющие. Сравнительно меньшее внимание уделяется пилоту (экипажу), его свойствам и качествам, необходимым для повышения надежности функционирования ЭАС. Повышение эффективности и надежности функционирования ЭАС за счет возможно более полного учета человеческого фактора на всех стадиях проектирования и эксплуатации бортовых систем и наземного оборудования остается одной из актуальных проблем современной авиации.

Анализ статистики безопасности полетов ВС гражданской авиации продолжает показывать значительное количество авиационных происшествий и катастроф, связанных с ошибочной деятельностью летного экипажа [1]. Обобщение результатов анализа аварийных полетов позволяет сделать вывод о том, что основной причиной катастроф в большинстве случаев является потеря экипажами пространственной ориентировки (spatial disorientation). Поэтому умение правильно распределять и переключать зрительное внимание (РПЗВ) на приборы необходимо для обеспечения безопасности в случае возникновения ава-

рийных ситуаций на борту ВС. Следовательно, ни внедрение новых систем навигации и посадки, ни автоматизация управления самолетом, ни оборудование ВС современными интегральными приборами с самой совершенной индикацией не снизили требования к умению летчика своевременно получать необходимую информацию в ожидаемых условиях эксплуатации при усложнении условий полета или отказе авиационной техники.

### Краткий анализ зрительной деятельности пилота

Известно, что 90 % всей информации, необходимой экипажу для выполнения своих профессиональных обязанностей, воспринимается через глаза [2]. При этом непрерывно используемая пилотом в полете индикация пилотажных параметров (ПП) сосредоточена на приборах, дающих информацию о траектории движения ВС и состоянии работы двигателей. Возможное частичное или полное изменение этой информации, вызванное возмущениями в полете или отказами техники, требует постоянного зрительного контроля этих параметров, соотнесения их с заданными и предельно возможными.

Проведенные автором исследования в Учебно-тренировочном центре г. Санкт-Петербурга подтверждают, что проблема правильного распределения зрительного внимания есть как у начинающих, так и у опытных пилотов, имеющих тысячи летных часов [3]. Крайне остро необученность РПЗВ проявляется в условиях минимизации со-

става экипажа (двухчленный экипаж), компьютеризации и автоматизации процесса управления, придающих зрительной деятельности особую важность в условиях возможных отказов техники. Экспериментальные полеты на авиационном тренажере КТС Ту-204 показали, что для удержания самолета на заданной траектории в режиме директорного захода на посадку частота переноса взгляда пилота от одного контролируемого параметра к другому составляет 130–150 переносов взгляда в минуту. В таких условиях предельной зрительной загрузки пилота необходимо выделить основные характеристики распределения зрительного внимания, влияющие на надежность процесса контроля и управления ВС.

При полете по приборам пилоты справедливо отмечают, что большое количество индицируемой информации на панели современного самолета вынуждает часто переключать внимание с одного ПП на другой и, следовательно, прерывать зрительное восприятие. Однако проведенный экспертный опрос членов экипажей показал, что никто из них не может сформулировать правила и назвать оптимальную схему переключения внимания, используемую ими в полете [3].

### Экспериментальное исследование РПЗВ при пилотировании по приборам

Исследования зрительной деятельности пилота в процессе пилотирования ВС по приборам с первых же шагов сталкиваются со значительными трудностями, обусловленными, на первый взгляд, кажущимся случайным характером РПЗВ пилота между различными приборами, высокой вариабельностью зрительных действий пилота, его индивидуальными особенностями и отсутствием непосредственной, детерминированной связи между отдельными проявлениями этой деятельности, выступающими как фиксации взгляда на приборах или на внекабинном пространстве, их результатами или следствиями в виде управляющих действий пилота. На протяжении всего полета пилот непрерывно получает через зрительный канал информацию о пространственном положении ВС, его динамике и работе бортовых систем, однако в каждый конкретный момент полета характер и количество получаемой им информации неизвестны. Более того, принимая во внимание чрезвычайно сложные механизмы получения, переработки и хранения информации пилотом, представляется принципиально невозможным определить характер требуемой пилоту в данный момент полета информации и установить требуемую полетной ситуацией в рассматриваемый момент времени зрительную деятельность пилота.

