

УДК 629.7.073.6

DOI 10.51955/23121327_2022_1_18

РОЛЬ И МЕСТО КОГНИТИВНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ АЛГОРИТМОВ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПИЛОТОВ В ПРОЦЕССЕ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОАВТОМАТИЗИРОВАННЫМ ВОЗДУШНЫМ СУДНОМ

*Иван Станиславович Муравьев,
orcid.org/ 000-0003-0448-4703,
кандидат технических наук,
929-го Государственного летно-испытательного центра им. В. П. Чкалова,
г. Ахтубинск-7,
Астраханская область, 416507, Россия,
mantus87@mail.ru*

Аннотация. Выполняя полёт в автоматическом режиме, пилот находится вне контура ручного управления и функционирует в системе как оператор. Перегруженность зрительного канала пилота при восприятии им информации в полете, необходимость вмешательства в управление через влияние пилота на программу функционирования воздушного судна (ВС), а не через органы управления (штурвал, рычаги управления двигателями и т.д.) – всё это приводит к изменению оперативного поля деятельности пилота. Для формирования новых навыков пилотирования в рамках выполнения обязанностей оператора пилотом необходим иной критический взгляд на профессиональную подготовку летного состава, который предложен в статье. За основу критического взгляда предложено взять когнитивно-информационные преобразователи алгоритмов деятельности пилотов (КИПАД).

Ключевые слова: алгоритм деятельности, информация, анализ, согласованность, управляемость, преобразование.

ROLE AND PLACE OF COGNITIVE INFORMATION CONVERTERS OF PILOT ACTIVITY ALGORITHMS IN THE PROCESS OF CONTROL OF HIGHLY AUTOMATED AIRCRAFT

*Ivan S. Muravyev,
orcid.org/ 000-0003-0448-4703,
Candidate of Technical Sciences,
929 Chkalov State Flight Test Center,
Akhtubinsk-7,
Astrakhan region, 416507, Russia
mantus87@mail.ru*

Abstract. When flying in automatic mode, the pilot is outside the manual control loop and functions as an operator in the system. Congestion of the visual channel of perception of information coming to the pilot, the need to intervene in control through the influence of the pilot on the program of operation of the aircraft, and not through controls, leads to a change in the operational field of activity of pilots. To develop new piloting skills as part of the operator's duties as a pilot, a different critical view of research in this area is needed.

Keywords: activity algorithm, information, analysis, consistency, manageability, transformation.

Introduction (Введение)

Сегодня мировая гражданская авиация стоит перед проблемой поддержания навыков ручного пилотирования. Ранее действующие модели решения этой проблемы не работают [Коваленко и др., 2018а; Коваленко и др., 2018б; Мирошниченко, 2018; Муравьев, 2017; Wiener et al., 1988]. В настоящее время в гражданской авиации при среднем налёте в месяц от 80 до 90 часов ручное пилотирование на высокоавтоматизированных воздушных судах (ВАВС) составляет один час. Эта проблема обусловлена двумя разными режимами пилотирования высокоавтоматизированным самолётом: ручным и автоматизированным. В первом режиме пилот непосредственно находится в контуре управления воздушным судном (ВС), а во втором – косвенно, лишь контролируя работу автопилота [Stewart et al., 2018; Price et al., 2017]. Принципиальная разница этих двух режимов состоит также как в количественном, так и в качественном процессе переработки предъявляемой пилотам информации в полёте и характеризуется разным порядком оценки этой информации.

Источники информации, предъявляемые пилоту в полете, имеют деление между собой по ряду признаков, как относительно восприятия пилотом этой информации, так и относительно параметров, характеризующих состояние ВС и его систем (см рис. 1).

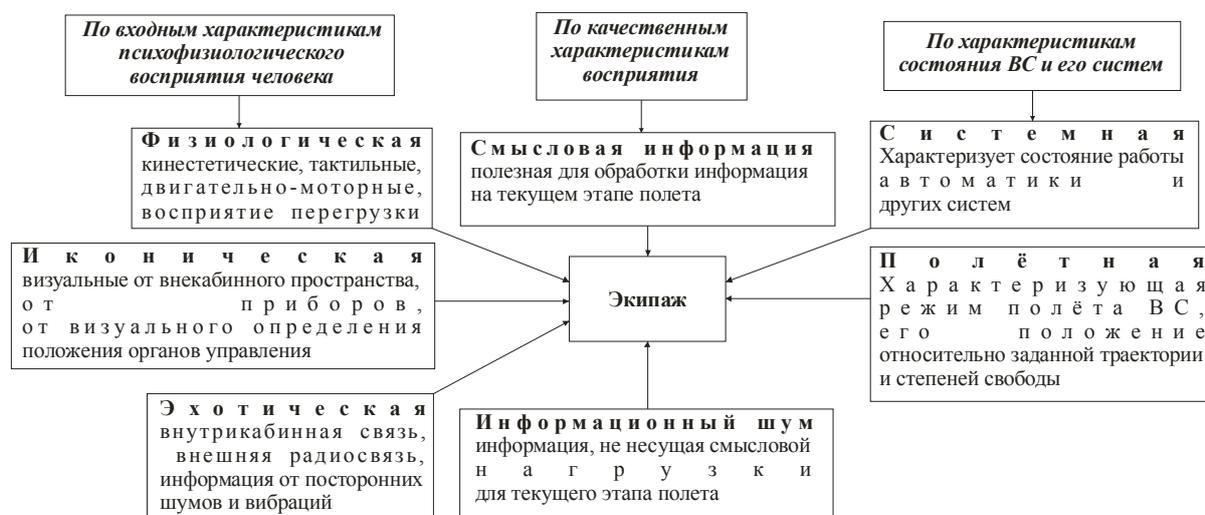


Рисунок 1 – Классификация источников информации, воспринимаемых пилотом в полёте

Рассмотрим, как влияет состояние (статус) пилота на пилотирование самолетом с точки зрения алгоритмического описания его деятельности.

Предположим, что при ручном режиме пилотирования пилоту на отдельно взятом этапе полёта необходимо выдерживать три параметра полёта в заданных пределах. Допустим, этими параметрами являются: вертикальная скорость (V_y), приборная скорость полёта (V) и параметр состояния автоматики, который отражает сигнализатор режима полёта (FMA – flight mode annunciator). Алгоритм контроля этих трёх источников полётной информации представим

следующим образом: $1 \rightarrow 1 \rightarrow 1 \Rightarrow \Sigma = 3$. То есть, ввиду одноканальности человека, анализ трёх источников информации пилот будет выполнять последовательно по одному из приборов. Математически это выражение можно представить как один к трём: $1/3$. Объяснить этот способ математического описания такого процесса можно из того, что вероятность правильного анализа поступающей к пилоту информации выражается отношением между тем количеством источников информации, которое должен видеть пилот в данный период времени, и тем количеством источников информации, которое он может видеть, а именно $1/3$. Оценка состояния ВС и его систем в ручном режиме пилотирования пилотом происходит по замкнутому контуру – циклически.

