

УДК 629.05; 629.058

Е.И. Степнова, С.К. Киселев

АДАПТАЦИЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОННОЙ ИНДИКАЦИИ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Степнова Елена Ивановна, окончила факультет информационных систем и технологий Ульяновского государственного технического университета, аспирант кафедры «Измерительно-вычислительные комплексы» УлГТУ. Инженер первой категории АО «Аэроприбор-Восход». Имеет статьи в области приборостроения. [e-mail: seistep1992@yandex.ru].

Киселев Сергей Константинович, доктор технических наук, окончил Ульяновский политехнический институт по специальности «Авиаприборостроение», заведующий кафедрой «Измерительно-вычислительные комплексы» УлГТУ. Имеет монографии, статьи, изобретения в области приборостроения. [e-mail: ksk@ulstu.ru].

Аннотация

Одной из наиболее актуальных задач в гражданской авиации продолжает оставаться обеспечение безопасности полетов воздушного судна (ВС), несмотря на то, что на сегодняшний день авиация является самым безопасным видом транспорта. Особое внимание при этом уделяется «человеческому фактору», поскольку он оказывает значительное влияние на обеспечение безопасности.

В статье проанализирована зрительная нагрузка пилота отображаемой пилотажно-навигационной информацией ВС на этапе посадки и рассмотрен способ ее снижения. Проанализирован принцип взаимодействия пилота с авиационным оборудованием. Определены пилотажные параметры, повышающие зрительную нагрузку пилота, но при этом не влияющие на успешное выполнение посадки летательного аппарата. Обоснована необходимость адаптивного отображения пилотажной информации на экране индикатора на этапе посадки летательного аппарата. Предложенный адаптивный способ отображения пилотажно-навигационной информации позволяет снизить зрительную нагрузку пилота, что способствует увеличению качества пилотирования и обеспечению безопасности полетов.

Ключевые слова: пилотажно-навигационный индикатор, система электронной индикации, воздушное судно, адаптация отображения, нагрузка пилота.

doi: 10.35752/1991-2927-2020-3-61-13-20

ADAPTATION OF DISPLAYED FLIGHT AND NAVIGATION DATA IN THE AIRCRAFT ELECTRONIC DISPLAY SYSTEM

Elena Ivanovna Stepnova, graduated from the Faculty of Information System and Technologies of Ulyanovsk State Technical University; Postgraduate Student of the Department of Measuring and Computing Systems of UISTU; an engineer of Aeropribor-Voskhod, JSC; an author of articles in the field of instrumentation. e-mail: seistep1992@yandex.ru.

Sergei Konstantinovich Kiselev, Doctor of Sciences in Engineering; graduated from Ulyanovsk Polytechnic Institute with a degree in Aircraft and Instrument Engineering; Head of the Department of Measuring and Computing Systems of UISTU; an author of monographs, articles, inventions in the field of instrumentation. e-mail: ksk@ulstu.ru.

Abstract

The problem of flight safety continues to be of great importance in civil aviation, despite today aviation is the safest mode of transport. Particular attention is paid to the human factor, since it has a significant impact on safety.

The article analyzes the impact of eye strain caused by displayed flight navigation data on a pilot during landing and discusses how to reduce it. It considers how the pilot interacts with aircraft equipment. The flight data, increasing eye strain, but having no effects on successful landing of the aircraft is specified. The article substantiates the necessity of adaptive display of flight data on the screen during landing. The proposed adaptive method for displaying flight navigation data is supposed to reduce the pilot's eye strain, which contributes to improved quality of piloting and ensures flight safety.

Key words: flight and navigation display, electronic display system, aircraft, display adaptation, pilot's eye strain.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время сложно представить приборную панель кабины летательного аппарата без систем электронной индикации. Цифровые системы практически полностью вытеснили механические приборы. Основным преимуществом электронных индикаторов является то, что они одновременно отображают значения десятков параметров и сигналов.

Основной тенденцией при совершенствовании авиационной техники является рост числа контролируемых параметров и сокращение числа членов экипажа, увеличение общего количества полетов и времени налета.

Согласно исследованию [1], больше всего происшествий с человеческими жертвами случается во время этапа приземления (24%) и финального захода на посадку (24%). Процентное отношение несчастных случаев на всех этапах пилотирования воздушного судна (ВС) представлено на рисунке 1.

Аналогично, по данным ICAO значительное число катастроф и тяжелых авиационных происшествий происходит на этапе захода на посадку и приземления ВС.

