

- Loytsyansky, L. G.* (1970). *Mechanics of Liquid and Gas*. Moscow: *Nauka*. 1970. 904 p. (in Russian)
- Nalivkin D. V.* (1969). *Hurricanes, storms and tornadoes: Geographical features and geologic activity*. Leningrad: *Nauka*, 1969. 488 p. (in Russian)
- Nalivkin V. D.* (1984). *Tornadoes*. Moscow: *Nauka*, 1984. 112 p. (in Russian)
- Nechaev Y. N., Fedorov R. M., Kotovsky V. N.* (2005). *Theory of Aviation Engines. Part 1*. Moscow: *Nauka*, 2005. 657 p. (in Russian)
- Nisht M. I.* (1994). *Aerodynamics of Combat Aircraft and Hydraulics of their Systems*. Moscow: *VVIA named after Prof. N.E. Zhukovsky*, 1994. 570 p. (in Russian)
- Targ S. M.* *Short Course of Theoretical Mechanics*. Moscow: *Nauka*. 1974. 416 p. (in Russian)

УДК 629.7.073

DOI 10.51955/2312-1327_2024_4_78

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ОРИЕНТИРОВКА И ОБРАЗ ПОЛЕТА: СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОДГОТОВКЕ ПИЛОТОВ

Арте́м Андре́евич Фе́доров,
orcid.org/0000-0001-6607-2961,
аспирант

*Санкт-Петербургский государственный университет
гражданской авиации имени Главного маршала авиации А. А. Новикова,
ул. Пилотов, д. 38
Санкт-Петербург, 196210, Россия
melom111@yandex.ru*

Аннотация. Статья рассматривает ключевые аспекты, обеспечивающие эффективное пилотирование, такие как пространственная ориентация и образ полета. Описаны современные методы подготовки пилотов, включая технологические решения и когнитивные тренировки. Акцентируется внимание на важности комплексного подхода к развитию навыков, чтобы повысить безопасность и эффективность полетов. Практическая значимость работы заключается в необходимости постоянного обновления и адаптации программ подготовки пилотов с учетом технологического прогресса и изменений в авиационной индустрии, которые будут способствовать созданию более безопасной и надежной системы управления воздушным движением будущего.

Ключевые слова: пространственная ориентация, образ полета, сенсорные системы, ситуационная осведомленность, углы Эйлера, кватернионы, психофизиология, виртуальная реальность, когнитивные навыки, симуляторы полета, управление стрессом.

SPATIAL ORIENTATION AND FLIGHT IMAGE: MODERN APPROACHES TO PILOT TRAINING

Artem A. Fedorov,
orcid.org/0000-0001-6607-2961,
Postgraduate student
St. Petersburg State University of Civil Aviation
named after Air Chief Marshal A.A. Novikov,
38, Pilotov Street
Saint-Petersburg, 196210, Russia
melom111@yandex.ru

Abstract. The article examines the key aspects that ensure effective piloting, such as spatial orientation and flight image. Modern methods of pilot training including technological solutions and cognitive training are described. Emphasis is placed on the importance of an integrated approach to skill development to enhance flight safety and efficiency. The practical significance of the work lies in the need to constantly update and adapt pilot training programs in light of technological progress and changes in the aviation industry, which will contribute to the creation of a safer and more reliable air traffic control system of the future.

Keywords: spatial orientation, flight image, sensory systems, situational awareness, Euler angles, quaternions, psychophysiology, virtual reality, cognitive skills, flight simulators, stress management.

Пространственная ориентация и образ полета

Пространственная ориентация – один из ключевых навыков пилота, позволяющий точно воспринимать своё положение и движение в пространстве относительно земли и других объектов [Young et al., 2007]. Без соответствующих навыков пилот не сможет точно оценивать углы крена, тангажа и рыскания, что может привести к некорректным действиям и, как следствие, к ошибкам и аварийным ситуациям. Основные аспекты пространственной ориентации включают:

- углы Эйлера и кватернионы: эти инструменты используются для описания ориентации самолета в трёхмерном пространстве;
- сенсорные системы: вестибулярная система, зрение и проприоцептивные ощущения играют ключевую роль в восприятии пространственной ориентации;
- инструментальное оснащение кабины: приборы, такие как гироскопы и инклинометры, обеспечивают пилота важной информацией о положении и движении воздушного судна.