Рассмотрим тот же этап полёта, при котором требуется контроль V_y , V и FMA, только в автоматическом режиме пилотирования. На высокоавтоматизированных ВС (ВАВС), вытесняясь автоматикой из контура управления, пилот уже не ощущает изменение параметров V_y , V через перегрузку и кинестетическое восприятие органов управления (как это было в ручном режиме пилотирования) [Коваленко и др., 2018а; Jaulin, 2015; Wilson, 2015]. Пилот может отслеживать изменение этих параметров только визуально. Но это делает автоматика, поэтому косвенно надобность в контроле этих параметров со стороны пилотов пропадает. Вероятность правильного анализа поступающей к пилоту информации по-прежнему будет выражаться математически $1/3$. Но алгоритм будет уже другим. Потому что из трех элементов, которые необходимо контролировать пилоту, он контролирует лишь один, а остальные два контролирует автоматика. Задача пилота на первый взгляд – убедиться в том, что автоматика работает. Поэтому схематично это выгладит так: $(1 \rightarrow 1) \rightarrow 1 \Rightarrow \Sigma = 3$. Известно, что любая автоматика включает в себя не только возможность отказа, но и накопление ошибок, которое, до определенного момента, выражается в неявном виде. Поэтому пилоту, в целях повышения безопасности полета, необходимо менять свой алгоритм контроля систем и полета, преобразовывать его. Поскольку свои собственные действия пилоту в автоматическом режиме полёта контролировать не нужно, а нужно контролировать действия автопилота, то уже по известному закону (закону функционирования автопилота) необходимо интегрирование источников при их анализе. В данном случае математическое выражение этого процесса будет выражено как $2/3$, а схематично это будет выглядеть так: $1+1 \rightarrow 1 \Rightarrow \Sigma = 2/3$ (см. рис. 2).



Рисунок 2 – Преобразование алгоритма деятельности пилота

С внедрением интеллектуальных систем в автоматизированные процессы функционирования современных самолётов, процесс управления пилотом

самолета уже можно и не называть пилотированием, когда этот процесс выполняется в автоматическом режиме. Однако возможность и необходимость перехода на управление в ручном режиме, вызванная различными отказами автоматики, может потребоваться на любом этапе полета. Другими словами, в автоматическом режиме пилотирования пилот является оператором. В то же время оператор должен выполнять функции пилота на случай отказов оборудования или систем с целью их резервирования. В этом случае встает справедливый вопрос о том, кем является человек при выполнении полёта вне контура управления: пилотом или оператором? Чтобы ответить на этот вопрос, необходимо рассмотреть следующие подвопросы:

- какая разница между информацией, поступающей к пилоту при ручном режиме управления, и между информацией, поступающей к пилоту при автоматическом режиме управления;
- как влияют на реакцию пилота эти два режима управления ВАВС, и почему нарушается привычный для пилота цикл управления вниманием.

Materials and methods (Материалы и методы)

Воспринимая поступающую от различных источников информацию, пилот должен правильно сформировать текущее состояние режима полёта и состояние работы автоматики. Для этого предположим, что имеющаяся в распоряжении у пилота информация располагает рядом факторов, характеризующих состояние системы «экипаж – высокоавтоматизированное ВС» (ЭВАВС). К этим факторам отнесём: многосоставность и управляемость. Многосоставность источников информации очевидна и не требует объяснений (см. рис. 1). Поскольку управление своим вниманием пилот производит по замкнутому контуру определённой группы источников информации, то важной частью этого процесса является выбор именно той группы источников информации, которая наиболее полно описывает текущий этап полёта и состояние ВС в нём. При этом часть источников должна отображать статус работы автоматики, а другая часть источников информации должна отображать независимые от автоматики показания о текущем режиме полёта. Т.е. фактор многосоставности информации отражает то, что информация, которую пилоту необходимо отобразить в процессе своей деятельности, должна опираться на смысловую нагруженность и двойную обратную связь. Эти два параметра вытекают из того, что информация имеет иерархическую согласованность между группами источников информации, предъявляемых пилоту в процессе его деятельности.

Второй фактор – фактор управляемости означает, что любое изменение параметров отобранной пилотом группы приборов, должно происходить по тому закону, который закладывает в процесс управления сам пилот, или по закону, которому следует автоматика. В противном случае – это может означать, что происходит одно из трёх состояний, в котором находится ЭВАВС:

- пилотом неверно выбран критерий обратной связи при контроле процесса управления;
- процесс неуправляем и необходимо предпринимать действия по выходу из усложняющейся ситуации;
- пилотом неправильно отобрана группа источников, по которым он контролирует процесс управления самолётом и его автоматизированными системами.

При ручном пилотировании сложные с точки зрения контроля информационных потоков этапы полёта, возникающие в процессе различных манёвров, решаются пилотом за счет следующих элементов деятельности [Dow, 1999; Netherington, 2006; Latash, 2013; Latash, 2016; Rosenbaum, 2009]:

- (а) мозговая (интеллектуальная) деятельность, которую пилот использует для подготовки к полёту на земле и реализует её в полёте;
- (б) навыки мышечной памяти, навык выдерживания ВС относительно степеней свободы и в направлении заданного вектора полёта в соответствии с полётным заданием;
- (в) навык анализа воздушной обстановки.

Элемент (а) остаётся постоянным в процессе всей профессиональной деятельности и характеризуется интеллектуальным ресурсом индивидуума, обусловленным генетическими данными. Элемент (б), обусловленный навыком выдерживания пространственного положения ВС формируется у пилота до заданного (безопасного) и поддерживается в процессе профессиональной деятельности. Третий элемент (в), обусловленный навыком анализа воздушной обстановки, также формируется у пилота и поддерживается в процессе профессиональной деятельности. Основными элементом, за счет которого пилот выдерживает алгоритм управления своим вниманием, является элемент (б).

В полёте, при котором используется управление ВС в автоматическом режиме, навык (б) выдерживания ВС относительно степеней свободы и в направлении заданного вектора полёта в соответствии с полетным заданием является второстепенным и с увеличением количества полетов в автоматическом режиме деградирует [Мирошниченко, 2017]. Однако, в этой области выдерживания балансировочного положения ВС возникает накопление ошибок автоматики и конфликтные ситуации между AFDS (autopilot fight director system) – автопилотом системы управления полётом и А/Т (Autothrottle) – автоматом тяги двигателей [Мирошниченко, 2018]. Для недопущения подобных конфликтных ситуаций между AFDS и А/Т пилоту необходим навык по анализу и контролю за состоянием функционирования этих систем.