На данный момент современное бортовое оборудование позволяет автоматизировать процесс пилотирования ВС, что значительно снижает нагрузку пилота. Однако применение автоматизации может привести к излишней самоуверенности пилота и доверию к технике. Чтобы этого не произошло, автоматизируются только те функции системы, которые выполняют рутинную работу, связанную с вычислениями [2]. Такое распределение функций позволяет пилоту не отвлекаться от управления ВС и контролировать пилотажно-навигационную обстановку.

АДАПТАЦИЯ ОТОБРАЖЕНИЯ ПИЛОТАЖНО-НАВИГАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Достаточно часто фактором, вызывающим авиационное происшествие или способствующим ему, является ошибка человека [3, 4].

Основная сложность работы пилота заключается в том, что он за ограниченный интервал времени должен воспринять всю информацию, выводимую на индикацию, оценить текущее состояние ВС, сравнить его с необходимым, проанализировать возможные варианты действий, принять решение и выполнить необходимые действия.

У пилота ВС гражданской авиации (ГА) показатели зрительной нагрузки значительно превышают максимальные значения, установленные Руководством Р 2.2.2006-05 «Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда» [5].

Так, длительность сосредоточенного наблюдения составляет в среднем 90% от полетного времени, плотность сигналов (световых, звуковых) и сообщений от 466 до 2262 за 1 час полетного времени, число объектов одновременного наблюдения в среднем за полетную смену от 30 до 36 [6].

Одним из вариантов снижения зрительной нагрузки пилота является адаптация пилотажно-навигационной информации, выводимой на индикацию, под этапы полета ВС [6]. При адаптации интерфейс «пилот-ВС» не остается неизменным в течение всего полета, а перестраивается в зависимости от этапа и складывающейся ситуации. Адаптация вывода информации позволяет [7]:

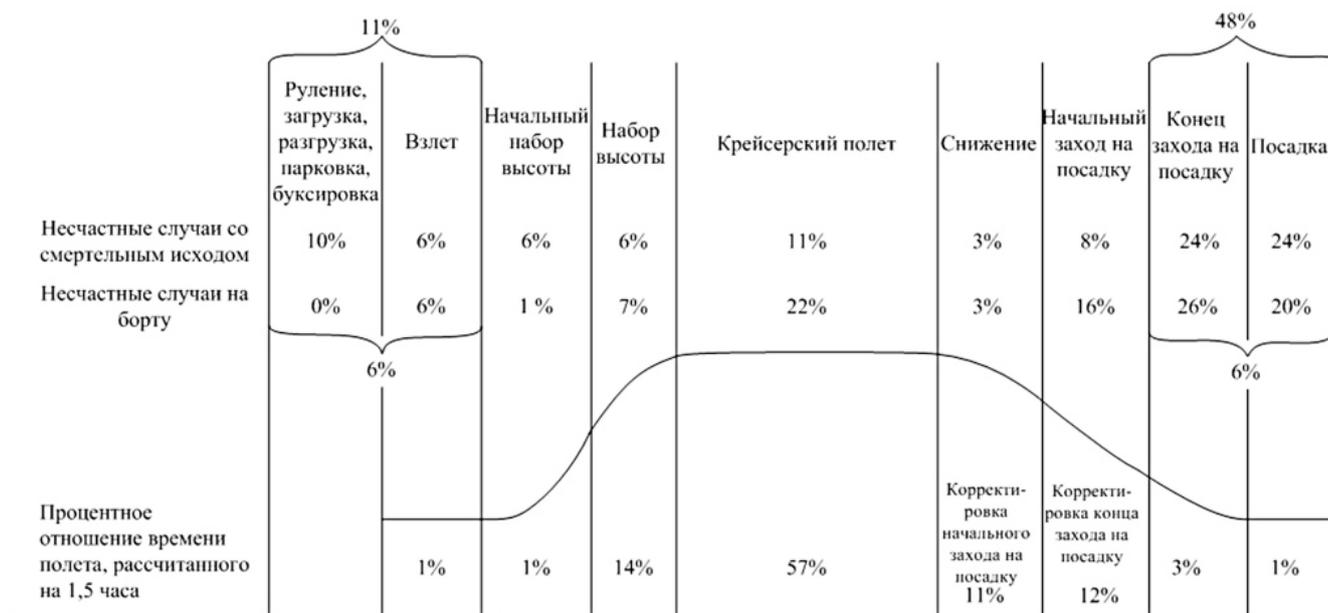


Рис. 1. Процентное отношение несчастных случаев со смертельным исходом и несчастных случаев на борту ВС

- снизить зрительную нагрузку пилота по пилотажно-навигационной информации;
- обеспечить безопасность полета за счет увеличения времени на обработку и принятие решения.

Вопросы адаптации информационного взаимодействия «пилот-ВС» решаются на основе учета психологического состояния пилота [8], с учетом требований эргономики [9].