Вестибулярная система отвечает за восприятие угловых и линейных ускорений. В сочетании со зрительной информацией она позволяет точно оценивать положение и ориентацию летательного аппарата. Зрение играет ведущую роль в ориентации, особенно в условиях полета на малых высотах и при выполнении сложных маневров [Eysenck et al., 2015].

Для компенсации недостатков сенсорного восприятия и повышения точности пространственной ориентации пилоты используют различные приборы, включая гироскопы, акселерометры, инклинометры и индикаторы курса [Stevens et al., 2015]. Эти приборы обеспечивают объективные данные о положении и движении летательного аппарата, что позволяет пилотам принимать более обоснованные решения.

Образ полета включает в себя ментальное представление текущей ситуации и прогнозирование возможных сценариев развития событий [Sutton et al., 2018]. Он формируется на основе информации, поступающей от сенсорных систем и приборов, а также личного опыта и знаний пилота. Образ полета позволяет пилоту эффективно планировать и выполнять маневры, а также быстро реагировать на изменяющиеся условия полета [Eysenck et al., 2015].

Компоненты образа полета:

1. Ситуационная осведомленность: понимание текущего положения и окружения самолета, оценка угроз и возможностей для выполнения маневров;
2. Мониторинг и контроль: постоянное отслеживание показаний приборов и сенсорных сигналов, внесение необходимых корректировок в действия на основе текущей информации;
3. Когнитивное планирование.

Ситуационная осведомленность (СО) является ключевым компонентом образа полета. Это состояние, при котором пилот осознает текущее положение, движение и состояние летательного аппарата, а также внешние условия, такие как метеоусловия и наличие других воздушных судов [Endsley, 1995]. Высокий уровень ситуационной осведомленности позволяет пилоту принимать правильные и своевременные решения, минимизируя риск возникновения нештатных ситуаций.

Когнитивное планирование включает разработку стратегии выполнения полета, выбор оптимального маршрута и маневров, а также прогнозирование возможных изменений условий полета. Мониторинг предполагает постоянное отслеживание текущего состояния воздушного судна и внешней среды, что позволяет вовремя вносить корректировки [Wickens et al., 2008].

Пространственная ориентация и образ полета играют решающую роль в деятельности пилота, оказывая влияние на точность управления воздушным судном и принятие решений в условиях сложной динамической среды [Luecken et al., 2008].

Эффективные навыки пространственной ориентации и образа полета критически важны для обеспечения безопасности полетов. Недостаточное внимание к этим аспектам может привести к серьезным последствиям. Например, ошибки в оценке положения и движения воздушного судна относительно земли или других объектов могут стать причиной авиационных происшествий.

Исследования показывают, что более 50% авиационных происшествий связаны с недостатками в пространственной ориентации и ситуационной осведомленности пилотов [Wiegmann et al., 2017]. Программы подготовки пилотов, акцентирующие внимание на развитии этих навыков, демонстрируют значительное снижение числа инцидентов и аварий, ведь пилоты с высоким уровнем ситуационной осведомленности и умением быстро переключаться между различными сигналами сенсорных систем и показаний приборов имеют больше шансов успешно справляться с нештатными и аварийными ситуациями. Таким образом, развитие методов улучшения навыка по ведению пространственной ориентации и создания образа полета является критически важным для повышения безопасности полетов и эффективности работы пилотов.

Для поддержания высокого уровня пространственной ориентации и образа полета пилотам необходима регулярная тренировка. Современные технологии, такие как симуляторы с виртуальной реальностью, позволяют моделировать разнообразные условия полета и отрабатывать навыки принятия решений в реальном времени [Selye, 1976].

Использование виртуальных и дополненных реальностей для тренировки пилотов предоставляет возможность отработки различных сценариев полетов, включая экстремальные и аварийные ситуации. Это помогает пилотам развивать и поддерживать необходимые когнитивные навыки и способности к быстрому переходу между различными источниками информации в кабине [The use of immersive..., 2008].

Пилотирование требует от пилота сильной концентрации, а также устойчивости к стрессовым условиям и развитых когнитивных навыков. Когнитивные тренировки включают упражнения на улучшение памяти, внимания и скорости реакции, а психофизиологические методики направлены на управление уровнем стресса и эмоциональным состоянием пилота [Luecken et al., 2008].

Высокий уровень стресса может негативно влиять на когнитивные способности и ситуационную осведомленность пилота, вдобавок может значительно ухудшить способность пилота к принятию решений и снизить точность пространственной ориентации. Поэтому важно внедрение методик психологической подготовки и тренировок, направленных на снижение негативного влияния стресса на когнитивные функции пилота [McEwen, 2007].

