

МЕТОД ИНТЕГРАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ КОГНИТИВНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВИАЦИОННОГО ПЕРСОНАЛА ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ

Д. С. Коптев¹ [0000-0002-7759-579X], Ю. А. Халин² [0000-0002-7020-8515]

^{1, 2}Юго-Западный государственный университет, г. Курск, Россия

¹d.s.koptev@mail.ru, ²yur-khalin@yandex.ru

Аннотация

Разработан метод интегральной оценки когнитивной работоспособности летного и диспетчерского состава гражданской авиации, основанный на количественной формализации восьми ключевых когнитивных функций: внимания, оперативной памяти, темпа психических процессов, пространственных способностей, логического мышления, счетно-математических способностей, точности управляющих движений и эмоциональной устойчивости. Для определения весовых коэффициентов, отражающих относительный вклад каждой функции в интегральный показатель, применен метод анализа иерархий Т. Саати. Сформирована экспертная группа из семи специалистов трех профессиональных страт (действующие пилоты с налетом свыше 1000 ч, научные сотрудники в области авиационной психофизиологии, психологи врачебно-летной экспертной комиссии). Проверка согласованности индивидуальных экспертных оценок осуществлена через расчет отношения согласованности, все значения которого не превысили пороговый уровень 0.10. Согласованность мнений всей экспертной группы подтверждена коэффициентом конкордации Кендалла ($W = 0.682$) с высоким уровнем статистической значимости. На основе агрегации экспертных суждений методом среднегеометрического усреднения рассчитаны итоговые весовые коэффициенты, что позволило сформировать функциональную зависимость интегрального показателя когнитивной работоспособности. Полученные результаты демонстрируют доминирующую роль внимания и эмоциональной устойчивости в структуре профессиональной надежности авиационного персонала. Разработанный метод создает методологический базис для объективизации процедур

профессионального отбора, текущего мониторинга состояния когнитивной работоспособности экипажей и принятия решений о допуске к выполнению полетных заданий.

Ключевые слова: *безопасность полетов, когнитивная работоспособность, авиационный персонал, когнитивные функции, интегральная оценка, метод анализа иерархий, весовые коэффициенты, экспертная оценка, согласованность мнений.*

ВВЕДЕНИЕ

В современной авиационной отрасли обеспечение безопасности полетной эксплуатации сохраняет статус приоритетного направления развития, однако, аналитические отчеты международных регуляторов (ICAO, FAA, EASA) свидетельствуют о стабильной доминанте антропогенного фактора в структуре причин авиационных инцидентов, на долю которого приходится от 70% до 80% случаев [1]. Генезис большинства подобных ситуаций обусловлен девиациями когнитивной работоспособности пилотов: редукцией концентрации внимания, истощением ресурсов оперативной памяти, ингибированием скорости протекания ментальных операций, десинхронизацией механизмов эмоциональной саморегуляции – особенно в условиях кумулятивного стрессового воздействия, физического утомления или реализации нештатных алгоритмов полета [2].

Существующие методологии оценки профессиональной компетентности, базирующиеся на применении дискретных психодиагностических процедур, демонстрируют ограниченную валидность при попытке реконструкции многомерной, нестационарной архитектуры когнитивной активности летных экипажей. В контексте указанных ограничений инструментарий когнитивного моделирования приобретает выраженную научно-практическую актуальность: он позволяет формализовать детерминантные связи между компонентами когнитивного аппарата, параметрами операционной среды и паттернами поведенческого реагирования, формируя тем самым комплексные, динамически адаптируемые и семантически прозрачные цифровые дескрипторы когнитивной надежности специалистов авиационного профиля [3].

В трудах ведущих отечественных исследователей (Ю. А. Голиков, А. Н. Костин, А. В. Петровский, М. Г. Ярошевский, Л. Г. Дикая, В. И. Рождественская, В. Н. Соловьев, Н. В. Якимович и др.) когнитивная работоспособность концептуализируется как интегральная характеристика индивида, отражающая его способность к реализации целеполагающей деятельности заданного объема и степени ответственности, требующей мобилизации нервно-психических ресурсов и функционального вовлечения всего спектра когнитивных процессов в условиях регламентированных временных ограничений и нормативных критериев результативности (см. [4, 5]).

Динамика когнитивной работоспособности обусловлена влиянием полифакторной системы переменных, включающей врожденные психофизиологические характеристики, мотивационную направленность на выполнение задач, актуальное состояние здоровья, уровень накопленного утомления и стрессовой напряженности, а также резонанс между режимом трудовой деятельности и индивидуальными хронобиологическими циклами. При этом количественная верификация большей части указанных предикторов сопряжена со значительными временными и организационными издержками, тогда как практика превентивного управления рисками нуждается во внедрении мобильных, оперативных процедур экспресс-диагностики уровня когнитивной эффективности.

В указанном контексте особую научно-практическую значимость приобретает разработка высокоэффективных методологических подходов к контролю когнитивной работоспособности, обеспечивающих возможность комплексного, интегрального исследования всего спектра влияющих переменных в рамках единой диагностической процедуры.

АНАЛИЗ ИЗВЕСТНЫХ ПОДХОДОВ К ОЦЕНКЕ КОГНИТИВНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВИАЦИОННОГО ПЕРСОНАЛА

Проблема метризации когнитивной работоспособности остается дискуссионной в психофизиологии. Если физическую нагрузку возможно стандартизировать через механические величины (Х. Ф. Ульмер, К. Брюк, К. Эве) [6], то объективация умственного труда, как отмечал еще Н. А. Бернштейн, сопряжена с существенными методологическими сложностями [7].

Существующие психометрические инструменты (индексы IQ, EQ) и тесты профессиональных достижений демонстрируют ограниченную валидность в прикладных задачах [8]. Их ключевым недостатком является дискретность: фиксируя статичный уровень изолированных функций, они игнорируют динамику деятельности и интегральные взаимосвязи, что критически снижает точность диагностики в состояниях утомления или стресса.

Более прогрессивным подходом является концепция интегральной оценки, реализуемая, в частности, в методике И. Г. Городецкого (индекс CQ) [9]. Эта модель рассчитывает работоспособность как линейную комбинацию качества сенсомоторной (Q_c) и логической (Q_l) видов деятельности с учетом коэффициента их корреляции (K):

$$CQ = n(\lambda_1 K + \lambda_2 Q_c + \lambda_3 Q_l).$$

Однако практическое применение индекса CQ ограничено жесткой зависимостью весовых коэффициентов (λ_i) от профессиональной специфики и возраста, что требует постоянной и трудоемкой рекалибровки модели под каждую новую выборку.

Расширением этой методики является использование программы «Адаптивная модель операторской деятельности (АМОД)» для оценки и контроля когнитивной работоспособности человека-оператора при осуществлении совмещенной деятельности [10, 11]. Однако, в дополнение к вышесказанным, существенным ограничением концепции является тестирование лишь двух компонентов когнитивной работоспособности, что является недостаточным.

Известна [12, 13] экспертно-аналитическая система «АСПО-2007», разработанная Научно-исследовательским испытательным центром авиационно-космической медицины и военной эргономики ЦНИИ ВВС МО РФ. Несмотря на развитый алгоритм интегральной оценки профессионально важных качеств, система ориентирована преимущественно для военной авиации. Некорректность прямой экстраполяции военных стандартов на персонал гражданской авиации из-за различий в структуре деятельности и критериях надежности делает невозможным использование этого комплекса без существенной адаптации.