Особенно важна роль экспериментальных исследований при оценке временных характеристик зрительной деятельности пилота в процессе его взаимодействия с приборной информацией, поскольку от точности фиксаций временных интервалов обращений к приборам, точности идентификации места, к которому направлен взгляд, во многом зависят результаты исследований и выводы по качеству взаимодействия с системой отображения информации (СОИ).

Целью экспериментальных полетов на КТС Ту-204 ставилось получение фактических результатов по маршрутам и временным параметрам РПЗВ пилотом при пилотировании ВС с электронной индикацией СОИ при заходе на посадку в основных (наиболее часто встречающихся) режимах и условиях пилотирования, а также при выполнении аварийного снижения с эшелона и выполнении виражей с максимальными кренами на крейсерских скоростях. Инструментальное исследование и регистрация зрительной деятельности пилота по РПЗВ и запись точки фиксации взгляда (ТФВ) выполнялись на основе метода видеоокулографии с применением прибора NAC Eye Mark Recorder (EMR) [3]. В ходе выполнения экспериментальных полетов данный прибор позволял свободно двигаться голове пилота, определять и записывать визуальную метку движения глаза путем фокусировки освещенной метки, отраженной от глазного яблока. При этом метка накладывалась и записывалась на магнитный носитель вместе с полем зрения пилота — СОИ ВС Ту-204. Прибор размещался в пилотской кабине за спиной командира ВС на штатном месте дополнительного члена экипажа (рис. 1, а, б).

Пример получаемой информации о РПЗВ с помощью прибора NAC EMR в виде метки ТФВ — направления взгляда пилота на фоне электронной СОИ — показан на рис. 2. Дополнительно, в целях синхронизации записей полетов и их расшифровки, проводилась съемка штатной цифровой видеокамерой динамических изменений параметров СОИ.

С помощью специального программного обеспечения выполнялась синхронизация информации о РПЗВ и показаний СОИ. Пример синхронизации информации при заходе на посадку по резервным приборам показан на рис. 3.

Полученные с помощью прибора NAC EMR записи преобразовывались специальным программным обеспечением в стандартные файлы .avi для возможности дальнейшей работы с ними стандартными программами Word. Программа VirtualDub позволила с точностью до 0,04 с произвести расшифровку маршрутов РПЗВ с фиксацией полетного параметра и времени нахождения на нем взгляда (ТФВ) пилотирующего пило-



■ **Рис. 1.** Общий вид прибора NAC EMR: *а* — размещение в кабине ВС Ту-204; *б* — размещение на голове пилота: 1 — оптическая система метки глаза; 2 — записывающий адаптер (специальная видеокамера); 3 — ПЭВМ со специальным программным обеспечением



■ **Рис. 2.** Изображение записи метки, фиксирующей взгляд пилота



■ **Рис. 3.** Синхронизация СОИ и метки ТФВ пилота

та. При расшифровке объективно накладывалось ограничение, при котором принималась во внимание только физическая (внешняя) дискретность поступления информации о ПП и не учитывалось доминантное состояние психики, при котором пилот смотрит на ПП и не воспринимает его параметры. Пример расшифровки маршрутов РПЗВ пилота показан в табл. 1.

Зафиксированные экспериментальные данные содержат информацию о маршрутах РПЗВ и времени нахождения взгляда пилота на ПП, соответствующих основным режимам захода на посадку современных ВС с электронными СОИ, а также при пилотировании по электромеханическим СОИ при заходе на посадку по резервным приборам. Полученные результаты могут быть

■ **Таблица 1.** Пример отображения расшифрованных экспериментальных результатов

№ пп.	Параметр	Маршрут и время на параметре, с							
1	$V_{\text{прибор}}$		0,24			0,36			
2	$V_{\text{вертикаль}}$								
3	Директорные стрелки	1,48		1,36			0,92		2,32
4	$H$ (высота)								0,32
5	Стрелки курса глиссадной системы						0,76		
6	Крен								
7	Вне ПП								
8	Курс								
9	Угол атаки				0,6				



использованы для систематизации, обобщения и анализа в целях подтверждения и уточнения соответствия теоретических закономерностей и общих принципов РПЗВ пилотом в процессе летной эксплуатации современных ВС [4, 5].