Необходимо понимать, что информация, поступающая к пилоту, подразделяется на полётную и системную. Полётная информация характеризует режим полёта, его положение относительно степеней свободы, а также характеризует навигационные параметры. К системной информации отнесём информацию, характеризующую состояние автоматики и других

систем ВС. Для наиболее полного представления взаимосвязи текущего состояния ВС, относящегося к аэродинамическим, навигационным и другим полётным параметрам, с параметрами работы автоматики предложим еще одну группу информационных источников – алгоритмизированную. К алгоритмизированной группе источников будем относить те источники информации, которые отображают параметры и сигналы, относящиеся к работе автопилотов AFDS и A/T. К ним, например, можно отнести информацию, отображённую на FMA, FCU (flight control unit) – панели управления автопилотом, MCP (mode control panel) – панели управления режимами автопилотов, CDU (control display unit) – блоке управления и индикации системой управления полётом и др. Для более полного представления структуры информационных источников, предъявляющих параметры состояния автоматизированного ВС и его систем, рассмотрим рисунок 3.

В ручном режиме пилотирования пилот постоянно контролирует тот временной интервал изменения отслеживаемого параметра, от которого зависит изменение контролируемой группы приборов. От точности выдерживания параметров отслеживаемой группы приборов зависит успешность выполнения текущего этапа полета. В ручном режиме пилотирования в выбираемые пилотом группы источников информации входят источники информации, отображающие короткопериодические параметры и длиннопериодические параметры. Состояние источников с длиннопериодическими параметрами пилот изменяет с помощью короткопериодических источников, которые отобраны им для текущего этапа полёта. Состояние же источников с короткопериодическими параметрами пилот изменяет с помощью органов управления, с которыми он связан непосредственно, тактильно. В ручном режиме пилотирования пилот непрерывно ожидает изменения контролируемых параметров, как визуально, так и по перегрузке, поскольку это является ядром обратной связи ручного пилотирования.

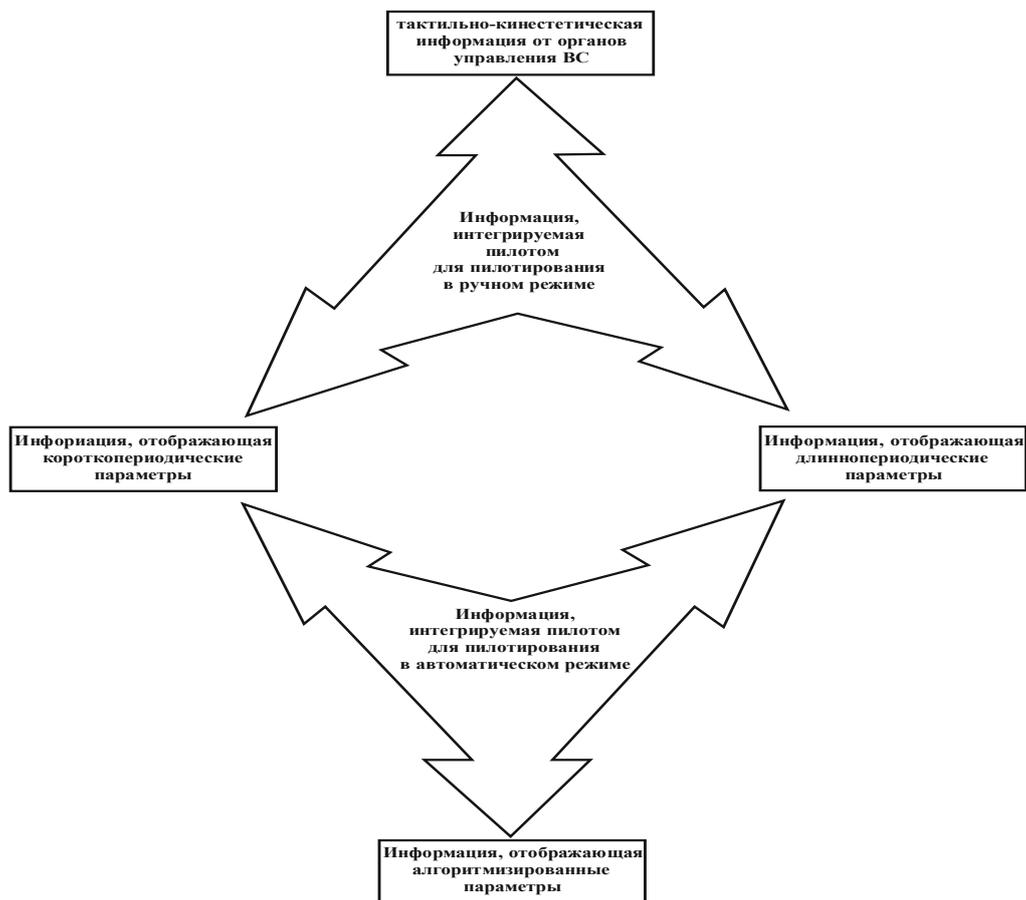


Рисунок 3 – Структура информационных источников, предъявляющих параметры состояния автоматизированного ВС и его систем

В автоматическом режиме пилотирования чувствительное ядро обратной связи находится в приёмниках и программных анализаторах систем автоматического управления. Основная задача пилота при нахождении в этом режиме – контроль правильного функционирования этого ядра у автоматики. В случае каких-либо отклонений пилот обязан включиться в управление и снова начать воспринимать полёт как визуально, так и по перегрузке.

Сложность перехода от автоматического управления к ручному заключается с технической точки зрения в том, что пилоту необходимо определять текущее состояние воздушного судна без опоры на тактильное ощущение органов управления и незначительное ощущение перегрузки. Для того, чтобы восполнить недостаток подобной информации, предлагается для наиболее полного и объёмного анализа текущей ситуации использовать не две, а три группы источников информации. Если в ручном режиме визуально пилот наблюдал только два вида источников, отображающих длиннопериодическую и короткопериодическую информацию, то в автоматическом режиме пилотирования пилот (см. рис. 3) наблюдает ещё источники, отображающие алгоритмизированную информацию. Появляется информационная надстройка, которая является заменой тактильного восприятия положения ВС в пространстве и восприятия положения ВС в пространстве по перегрузке при выполнении полета в автоматическом режиме пилотирования.

Таким образом, становится очевидным, что при выполнении полёта в автоматическом режиме у пилота есть источники информации только визуального характера. Для того, чтобы правильно анализировать текущую ситуацию, пилоту необходимо формировать группу приборов, состоящую из источников информации, отображающих короткопериодические, длиннопериодические параметры и алгоритмизированные параметры. Известно, что человек, являясь биологической системой, остается одноканальным элементом технической системы, имеющим ограниченные объёмы оперативной и мгновенной памяти [Летная эксплуатация..., 2007; Муравьев, 2017; Datta, 2004; Fadali, 2013; Kletz, 2019]. В свою очередь это влияет на то, что пилот не может воспринимать всю предлагаемую ему в полете информацию, которая сместилась только в визуальный канал. Для этого необходимо проанализировать взаимное влияние информационных источников, предъявляющих пилоту параметры состояния автоматизированного ВС и его систем.