При адаптивном отображении информации выполняются не только функции контроля и предупреждения, но также и определения текущего уровня безопасности полета, идентификации вида возникающей ситуации, прогнозирования ее развития, формирования своевременных команд экипажу и управляющих сигналов, позволяющих корректировать алгоритмы управления ВС [10].

АДАПТИВНЫЙ СПОСОБ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

Адаптивный способ отображения информации заключается в определении этапа полета ВС и отображении пилотажно-навигационной информации, необходимой на нем.

Для обеспечения безопасности полета ВС при адаптивном способе отображения информации при

приближении к опасным режимам пилотажные параметры (ПП), не отображаемые на данном этапе полета, выводятся на индикацию.

Логику адаптивного способа отображения пилотажно-навигационной информации можно наглядно представить выражением:

$$O = (\mathcal{E}_1 \cap Y_1) \cup (\mathcal{E}_1 \cap Y_2) \cup (\mathcal{E}_1 \cap Y_3) \cup (\mathcal{E}_2 \cap Y_4) \cup (\mathcal{E}_2 \cap Y_5) \cup \dots \cup (\mathcal{E}_i \cap Y_k), \quad (1)$$

где O – отображение пилотажно-навигационной информации;

$\mathcal{E}_1 \dots \mathcal{E}_i$ – этапы полета ВС;

$Y_1 \dots Y_k$ – дополнительные условия отображения пилотажно-навигационной информации;

\cap – операция логическое «И»;

\cup – операция логическое «ИЛИ».

Этапы полета ВС определяются видом решаемой задачи и характером выполняемой экипажем работы [11].

Условия отображения пилотажно-навигационной информации представляют собой комбинации этапов полета и определенных условий, накладываемых на выведение информации. Дополнительные условия отображения пилотажно-навигационной информации следующие:

$$\begin{aligned} Y_1 &= \mathcal{E}_1 \cap C_1 \cap \overline{C_2} \cap \overline{C_3} = \Pi_1 \cap \Pi_2 \cap \Pi_3 \cap \dots \cap \Pi_l, \\ Y_2 &= \mathcal{E}_1 \cap C_1 \cap C_2 \cap \overline{C_3} = \Pi_1 \cap \Pi_2 \cap \Pi_3 \cap \dots \cap \Pi_m, \\ &\dots \\ Y_k &= \mathcal{E}_i \cap C_1 \cap C_2 \cap C_3 = \Pi_1 \cap \Pi_2 \cap \Pi_3 \cap \dots \cap \Pi_n, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\Pi_1 \dots \Pi_l, \Pi_1 \dots \Pi_m, \Pi_1 \dots \Pi_n$ – элементы ПП, выводимые на индикацию;

C_1 – нормальные условия отображения;

C_2 – условия наличия нажатых кнопок на пульте управления;

C_3 – условия наличия приближения ПП к предельным значениям;

$\overline{C_2}$ – отсутствие условий наличия нажатых кнопок;

$\overline{C_3}$ – отсутствие условий приближения к предельным значениям.

Анализ руководства по летной эксплуатации ВС и действий пилотов во время выполнения посадки позволяет определить параметры, необходимые для выполнения посадки ВС.

Так на этапе посадки основными параметрами, которые необходимо выводить на индикацию до высоты принятия решения (ВПР), являются: угол атаки (Π_1), приборная скорость (Π_2), символ самолета (Π_3), авиагоризонт (Π_4), крен (Π_5), тангаж (Π_6), команды директорного управления (Π_7), режим управления полетом и тягой двигателей (Π_8), барометрическая

высота (Π_9), вертикальная скорость (Π_{10}), отклонение от глиссады и курса посадки (Π_{11}), радиовысота (Π_{12}), ВПР (Π_{13}), курсовая информация (Π_{14}), дальность до всенаправленных дальномерных радиомаяков (англ. Distance Measure Equipment, DME) (Π_{15}), расстояние и время до поворотного пункта маршрута (Π_{16}). При этом на индикацию могут не выводиться: боковая перегрузка, символ безопасности, воздушная обстановка от системы предупреждения столкновений (СПС), признаки и частоты настройки бортовых радиосредств.