### Обработка и обобщение экспериментальных исследований РПЗВ пилота

Обработку экспериментально полученных результатов можно производить по следующим направлениям.

1. Расчет среднего времени нахождения взгляда пилотирующего пилота (ТФВ) на ПП в зависимости от режима и этапа захода на посадку:

$$T_{\text{ТФВ}}^{\text{ср}} = \frac{T_{\text{полета}}^{\Sigma}}{N_{\text{ТФВ}}^{\Sigma}},$$

где  $T_{\text{полета}}^{\Sigma}$  — суммарное время полета;  $N_{\text{ТФВ}}^{\Sigma}$  — общее количество переносов ТФВ за полет.

2. Расчет относительного времени к общему времени нахождения взгляда пилота на ПП в зависимости от этапа полета:

$$T_{\text{ТФВ}}^{\%} = \frac{T_{\text{ПП}}^{\Sigma} \times 100}{T_{\text{этапа}}^{\Sigma}},$$

где  $T_{\text{ПП}}^{\Sigma}$  — суммарное время нахождения ТФВ на ПП;  $T_{\text{этапа}}^{\Sigma}$  — время полета на этапе захода на посадку.

3. Расчет интервалов между фиксацией взгляда на ПП:

$$\Delta_{\tau} = \frac{\Sigma(\Delta_{\tau 1} + \dots + \Delta_{\tau i})}{N_{\text{инт}}},$$

где  $N_{\text{инт}}$  — общее количество интервалов между конкретным ПП.

■ **Таблица 2.** Заход на посадку в автоматическом режиме / по резервным приборам

Вид маршрута РПЗВ	Удельный вес маршрута по полетам, %					
	Пилот 1	Пилот 2	Пилот 3	Пилот 4	Пилот 5	Пилот 6
Одномаршрутный	53,2	48,9	28,6	42,9	41,8	33,3
	Нет	76,0	56,9	48,5	16,1	53,5
Двухмаршрутный	29,8	27,2	25	28,6	26,6	12,1
	Нет	14,6	8,6	12,1	Нет	20,2
Трехмаршрутный	12,8	14,1	26,8	12,2	15,2	12,1
	Нет	5,2	5,2	12,1	22,6	13,1
Четырехмаршрутный	0,7	3,3	5,4	4,1	3,8	15,2
	Нет	3,1	10,3	4,6	9,7	4,1
Более четырех	3,5	6,5	14,2	12,2	12,6	27,3
	Нет	1,1	19	22,7	51,6	9,1

4. Расчет маршрутов РПЗВ пилотирующего пилота в различных режимах пилотирования; классификацию маршрутов целесообразно выполнять по количеству ПП в цикле.

Примеры полученных результатов подсчетов маршрутов РПЗВ пилотом при заходе в автоматическом режиме и при пилотировании по резервным приборам представлены в табл. 2.

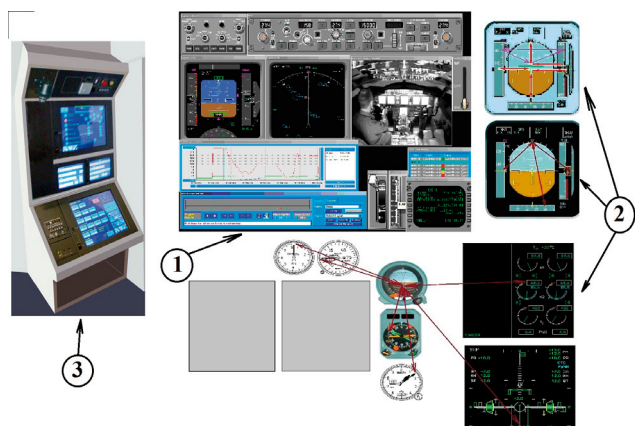
Анализ зафиксированных средствами объективного контроля КТС Ту-204 параметров пролета контрольных точек схемы захода на посадку показал, что пилоты 3, 4 и 5 допустили условное авиационное происшествие при заходе на посадку по резервным приборам и практически не справились с пилотированием в созданных условиях. Причина условных происшествий заключается в том, что у данных пилотов присутствуют маршруты РПЗВ с четырьмя и более (в ряде случаев до восемнадцати) ПП в одном цикле, что и привело к потере контроля за положением ВС при пилотировании по приборам.

