

УДК 159.9.07

DOI: 10.34670/AR.2026.72.19.001

Метод оценки когнитивной функции «внимание» лётного состава на основе четырехмерного нечеткого классификатора

Коптев Дмитрий Сергеевич

Старший преподаватель,
кафедра информационной безопасности,
Юго-Западный государственный университет,
305040, Российская Федерация, Курск, ул. 50 лет Октября, 94;
e-mail: d.s.koptev@mail.ru

Таныгин Максим Олегович

Доктор технических наук, доцент,
кафедра информационной безопасности,
Юго-Западный государственный университет,
305040, Российская Федерация, Курск, ул. 50 лет Октября, 94;
e-mail: tanygin@ya.ru

Ревякина Мария Олеговна

Кандидат медицинских наук,
ведущий научный сотрудник лаборатории молекулярной,
трансляционной и цифровой кардиоиммунологии,
Орловский государственный университет им. И.С. Тургенева,
302026, Российская Федерация, Орёл, ул. Комсомольская, 95;
e-mail: mopltnikova@mail.ru

Раздел статьи «Материалы и методы исследования» выполнен в ОГУ имени И.С. Тургенева в рамках государственного задания № 075-00197-26-01 от 26.02.2026 г. на 2026 год, проект № FSGN-2024-0007 (1023110800218-7-3.2.4; 3.1.3; 2.6.1).

Аннотация

В статье предложен метод оценки когнитивной функции «внимание» лётного состава на основе четырёхмерного нечёткого классификатора, функционирующего по алгоритму Мамдани. Разработана диагностическая батарея из двух взаимодополняемых методик («Кольца Ландольта» и «Чёрно-красные таблицы Горбова–Шульте»), обеспечивающих оценку четырёх базовых параметров внимания: объёма, концентрации, распределения и переключения. Процедура оценки включает нормирование разнородных метрик, разработку и параметризацию трапециевидных функций принадлежности для каждой из четырёх входных переменных, фаззификацию через трапециевидные функции принадлежности, активацию базы из 81 продукционного правила и дефаззификацию методом центра тяжести. Разработан трёхуровневый классификатор, относящий состояние внимания оператора к одной из зон: риска $[0; 0,4]$, допустимый уровень $(0,4; 0,7]$ и высокий уровень $(0,7; 1,0]$. Предложенный метод обеспечивает семантическую прозрачность

диагностического процесса, исключает эффект искусственной компенсации дефицитов отдельных параметров внимания и позволяет принимать обоснованные решения о профессиональной пригодности лётного состава.

Для цитирования в научных исследованиях

Коптев Д.С., Таныгин М.О., Ревякина М.О. Метод оценки когнитивной функции «внимание» лётного состава на основе четырехмерного нечеткого классификатора // Психология. Историко-критические обзоры и современные исследования. 2026. Т. 15. № 5А. С. 247-257. DOI: 10.34670/AR.2026.72.19.001

Ключевые слова

Когнитивная работоспособность, когнитивная функция «внимание», лётный состав, нечёткая логика, алгоритм Мамдани, четырёхмерный классификатор, безопасность полётов.

Введение

В современных условиях эксплуатации авиационных транспортных систем обеспечение безопасности полётов выступает приоритетным требованием нормативно-технического регулирования. Согласно аналитическим отчётам международных регуляторов (ICAO, EASA, FAA), доля авиационных происшествий, инициированных или усугублённых человеческим фактором, стабильно оценивается в диапазоне 70–80 % [ICAO, 2023]. Эмпирические исследования когнитивной надёжности экипажей демонстрируют, что фундаментальной предпосылкой ошибок пилотирования является деградация когнитивной функции «внимание», выступающей триггером каскадных сбоев в контуре «человек–машина–окружающая среда» [EASA, 2024].

В эргатических системах управления воздушным судном внимание функционирует как управляющий ресурс, обеспечивающий селективную обработку мультимодальных потоков данных (приборная индикация, аудиоканалы связи, визуальный обзор внешнего пространства). Психофизиологическая модель внимания оператора характеризуется четырьмя базовыми параметрами: объёмом (ёмкостью оперативного поля), распределением (одновременной фокусировкой на гетерогенных каналах), концентрацией (способностью удерживать фокус на одном объекте) и переключаемостью (лабильностью перехода между задачами) [Masí и др., 2023]. Дезинтеграция любого из указанных параметров в условиях повышенной когнитивной нагрузки напрямую коррелирует со снижением качества принятия решений и увеличением латентного времени реакции на нештатные события [Antoine и др., 2022].