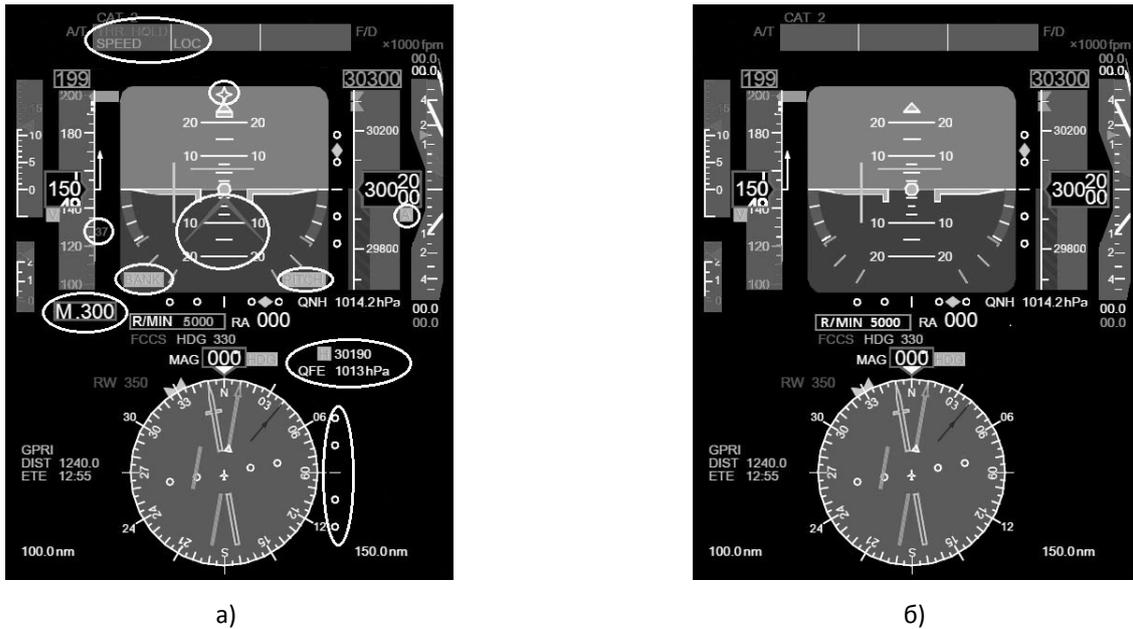


Рис. 2. Отображение информации на экране пилотажно-навигационного индикатора на этапе посадки до ВПР: а) на данный момент, б) при адаптивном способе отображения

Логике работы адаптивного способа отображения пилотажно-навигационной информации для этапа посадки ВС при нормальных условиях можно представить следующим выражением:

$$O = (\mathcal{E}_7 \cap Y_{25}) = \mathcal{E}_7 \cap (\mathcal{E}_7 \cap C_1 \cap \overline{C_2} \cap \overline{C_3}) = \Pi_1 \cap \Pi_2 \cap \Pi_3 \cap \dots \cap \Pi_{16}. \quad (3)$$

Пример изменения количества отображаемой навигационной информации для этапа посадки ВС при нормальных условиях представлен на рисунке 2.

Реализацию логики адаптивного способа отображения информации для этапа посадки ВС при нормальных условиях можно представить в виде блок-схемы (рис. 3).

На рисунке 3:

- \mathcal{E} – этап полета ВС;
- \mathcal{E}_7 – этап посадки до ВПР;
- Y_{25} – условия отображения пилотажно-навигационной информации при нормальных условиях на этапе посадки до ВПР;
- Y_{26} – условия отображения пилотажно-навигационной информации при наличии нажатых кнопок на пульте управления на этапе посадки до ВПР;
- Y_{27} – условия отображения пилотажно-навигационной информации при наличии приближения ПП к предельным значениям на этапе посадки до ВПР;
- Y_{28} – условия отображения пилотажно-навигационной информации при наличии нажатых кнопок и приближения ПП к предельным значениям на этапе посадки до ВПР;
- O_{25} – отображение пилотажно-навигационной информации при нормальных условиях на этапе посадки до ВПР;