В работе [14] реализован мультимодальный подход к объективации когнитивной нагрузки (Cognitive Workload, CW) операторов авиационной техники, базирующийся на синхронной регистрации нейрофизиологических и вегетативных маркеров в условиях имитации полетной деятельности. Экспериментальный протокол предполагал одновременный сбор трех потоков данных: электроэнцефалографической активности (ЭЭГ) для оценки корковой активации, вариабельности сердечного ритма (ЧСС) как индикатора вегетативного обеспечения деятельности и диаметра зрачка в качестве маркера активности центральной нервной системы. Интегральная метрика когнитивной нагрузки формировалась с помощью проприетарного алгоритма NCO (Neuro-Cognitive Operator), осуществляющего преобразование многомерного физиологического сигнала в нормированный скалярный показатель в диапазоне 0–100 ед. Критическим методологическим ограничением данного подхода выступает отсутствие в публикации детального описания архитектуры нейросетевой модели, процедуры ее обучения и валидации, что существенно снижает воспроизводимость результатов и затрудняет независимую верификацию конструктивной валидности получаемого индекса. Область валидности предложенной модели характеризуется выраженной узостью: эксперимент ограничивался анализом процедуры взлета в контролируемых симуляторных условиях, что не позволяет автоматически экстраполировать полученные закономерности на другие этапы полета.

Таким образом, существующие методы либо оценивают когнитивные функции фрагментарно, либо нормативно несовместимы с гражданской авиацией. Это определяет актуальность разработки нового метода интегральной оценки, обеспечивающего валидную и мобильную диагностику работоспособности с учетом специфики гражданских воздушных перевозок.

МЕТОДОЛОГИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящего исследования была разработка метода интегральной оценки когнитивной работоспособности летного и диспетчерского составов гражданской авиации на основе репрезентативного набора когнитивных профессионально-важных качеств.

На начальном этапе необходимо было решить две методологически взаимосвязанные задачи: определить репрезентативный набор когнитивных функций авиационного персонала и обосновать возможность их формализации посредством математических моделей.

Профессиональная деятельность летного и диспетчерского составов гражданской авиации относится к классу эргатических систем повышенной сложности, где оператор выступает центральным звеном контура управления. Надежность функционирования такой системы детерминирована не столько техническими характеристиками воздушного судна или навигационного оборудования, сколько когнитивным потенциалом человека, способного воспринимать, перерабатывать и трансформировать информацию в управляющие воздействия в условиях дефицита времени, многозадачности и повышенных психоэмоциональных нагрузок.

Анализ структуры профессионально-важных качеств, представленный в трудах ведущих отечественных авиационных психологов (В. А. Пономаренко, В. А. Бодров, Б. Л. Покровский, А. Б. Леонова, А. А. Ворона и др.), позволяет выделить восемь когнитивных функций, составляющих необходимый и достаточный базис для интегральной оценки когнитивной работоспособности оператора: это внимание, оперативная память, темп психических процессов, пространственные способности, логическое мышление, счетно-математические способности, точность управляющих движений и эмоциональная устойчивость. Указанный перечень согласуется с требованиями приказа Минтранса России № 419 от 19.10.2022 г. [15] и находит подтверждение в современных исследованиях когнитивной надежности операторов эргатических систем [16], что обосновывает его использование в качестве методологического базиса для разработки интегрального показателя когнитивной работоспособности авиационного персонала.

Математическое моделирование когнитивных функций решает фундаментальную проблему психофизиологии — переход от качественных описаний к количественным метрикам. Без формализации когнитивные функции остаются абстрактными конструктами, непригодными для расчета интегрального показателя.

Построим для каждой когнитивной функции математическую модель, позволяющую количественно оценивать их вклад в итоговый интегральный показатель.

1. Внимание. Выступает фундаментальным процессом, обеспечивающим селекцию релевантных сигналов из потока сенсорной информации. В авиационном контексте устойчивость, распределение и переключаемость внимания критически важны для мониторинга приборной панели, поддержания радиосвязи и отслеживания изменений воздушной обстановки. Исследования демонстрируют, что редукция внимания является первичным звеном в цепи ошибок, приводящих к инцидентам. Количественно когнитивную функцию «внимание» можно оценить следующим образом:

$$X_V = \frac{T_f}{T_t} \cdot (1 - P_{err}),$$

где T_f – время удержания концентрации на целевом стимуле без отвлечений; T_t – общее время тестирования; P_{err} – вероятность ошибки обнаружения сигнала (отношение пропущенных сигналов к общему числу).

2. Оперативная память. Обеспечивает удержание и актуализацию полетной информации: параметров маршрута, инструкций диспетчера, процедур действий в нештатных ситуациях. Дефицит ресурсов оперативной памяти ведет к потере критических данных и нарушению последовательности операций. Математическая модель имеет следующий вид:

$$X_{OP} = \frac{V_r}{V_p} \cdot K_{seq},$$

где V_r – объем верно воспроизведенной информации; V_p – максимальный объем предъявленной информации; K_{seq} – коэффициент сохранения последовательности (отношение верно воспроизведенных связей к общему числу).

3. Темп психических процессов. Определяет скорость восприятия, анализа и реакции на изменяющиеся условия. В динамической среде полета задержки в обработке информации могут иметь необратимые последствия, особенно на этапах взлета, посадки и разрешения конфликтных ситуаций в воздушном пространстве. Имеем

$$X_{\text{TPP}} = \frac{RT_r}{\overline{RT}} \cdot (1 - V_{\text{var}}),$$

где RT_r – референтное (нормативное) время реакции для данного типа задач; $\overline{RT}$ – среднее время сложной сенсомоторной реакции испытуемого; $V_{\text{var}} = \sigma_{\text{RT}} / \overline{RT}$ – коэффициент вариации времени реакции, отражающий стабильность темпа.

4. Пространственные способности. Позволяют оператору формировать и удерживать ментальную модель воздушной обстановки, оперировать трехмерными координатами, прогнозировать траектории движения. Для пилотов это непосредственно связано с пилотированием, для диспетчеров – с планированием эшелонов и предотвращением столкновений. Имеем

$$X_{\text{PS}} = \frac{N_{\text{cor}}}{N_t} \cdot \left(1 - \frac{\Theta_{\text{err}}}{\Theta_{\text{max}}} \right),$$

где N_{cor} – количество верно решенных задач на пространственную ориентацию; Θ_{err} – средняя угловая ошибка определения направления или положения объекта; Θ_{max} – максимально допустимая угловая погрешность.

5. Логическое мышление. Обеспечивает способность оператора анализировать причинно-следственные связи, выявлять закономерности, строить умозаключения и принимать решения в условиях неопределенности. В авиационной деятельности данная функция критически важна при возникновении нештатных ситуаций, когда пилот или диспетчер должны быстро оценить множество альтернативных сценариев и выбрать оптимальную стратегию действий. Имеем

$$X_{\text{LM}} = \frac{N_{\text{sol}}}{N_{\text{off}}} \cdot \left(\frac{T_{\text{norm}}}{T_{\text{fact}}} \right) \cdot K_{\text{diff}},$$

где N_{sol} – количество верно решенных логических задач; N_{off} – общее количество задач; T_{norm} – нормативное время на задачу; T_{fact} – фактическое время решения; K_{diff} – коэффициент сложности решенных задач (экспертная оценка уровня абстракции задач).