Discussion (Дискуссия)

Для анализа взаимного влияния различных источников информации на вероятность правильного принятия решения пилотом в процессе его деятельности разобьём источники на три группы. Группа № 1 – источники, отображающие короткопериодические параметры полёта (крен, тангаж, положение остекления кабины относительно естественного горизонта при видимости последнего). Группа № 2 – источники, отображающие длиннопериодические параметры полёта ВС (вертикальная скорость, скорость полёта, высота барометрическая, радиовысота, курс). Группа № 3 – источники, отображающие алгоритмизированные параметры полёта ВС (FMA, FCU (flight control unit) – панели управления автопилотом, MCP (mode control panel) – панели управления режимами автопилотов, CDU (control display unit) – блоке управления и индикации системой управления полётом и др.).

Основываясь на понятиях согласованности и управляемости, рассмотренных выше, проанализируем взаимное влияние групп № 1, № 2, № 3 приборов между собой. Математически взаимное влияние групп приборов между собой представим в виде отношения одной группы к другой. На каждом режиме полета существует своя группа источников информации, которая может включать различное количество источников информации от каждой из групп: № 1, № 2 и № 3, оценивая которую, пилот будет с достаточной степенью безопасности контролировать процесс управления. Назовём эту группу контрольной группой. Другими словами, такая отбираемая пилотом контрольная группа источников информации для каждого режима полёта должна иметь иерархическую согласованность между группами № 1, № 2, № 3 и управляемость параметрами полета, отображаемыми в приборах этой отобранной пилотом контрольной группы. Функциональный смысл управляемости источников информации заключается в том, что пилот, зная известный закон изменения контролируемых им параметров, должен наблюдать этот закон изменения в процессе выполнения этапа полета. В противном случае

– это может говорить о том, что в управлении возникают отклонения (необходимо вмешательство пилота в процесс управления), или о том, что пилот неверно подобрал группу приборов для контроля процесса управления. Математически управляемость будет выражаться в отношении между одним из источников информации из группы № 1, группы № 2 или группы № 3 к общему количеству источников, входящих в отобранную группу контроля для текущего этапа полёта.

Для согласования всех данных и сведения их в таблицу было рассмотрено 23 основных этапа полета при различных режимах пилотирования (ручной, директорный, автоматический и переходный от автоматического к ручному). Пример сведения в таблицу данных рассматриваемых режимов представлен в таблице 1. Приведём несколько примеров, поясняющих принцип сведения источников информации в контрольные группы для анализа их согласованности и управляемости. В соответствии с [Мирошниченко, 2018, с. 19-21; Watkinson, 2004], алгоритм управления вниманием в процессе разбега на самолёте A320 в автоматическом режиме следующий: «Контроль направления (при отсутствии отклонений от желаемой траектории); FMA (при соответствии ожиданиям); контроль направления (при отсутствии отклонений от желаемой траектории); контроль скорости (значение, тренд); контроль положения органов управления (ручка управления самолетом (РУС), педали); контроль скорости (значение, тренд); контроль направления (при отсутствии отклонений от желаемой траектории)». Всего источников информации, которые необходимо контролировать пилоту на этапе разбега – семь. Из них источников информации, составляющих группу № 3 (отображают алгоритмизированные параметры) – один, группу № 2 (отображают длиннопериодическую информацию) – два, группу № 1 (отображают короткопериодическую информацию) – четыре. Рассмотрим еще один пример управления вниманием на этапе набора высоты в режиме SRS. В соответствии с [Мирошниченко, 2018 с. 19-21; Watkinson, 2004], «Контроль наличия двух FD's (Flight Director's); контроль положения крена и тангажа с целью приведения FD's в центр; контроль скорости (V_2+10); контроль вертикальной скорости (V_y); контроль значения угла тангажа, равный 15 градусам с целью определения заданного темпа его изменения; включение кнопки автопилота (АП); контроль значений углов крена и тангажа с целью проверки готовности автопилота к работе; контроль включённого режима по FMA». Всего источников информации, которые необходимо контролировать пилоту на этапе набора высоты (в режиме SRS) – 10. Из них источников информации, составляющих группу № 3 (отображают алгоритмизированные параметры) – три, группу № 2 (отображают длиннопериодическую информацию) – три, группу № 1 (отображают короткопериодическую информацию) – четыре. Также рассмотрим пример управления вниманием пилота на этапе перехода от инструментального пилотирования к визуальному при выполнении захода на посадку в момент прохождения высоты, равной 500-700 футов.

Таблица 1 – Согласованность и управляемость групп источников информации, отбираемых пилотом для контроля текущего этапа пилотирования

Режим полета	Количество источников, входящих в контрольную группу	Общее количество групп источников, используемое пилотом на текущем этапе полета	Минимально безопасное количество источников, используемое пилотом на текущем этапе полета (по РЛЭ)	Иерархическая согласованность между группами			Управляемость параметров, входящих в отобранные пилотом группы		
				Алгоритмизированные		Длиннопериодические	Группа №3 к общему числу наблюдаемых источников	Группа №2 к общему числу наблюдаемых источников	Группа №1 к общему числу наблюдаемых источников
				№3 к №1	№3 к №2				
Разбег (автом)	7	3	7	1/4	1/2	2/4	1/7	2/6	3/4
Разбег (ручн)	8	2	8	-	-	3/5	-	3/8	2/5
Разбег (автом)	10	3	7	1/6	1/3	3/6	1/10	3/9	5/6
Разбег(директ)	9	3	7	1/5	1/3	3/5	1/9	3/8	4/5
Rotation (авт)	12	3	12	2/7	2/3	3/7	2/12	3/8	4/7
Rotation (ручн)	8	2	8	-	-	2/6	-	2/8	4/6
Rotation(директ)	13	3	12	1/9	1/3	3/9	1/13	3/12	6/9
Rotation (авт)	14	3	8	2/9	2/5	5/9	2/14	5/12	7/9
SRS	10	3	10	3/4	3/3	3/4	3/10	3/7	2/4
Снижение до Н=200ф	17	3	17	3/8	3/6	3/8	3/17	6/14	6/8
Снижение до Н=100ф	12	2	12	-	-	6/6	-	6/12	3/6
Предвыравнивание	7	3	7	1/3	1/3	3/3	1/7	3/6	2/3
Касание	6	2	6	-	-	2/4	-	2/6	1/4
Derotation	4	2	4	1/3	-	-	1/4	-	1/3

Управление вниманием на этом этапе в соответствии с [Мирошниченко, 2018, с. 19-21; Watkinson, 2004] будет следующим. Контроль совмещённых в балансировочном положении параметров: FD's, РУС, указателя курса (УК) и указателя глиссады (УГ); контроль высоты; контроль скорости полета; контроль крена и тангажа. Всего источников информации, которые необходимо контролировать пилоту на этапе перехода от инструментального пилотирования к визуальному – восемь. Из них источников информации, составляющих группу № 3 (отображают алгоритмизированные параметры) – два, группу № 2 (отображают длиннопериодическую информацию) – три, группу № 1 (отображают короткопериодическую информацию) – три.