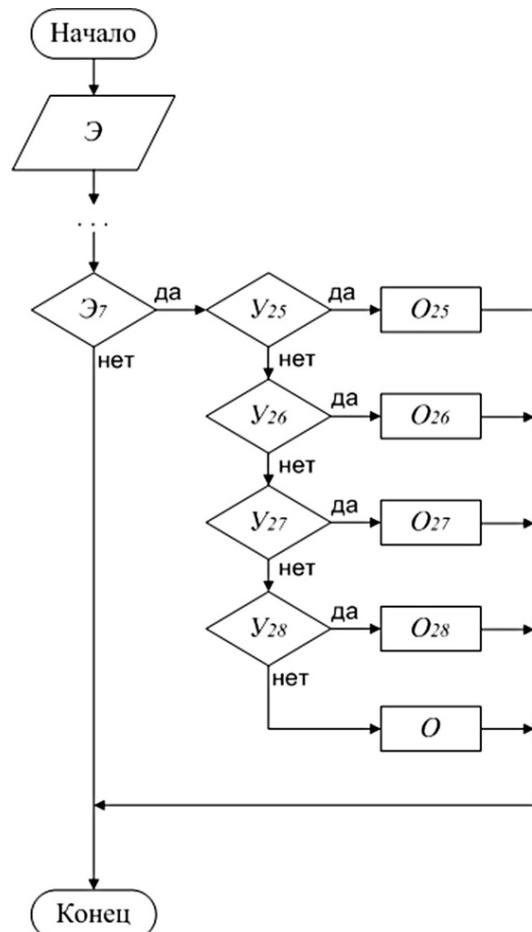


Рис. 3. Блок-схема адаптивного способа отображения информации для этапа посадки ВС при нормальных условиях

- O_{26} – отображение пилотажно-навигационной информации при наличии нажатых кнопок на пульте управления на этапе посадки до ВПР;

- O_{27} – отображение пилотажно-навигационной информации при наличии приближения ПП к предельным значениям на этапе посадки до ВПР;

- O_{28} – отображение пилотажно-навигационной информации при наличии нажатых кнопок и приближения ПП к предельным значениям на этапе посадки до ВПР;

- O – отображение пилотажно-навигационной информации.

Аналогично можно выделить основные параметры, которые необходимо выводить на индикацию при выполнении других этапов полета, и определить логику их отображения в зависимости от складывающейся ситуации.

ОЦЕНКА ЗРИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Относительная зрительная нагрузка пилота по отображаемой пилотажно-навигационной информации рассчитывается по формуле [12, 13]:

$$\lambda = T_{\phi} \sum_{i=1}^N f_i + T_n \sum_{n=1}^K f_n, \tag{4}$$

где λ – относительная зрительная нагрузка пилота по параметрической видеоинформации;

T_{ϕ} – среднее время снятия пилотом показания с индикатора;

f_i – минимально необходимая частота наблюдения i -го пилотажного параметра $i = 1, \dots, N_n$;

N_n – число визуализируемых n -м прибором ПП;

T_n – средняя продолжительность переноса взгляда пилота с одного прибора на другой;

f_n – информативная частота n -го прибора.

Поскольку для оценки зрительной нагрузки пилота рассматривается один ПП, то T_n и f_n принимаем равными 0. Отсюда следует, что относительная зрительная нагрузка пилота по параметрической видеоинформации может быть определена по формуле:

$$\lambda = T_{\phi} \sum_{i=1}^N f_i. \tag{5}$$

Относительная зрительная нагрузка пилота фактически показывает отношение затраченного времени по наблюдению ПП и длительности этапа полета. При этом должно выполняться неравенство:

$$\lambda \leq 1. \tag{6}$$

При $\lambda = 1$ пилот тратит все время этапа полета на зрительный контроль ПП и не имеет резерва времени. При $\lambda < 1$ зрительная нагрузка пилота меньше максимально допустимой и пилот обладает резервом времени. При $\lambda > 1$ зрительная нагрузка по контролю ПП превышает предельно допустимую нагрузку.

Согласно [14], продолжительность фиксации взгляда составляет 0,25–0,65 с. Оптимальное время снятия пилотом показаний должно быть не меньше 0,35 с. Снижение этого параметра до 0,3 с приводит к увеличению потока информации, что требует от пилота повышение скорости ее переработки на 1/3.

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ЗРИТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ

Результаты расчетов зрительной нагрузки пилота по параметрической информации на этапе посадки приведены в таблице. Расчет зрительной нагрузки пилота рассчитан при нормальном полете.

Таблица

Результаты расчетов зрительной нагрузки пилота по параметрической видеоинформации на этапе посадки до ВПР

Параметры	Частота наблюдения пилотажного параметра, Гц					
	Этап посадки до ВПР		Этап посадки после ВПР		Этап пробега	
	Было	Стало	Было	Стало	Было	Стало
Угол атаки	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138	0,138
Приборная скорость	0,147	0,132	0,147	0,132	0,132	0,132
Символ самолета	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092
Авиагоризонт	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092
Крен	0,258	0,172	0,258	0,172	0,258	0,172
Тангаж	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35
Боковая перегрузка	0,184	-	0,184	-	0,184	-
Команды директорного управления	0,184	0,184	0,184	0,184	0,184	-
Символ безопасности	0,184	-	0,184	-	0,184	-
Режим управления полетом и тягой двигателей	0,123	0,061	0,123	0,061	0,061	0,02
Сигнальная информация	-	-	-	-	-	-