6. Счетно-математические способности. Эта функция обеспечивает точность вычислений, необходимых для навигации, расчета топливных остатков,

определения времени подлета, вертикальных скоростей и интервалов эшелонирования. Ошибки в вычислениях могут привести к нарушению безопасных интервалов между воздушными судами или критическому снижению запасов топлива. Имеем

$$X_{CMA} = \left(1 - \frac{\sum_{i=1}^n (N_{fact}^i - N_{true}^i)}{\sum_{i=1}^n N_{true}^i} \right) \cdot K_{time},$$

где N_{fact}^i – числовое значение, полученное испытуемым при решении i -й задачи; N_{true}^i – эталонное значение при решении i -й задачи; n – общее количество задач;

$$K_{time} = \begin{cases} 1.0, & \text{если } T_{fact} \leq T_{limit} \\ 1.0 - 0.1 \cdot \frac{T_{fact} - T_{limit}}{T_{limit}}, & \text{если } T_{fact} > T_{limit} \end{cases}$$

– коэффициент учета времени; T_{fact} – фактическое время выполнения всех вычислений; T_{limit} – предельно допустимое время выполнения всех вычислений, установленное протоколом.

7. Точность управляющих движений. Отражает сенсомоторную координацию, необходимую для плавного и точного управления органами управления воздушного судна (штурвал, РУД, педали). Эта когнитивная функция особенно значима при ручном пилотировании в сложных метеорологических условиях, при заходе на посадку и в нештатных ситуациях. Имеем

$$X_{PCM} = \left(1 - \frac{1}{T} \int_0^T \frac{|\sigma(t)|}{\sigma_{lim}(t)} dt \right),$$

где $\sigma(t)$ – текущее отклонение от нормы при выполнении задачи; $\sigma_{lim}(t)$ – допустимое отклонение при выполнении задачи; T – время тестирования.

8. Эмоциональная устойчивость. Выполняет регуляторную функцию, обеспечивая сохранение когнитивной эффективности под воздействием стресса, утомления, монотонии или экстремальных факторов. Дестабилизация эмоциональной сферы вторично влияет на все остальные когнитивные функции, снижая общую когнитивную работоспособность оператора.

Имеем

$$X_{\text{EU}} = \frac{\sum_{i=1}^N \beta_i \cdot F_i(t)}{1 + \kappa \cdot \sum(t)},$$

где $\beta_i \geq 0$, $\sum \beta_i = 1$ – коэффициенты значимости (веса) когнитивных способностей; $F_i(t)$ – функциональное состояние i -й когнитивной способности в момент времени t ; $\kappa \geq 0$ – персональный коэффициент резистентности к стрессовым воздействиям; $\sum(t) \in [0, 1]$ – индекс психоэмоционального напряжения в момент времени t (определяется по комплексу объективных и субъективных индикаторов).

Все функции нормируются к единой шкале от 0 до 1 для обеспечения сопоставимости. Для исходных данных, характеризующихся как прямой, так и обратной шкалами интерпретации, алгоритм приведения к унифицированному диапазону реализован посредством линейного масштабирования согласно следующим математическим выражениям:

$$X^n = \frac{X - X_{\min}}{X_{\max} - X_{\min}}; \quad X^n = \frac{X_{\max} - X}{X_{\max} - X_{\min}}.$$

Проведенный анализ подтвердил, что весь спектр выбранных когнитивных детерминант поддается строгой математической формализации. Это фундаментальное свойство обеспечивает приведение разнородных психофизиологических параметров к единому метрическому пространству, где каждый показатель выражается через количественную шкалу сопоставимой размерности.

Таким образом, разработанные модели обеспечивают трансформацию качественных психофизиологических конструкторов в верифицируемые количественные метрики. Они создают техническую возможность для введения дифференцированных весовых коэффициентов, нормирования разнородных данных к унифицированной шкале и автоматизации расчетных операций. Совокупность указанных свойств формирует методологический и вычислительный базисы для синтеза интегрального показателя когнитивной работоспособности (ИПКР), пригодного для использования в системах поддержки принятия решений.

РАЗРАБОТКА ИНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ОЦЕНКИ КОГНИТИВНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВИАЦИОННОГО ПЕРСОНАЛА

Функциональную зависимость ИПКР авиационного персонала в обобщенном виде можно представить как

$$\text{ИПКР} = p_1 \cdot X_V + p_2 \cdot X_{\text{OP}} + p_3 \cdot X_{\text{TPP}} + p_4 \cdot X_{\text{PS}} + p_5 \cdot X_{\text{LM}} + p_6 \cdot X_{\text{CMA}} + p_7 \cdot X_{\text{PCM}} + p_8 \cdot X_{\text{EU}},$$

где $p_1, p_2, p_3, p_4, p_5, p_6, p_7, p_8$ – весовые коэффициенты, учитывающие «вклад» каждой когнитивной функции в результирующее значение интегрального показателя.

Эта зависимость отражает аддитивную модель формирования ИПКР, где результирующая метрика конструируется как взвешенная линейная комбинация частных показателей, характеризующих отдельные когнитивные домены. Такая структурная организация обусловлена необходимостью агрегации разнородных психофизиологических параметров, измеряемых в различных метрических шкалах и имеющих несопоставимые физические размерности, в единый безразмерный индикатор, применимый для комплексной оценки функционального состояния оператора.

Введение весовых коэффициентов p_i продиктовано фундаментальным положением эргономики и инженерной психологии о неравнозначности отдельных когнитивных функций для обеспечения надежности профессиональной деятельности. Эмпирические исследования демонстрируют, что вклад различных когнитивных способностей в общую эффективность операторской деятельности существенно дифференцирован. Однако процедура определения значений весовых коэффициентов представляет собой нетривиальную методологическую проблему. Прямое интуитивное назначение весов подвержено влиянию субъективных факторов: когнитивных искажений экспертов, их профессиональной деформации, контекстуальных эффектов. Кроме того, при индивидуальном экспертном оценивании трудно обеспечить внутреннюю согласованность суждений: эксперт может утверждать, что функция X_1 важнее X_2 , X_2 важнее X_3 , но при этом X_3 важнее X_1 , что нарушает транзитивность предпочтений и дискредитирует полученные оценки.

Для преодоления указанных ограничений целесообразно использовать формализованный подход к определению весовых коэффициентов, основанный на методе анализа иерархий (Analytic Hierarchy Process – AHP), разработанном американским математиком Т. Саати [17]. Этот метод трансформирует качественную задачу определения относительной важности когнитивных функций в последовательность структурированных процедур парных сравнений, что существенно снижает когнитивную нагрузку на экспертов и повышает точность получаемых оценок.

Метод Саати базируется на декомпозиции сложной проблемы определения весов на иерархическую структуру, где на верхнем уровне расположена глобальная цель (определение структуры ИПКР), а на нижнем — альтернативы (восемь когнитивных функций). Эксперты последовательно сравнивают пары функций по шкале относительной важности, представленной в табл. 1, формируя матрицы парных сравнений.

Табл. 1. Оценки шкалы отношений.