Results (Результаты)

Результаты корреляционного анализа представлены на рисунке 4. Обработка данных, полученных в таблице 1, проводилась в программе «SPSS statistics 22».

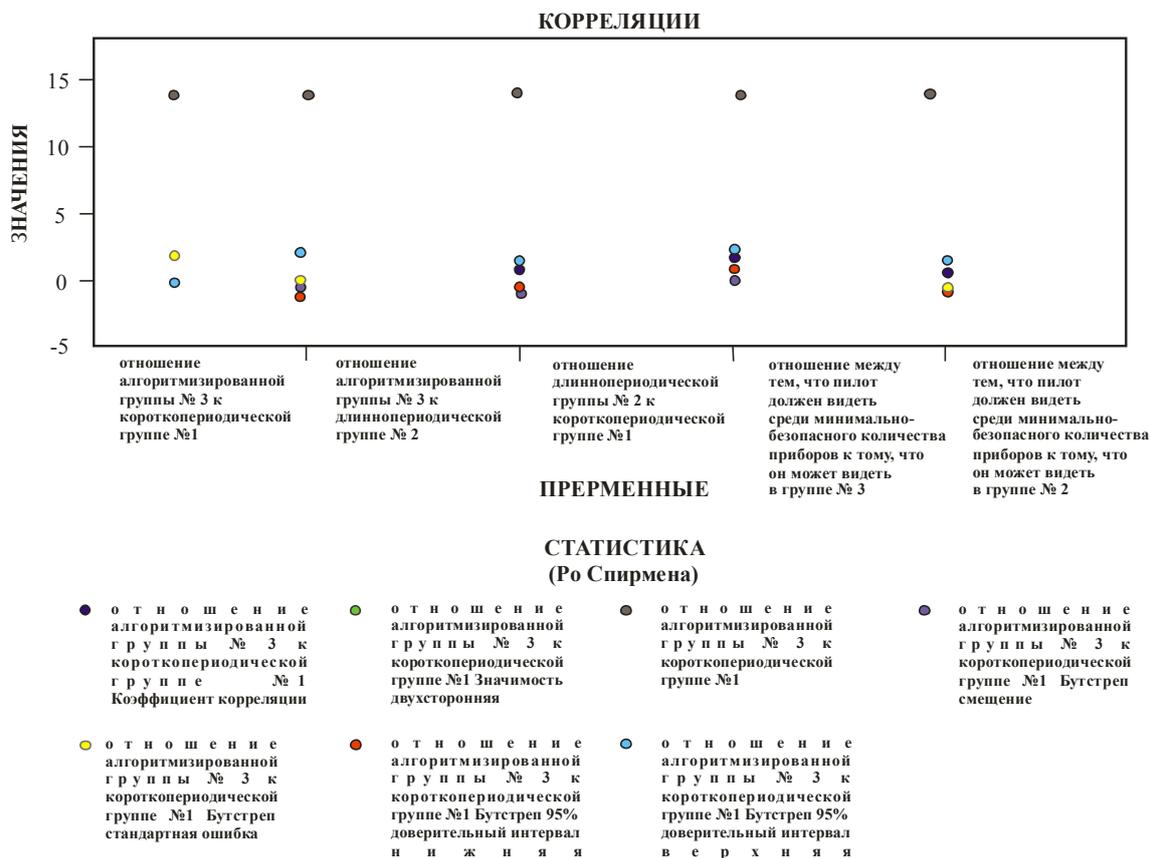


Рисунок 4 – Пример результатов корреляционного анализа между группами приборов, отбираемыми пилотом для пилотирования при текущем этапе полета

При проведении корреляционного анализа связей между иерархической согласованностью групп источников информации, предъявляемых пилоту в полёте, и между управляемостью параметров, отображаемых этими источниками, получены следующие результаты. Обнаружена статистически достоверная положительная связь между следующими переменными:

- взаимным влиянием отношения группы алгоритмизированных приборов группы № 3 к группе короткопериодических приборов № 1 и отношения группы длиннопериодических приборов № 2 к группе короткопериодических приборов № 1;

- взаимным влиянием отношения группы алгоритмизированных приборов группы № 3 к группе короткопериодических приборов № 1 и отношения между тем, что пилот должен видеть среди минимально безопасного количества приборов, и тем, что он может видеть в группе № 3;

- взаимным влиянием отношения между тем, что пилот должен видеть среди минимально безопасного количества приборов, и тем, что он может видеть в группе № 3, и отношения между тем, что пилот должен видеть среди минимально безопасного количества приборов, и тем, что он может видеть в группе № 2.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод о том, что основное значение при выполнении полёта в автоматическом режиме управления пилот должен уделять группе приборов, отображающих

алгоритмизированные параметры полёта. При этом согласование правильности выполнения автоматикой заданных действий пилот должен контролировать сначала через группу источников информации № 1, отображающую короткопериодические параметры полёта, а уже потом через группу № 2 источников, отображающих длиннопериодические параметры полёта ВС.

Для наиболее полного представления картины взаимного влияния информационных потоков от приборной и иной информации, поступающей к пилоту в полёте, и формирования критериев для преобразования алгоритмов деятельности пилота был проведен факторный анализ согласованности источников информации и управляемости параметров, отображаемых этими источниками. Результаты анализа представлены на рисунке 5 и в таблице 2.