Параметры	Частота наблюдения пилотажного параметра, Гц					
	Этап посадки до ВПР		Этап посадки после ВПР		Этап пробега	
	Было	Стало	Было	Стало	Было	Стало
Барометрическая высота	0,154	0,115	0,154	0,115	0,154	-
Вертикальная скорость	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	-
Отклонение от глиссады и курса посадки	0,1	0,1	0,1	0,1	-	-
Радиовысота	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	-
Высота принятия решения	0,123	0,061	0,123	0,061	0,123	-
Курсовая информация	0,159	0,159	0,159	0,159	0,123	0,074
Воздушная обстановка от СПС	-	-	-	-	-	-
Признаки и частоты настройки бортовых радиосредств	-	-	-	-	-	-
Дальность до радиомаяков DME	0,092	0,092	0,092	0,092	0,092	-
Расстояние и время до поворотного пункта маршрута (ППМ)	0,184	0,184	0,184	-	0,184	-
Нормальная перегрузка	0,082	0,082	0,082	0,082	0,082	-
Сумма f_i , Гц	3,191	2,559	3,191	2,375	2,978	1,07
T_{ϕ} , с	0,35					
λ	1,117	0,9	1,118	0,831	1,042	0,375

Графическое представление полученных результатов представлено на рисунке 4.

Как видно из вычислений зрительной нагрузки (табл.) и графического представления расчетов зрительной нагрузки пилота (рис. 4) при выводе на отображение пилотажно-навигационной информации, необходимой на определенном этапе полета, на этапе посадки ВС до ВПР зрительная нагрузка пилота снизилась на 19%, на этапе посадки после ВПР – на 26%, на этапе пробега – на 64%.

Информация, не отображаемая на основном кадре, выводится в дополнительном кадре, по запросу пилота. Таким образом, пилот имеет доступ к дополнительной информации, необходимой ему для оценки пилотажной ситуации и принятия решения. Также для безопасности полета, для каждого параметра определены границы предельно-допустимых значений. При приближении к пороговым значениям пилоту будет просигнализировано о приближении к предельно-допустимым значениям. Если на данном этапе полета параметр не отображался, то при приближении этого параметра к пороговому значению, он выводится на индикацию.

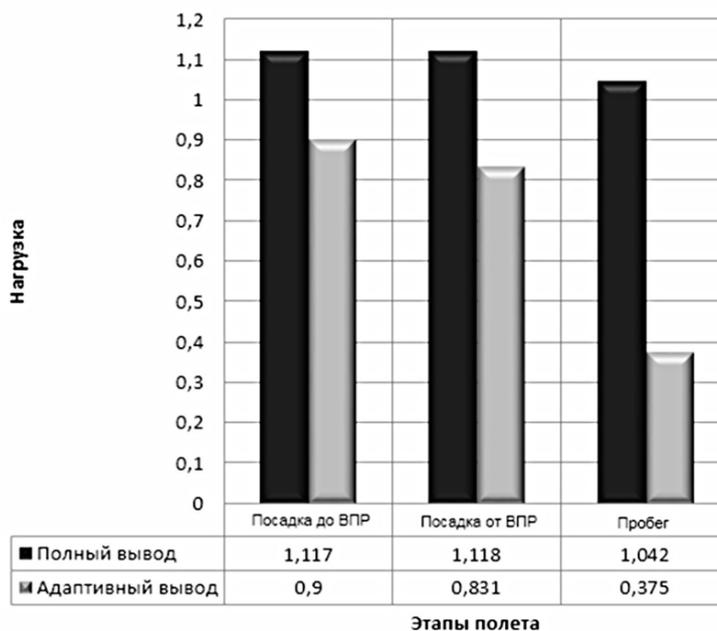


Рис. 4. Зрительная нагрузка пилота на этапе посадки

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования показали, что при применении адаптивного способа отображения пилотажно-навигационной информации на экране многофункционального индикатора зрительная нагрузка членов экипажа на этапе посадки снижается и у пилотов