Численное значение оценки	Интерпретация значения оценки
1	Когнитивные функции одинаково важны
3	Умеренное превосходство первой когнитивной функции над второй
5	Существенное или сильное превосходство первой когнитивной функции над второй
7	Значительное превосходство первой когнитивной функции над второй
9	Абсолютное превосходство первой когнитивной функции над второй
2, 4, 6, 8	Промежуточная оценка между двумя соседними суждениями
Обратная величина	Если при сравнении одного элемента получена одна из вышеуказанных оценок, то при сравнении второго элемента с первым оценкой относительной важности является обратная величина

Математическая обработка этих матриц позволяет рассчитать собственные векторы, компоненты которых и являются искомыми весовыми коэффициентами p_i .

Критическим преимуществом метода Саати является наличие встроенного механизма верификации экспертных суждений через расчет индекса согласованности (Consistency Index – CI)

$$CI = (\lambda_{\max} - n) / (n - 1)$$

и отношения согласованности (Consistency Ratio – CR)

$$CR = CI / CC ,$$

где $\lambda_{\max}$ – максимальное собственное значение матрицы парных сравнений; n – количество сравниваемых величин; CC – среднее значение индекса однородности случайным образом составленной матрицы парных сравнений, которое основано на экспериментальных данных [17].

Эти метрики позволяют количественно оценить степень логической непротиворечивости экспертных оценок и отклонять результаты тех экспертов, у которых CR превышает пороговое значение 0.1, что обеспечивает высокую достоверность итоговых весовых коэффициентов.

Чтобы агрегировать мнения группы экспертов, рассчитывают среднегеометрическое по следующей формуле:

$$g_i = \sqrt[k]{\prod_{j=1}^k a_{i,j}} ,$$

где k – количество экспертов в группе; $a_{i,j}$ – численное значение относительной важности когнитивной функции X_i по отношению к X_j .

Компоненты нормализованного вектора приоритетов рассчитывают по формуле

$$p_i^H = g_i / \sum_{i=1}^k g_i .$$

Оценка согласованности мнений группы экспертов проводится с целью обеспечения требуемой обоснованности принимаемых решений на основе данных, полученных от группы экспертов.

ФОРМИРОВАНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ

Процедура комплектования экспертного пула для верификации весовых коэффициентов когнитивных детерминант, интегрированных в показатель работоспособности, базировалась на аксиоматике метода анализа иерархий (МАИ). Саати. В основополагающих работах создателя методики [17] указано, что реализация группового экспертного оценивания в парадигме МАИ требует обеспе-

чения компромисса между статистической значимостью суждений и организационной доступностью процедуры. При отсутствии универсальных стандартов, регламентирующих кворум участников, эмпирические данные [18, 19] подтверждают: оптимальный состав группы в количестве 5–9 экспертов позволяет достичь максимального соответствия между валидностью агрегированных оценок и ресурсоемкостью исследования.

Таким образом, было принято решение о формировании экспертной группы из 7 специалистов, распределенных по трем функциональным стратам (табл. 2).

Табл. 2. Состав экспертной группы.

Страта	Количество экспертов	Квалификационные требования
Специалисты по профессиональному психологическому отбору	2	Действующие психологи ВЛЭК гражданской авиации
Эксперты – научные сотрудники	2	Признанные специалисты в области авиационной психофизиологии, авиационной медицины и исследования влияния человеческого фактора на безопасность полетов
Летный состав	3	Пилоты гражданской авиации, имеющие налет более 1000 ч

Первая страта представлена психологами врачебно-летной экспертной комиссии (2 человека) с опытом обследования свыше 500 кандидатов. Их компетенции обеспечивают нормативно-методическую и прогностическую валидность, так как суждения опираются на статистически верифицированные корреляции между тестовыми показателями и успешностью летного обучения либо обеспечения безопасности полетов.

Вторую страту составили научные сотрудники (2 человека), обладающие признанным авторитетом в сферах авиационной психофизиологии, медицины и исследований влияния человеческого фактора на безопасность полетов в гражданской авиации. Наличие публикационной активности в рецензируемых изданиях и практического стажа послужили гарантом конструктивной валидности: оцениваемые функции соотносятся с актуальными теоретическими концепциями профессиональной деятельности.

Третью страту сформировали действующие пилоты гражданской авиации (3 человека). Ключевым критерием их отбора стали суммарный налет, превышающий 1000 ч, включая практику управления воздушным судном в осложненных метеорологических условиях и нештатных ситуациях, а также наличие действующих лицензий CPL или ATPL. Обоснованием такого квалификационного критерия послужила необходимость получения оценок, базирующихся на устойчивых ментальных моделях полетной деятельности. Анализ данных систем отчетности о безопасности (в частности, NASA ASRS) свидетельствует, что именно на этом этапе профессионального становления у пилотов кристаллизуется имплицитное понимание компенсаторных механизмов когнитивной системы. Это гарантирует содержательную валидность экспертных суждений при ранжировании когнитивных детерминант. Превышение численности данной страты над остальными (3 против 2) продиктовано принципами человеко-центрированного проектирования: поскольку пилоты являются непосредственными субъектами эксплуатации разрабатываемого оценочного инструмента, их приоритетное мнение необходимо для обеспечения соответствия методики реальным операционным условиям (экологическая валидность).

ЭКСПЕРТНАЯ ОЦЕНКА КОГНИТИВНЫХ ФУНКЦИЙ АВИАЦИОННОГО ПЕРСОНАЛА

Для минимизации влияния групповой динамики и эффекта конформизма процедура осуществлялась в анонимном режиме. На этапе сбора первичных данных каждый эксперт группы независимо заполнил матрицы парных сравнений (табл. 3).

Табл. 3. Пример матрицы парных сравнений для оценки когнитивных функций авиационного персонала.

Сравниваемые функции	Вн.	ОП	ТПП	ПС	ЛМ	СМС	ТУД	ЭУ
Вн.	1	$a_{1,2}$	$a_{1,3}$	$a_{1,4}$	$a_{1,5}$	$a_{1,6}$	$a_{1,7}$	$a_{1,8}$
ОП	$1/a_{1,2}$	1	$a_{2,3}$	$a_{2,4}$	$a_{2,5}$	$a_{2,6}$	$a_{2,7}$	$a_{2,8}$
ТПП	$1/a_{1,3}$	$1/a_{2,3}$	1	$a_{3,4}$	$a_{3,5}$	$a_{3,6}$	$a_{3,7}$	$a_{3,8}$
ПС	$1/a_{1,4}$	$1/a_{2,4}$	$1/a_{3,4}$	1	$a_{4,5}$	$a_{4,6}$	$a_{4,7}$	$a_{4,8}$
ЛМ	$1/a_{1,5}$	$1/a_{2,5}$	$1/a_{3,5}$	$1/a_{4,5}$	1	$a_{5,6}$	$a_{5,7}$	$a_{5,8}$
СМС	$1/a_{1,6}$	$1/a_{2,6}$	$1/a_{3,6}$	$1/a_{4,6}$	$1/a_{5,6}$	1	$a_{6,7}$	$a_{6,8}$

ТУД	$1/a_{1,7}$	$1/a_{2,7}$	$1/a_{3,7}$	$1/a_{4,7}$	$1/a_{5,7}$	$1/a_{6,7}$	1	$a_{7,8}$
ЭУ	$1/a_{1,8}$	$1/a_{2,8}$	$1/a_{3,8}$	$1/a_{4,8}$	$1/a_{5,8}$	$1/a_{6,8}$	$1/a_{7,8}$	1

Примечание: В табл. 3 использованы следующие обозначения: Вн. – внимание; ОП – оперативная память; ТПП – темп психических процессов; ПС – пространственные способности; ЛМ – логическое мышление; СМС – счетно-математические способности; ТУД – точность управляющих движений; ЭУ – эмоциональная устойчивость.