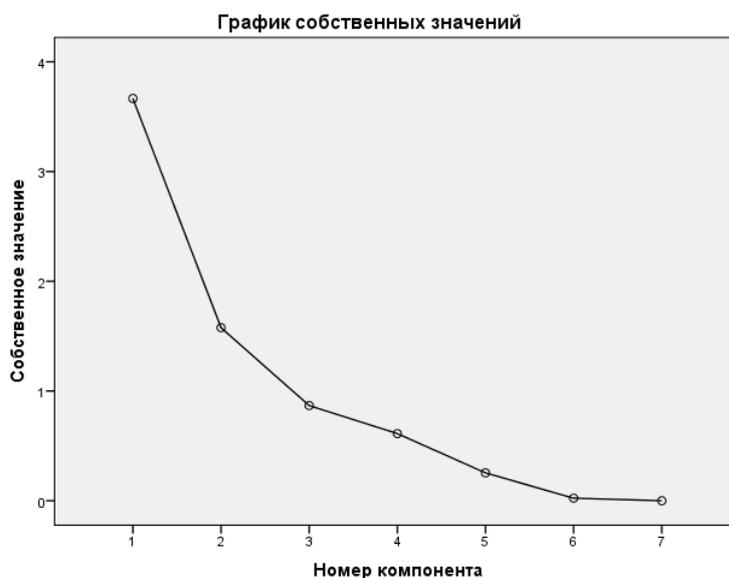


Рисунок 5 – График собственных значений для показателей взаимного влияния информационных потоков от приборной информации

При проведении факторного анализа выделено два фактора. Фактор № 1 имеет информативность 48%. Его положительный полюс определяется положительными полюсами следующих переменных:

- отношение между тем, что пилот должен видеть среди минимально безопасного количества приборов, и тем, что он может видеть в группе № 2;
- отношение между тем, что пилот должен видеть среди минимально безопасного количества приборов, и тем, что он может видеть в группе № 3;
- отношение параметров группы № 3 к параметрам группы № 2.

Отрицательный полюс этого фактора определяется отрицательными полюсами следующих переменных:

- отношение между тем, что пилот должен видеть в группе короткопериодических приборов, и тем, что он может видеть в этой группе;
- отношение между тем, что пилот должен видеть среди минимально безопасного количества приборов, и тем, что он может видеть в группе № 1.

Таким образом, первый фактор, отражая реальную структуру взаимосвязей исходных признаков по управляемости параметров полёта, идентифицирует то, что для наиболее эффективной управляемости параметров контрольной группы алгоритм управления вниманием пилоту необходимо выбирать между следующими группами приборов. Необходимо, используя когнитивно-информационные ресурсы системы «экипаж – высокоавтоматизированное ВС», контролировать весь перечень приборов, указанный в руководстве по лётной эксплуатации (РЛЭ). При этом пилоту необходимо оценивать в первую очередь взаимодействие приборов, отражающих длиннопериодические параметры полёта с последующим контролем взаимодействия приборов, отражающих алгоритмизированные параметры полёта. То есть алгоритмы деятельности пилота с помощью когнитивно-информационных ресурсов системы ЭВАВС должны регулироваться пилотом за счет процессов совмещения контролируемых источников в алгоритме.

Таблица 2 – Результаты факторного анализа между исследуемыми группами приборов, полученные методом главных компонент и варимакс вращением с нормализацией Кайзера

Исследуемые соотношения контрольных групп приборов	Компонент		
	1	2	
Отношение между тем, что пилот должен видеть среди минимально безопасного количества приборов, и тем, что он может видеть в группе № 2	,893	-,178	
Отношение между тем, что пилот должен видеть среди минимально безопасного количества приборов, и тем, что он может видеть в группе № 3	,834	,225	
Отношение между тем, что пилот должен видеть в группе короткопериодических приборов, и тем, что он может видеть в этой группе № 1	-,830	-,394	
Отношение между тем, что пилот должен видеть среди минимально безопасного количества приборов, и тем, что он может видеть в группе № 1	-,805	-,366	
Отношение алгоритмизированной группы №3 к длиннопериодической группе № 2	,524	-,191	
Отношение длиннопериодической группы № 2 к короткопериодической группе № 1	-,190	,893	
Отношение алгоритмизированной группы № 3 к короткопериодической группе № 1	,449	,833	
Метод выделения факторов: метод главных компонент			
Компонент	Ротация суммы квадратов нагрузок		
	Всего	% дисперсии	Суммарный %
1	3,344	47,767	47,767
2	1,899	27,130	74,897

Этими источниками являются длиннопериодические и алгоритмизированные параметры полёта (см. рис. 6).

$1B \longrightarrow 1C \longrightarrow 1A \longrightarrow 1A \Rightarrow 1/4$
повторяемость элемента 1А -
ступенчатый контроль элемента 1А

Рисунок 6 – Пример логического использования применения когнитивно-информационных ресурсов системы экипаж – высокоавтоматизированное ВС для регулирования алгоритма деятельности пилота

Фактор № 2 имеет информативность 27%. Его положительный полюс определяется положительными полюсами следующих переменных:

- отношение параметров группы № 2 к параметрам группы №1;
- отношение параметров группы № 3 к параметрам группы №1.

Отрицательный полюс этого фактора не имеет ярко выраженных полюсов.

Второй фактор, отражая реальную структуру взаимосвязей исходных признаков по иерархической согласованности параметров полёта, идентифицирует следующее. Для наиболее эффективной согласованности источников информации отобранной пилотом контрольной группы приборов необходимо управлять вниманием ступенчато, сначала оценивая влияние группы приборов № 1, отображающей короткопериодические параметры полёта на группу приборов № 2, а затем оценивать влияние источников информации этой же группы № 1 на группу источников № 3, отображающих алгоритмизированные параметры полёта. То есть алгоритмы деятельности пилота с помощью когнитивно-информационных ресурсов системы ЭВАВС должны регулироваться пилотом за счет ступенчатого усиления контроля источников информации, используемых в алгоритме (см. рис. 7).

$(1B \longrightarrow 1C)^2 \longrightarrow 1A \longrightarrow 1A \Rightarrow 2/4$
совмещение элемента 1Б и 1С,
ступенчатый контроль элемента 1А

Рисунок 7 – Пример логического использования применения когнитивно-информационных ресурсов системы экипаж – высокоавтоматизированное ВС для регулирования алгоритма деятельности пилота

Рассмотренные процессы регулирования алгоритмов деятельности пилотов за счёт когнитивно-информационных ресурсов, отобранные по критериям согласованности и управляемости параметров полёта, называются когнитивно-информационными преобразователями алгоритмов деятельности пилота (КИПАД).

Для того чтобы, находясь вне контура управления, в режиме автоматического управления ВС, пилоту оставаться в контуре функционирования системы ЭВАВС («экипаж – высокоавтоматизированное ВС») будучи оператором, ему необходимо выполнять следующую оценку взаимосвязи источников информации, предъявляемых ему в полёте. Пилоту необходимо выстраивать свой алгоритм управления вниманием по двум критериям: управляемости параметров контрольной группы приборов и иерархической согласованности параметров контрольной группы приборов. Управляемость характеризуется тем, что первоначально проводится оценка взаимодействия группы № 2 приборов, отображающих длиннопериодические параметры полёта, во вторую очередь производится оценка взаимодействия группы № 3 приборов, отображающих алгоритмизированные параметры полёта. Иерархическая согласованность между источниками информации отобранной группы должна проверяться пилотом в ступенчатом порядке влияния группы № 1 параметров, отображающих короткопериодические параметры полёта сначала на группу параметров, отображающих длиннопериодические параметры, а затем на группу параметров, отображающих алгоритмизированные параметры.