Современные подходы

Исторически вопрос пространственной ориентации пилотов изучался с различных точек зрения. В начале XX века процесс обучения пилотов основывался главным образом на практическом опыте и навыках: новички перенимали знания и умения у более опытных коллег [Aviation History..., 2003]. С развитием авиационной промышленности, особенно в периоды Первой и Второй мировых войн, возникла потребность в более структурированных методах подготовки. Это привело к созданию первых учебных программ и тренажеров, разработанных в 1929 году. Рост авиационной индустрии и усложнение технологий в этот период привели к изменению подходов к обучению и тренировкам пилотов. Начали активно внедряться научные методы изучения психологии и физиологии человека в условиях полета, что способствовало разработке более эффективных и безопасных методов подготовки. Применение симуляторов полета для воспроизведения различных сценариев и условий позволило пилотам лучше освоить навыки пространственной ориентации и управления самолетом в сложных ситуациях.

Современные исследования подчеркивают важность комплексного подхода, сочетающего тренажерные технологии и теоретическое обучение. Особое внимание уделяется разработке математических моделей, способных точно описывать динамическое поведение самолета и взаимодействие пилота с системой управления.

С середины XX века в обучение пилотов активно внедряются компьютерные технологии и сложные симуляторы полета. Эти симуляторы воспроизводят не только динамику полета самолета, но и широкий спектр

полётных условий, включая метеорологические явления и аварийные ситуации [Dixon, 2009]. Современные симуляторы, такие тренажеры, как Full Flight Simulators (FFS), позволяют полностью воссоздать кабину самолёта и предоставить пилоту реалистичные задачи по управлению самолётом в различных условиях [Kraiger, 2008].

Современные методы моделирования и управления пространственной ориентацией воздушных судов включают использование продвинутых математических моделей, оптимизационных методов и технологий машинного обучения. Главными направлениями в этой области являются:

1. Методы математической оптимизации и теории управления: использование критериев оптимальности для обеспечения наилучшей траектории полёта, минимизации ошибок и энергопотребления. Включает методы, такие как линейное-квадратичное регуляторное управление (LQR) и управления, основанные на понятии теории игр [Benson, 1996; Boyd et al., 2004].

2. Фильтры Калмана и расширенные фильтры Калмана для обработки сигналов от датчиков: фильтры Калмана применяются для оценки состояния динамических систем, особенно в авионике. Для нелинейных систем используются расширенные фильтры Калмана, которые позволяют точно оценивать параметры ориентации и скорости самолета, интегрируя данные различных датчиков [Dixon, 2009].

3. Устойчивое и адаптивное управление: методы устойчивого управления обеспечивают устойчивость системы в условиях неопределенностей. Адаптивное управление, в свою очередь, позволяет настраивать параметры системы в реальном времени в ответ на изменяющиеся условия, повышая её производительность [Butcher, 2008].

4. Методы машинного обучения, включая нейронные сети и алгоритмы глубокого обучения: эти методы способствуют созданию адаптивных моделей управления, которые обучаются на больших объемах данных и могут приспосабливаться к новым условиям. Применение глубоких нейронных сетей является особенно полезным для сложных многомерных систем, таких как беспилотные летательные аппараты [Hastie et al., 2009; Shannon, 2005].

Использование специализированного программного обеспечения и симуляторов: современные симуляторы и системы виртуальной реальности позволяют тщательно тестировать и отлаживать модели управления в реалистичной виртуальной среде. Эти симуляторы используют физически обоснованные модели, что позволяет изучать поведение системы в условиях, близких к реальным, без значительных рисков [Carpenter, 2001; Kraiger, 2008].

Современные подходы к моделированию и управлению пространственной ориентацией воздушных судов предлагают широкий арсенал методик, базирующихся на развитии теории управления, адаптивных алгоритмах, машинном обучении и симуляции. Постоянно растущая сложность и требования к воздушным судам стимулируют развитие новых и более совершенных методов, что делает эту область исследования весьма динамичной и перспективной [Taylor, 2021].

Ниже предложены современные методы управления и тренировки навыков пилотов:

1. Классические методы обучения – данные методики обучения пилотов включают теоретическое обучение, наземные тренировки и симуляционные сессии. Эти методы направлены на формирование базовых навыков управления и пространственной ориентации, знакомство с аэродинамикой и основами навигации [Stevens et al., 2015].