Следующим шагом стала математическая обработка полученных массивов. В соответствии с алгоритмом метода анализа иерархий была выполнена проверка индивидуальных матриц на внутреннюю непротиворечивость. Количественные метрики согласованности суждений каждого эксперта систематизированы и представлены в табл. 4.

Табл. 4. Результат проверки индивидуальных матриц группы экспертов на согласованность.

Сравниваемые когнитивные функции	Специалисты по профессиональному психологическому отбору		Научные эксперты		Летный состав		
	Экс. № 1	Экс. № 2	Экс. № 3	Экс. № 4	Экс. № 5	Экс. № 6	Экс. № 7
	Частные нормированные значения весовых коэффициентов когнитивных функций						
Вн.	0.153	0.232	0.138	0.265	0.27	0.235	0.221
ОП	0.138	0.132	0.043	0.065	0.179	0.146	0.12
ТПП	0.046	0.132	0.216	0.174	0.169	0.097	0.12
ПС	0.073	0.086	0.124	0.044	0.11	0.097	0.112
ЛМ	0.036	0.076	0.081	0.200	0.103	0.08	0.048
СМС	0.017	0.026	0.024	0.038	0.046	0.027	0.023
ТУД	0.259	0.051	0.059	0.038	0.058	0.084	0.041
ЭУ	0.278	0.265	0.315	0.176	0.065	0.234	0.315
$\lambda_{\max}$	8.627	8.753	8.190	8.373	8.616	8.760	8.691
CI	0.09	0.108	0.027	0.053	0.088	0.108	0.098
CR	0.064	0.076	0.019	0.038	0.062	0.076	0.07

Таким образом, все представленные индивидуальные матрицы парных сравнений успешно прошли процедуру верификации на внутреннюю непротиворечивость. Рассчитанные значения CR для каждого эксперта не превысили критический порог в 0.10, что свидетельствует о допустимом уровне логической когерентности суждений. Данный результат является императивным условием

для интеграции соответствующих матриц в процесс агрегации группового мнения, обеспечивая тем самым методологическую чистоту и статистическую достоверность последующих расчетов весовых коэффициентов.

ПРОВЕРКА СОГЛАСОВАННОСТИ МНЕНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ

Для проверки согласованности мнений экспертной группы был использован дисперсионный коэффициент конкордации Кендалла

$$W = \frac{12S}{d^2 \cdot (n^3 - n) - d \sum_{s=1}^d T_s},$$

где d – количество экспертов в группе; n – количество сравниваемых (ранжируемых) факторов; $S = \sum_{i=1}^n \left(\sum_{k=1}^d r_{ik} - \bar{r} \right)^2$ – вариация относительно среднего ранга; r_{ik} –

ранг, присвоенный k -м экспертом i -му фактору; $\bar{r} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_{ik}$ – средний ранг

(оценка математического ожидания); $T_s = \sum_{k=1}^{H_s} (p_k^3 - p_k)$ – поправка на наличие связанных рангов в s -й ранжировке; H_s – число групп равных рангов в s -й ранжировке; p_k – число равных рангов в k -й группе связанных рангов при ранжировке s -м экспертом [20].

Данный коэффициент измеряет степень согласованности ранжировок, присвоенных одним и тем же факторам несколькими экспертами, и принимает значения в диапазоне от 0 (полное рассогласование) до 1 (полная согласованность).

На основе данных табл. 4 и в соответствии с методикой оценки коэффициента конкордации Кендалла была выполнена проверка согласованности мнений экспертов каждой страты отдельно, а затем всей группы экспертов (табл. 5).

Табл. 5. Матрица рангов экспертных мнений

Сравниваемые когнитивные функции	Специалисты по профессиональному психологическому отбору		Научные эксперты		Летный состав		
	Экс. № 1	Экс. № 2	Экс. № 3	Экс. № 4	Экс. № 5	Экс. № 6	Экс. № 7
	Присвоенные ранги						
Вн.	3	2	3	1	1	1	2
ОП	4	3.5	7	5	2	3	3.5
ТПП	6	3.5	2	4	3	4,5	3.5
ПС	5	5	4	6	4	4,5	5
ЛМ	7	6	5	2	5	7	6
СМС	8	8	8	7.5	8	8	8
ТУД	2	7	6	7.5	7	6	7
ЭУ	1	1	1	3	6	2	1
W (по стратам)	0.799		0.811		0.839		
W (по всей группе экспертов)	0.682						

Оценим статистическую значимость полученных значений W . Коэффициент конкордации представляет собой случайную величину. В соответствии с [21], для $n > 7$ оценка значимости W производится по критерию Пирсона χ_p^2 с $\nu = n - 1$ степенями свободы по следующей формуле:

$$\chi_p^2 = \frac{S}{\frac{1}{12}d \cdot n \cdot (n+1) - \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n T_s}.$$

С помощью этой формулы получены следующие результаты.

1. Для страт экспертов из числа специалистов по профессиональному психологическому отбору представителей научного сообщества ($d = 2$) расчетное значение критерия Пирсона составило $\chi_p^2 = 12.136$ и $\chi_p^2 = 12.160$ соответственно. Табличное значение критерия для $\nu = 7$ и уровня значимости $\alpha = 0.10$ равно $\chi_m^2 = 12.02$. Поскольку $\chi_p^2 > \chi_m^2$, гипотеза о согласованности мнений экспертов принимается.

2. Для страты экспертов из числа летного состава ($d = 3$) расчетное значение критерия Пирсона составило $\chi_p^2 = 17.612$. Табличное значение критерия для $\nu = 7$ и уровня значимости $\alpha = 0.02$ равно $\chi_m^2 = 16.62$. Поскольку $\chi_p^2 > \chi_m^2$, гипотеза о согласованности мнений экспертов принимается.

3. Для общей группы экспертов ($d = 7$) на основе полученного коэффициента конкордации Кендалла $W = 0.682$ можно утверждать о достаточно хорошей согласованности экспертных мнений при высоком уровне значимости $\alpha = 0.001$ ($\chi_p^2 = 33.441$).

АГРЕГАЦИЯ МНЕНИЙ ЭКСПЕРТНОЙ ГРУППЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕСОВЫХ КОЭФФИЦИЕНТОВ ИПКР

Интеграция индивидуальных оценок семи экспертов в единое коллективное мнение была осуществлена посредством процедуры агрегации персональных матриц парных сравнений. Для обеспечения математической корректности объединения разнородных данных использован аппарат среднегеометрического усреднения, применяемый к соответствующим элементам матриц каждого участника. Результатом данной операции стало формирование обобщенной матрицы парных иерархий, которая аккумулирует согласованные предпочтения экспертной группы и выступает исходным массивом для расчета итоговых весовых коэффициентов когнитивных детерминант (табл. 6). Полученная матрица является согласованной ($\lambda_{\max} = 8.252$; $CI = 0.036$; $CR = 0.026$). Итоговые веса оказались равны: $p_1 = 0.246$; $p_2 = 0.112$; $p_3 = 0.134$; $p_4 = 0.091$; $p_5 = 0.079$; $p_6 = 0.023$; $p_7 = 0.067$; $p_8 = 0.248$.