Таким образом, алгоритмы деятельности пилота с помощью когнитивно-информационных ресурсов системы ЭВАВС регулируются пилотом за счет процесса совмещения контролируемых источников в алгоритме. Этими источниками являются длиннопериодические и алгоритмизированные параметры полета. Также алгоритмы деятельности пилота регулируются пилотом и за счёт ступенчатого усиления контроля источников информации, используемых в алгоритме. Подобные процессы регулирования алгоритмов деятельности пилотов за счёт когнитивно-информационных ресурсов, отобранные по критериям согласованности и управляемости параметров полета, называются когнитивно-информационными преобразователями алгоритмов деятельности пилота (КИПАД).

Conclusion (Заключение)

При выполнении полёта на высокоавтоматизированном самолете пилоту предъявляются различные виды информации, которые делятся по своим признакам на следующие характеристики:

- характеристики психофизиологического восприятия человека;
- качественные (смысловые) характеристики;
- характеристики состояния ВС и его систем.

В свою очередь информация, характеризующая состояние ВС и его систем, подразделяется на системную и полётную. Системная информация характеризует состояние оборудования и систем жизнедеятельности людей на борту (топливная, противопожарная, кислородная и проч.). К полётной информации относится информация от органов управления, приборов и внекабинного пространства. Это справедливо для выполнения полёта в ручном режиме. При выполнении полета в автоматическом режиме ручное управление

пилотом не задействуется. Пилот перестает получать информацию от источников информации, влияющих на психофизиологические рецепторы восприятия, и переходит в ранг оператора, который находится вне контура управления воздушным судном. Однако, в случае отказа, при необходимости перехода на ручное управление пилоту необходимо вернуться в контур управления, чтобы зарезервировать функционирование автопилота. Эта практическая проблема обусловлена не столько возможностями пилота по возврату к ручному управлению, сколько определению условий, которые требуют этот возврат пилота в контур ручного управления. Для своевременного определения неспособности автоматики к дальнейшему безопасному выполнению полёта в пределах установленных ограничений вводится новый элемент в контрольную информационную группу параметров полёта, характеризующую режим полёта ВС, его положения относительно степеней свободы и заданной траектории полёта. Этот параметр является своеобразной информационной надстройкой при моделировании процесса алгоритмов деятельности пилотов. К этой информационной надстройке автор относит алгоритмизированные источники информации, которые отображают параметры и сигналы, относящиеся к работе автопилотов AFDS и A/T. К ним, например, можно отнести информацию, отображённую на FMA, FCU (flight control unit) – панели управления автопилотом, MCP (mode control panel) – панели управления режимами автопилотов, CDU (control display unit) – блоке управления и индикации системой управления полётом и др.)

Установлено, что при выполнении полёта три группы источников информации: № 1, отображающая короткопериодические параметры полёта, № 2, отображающая длиннопериодические параметры полета, № 3, отображающая алгоритмизированные параметры полета, оказывают взаимное влияние друг на друга и подлежат анализу по двум критериям. К этим критериям автор относит критерий иерархической согласованности параметров полёта и критерий управляемости параметров полёта. Проведенные в исследовании корреляционный анализ и факторный анализ элементов согласованности и управляемости параметров полёта показали следующее. Для того чтобы, находясь вне привычного контура управления, управляющему пилоту оставаться в контуре функционирования системы «экипаж – высокоавтоматизированное ВС» (ЭВАВС) будучи оператором, ему необходимо выполнять следующую оценку взаимосвязи источников информации. Пилоту необходимо выстраивать свой алгоритм управления вниманием по двум критериям: управляемости параметров контрольной группы приборов и иерархической согласованности параметров контрольной группы приборов. Управляемость характеризуется тем, что первоначально проводится оценка взаимодействия группы приборов, отображающих длиннопериодические параметры полёта, во вторую очередь производится оценка взаимодействия группы приборов, отображающих алгоритмизированные параметры полёта. Иерархическая согласованность между источниками информации отобранной группы должна проверяться пилотом в ступенчатом порядке влияния группы параметров, отображающих короткопериодические параметры полёта сначала

на группу параметров, отображающих длиннопериодические параметры, а затем на группу параметров, отображающих алгоритмизированные параметры.

Алгоритмы деятельности пилота с помощью когнитивно-информационных ресурсов системы ЭВАВС регулируются пилотом за счет процесса совмещения контролируемых источников в алгоритме. Этими источниками являются длиннопериодические и алгоритмизированные параметры полёта. Также алгоритмы деятельности пилота регулируются пилотом и за счёт процесса ступенчатого усиления контроля источников информации, используемых в алгоритме. Подобные процессы регулирования алгоритмов деятельности пилотов за счёт когнитивно-информационных ресурсов, отобранные по критериям согласованности и управляемости параметров полёта, называются когнитивно-информационными преобразователями алгоритмов деятельности пилота (КИПАД).

КИПАД являются неотъемлемой частью управления высокоавтоматизированным ВС. Это обусловлено тем, что пилот испытывает высокую информационную загруженность в зрительном канале восприятия. Для того, чтобы пилоту своевременно принять решение о переходе на ручное пилотирование, а также определить надежность работы автоматики и спрогнозировать дальнейшее развитие полета с учетом функционирования автоматизированных систем, необходимо в своей профессиональной деятельности использовать КИПАД. Также использование КИПАД необходимо для анализа выполнения полетов различными летчиками со стороны командно-инструкторского состава в процессе формирования навыков по управлению ВАВС у обучаемого пилота.

Библиографический список

- Коваленко Г. В.* Расчёт количества информации, воспринимаемой пилотом при управлении воздушным судном в автоматическом режиме / Г. В. Коваленко, И. С. Муравьев, В. Е. Чепига, Н. О. Моисеева // Проблемы летной эксплуатации и безопасность полетов. 2018а. № 12. С. 5-13.
- Коваленко Г. В.* Проблемы взаимодействия в системе «экипаж – автоматизированное воздушное судно – среда» / Г. В. Коваленко, И. С. Муравьев // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. 2018б. № 1 (18). С. 5-17.
- Летная эксплуатация: учебное пособие для вузов гражданской авиации / Г. В. Коваленко, А. Л. Микинелов, В. Е. Чепига; под ред. Г. В. Коваленко. М.: Машиностроение, 2007. 416 с.
- Мирошниченко А. В.* Пилотирование самолета А320. М.: Издательские решения, 2017. 46 с.
- Мирошниченко А. В.* Поддержание навыков ручного пилотирования ВС А320 при включенном автопилоте. М.: Издательские решения, 2018. 15 с.
- Муравьев И. С.* Метод обучения пилотов вертолетов навыкам безопасной посадки вне аэродрома в условиях неопределенности / И. С. Муравьев, Г. В. Коваленко; под ред. Г. В. Коваленко. СПб: Наука, 2017. 142 с.
- Datta Biswa N.* Numerical methods for linear control systems. Design and analysis. Academic Press. 2004. 736 p. doi. org/10. 1016/B978-0-12-203590-6.X5000-9
- Dow John O.* A United approach to the finite element method and error. Analysis procedures. University of Colorado: Academic Press. 1999. 533 p. doi. org/10. 1016/B978-0-12-221440-0.X5027-4