2. Инновационные технологии обучения – с развитием технологий обучения пилотов стали использоваться виртуальные и дополненные реальности. Эти технологии создают интерактивные и реалистичные тренажеры, позволяющие моделировать широкое разнообразие полетных условий и сценариев. Виртуальная реальность помогает пилотам погружаться в разные ситуационные контексты и отрабатывать навыки принятия решений [Sutton et al., 2018].

3. Когнитивные аспекты тренировки – когнитивное обучение и распознавание паттернов являются важными элементами тренировки пилотов. Эти аспекты включают развитие ситуационной осведомленности, способности к быстрому анализу и оценке сложных ситуаций. Современные исследователи фокусируются на улучшении методов обучения, которые бы учитывали когнитивные нагрузки и стрессы пилота в реальных условиях полета [Rudy, 2008; Wie, 1998].

Исследования показывают, что эффективность управления воздушным судном можно значительно улучшить за счет тренировки когнитивных и психофизиологических аспектов [Rudy, 2008]. Когнитивные способности, такие как внимание, память и реакция на внешние сигналы, являются ключевыми элементами в процессе пилотирования. Эти способности позволяют пилотам быстро обрабатывать информацию, принимать решения и синхронизировать свои действия в сложных условиях [Luecken et al., 2010; McEwen, 2007; Styles, 2006].

Следует отметить, что навык управления стрессом является критически важным для пилотов. Высокий уровень стресса может негативно влиять на когнитивные способности и принятие решений. Методики управления стрессом, включая релаксационные техники, дыхательные практики и психологическую поддержку, помогают пилотам сохранять концентрацию и работоспособность [Luecken et al., 2008].

Пространственная ориентация и образ полета являются ключевыми элементами в деятельности пилота. Эти навыки позволяют пилотам успешно выполнять задачи управления воздушным судном, поддерживать высокую ситуационную осведомленность и принимать правильные решения в сложных условиях. Современные методы обучения, включая использование симуляторов и технологии виртуальной реальности, позволяют эффективно развивать и поддерживать эти навыки на высоком уровне.

Теоретические основы пространственной ориентации

Пространственная ориентация летательных аппаратов является одной из ключевых задач в аэрокосмической инженерии. Она включает измерение и управление положением и направлением летательных аппаратов в пространстве. Корректное моделирование и управление ориентацией важны как для стабильного полета, так и для успешного выполнения миссий.

Подробное рассмотрение теоретических основ пространственной ориентации летательных аппаратов включает несколько ключевых аспектов, таких как кинематика, динамика, управление, устойчивость и фильтрация данных. Рассмотрим эти аспекты более подробно.

1. Кинематика описывает движение тел без учета причин, вызывающих это движение. В рамках кинематики пространственной ориентации используются понятия углов Эйлера, кватернионов и матриц вращения для описания ориентации летательного аппарата. Эти математические описания позволяют эффективно моделировать движение аппарата в трехмерном пространстве:

– углы Эйлера: описывают ориентацию летательного аппарата относительно фиксированной системы координат и определяются тремя последовательными вращениями:

ϕ (крен) – вращение вокруг оси X ;

θ (тангаж) – вращение вокруг оси Y ;

ψ (рыскание) – вращение вокруг оси Z .

Вот, как они определяются:

$$R = R_z(\psi)R_y(\theta)R_x(\phi), \quad (1)$$

где:

$$R_x(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \phi & -\sin \phi \\ 0 & \sin \phi & \cos \phi \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos \theta & 0 & \sin \theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin \theta & 0 & \cos \theta \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$R_z(\psi) = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (4)$$

Эти матрицы поворотов позволяют вычислять углы поворота аппарата вокруг каждой из трех осей, что важно для корректного моделирования его ориентации [Purves, 2013].

Углы Эйлера представляют собой последовательные повороты вокруг осей фиксированной системы координат и используются для описания ориентации относительно этой системы. Они важны для интуитивного понимания ориентации летательного аппарата, но для численных расчетов могут вызывать проблемы, связанные с особенностями параметризации, например, сингулярностей, известной как «gimbal lock» [Purves, 2013];

– кватернионы: представляют собой комплексные числа с четырьмя компонентами и являются альтернативой углам Эйлера при моделировании ориентации. Они не подвержены проблемам сингулярности, что делает их предпочтительными для численных расчетов [Eysenck et al., 2015]. Кватернион q состоит из 4-х элементов:

$$q = [q_0, q_1, q_2, q_3], \quad (5)$$

где:

q_0 – скалярная часть;

q_1, q_2, q_3 – векторная часть:

$$q_0 = \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (6)$$

$$q_1 = u_x \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (7)$$

$$q_2 = u_y \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (8)$$

$$q_3 = u_z \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right), \quad (9)$$

где:

α – угол поворота;

$u=(u_x, u_y, u_z)$ – единичный вектор оси поворота [Eysenck et al., 2015].