Табл. 6. Агрегированная матрица парных иерархий группы экспертов.

Сравниваемые функции	Вн.	ОП	ТПП	ПС	ЛМ	СМС	ТУД	ЭУ
Вн.	1	2.712	2.284	2.918	3.139	5.473	3.293	0.512
ОП	0.369	1	0.914	1.27	1.346	4.123	1.768	0.496
ТПП	0.438	1.094	1	1.472	1.795	4.877	1.668	0.72
ПС	0.343	0.787	0.679	1	1.534	3.611	1.17	0.413
ЛМ	0.319	0.743	0.557	0.652	1	3.927	1.626	0.348
СМС	0.183	0.243	0.205	0.277	0.255	1	0.328	0.192
ТУД	0.304	0.566	0.599	0.855	0.615	3.046	1	0.357

ЭУ	1.952	2.015	1.39	2.42	2.877	5.221	2.8	1
----	-------	-------	------	------	-------	-------	-----	---

Таким образом, функциональная зависимость ИПКР авиационного персонала имеет вид

$$\begin{aligned} \text{ИПКР} = & 0.246 \cdot X_V + 0.112 \cdot X_{OP} + 0.134 \cdot X_{TPP} + 0.091 \cdot X_{PS} + \\ & + 0.079 \cdot X_{LM} + 0.023 \cdot X_{CMA} + 0.067 \cdot X_{PCM} + 0.248 \cdot X_{EU}. \end{aligned}$$

Расчет численного ИПКР представляет собой лишь промежуточный этап диагностической процедуры. Для практического применения метода в системах профессионального отбора и текущего мониторинга необходимо преобразовать абстрактную метрику диапазона [0; 1] в категоризованную оценку о пригодности специалиста. С этой целью была введена трехуровневая шкала интерпретации, позволяющая классифицировать текущее состояние когнитивной работоспособности оператора относительно нормативных требований гражданской авиации.

ОБОСНОВАНИЕ ТРЕХУРОВНЕВОЙ ШКАЛЫ ИНТЕРПРЕТАЦИИ

Выбор границ шкалы обусловлен необходимостью баланса между чувствительностью диагностического инструмента и устойчивостью к случайным флуктуациям психофизиологического состояния. В настоящей работе предложено разделение множества возможных значений ИПКР на три диапазона, соответствующие низкому, среднему и высокому уровням когнитивной работоспособности. Граничные значения установлены на основе принципа квартильного деления нормированного распределения [22].

1. Зона низких значений (ИПКР $\in$ [0; 0.25]). Значения в этом диапазоне свидетельствуют о выраженном дефиците когнитивных ресурсов, недостаточном для безопасного выполнения профессиональных обязанностей. В контексте задач профессионального отбора кандидаты с показателями в этой зоне классифицируются как «нерекомендованные». При текущем мониторинге действующего персонала попадание в данную зону является основанием для временного отстранения от полетных заданий и направления на углубленное психофизиологическое обследование.

2. Зона средних значений (ИПКР $\in$ (0.25; 0.75]). Этот диапазон отражает вариативность нормы для широкой популяции. Для авиационного персонала интерпретация этой зоны требует дифференцированного подхода: значения, близкие к нижней границе (0.26 – 0.40), могут указывать на наличие скрытых рисков и требуют усиленного мониторинга, тогда как значения верхней половины интервала (0.50 – 0.75) соответствуют устойчивому функциональному состоянию. В условиях профессионального отбора эта зона может трактоваться как «условно пригодные» при условии отсутствия отягчающих факторов.

3. Зона высоких значений (ИПКР $\in$ (0.75; 1.0]). Показатели в этой зоне характеризуют операторов с оптимальным уровнем развития когнитивных функций, обладающих запасом надежности для деятельности в осложненных условиях.

Методологическим обоснованием выбранной градации служит традиционный способ деления процентильной кривой на части путем отведения на крайние области по 25% каждой (деление по квартилям). Подобный подход широко применяется в практике профессионального психологического отбора и позволяет стандартизировать процедуру принятия решений на основе интегральных показателей [2]. Использование именно квартильных границ (0.25 и 0.75) для нормированных данных обеспечивает статистическую прозрачность критериев и упрощает процедуру верификации методики.

ОГРАНИЧЕНИЯ МЕТОДА И НЕОБХОДИМОСТЬ ЭМПИРИЧЕСКОЙ ВАЛИДАЦИИ

Следует особо подчеркнуть, что предложенная шкала интерпретации на текущем этапе исследования носит характер методологического прототипа. Установленные границы (0.25 и 0.75) базируются на математической логике нормирования и экспертном заключении, однако не подкреплены достаточным объемом эмпирических данных по целевой выборке авиационного персонала. Прямое использование данных пороговых значений в практике обязательного профессионального отбора без дополнительной верификации может привести к необоснованному допуску лиц со сниженной когнитивной работоспособностью или, наоборот, к необоснованному отсеву перспективных кандидатов.

Для перевода методики из статуса исследовательской в статус нормативно утвержденной необходимо проведение процедуры критериальной валидации на репрезентативной выборке. Минимально необходимый объем выборки для построения устойчивых нормативных распределений должен составлять не менее 100 представителей для каждой категории специалистов (пилоты самолетов, вертолетчики, диспетчеры управления воздушным движением). Это требование обусловлено необходимостью обеспечения статистической мощности критериев согласованности и возможности выявления значимых различий между профессиональными группами.

Такой подход позволит обеспечить научную обоснованность принимаемых решений и соответствует современным требованиям обеспечения безопасности полетов в гражданской авиации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработан метод интегральной оценки когнитивной работоспособности авиационного персонала, принципиальным отличием которого от существующих подходов является комплексный охват восьми когнитивных функций (внимание, оперативная память, темп психических процессов, пространственные способности, логическое мышление, счетно-математические способности, точность управляющих движений, эмоциональная устойчивость) с дифференцированными весовыми коэффициентами, что обеспечивает более полную реконструкцию многомерной архитектуры когнитивной работоспособности оператора.

Для каждой когнитивной функции построены математические модели, обеспечивающие переход от качественных психофизиологических конструкторов к верифицируемым количественным метрикам, нормированным к единой шкале $[0, 1]$. Алгоритмическая реализация этих моделей создает техническую возможность для автоматизации расчетных процедур и получения диагностических данных в режиме реального времени.

Применение метода анализа иерархий Т. Саати для определения весовых коэффициентов позволило минимизировать субъективность экспертных оценок за счет процедуры парных сравнений и встроенного механизма верификации

логической согласованности. Все семь индивидуальных матриц парных сравнений продемонстрировали приемлемый уровень внутренней непротиворечивости ($CR < 0.10$), что подтверждает методологическую чистоту исходных данных.