- Fadali Sami M.* Digital Control engineering. Analysis and design / Sami M. Fadali, A. Visioli. Academic Press. 2013. 700 p.
- Hetherington S.* Aspects of knowing. A volume in perspectives on cognitive science. The University of New South Wales, Sydney, Australia: Elsevier Science. 2006. 256 p. doi. org/10. 1016/B978-0-08-044979-1.X5000-0
- Jaulin L.* Mobile robotics. ISTE-Elsevier. 2015. 314 p. doi. org /10. 1016/C2014-0-004743-0
- Kletz T.* What went wrong? Case histories of process plant disasters and how they could have been avoided / T. Kletz, P. Amyotte. Butterworth-Heinemann. 2019. 208p. doi. org/10. 1016/C2016-0-0118-3
- Latash Mark L.* Biomechanics and motor control. Defining central concepts. Department of Kinesiology, the Pennsylvania State University, PA, USA: Academic Press. 2016. 426 p. doi. org/10. 1016/C2013-0-18342-0
- Latash Mark L.* Fundamentals of motor control. Academic Press. 2013. 364 p. doi. org/10. 1016/C2011-0-05693-4
- Price Jeffrey C.* Practical aviation security. Predicting and preventing future threats / Jeffrey C. Price, Jeffrey C. Forrest. Butterworth - Heinemann. 2017. 598 p.
- Rosenbaum David A.* Human motor control. The Pennsylvania State University, University Park, PA: Academic Press. 2009. 528 p. doi. org/10. 1016/B978-0-12-374226-1.X0001-0
- Stewart Mark G.* Are we safe enough? Measuring and assessing aviation security / Mark G. Stewart, John Mueller. Elsevier. 2018. 268 p. doi. org/10. 1016/C2016-0-01215-9
- Watkinson J.* Art of the helicopter. Butterworth-Heinemann. 2004. 416 p. doi. org/10. 1016/B978-0-7506-5715-0.X5000-5
- Wiener, Earl L.* Human factors in aviation. A volume in cognition and perception / Earl L. Wiener, David C. Nagel. California : Academic Press. 1988. 684 p.
- Wilson M.* Implementation of robot systems. An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing. Butterworth-Heinemann. 2015. 242 p. doi. org/10. 1016/C2012-0-00795-8

References

- Datta Biswa N.* (2004). Numerical methods for linear control systems. Design and analysis. Academic Press. 736 p. doi. org/10. 1016/B978-0-12-203590-6.X5000-9
- Dow John O.* (1999). A United approach to the finite element method and error. Analysis procedures. University of Colorado: Academic Press. 533 p. doi. org/10. 1016/B978-0-12-221440-0.X5027-4
- Fadali Sami M., Visioli A.* (2013). Digital Control engineering. Analysis and design. Academic Press. 700 p.
- Hetherington S.* (2006). Aspects of knowing. A volume in perspectives on cognitive science. The University of New South Wales, Sydney, Australia: Elsevier Science. 256 p. doi. org/10. 1016/B978-0-08-044979-1.X5000-0
- Jaulin L.* (2015). Mobile robotics. ISTE-Elsevier. 314 p. doi. org/10. 1016/C2014-0-004743-0
- Kletz T., Amyotte P.* (2019). What went wrong? Case histories of process plant disasters and how they could have been avoided. Butterworth-Heinemann. 208 p. doi. org/10. 1016/C2016-0-0118-3
- Kovalenko G. V., Muravyev I. S.* (2018b). "Crew - automated aircraft - environment" system interaction problems. *Bulletin of St. Petersburg State University of Civil Aviation*. 1(18): 5-17. (in Russian)
- Kovalenko G. V., Muravyev I. S., Chepiga V. E., Moiseeva N. O.* (2018a). Quantitative calculation of the information that the pilot perceives when controlling an automated airplane. *Flight problems and flight safety*. 12: 5-13. (in Russian)
- Latash Mark L.* (2013). Fundamentals of motor control. Academic Press. 364 p. doi. org/10. 1016/C2011-0-05693-4

- Latash Mark L.* (2016). Biomechanics and motor control. Defining central concepts. Department of Kinesiology, the Pennsylvania State University, PA, USA: Academic Press. 426 p. doi. org/10. 1016/C2013-0-18342-0
- Letnaia ekspluatatsiia [Flight operation]: a training manual for civil aviation universities / Kovalenko, G. V., Mikinelov A. L., Chepiga V. E. Moscow, Mechanical engineering publ. 2007. 416 p. (in Russian)
- Miroshnichenko A. V.* (2017). *Pilotirovaniie samoleta A320* [A320 aircraft piloting]. Moscow: Publishing solutions publ. 46 p. (in Russian)
- Miroshnichenko A. V.* (2018). *Podderzhanie navykov ruchnogo pilotirovaniia VS A320 pri vkluchennom avtopilote* [Maintaining manual piloting skills A320 with autopilot enabled]. Moscow: Publishing solutions publ. 15 p. (in Russian)
- Muravyev I. S., Kovalenko, G. V.* (2017). *Metod obucheniiia pilotov vertoletov navykam bezopasnoi posadki vne aerodroma v usloviakh neopredelennosti* [Helicopter pilots safe landing outside the airfield in conditions of uncertainty skills training methods]. St. Petersburg, Science publ. 142 p. (in Russian)
- Price Jeffrey C., Forrest Jeffrey S.* (2017). Practical aviation security. Predicting and preventing future threats. Butterworth-Heinemann. 598 p.
- Rosenbaum David A.* (2009). Human motor control. The Pennsylvania State University, University Park, PA: Academic Press. 528p. doi. org/10. 1016/B978-0-12-374226-1.X0001-0
- Stewart Mark G., Mueller John.* (2018). Are we safe enough? Measuring and assessing aviation security. Elsevier. 268 p. doi. org/10. 1016/C2016-0-01215-9
- Watkinson J.* (2004). Art of the helicopter. Butterworth-Heinemann. 416 p. doi. org/10. 1016/B978-0-7506-5715-0.X5000-5
- Wiener Earl L., Nagel David C.* (1988). Human factors in aviation. A volume in cognition and perception. California: Academic Press. 684 p.
- Wilson M.* (2015). Implementation of robot systems. An introduction to robotics, automation, and successful systems integration in manufacturing. Butterworth-Heinemann. 242 p. doi. org/10. 1016/C2012-0-00795-8