появляется резерв времени для оценки полетной обстановки, правильного и надежного восприятия информации, ее переработки и принятия решения, что в свою очередь ведет к увеличению качества пилотирования и обеспечению безопасности. Анализ действий экипажа на этапе посадки позволил определить пилотажно-навигационные параметры, которые необходимы для выполнения пилотажной задачи, и параметры, которые могут не отображаться на основном кадре. Однако полностью исключить отображение данных параметров нельзя, поскольку пилот является основным звеном в управлении самолетом и у него должен быть доступ ко всей информации для принятия верного решения. Если значения параметров в ходе выполнения полета приближаются к предельным, то они должны быть автоматически выведены на индикацию, для того чтобы пилот заранее смог оценить ситуацию и предпринять меры для устранения неполадки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959-2016 : Boeing. 2016. URL : <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/4239.pdf> (дата обращения: 05.05.2020).
2. Ключев Г.И., Макаров Н.Н., Солдаткин В.М. Авиационные приборы и системы : учеб. пособие / под ред. В.А. Мишина. Ульяновск : УлГТУ, 2000. 343 с.
3. Психологические аспекты проблемы «человеческого фактора» в авиационной аварийности. Анализ и стратегия профилактики / А.В. Ключев, А.Н. Качалкин, Э.Б. Диденко, В.Е. Овчаров, Н.Г. Горбач. М. : Текст, 1996. 85 с.
4. Обеспечение безопасности полетов при управлении воздушным движением : учеб. пособие / сост. М.В. Стионов, Д.А. Князевский. Ульяновск : УВАУ ГА (И), 2010. 67 с.
5. Руководство Р 2.2.2006-05 «Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда». ГУ НИИ медицины труда Российской академии медицинских наук. М. : Альфа-Пресс, 2010. 120 с.
6. Отчет о научно-исследовательской работе «Разработка и апробация методики оценки напряженности по показателям сенсорной нагрузки членов экипажа летных и кабинных экипажей воздушных судов гражданской авиации (заключительный)». М. : ФГБНУ «НИИ МТ», 2018. 135 с.
7. Авиационные приборы, измерительно-вычислительные системы и комплексы. Принципы построения, алгоритмы обработки информации, характеристики и погрешности : учеб. пособие / В.М. Солдаткин [и др.] ; под ред. В.М. Солдаткина ; Казан. нац. исслед. техн. ун-т им. А.Н. Туполева – КАИ. Казань : КГТУ, 2014. 525 с.
8. Меликова М.Б. Психологические проблемы организации информационного взаимодействия «пилот-интеллектуальный интерфейс» для перспективных самолетов : дис. ... канд. психол. наук : 19.00.03. М. 1998. 184 с.
9. Чунтул А.В. Эргономическое обеспечение разработки современных и перспективных систем «экипаж-вертолет-среда» // Эргодизайн. 2019. № 4. С. 147–155.
10. Степнова Е.И., Киселев С.К. Адаптивная обработка пилотажно-навигационной информации // Радиолокация, навигация, связь : сб. тр. XXV Междунар. науч.-техн. конф. (г. Воронеж, 16–18 апреля 2019 г.) : в 6 т. / Воронежский государственный университет ; АО «Концерн «Созвездие». Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2019. С. 150–155.
11. Инструкция по взаимодействию и технологии работы членов экипажа самолета Ту 154М / П.А. Косых, В.Н. Перевертайло, О.Ю. Гайдышева, И.В. Белова. Новосибирск, изд. НПФ «Бэсттек-Авиа», 2001. 154 с.
12. Столяров Н.А., Кузнецов И.Б. Эргономические основы совершенствования отображения приборной информации // Научный вестник МГТУ ГА. 2013. № 192. С. 96–101.
13. Кузнецов И.Б. СОИ с интегральными полетными параметрами // Вопросы теории. Мир транспорта. 2012. № 01. С. 16–20.
14. Кучерявый А.А. Бортовые информационные системы / Курс лекций / под. ред. В.А. Мишина и Г.И. Ключева. 2-е изд., перераб. и доп. Ульяновск : УлГТУ, 2004. 504 с.

REFERENCES

1. *Statistical Summary of Commercial Jet Airplane Accidents Worldwide Operations 1959-2016*. Boeing. 2016. Available at: <https://www.skybrary.aero/bookshelf/books/4239.pdf> (accessed 05.05.2020).
2. Klyuev G.I., Makarov N.N., Soldatkin V.M. *Aviatsionnye pribory i sistemy*. Ucheb. posobie pod red. V.A. Mishina [Aircraft Instruments and Systems. Study Guide edited by V.A. Mishin]. Ulyanovsk, UISTU Publ., 2000. 343 p.
3. Klyuev A.V., Kachalkin A.N., Didenko E.B., Ovcharov V.E., Gorbach N.G. *Psikhologicheskie aspekty. Problemy "chelovecheskogo faktora" v aviatsionnoi aviarnosti. Analiz i strategii profilaktiki* [Psychological Aspects. The factor of "Human Error" in Aviation Accidents. Analysis and Prevention Strategy]. Moscow, Tekst Publ., 1996. 85 p.
4. Stionov M.V., Kniizevskii D.A. *Obespechenie bezopasnosti poletov pri upravlenii vozdushnym dvizheniem. Ucheb. posobie* [Ensuring Flight Safety in Air Traffic Control. Study Guide]. Ulyanovsk, UVAU GA (I) Publ., 2010. 67 p.
5. *Rukovodstvo R 2.2.2006-05. Gigiena truda. Rukovodstvo po gigienicheskoj otsenke faktorov rabochei sredy i trudovogo protsesssa. Kriterii i klassifikatsiia uslovii truda. GU NII meditsiny truda Rossiiskoi akademii meditsinskikh nauk* [Guidance R 2.2.2006-05. Occupational Health. Guidelines for the Hygienic Assessment of Working Environment and Labor Factors. Criteria and Classification

of Working Conditions. State Research Institute of Occupational Medicine of the Russian Academy of Medical Sciences]. Moscow, Alfa-Press, 2010. 120 p.