Стратифицированный подход к формированию экспертной группы (2 психолога ВЛЭК, 2 научных эксперта, 3 пилота) обеспечил репрезентативность мнений. Расчет коэффициента конкордации Кендалла ($W = 0.682$) и его статистическая проверка по критерию Пирсона ($\chi^2_p = 33.441 > \chi^2_{\tau} = 24.32$ при $\alpha = 0.001$) подтвердили высокую согласованность мнений всей экспертной группы, что позволяет рассматривать полученные весовые коэффициенты как статистически обоснованные.

На основе агрегации экспертных суждений методом среднегеометрического усреднения рассчитаны итоговые весовые коэффициенты, которые выявили иерархическую структуру когнитивной работоспособности авиационного персонала: доминирующее влияние оказывают внимание ($p_1 = 0.246$) и эмоциональная устойчивость ($p_8 = 0.248$), что согласуется с данными о роли человеческого фактора в структуре авиационных инцидентов; вспомогательное влияние оказывают счетно-математические способности ($p_6 = 0.023$) и точность управляющих движений ($p_7 = 0.067$).

На основе принципа квартильного деления нормированного распределения предложено разделение множества возможных значений ИПКР на три диапазона, соответствующие низкому (ИПКР $\in [0; 0.25]$), среднему (ИПКР $\in (0.25; 0.75]$) и высокому (ИПКР $\in (0.75; 1.0]$) уровням когнитивной работоспособности.

Разработанный метод интегральной оценки когнитивной работоспособности создает методологическую основу для решения практических задач гражданской авиации: совершенствования процедур профессионального отбора кандидатов в летные училища, организации текущего мониторинга когнитивного состояния действующих экипажей, принятия обоснованных решений о допуске к выполнению полетных заданий после периодов болезни или стрессовых событий, а также для оценки эффективности реабилитационных мероприятий.

Перспективными направлениями дальнейших исследований являются эмпирическая валидация метода на расширенной выборке (не менее 100 испытуемых) с установлением пороговых критериев допуска; разработка программного модуля для автоматизации расчета ИПКР; адаптация весовых коэффициентов под специфические категории авиационного персонала (командиры воздушных судов, вторые пилоты, диспетчеры разных зон ответственности); интеграция метода с системами объективного контроля для непрерывного мониторинга когнитивной работоспособности в реальных условиях полета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Panish, Boyle, Ravipudi and Shea. Aviation and Plane Crash Statistics.*
URL: https://www.psbr.law/aviation_accident_statistics.html
2. *Алексеев М.С., Серова А.А. Системно-психологическая концепция профессионального отбора лиц летного и диспетчерского состава // Системная психология и социология. 2024. № 4 (52). С. 18–31.*
<https://doi.org/10.24412/2223-6872-2024-452-18-31>
3. *Yu H., Xue H., Li J., Fan W. Effects of cognitive load on human cognitive reliability // 11th International Conference on Information Systems and Computing Technology (ISCTech). 2023. P. 201–206.*
<https://doi.org/10.1109/ISCTech60480.2023.00047>.
4. *Дикая Л.Г. Психическая саморегуляция функционального состояния человека (системно-деятельностный подход). М.: Институт психологии РАН, 2003. 240 с. ISBN 5-9270-0048-7.*
5. *Голиков Ю.Я., Костин А.Н. Психология автоматизации управления техникой. М.: Институт психологии РАН, 1996. 160 с.*
6. *Ульмер Х.Ф., Брюк К., Эве К. и др. Физиология человека. В 3-х томах. М.: Мир, 1996. 198 с.*
7. *Бернштейн Н.А. О ловкости и ее развитии. М.: «Физкультура и спорт» Государственного комитета СССР по печати, 1991. 288 с.*
8. *Анастаси А. Психологическое тестирование: монография. М.: Директ-Медиа, 2008. 859 с. ISBN: 978-5-9989-0357-1.*

9. Городецкий И.Г. Трофимов Е.А. Индекс когнитивной работоспособности операторов в эргатических системах // Психологический журнал. 2016. Т. 37. № 5. С. 22–31.
10. Городецкий И.Г. Якимович Н.В., Трофимов Е.А., Чиронов В.В., Петрова Е.М. Создание методики для диагностики способности к совмещенной деятельности // Психологические исследования. 2012. Т. 5, № 26. 12 с.
<https://doi.org/10.54359/ps.v5i26.734>
11. Демина П.Н., Трофимов Е.А., Берсенева Е.Ю. Методология оценки и контроля когнитивной работоспособности человека-оператора при осуществлении совмещенной деятельности в условиях воздействия неблагоприятных факторов среды // Пилотируемые полеты в космос. 2024. № 2 (51). С. 35–46.
12. Жданько И.М., Ворона А.А., Запечникова И.В., Булавин В.В. Профессионально важные качества как средство повышения профессиональной деятельности летного состава // Военная мысль. 2017. № 9. С. 87–93.
13. Военная авиационная психология: Сборник лекций / Под редакцией В.А. Пономаренко. М.: «Перо», 2021. 600 с. ISBN 978-5-00189-780-4.
14. Antoine M., Abdesslem H., Frasson C. Cognitive Workload Assessment of Aircraft Pilots // Journal of Behavioral and Brain Science. 2022. Vol. 12 (10). P. 474–484. <https://doi.org/10.4236/jbbs.2022.1210027>
15. Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 19 октября 2022 г. № 419 «Об утверждении Порядка проведения профессионального отбора пилотов гражданской авиации и диспетчеров управления воздушным движением» // Официальный интернет-портал правовой информации. 2022. № 0001202210250003.
<http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202210250003>.
16. Алексеенко М.С. Психологический профиль пилотов, эксплуатирующих разные типы воздушных судов // Системная психология и социология. 2022. № 4 (44). С. 19–27. <https://doi.org/10.25688/2223-6872.2022.44.4.02>
17. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 320 с.

18. Forman E., Peniwati K. Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process // European Journal of Operational Research. 1998. Vol. 108(1). P. 165-169. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00244-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00244-0)
19. Ishizaka A., Labib A. Review of the main developments in the analytic hierarchy process // Expert Systems with Applications. 2011. Vol. 38 (11). P. 14336–14345. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.143>
20. Лубенец Ю.В. Альтернативный коэффициент конкордации при наличии связанных рангов // Вестник Воронежского государственного технического университета. 2021. Т. 17, № 1. С. 40–45. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.17.1.005>
21. Филатов В.И., Борукаева А.О., Бердилов П.Г. Алгоритм анализа согласованности экспертных оценок параметров аппаратно-программного комплекса автоматизированного рабочего места // Труды МАИ. 2018. № 103. С. 20.
22. Кремер Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика: Учебник для вузов. 2-е изд. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. 573 с. ISBN 5-238-00573-3.