### Заключение

На этапе развития авиации подготовка пилотов к правильному распределению зрительного внимания в процессе управления ВС сводилась к соблюдению простейшего правила: «...капот-горизонт-капот...». Но на современных самолетах уже нет капотов, не всегда наблюдается горизонт, и управлять ВС приходится по приборам, что, несомненно, требует нахождения новых правил и технических средств обучения. Поэтому на данном уровне изученности процесса взаимодействия пилота с приборной информацией наиболее правомерным и перспективным направлением разработки новых методов подготовки экипажей является поиск общих принципов организации зрительной деятельности пилота, исключающей непреднамеренный выход за пределы эксплуатационных ограничений.

Проведенные исследования показали, что количество ПП в цикле РПЗВ пилотирующего пилота является скрытым параметром техники пилотирования (летного мастерства), который явно не виден, не фиксируется средствами объективного контроля ВС, отсутствует в нормативах (критериях) техники пилотирования и субъективно не оценивается контролирующим пилотом в процессе тренировки и проверки экипажа ВС. Данный параметр оказывает доминирующее влияние на точность пилотирования на наиболее напряженных этапах и в усложненных условиях летной эксплуатации ВС, является в большинстве случаев основной причиной авиационных происшествий.

Предлагается при разработке новых комплексных и пилотажных тренажеров оснащать их ста-



■ **Рис. 4.** Информация на пульте инструктора тренажера с возможными вариантами графического изображения маршрутов РПЗВ пилотирующего пилота: 1 — индикация записи параметров тренировочного полета; 2 — возможные варианты графического изображения маршрутов РПЗВ пилота; 3 — общий вид пульта инструктора внутри кабины тренажера

ционарными системами записи на основе использования стационарных систем видеоокулографии с возможностью оперативной расшифровки маршрутов РПЗВ пилотирующего пилота и индикацией обработанной информации на дисплей инструктора. Пример возможных вариантов вывода графической информации о маршрутах РПЗВ пилотирующего пилота представлен на рис. 4.

Таким образом, основываясь на сформулированных ранее принципах оптимального распре-

деления зрительного внимания пилота при пилотировании по приборам [4, 5], используя оперативную информацию о фактических маршрутах РПЗВ, полученную с применением встроенного в приборную доску тренажера стационарного оборудования видеоокулографии, инструктор тренажера может выполнить объективный анализ и внести корректирующие воздействия в тренировочный процесс обучаемого пилота.

## Литература

1. **Анализ** состояния безопасности полетов в гражданской авиации РФ в 2010 году / Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация). — М., 2011. — 70 с.
2. **Боднер В. А.** Оператор и летательный аппарат. — М.: Машиностроение, 1976. — 222 с.
3. **Кузнецов И. Б.** Экспериментальные исследования зрительной деятельности пилота при пилотировании ВС с электронной системой отображения информации // Науч. вестник МГТУ ГА. 2011. № 172(10). С. 120–126.
4. **Кузнецов И. Б., Столяров Н. А.** Формирование основных закономерностей взаимодействия пилота с приборным оборудованием // Полет. 2011. № 7. С. 22–26.
5. **Кузнецов И. Б.** Закономерности распределения внимания пилота, определяемые аэродинамическими характеристиками и точностью пилотирования // Полет. 2011. № 9. С. 26–31.