6. *Otchet o nauchno-issledovatel'skoi rabote "Razrabotka i aprobatsiia metodiki otsenki napriazhennosti po pokazateliam sensornoi nagruzki chlenov ekipazha letnykh i kabinnykh ekipazhei vozdushnykh sudov grazhdanskoi aviatsii (zakliuchitel'nyi)"* [Report on Research Work "Development and Testing of a Methodology for Assessing Tension According to the Sensory Load Indicators of Crew Members of Summer and Cabin Crews of Civil Aircraft (final)".]. Moscow, FGBNU "NII MT" Publ., 2018. 135 p.

7. Soldatkin V.M. et al. *Aviatsionnye pribory, izmeritel'no-vychislitel'nye sistemy i komplekсы. Printsipy postroeniia, algoritmy obrabotki informatsii, kharakteristiki i pogreshnosti*. Ucheb. posobie pod red. V.M. Soldatkina [Aviation Devices, Measuring and Computing Systems and Complexes. The Principles of Construction, Information Processing Algorithms, Characteristics and Errors. Study Guide, eds. V.M. Soldatkin]. Kazan, KSTU Publ., 2014. 525 p.

8. Melikova M.B. *Psikhologicheskie problemy organizatsii informatsionnogo vzaimodeistviia "pilot-intellektualnyi interfeis" dlia perspektivnykh samoletov*. Dis. kand. psikhol. nauk, 19.00.03. [Psychological Problems of the 'Pilot-to-Intelligent Interface' Information Interaction for Advanced Aircrafts. Cand. Psychol. Diss.]. Moscow, 1998. 184 p.

9. Chuntul A.V. Ergonomicheskoe obespechenie razrabotki sovremennykh i perspektivnykh sistem "ekipazh-vertolet-sreda" [Ergonomic Support for the Development of Modern and Advanced Systems "Crew-Helicopter-

Environment"]. *Ergodizain* [Ergodesign], 2019, no. 4, pp. 147–155.

10. Stepnova E.I., Kiselev S.K. *Adaptivnaia obrabotka pilotazhno-navigatsionnoi informatsii* [Adaptive Processing of Flight and Navigation Information]. *Radiolokatsiia, navigatsiia, sviaz. Sb. tr. XXV Mezhdunarodnoi nauch.-tekhn. konf. v 6 t.* [Proc. of the 25th Int. Sci. and Tech. Conf. on Radar, Navigation, Communication. 6 volumes]. Voronezh, Izdatelskii dom VGU Publ., 2019, pp. 150–155.

11. Kosykh P.A., Perevertailo V.N., Gaidysheva O.Iu., Belova I.V. *Instruktsiia po vzaimodeistviu i tekhnologii raboty chlenov ekipazha samoleta Tu 154M* [Instructions for the Interaction and Technological Work of Crew Members of the Tu 154M]. Novosibirsk, NPF "Besttek-Avia" Publ., 2001. 154 p.

12. Stoliarov N.A., Kuznetsov I.B. Ergonomicheskie osnovy sovershenstvovaniia otobrazheniia pribornoii informatsii [Ergonomic Basis for Improving the Instrumental Information Indication]. *Nauchnyi Vestnik MGTU GA* [Civil Aviation High Technologies. Sci. Bull. of MSTU CA], 2013, no. 192, pp. 96–101.

13. Kuznetsov I.B. SOI s integralnymi poletnymi parametrami [Data Display System with Integral Flight Parameters]. *Voprosy teorii. Mir transporta* [World of Transport and Transportation Journal], 2012, no. 01, pp. 16–20.

14. Kucheriavii A.A. *Bortovye informatsionnye sistemy. Kurs lektsii* pod. red. V.A. Mishina i G.I. Kliueva. 2-e izd., pererab. i dop. [Airborne Information Systems. Lecture Course edited by V.A. Mishin and G.I. Kliuev. The 2nd edition revised and enlarged]. Ulyanovsk, UISTU Publ., 2004. 504 p.