METHOD OF INTEGRAL ASSESSMENT OF COGNITIVE PERFORMANCE OF CIVIL AVIATION PERSONNEL

D. S. Koptev¹[0000-0002-7759-579X], Y. A. Khalin²[0000-0002-7020-8515]

^{1,2} Southwest State University, Kursk region, Kursk, 305040, Russia

¹d.s.koptev@mail.ru, ²yur-khalin@yandex.ru

Abstract

A method for integrating the cognitive performance of civil aviation flight and air traffic control personnel has been developed. It is based on the quantitative formalization of eight key cognitive functions: attention, working memory, mental processing speed, spatial abilities, logical thinking, numeracy, control accuracy, and emotional stability. Saaty's analytic hierarchy process was used to determine weighting factors reflecting the relative contribution of each function to the integrated indicator. An expert group of seven specialists from three professional strata was formed

(active pilots with over 1000 flight hours, researchers specializing in aviation psychophysiology, and psychologists from the medical flight expert commission). The consistency of individual expert assessments was verified by calculating the consistency ratio (CR), all values of which did not exceed the threshold of 0.10. The consistency of the opinions of the entire expert group was confirmed by the Kendall concordance coefficient ($W=0.682$) with a high level of statistical significance. Based on the aggregation of expert judgments using the geometric mean averaging method, final weighting coefficients were calculated, which made it possible to form a functional dependence of the integrated indicator of cognitive performance. The obtained results demonstrate the dominant role of attention ($p_1=0.246$) and emotional stability ($p_8=0.248$) in the structure of professional reliability of aviation personnel. The developed method creates a methodological basis for the objectification of professional selection procedures, ongoing monitoring of the state of cognitive performance of crews, and decision-making on clearance to perform flight tasks.

Keywords: *flight safety, cognitive performance, aviation personnel, cognitive functions, integrated assessment, analytic hierarchy process, weighting factors, expert assessment, consensus of opinions.*

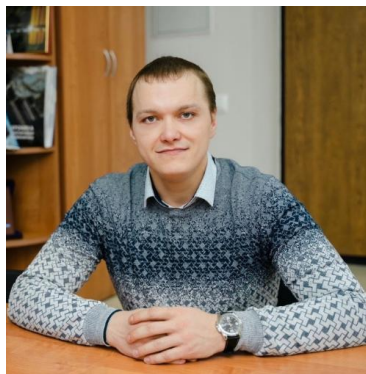
REFERENCES

1. Panish, Boyle, Ravipudi and Shea. Aviation and Plane Crash Statistics. URL: https://www.psbr.law/aviation_accident_statistics.html
2. Alekseenko M.S., Serova A.A. System-psychological concept of professional selection of flight and air traffic control personnel // Systems Psychology and Sociology. 2024. No. 4 (52). P. 18–31. <https://doi.org/10.24412/2223-6872-2024-452-18-31>
3. Yu H., Xue H., Li J., Fan W. Effects of cognitive load on human cognitive reliability // 11th International Conference on Information Systems and Computing Technology (ISCTech). 2023. P. 201–206. <https://doi.org/10.1109/ISCTech60480.2023.00047>
4. Dikaya L.G. Mental self-regulation of the functional state of a person (system-activity approach). M.: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, 2003. 240 p. ISBN 5-9270-0048-7.

5. Golikov Yu.Ya., Kostin A.N. Psychology of automation of equipment control. M.: Institute of Psychology of the Russian Academy of Sciences, 1996. 160 p.
6. Ulmer H.F., Bruck K., Ewe K., et al. Human physiology. In 3 volumes. M.: Mir, 1996. 198 p.
7. Bernstein N.A. On dexterity and its development. M.: Physical Culture and Sport, USSR State Press, 1991. 288 p.
8. Anastazi A. Psychological Testing: A Monograph. M.: Direct-Media, 2008. 859 p. ISBN: 978-5-9989-0357-1.
9. Gorodetsky I.G., Trofimov E.A. Cognitive Performance Index of Operators in Ergatic Systems // Psychological Journal. 2016. Vol. 37, No. 5. P. 22–31.
10. Gorodetsky I.G., Yakimovich N.V., Trofimov E.A., Chironov V.V., Petrova E.M. Development of a Methodology for Diagnostics of Ability to Perform Combined Activities // Psychological Research. 2012. Vol. 5, No. 26. 12 p.
<https://doi.org/10.54359/ps.v5i26.734>
11. Demina P.N., Trofimov E.A., Bersenev E.Yu. Methodology for Assessing and Monitoring the Cognitive Performance of a Human Operator During Combined Activities Under the Influence of Unfavorable Environmental Factors // Manned Space Flights. 2024. No. 2(51). P. 35–46.
12. Zhdanko I.M., Vorona A.A., Zapechnikova I.V., Bulavin V.V. Professionally Important Qualities as a Means of Improving the Professional Performance of Flight Crew // Military Thought. 2017. No. 9. P. 87–93.
13. Military Aviation Psychology: A Collection of Lectures / Edited by V.A. Ponomarenko. M.: Pero, 2021. 600 p. ISBN 978-5-00189-780-4.
14. Antoine M., Abdessalem H., Frasson C. Cognitive Workload Assessment of Aircraft Pilots // Journal of Behavioral and Brain Science. 2022. Vol. 12(10). P. 474–484. <https://doi.org/10.4236/jbbs.2022.1210027>
15. Order of the Ministry of Transport of the Russian Federation of October 19, 2022 No. 419 "On Approval of the Procedure for the Professional Selection of Civil Aviation Pilots and Air Traffic Controllers" // Official Internet Portal of Legal Information. 2022. No. 0001202210250003.
<http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202210250003>

16. *Alekseenko M.S.* Psychological profile of pilots operating different types of aircraft // *Systems Psychology and Sociology*. 2022. No. 4 (44). P. 19–27.
<https://doi.org/10.25688/2223-6872.2022.44.4.02>
17. *Saati T.* Decision Making. The Analytic Hierarchy Process. M.: Radio and Communications, 1993. 320 p.
18. *Forman E., Peniwati K.* Aggregating individual judgments and priorities with the analytic hierarchy process // *European Journal of Operational Research*. 1998. Vol. 108(1). Pp. 165–169. [https://doi.org/10.1016/S0377-2217\(97\)00244-0](https://doi.org/10.1016/S0377-2217(97)00244-0)
19. *Ishizaka A., Labib A.* Review of the main developments in the analytic hierarchy process // *Expert Systems with Applications*. 2011. Vol. 38 (11). P. 14336–14345. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2011.04.143>
20. *Lubenets Yu.V.* Alternative concordance coefficient in the presence of related ranks // *Bulletin of the Voronezh State Technical University*. 2021. Vol. 17, No. 1. P. 40–45. <https://doi.org/10.36622/VSTU.2021.17.1.005>
21. *Filatov V.I., Borukaeva A.O., Berdikov P.G.* An Algorithm for Analyzing the Consistency of Expert Estimates of the Parameters of the Hardware and Software Complex of an Automated Workstation // *Proceedings of MAI*. 2018. No. 103. P. 20.
22. *Kremer N. Sh.* Probability Theory and Mathematical Statistics: Textbook for Universities. 2nd ed. M.: UNITY-DANA, 2004. 573 p. ISBN 5-238-00573-3.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ



КОПТЕВ Дмитрий Сергеевич – старший преподаватель кафедры информационной безопасности, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет».

Dmitry Sergeevich KOPTEV – senior lecturer at the department of Information Security Southwest State University.

email: d.s.koptev@mail.ru

ORCID 0000-0002-7759-579X



ХАЛИН Юрий Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Программная инженерия», ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет».

Yuri Alekseevich KHALIN – Candidat of technical science, Associate Professor, associate professor at the Department of Software Engineering, Southwest State University.

email: yur-khalin@yandex.ru

ORCID 0000-0002-7020-8515

Материал поступил в редакцию 15 апреля 2026 года