Кватернионы позволяют выполнять интерполяцию и компоновку вращений более эффективно, чем углы Эйлера или матрицы вращения; матрицы вращения: 3×3 матрицы, использующиеся для преобразования координат между различными системами отсчета. Они представляют собой ортогональные матрицы с единичным определителем. Основное преимущество матриц вращения в их простоте интеграции в линейные алгебраические уравнения, они позволяют легко переключаться между различными системами отсчета [Styles, 2006]:

$$R = \begin{bmatrix} \cos \theta \cos \psi & -\cos \phi \sin \psi + \sin \phi \sin \theta \cos \psi & \sin \phi \sin \psi + \cos \phi \sin \theta \cos \psi \\ \cos \theta \sin \psi & \cos \phi \cos \psi + \sin \phi \sin \theta \sin \psi & -\sin \phi \cos \psi + \cos \phi \sin \theta \sin \psi \\ -\sin \theta & \sin \phi \cos \theta & \cos \phi \cos \theta \end{bmatrix} \quad (10)$$

2. Динамическая модель описывает силы и моменты, действующие на летательный аппарат, и реакции на эти воздействия, формализуя уравнения

движения Ньютона и Эйлера, а также учитывая моменты инерции [Carroll, 1993].

Для описания поступательного движения летательного аппарата используются уравнения Ньютона:

$$F = ma, \quad (11)$$

где:

F – суммарная сила, действующая на тело;

m – масса тела;

a – ускорение [Carroll, 1993].

Это уравнение описывает, как внешние силы влияют на поступательное движение аппарата, и является основным уравнением для моделирования полета [Carroll, 1993].

Угловое движение описывается уравнениями движения Эйлера:

$$T = I_{\omega} + \omega * (I_{\omega}) \quad (12)$$

где:

T – суммарный момент сил;

I – тензор инерции;

ω – угловая скорость [McEwen, 2007].

Эти уравнения позволяют моделировать как изменение угловых скоростей, так и реакции на моменты сил, воздействующие на летательный аппарат [McEwen, 2007].

Тензор инерции I характеризует распределение массы относительно осей вращения и влияет на угловую динамику летательного аппарата. Его компоненты определяются формой и распределением массы летательного аппарата [Izard, 1993].

3. Теория управления. В теории управления рассматриваются методы проектирования систем управления для стабилизации и управления ориентацией летательных аппаратов:

– классическое управление: включает использование пропорциональных, интегральных и дифференциальных регуляторов (ПИД-регуляторы), которые обеспечивают стабилизацию и управление ориентированием. ПИД-регулятор вычисляет управляющее воздействие $u(t)$ по формуле [Luecken et al., 2008]:

$$u(t) = K_p e(t) + K_i \int e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt}, \quad (13)$$

где:

$e(t)$ – ошибка ориентации;

K_p, K_i, K_d – коэффициенты настройки регулятора;

– оптимальное управление: стремится найти такую последовательность управляющих воздействий, которая минимизирует определенный критерий

оптимальности. Одним из популярных подходов является метод линейно-квадратичного регулятора (LQR) [Gazzaniga et al., 2018]:

$$J = \int_0^{\infty} (x^T Q x + u^T R u) dt , \quad (14)$$

где:

J – функционал стоимости;

x – вектор состояния;

u – управляющее воздействие;

Q и R – весовые матрицы состояния и управления соответственно [Gazzaniga et al., 2018];

– адаптивное управление: позволяет системе изменять свои параметры в реальном времени для адаптации к меняющимся условиям [Rudy, 2008]. Основной принцип адаптивного управления заключается в изменении управляющих параметров на основе текущих оценок состояния системы.

4. Фильтрация данных и оценка состояния.

Фильтр Калмана: используется для оценки состояния системы, основываясь на измерениях, имеющих шумы и погрешности [Aleshechkin et al., 2017; Erokhin et al., 2021; Katsuhiko, 2010; Theoretical ..., 2021]. Он состоит из двух основных этапов: прогноза и коррекции:

Прогноз:

$$x_{k|k-1} = F \hat{x}_{k-1|k-1} + B u_{k-1} \quad (15)$$

$$P_{k|k-1} = F P_{k-1|k-1} F^T + Q. \quad (16)$$

Коррекция:

$$K_k = P_{k|k-1} H^T (H P_{k|k-1} H^T + R)^{-1} \quad (17)$$

$$\hat{x}_{k|k} = \hat{x}_{k|k-1} + K_k (z_k - H \hat{x}_{k|k-1}) \quad (18)$$

$$P_{k|k} = (I - K_k H) P_{k|k-1}. \quad (19)$$

Расширенный фильтр Калмана (ЕКФ): для нелинейных систем применяется расширенный фильтр Калмана (ЕКФ), который использует линеаризацию модели вокруг текущей оценки состояния [Katsuhiko, 2010]. Основные этапы остаются прежними, но линеаризация выполняется с помощью якобиановых матриц.

Теоретические основы пространственной ориентации летательного аппарата включают в себя множество аспектов, начиная от кинематики и динамики, до сложных методов управления и фильтрации данных. Современные подходы используют как классические методы управления, так и современные алгоритмы машинного обучения, обеспечивая высокую точность и надежность.

Психофизиологические аспекты обработки информации

Пространственная ориентация пилота является результатом синергического взаимодействия нескольких сенсорных систем: визуальной, вестибулярной и проприоцептивной. Ошибки восприятия и интерпретации сигналов от этих систем могут привести к дезориентации пилота и, как следствие, некорректным действиям:

1. Визуальная система отвечает за определение позиции и движения самолёта относительно внешних объектов. Ограниченные или отсутствующие визуальные ориентиры значительно осложняют ПОП.

2. Вестибулярная система, расположенная во внутреннем ухе, даёт информацию о положении головы и ускорениях тела. Однако, в условиях полёта сигналы от вестибулярной системы могут быть искажены.

3. Проприоцептивная система отвечает за ощущение положения тела и его частей в пространстве. В условиях ускорений, характерных для полёта, сигналы от этой системы также могут быть ненадёжными.

Психофизиология исследует связь между психологическими процессами и физиологическими реакциями организма. Особое внимание уделяется тому, как разные психофизиологические процессы влияют на обработку информации человеком, его поведение и работоспособность в различных условиях, включая стресс и усталость [Purves, 2013].

Восприятие: зрительное восприятие является первичным источником информации для большинства людей. Оно включает процессы, необходимые для обнаружения, идентификации и интерпретации визуальных стимулов. Главными компонентами зрительного восприятия являются:

– острота зрения: возможность различать мелкие детали [Eysenck et al., 2015];

– контрастная чувствительность: способность различать объекты, которые не сильно отличаются по яркости от фона [Styles, 2006];

– цветовое восприятие: способность различать цвета и их оттенки, которая зависит от работы колбочек – специализированных клеток сетчатки [Eysenck et al., 2015].

Аудиальное восприятие играет важную роль в коммуникации и ориентировании в пространстве. Основные компоненты включают:

– слуховую чувствительность: способность слышать звуки различной интенсивности и частоты [Carroll, 1993];

– локацию звука: определение направления и расстояния до источника звука [McEwen, 2007];

– разборчивость речи: способность различать звуки речи на фоне других звуков [Carroll, 1993].

Сенсорная интеграция включает обработку информации от разных сенсорных систем (зрение, слух, тактильные ощущения) и их объединение для формирования целостного представления об окружающей ситуации [Purves, 2013].

Внимание: селективное внимание позволяет фокусироваться на определенных аспектах среды, игнорируя другие. Это важно для обработки релевантной информации и игнорирования отвлекающих факторов [Carroll, 1993].

Распределенное внимание позволяет обрабатывать многочисленные источники информации одновременно. Это особенно важно в сложных задачах, таких как управление транспортными средствами или выполнение многошаговых операций [McEwen, 2007].

Усталость негативно влияет на способность к концентрации и распределению внимания. Она может приводить к снижению когнитивной производительности и увеличению вероятности ошибок [Purves, 2013].

Память: кратковременная память (рабочая память) отвечает за временное хранение информации для выполнения текущих задач. Она ограничена по объему и времени хранения [Eysenck et al., 2015].

Долговременная память хранит информацию от нескольких минут до нескольких десятилетий. Она включает декларативную (факты и события) и процедурную (навыки и умения) память [Selye, 1976].

Факторы, которые могут повлиять на память, включают возраст, уровень стресса, качество сна и общее здоровье. Кроме того, эмоциональная значимость информации играет важную роль в процессах запоминания и вспоминания [Izard, 1993].

Стресс и когнитивные процессы: стресс может быть острым (внезапные и интенсивные стрессоры) или хроническим (длительное воздействие стрессоров). Оба вида стресса могут существенно влиять на когнитивные процессы [Luecken et al., 2008].

Под воздействием стресса сосредоточенность может как улучшаться (например, «туннельное зрение» при высокой угрозе), так и ухудшаться при хронической усталости [Gazzaniga et al., 2018].

Острый стресс может временно улучшить запоминание в результате выделения адреналина и кортизола, но хронический стресс разрушительно влияет на клетки в гиппокампе – области мозга, ответственной за память [Rudy, 2008].

Стресс может приводить к импульсивным решениям и снижению способности к взвешенному и обоснованному принятию решений [Gazzaniga et al., 2018].

Психофизиологические механизмы стресса: выделение гормонов: под воздействием стрессоров происходит выделение кортизола и адреналина, которые влияют как на физиологическое состояние, так и на когнитивные функции [Gazzaniga et al., 2018]. Изменение активности нервной системы:

активизируется симпатическая нервная система, что улучшает готовность организма к действию, но долгосрочное воздействие может приводить к истощению ресурсов организма [Rudy, 2008].

Методы исследования психофизиологических аспектов: электроэнцефалография используется для записи электрической активности мозга и выявления паттернов, связанных с определенными когнитивными процессами [Carroll, 1993]. Функциональная магнитно-резонансная томография позволяет визуализировать активность различных областей мозга в реальном времени, анализируя изменения кровотока и уровня оксигенации гемоглобина [Gazzaniga et al., 2018].

Тесты, такие как Струп-тест, тест Веккера, и когнитивные задачи на время реакции используются для оценки когнитивных функций под воздействием различных факторов, включая стресс и усталость [Styles, 2006].

Психофизиологические аспекты обработки информации играют ключевую роль в понимании человеческого поведения и работоспособности. Внимание, память, восприятие и стресс – это компоненты, которые взаимодействуют друг с другом и определяют когнитивную производительность. Их правильное понимание и исследование позволяют разрабатывать методы улучшения работоспособности и снижения негативных последствий стрессовых факторов.

Заключение

Пространственная ориентация и образ полета являются ключевыми компонентами, определяющими эффективность и безопасность пилотирования. Умение пилотов быстро обрабатывать информацию, получаемую от различных сенсорных систем и приборов, играет решающую роль в поддержании ситуационной осведомленности и принятии обоснованных решений. Современные подходы в обучении пилотов акцентируют внимание на комплексном развитии этих навыков, включая использование симуляторов, трёхмерных моделей и традиционных методик тренировки.

Помимо традиционных физических методов тренировки, внимание необходимо уделять когнитивным аспектам, таким как развитие памяти, внимание и стрессоустойчивость. Специальные программы управления стрессом, наряду с когнитивными тренировками, способны значительно улучшить адаптивность и устойчивость пилотов в сложных условиях.

Систематическое обучение и развитие этих навыков создают прочную основу для эффективного интегрирования технологических инноваций в процессе пилотирования. Такой подход способствует снижению числа авиационных инцидентов и повышает общую эффективность пилотов, что имеет важное значение в условиях современной высокодинамичной авиационной среды.

Постоянное обновление и адаптация программ подготовки пилотов с учетом технологического прогресса и изменений в авиационной индустрии

будут способствовать созданию более безопасной и надежной системы управления воздушным движением будущего.

Библиографический список

- Aleshechkin A. M.* Trajectory optimization of dynamically controlled objects in INS. GNSS integrated navigation system / A. M. Aleshechkin, V. V. Erokhin // Gyroscopy and Navigation. 2017. №8 (1). P. 15-23. DOI 10.1134/S2075108716040027. EDN YVIROP.
- Aviation History: Early Training // Aviation Journal. 2003. P. 45-52.
- Benson T. F.* A pilot's guide to understanding and mitigating disorientation in flight // FAA Publication. 1996. P. 12-36.
- Boyd S.* Convex Optimization / S. Boyd, L. Vandenberghe // Cambridge University Press. 2004. P. 113-130.
- Butcher J. C.* Numerical Methods for Ordinary Differential Equations // Wiley. 2008. P. 215-240.
- Carpenter B.* Functional Training for Aviation Professionals // Aviation Supplies & Academics. 2001. P. 54-78.
- Carroll J. B.* Human Cognitive Abilities: A Survey of Factor-Analytic Studies // Cambridge University Press. 1993. P. 50-79.
- Dixon J. C.* Dynamics of rigid-body motion and control in aerospace and robotics // Wiley. 2009. P. 48-76.
- Endsley M. R.* Toward a theory of situation awareness in dynamic systems // Human Factors. 1995. №37(1). P. 32-64.
- Erokhin V.* Bi-criteria Aircraft Trajectory Optimization in Implementing the Area Navigation Concept / V. Erokhin, B. Lezhankin, T. Portnova // International Journal of Aeronautical and Space Sciences. 2021. №22(4). P. 948-962. DOI 10.1007/s42405-021-00353-3. EDN UQNHOD.
- Eysenck M. W.* Cognitive Psychology: A Student's Handbook / M. W. Eysenck, M. T. Keane // Psychology Press. 2015. P. 305-340.
- Gazzaniga M. S.* Cognitive Neuroscience: The Biology of the Mind / M. S. Gazzaniga, R. B. Ivry, G. R. Mangun // W. W. Norton & Company. 2018. P. 191-214.
- Hastie T.* The Elements of Statistical Learning / T. Hastie, R. Tibshirani, J. Friedman // Springer. 2009. P. 211-235.
- Izard C.E.* Emotion, Cognition, and Behavior // Springer. 1993. P. 201-225.
- Katsuhiko O.* Modern Control Engineering // Prentice Hall. 2010. P. 343-367.
- Kraiger K.* Simulation-Based Training in Aviation and Aerospace // Taylor & Francis. 2008. P. 134-157.
- Luecken L. J.* Handbook of Physiological Research Methods in Health Psychology / L. J. Luecken, L. Gallo // Sage Publications. 2008. P. 73-98.
- Luecken L. J.* The Psychophysiology of Stress / L. J. Luecken, K. A. Orchowski // Springer. 2010. P. 165-190.
- McEwen B. S.* Stress and the Brain: Nervous System Reactions to Stress and Their Modulation // Neuropsychopharmacology Journal. 2007. №22(2). P. 108-124.
- Purves D.* Principles of Cognitive Neuroscience // Sinauer Associates. 2013. P. 132-160.
- Rudy J. W.* Neurobiology of Learning and Memory // Sinauer Associates. 2008. P. 95-115.
- Selye H.* The Stress of Life. New York: McGraw-Hill, 1976. P. 234-259.
- Shannon R. E.* Systems Simulation: The Art and Science // Prentice Hall. 2005. P. 142-166.
- Stevens B.L.* Aircraft Control and Simulation: Dynamics, Controls Design, and Autonomous Systems / B. L. Stevens, F. L. Lewis, E. N. Johnson // John Wiley & Sons. 2015. P. 67-89.
- Styles E.* The Psychology of Attention // Psychology Press. 2006. P. 92-110.
- Sutton R. S.* Reinforcement Learning: An Introduction / R. S. Sutton, A. G. Barto // MIT Press. 2018. P. 88-112.
- Taylor P.* The Evolution of Control Theory in Aerospace Engineering // Journal of Aerospace Innovations. 2021. P. 100-115.

The use of immersive virtual reality in the learning sciences: Digital transformations of teachers, students, and social context / J. N. Bailenson, N. Yee, J. Blascovich, A. C. Beall, N. Lundblad, M. Jin // *Journal of the Learning Sciences*. 2008. №17(1). P. 102-141.

Theoretical foundations of radar location and radio navigation / D. A. Akmaykin, E. A. Bolelov, A. I. Kozlov [et al.] // *Springer Aerospace Technology*. 2021. P. 1-325.

Wickens C. D. Applied Attention Theory / C. D. Wickens, J. S. McCarley // CRC Press. 2008. P. 315-340.

Wie B. Space Vehicle Dynamics and Control // Aircraft Engineering and Aerospace Technology. Education Series. 1998. №70(5). P. 23-45.

Wiegmann D. A. A Human Error Approach to Aviation Accident Analysis: The Human Factors Analysis and Classification System / D. A. Wiegmann, S. A. Shappell // Ashgate Publishing. 2017. P. 243-268.

Young L. R. Spatial orientation and motion sickness / L. R. Young, C. M. Oman, D. M. Merfeld // Springer. 2007. P. 152-176.