Традиционные подходы к психофизиологическому отбору и мониторингу, базирующиеся на жёсткой пороговой классификации («норма/отклонение»), обладают существенными методологическими ограничениями. Во-первых, бинарные критерии нивелируют информацию о пограничных (субклинических) состояниях когнитивного статуса, что снижает предиктивную валидность диагностики и затрудняет превентивное управление рисками [Borsboom, 2008]. Во-вторых, первичные результаты диагностического комплекса представляют собой вектор разнородных метрик (временные интервалы, дискретные счётные величины, стандартизированные стеновые оценки), прямая арифметическая агрегация которых методологически некорректна из-за различий в размерности, физической природе и направленности оптимизации [Klir, Yuan, 1995]. Линейные модели свёртки не учитывают

нелинейные взаимодействия между компонентами внимания и подвержены эффекту искусственной компенсации дефицитов, что критически недопустимо в контексте авиационной безопасности [Ali и др., 2025].

Целью настоящего исследования является разработка метода оценки когнитивной функции «внимание» лётного состава на базе четырёхмерного нечёткого классификатора. Предлагаемая архитектура реализует механизм семантически прозрачной агрегации разнородных психодиагностических показателей в единую интерпретируемую оценку данной когнитивной функции, обеспечивая непрерывность оценочной шкалы, устойчивость к измерительному шуму и адаптивность к индивидуальным компенсаторным профилям оператора.

Материалы и методы

В рамках разработки диагностического инструментария для оценки когнитивной функции «внимание» у специалистов авиационной отрасли был проведён сравнительный анализ существующих психометрических процедур. Формирование исходного перечня тестовых методик осуществлялось с учётом строгих отборочных фильтров: наличие нормативных данных, адаптированных для операторских видов деятельности; возможность объективной фиксации результатов в количественном формате; полная совместимость с регламентами ведомственных инструкций по психофизиологическому сопровождению лётного и диспетчерского персонала гражданской авиации, а также признанными работами по психологическому тестированию [Руководство по психологическому обеспечению..., 2001; Алексеенко, Серова, 2024; Анастаси, 2008].

Аттестация отобранных диагностических процедур проводилась в формате независимой экспертной оценки перечня из 14 методик, представленного комиссии из пяти специалистов, обладающих компетенциями в сфере авиационной психологии, психофизиологии труда и организации профессионального отбора. Процедура опроса экспертов осуществлялась в режиме изолированного голосования для исключения конформистских искажений. В основу экспертного суждения закладывались два параметра: соответствие измеряемому конструкту (конструктная валидность) и адекватность применения в реальных условиях авиационной деятельности (экологическая валидность). Балльная градация устанавливалась по пятиуровневой шкале:

- 1 балл – отсутствие научно-методической базы и применимости к целевой профессии;
- 2 балла – слабая конструктная обоснованность, узкая сфера использования в авиации;
- 3 балла – годна для предварительного скрининга после доработки, но не для финальных кадровых решений;
- 4 балла – подтверждённая валидность, методическая корректность, соответствие отраслевым стандартам [Kfir, Yuan, 1995; Руководство по психологическому обеспечению..., 2001];
- 5 баллов – высокая прогностическая точность, многократная апробация в отечественных и зарубежных системах отбора авиаспециалистов.

Итоговый рейтинг методик определялся путём расчёта медианы индивидуальных оценок, что гарантировало устойчивость ранжирования к выбросам и субъективным отклонениям. Финальный комплект диагностических процедур сформирован строго по результатам экспертного скоринга. Пороговым фильтром для включения в диагностический комплекс служила медианная оценка $\geq 4,0$ балла, соответствующая категориям высокой и максимальной практической ценности (таблица 1).

Таблица 1 - Перечень психодиагностических методик для оценки когнитивной функции «внимание»

Когнитивная функция	Наименование методик с указанием предмета оценки	Экспертная оценка
Внимание	1. Методика «Лабиринт» – устойчивость внимания в контуре глазо-ручной координации, контроль ошибок при пространственном планировании.	3,0
	2. Корректирующая проба с кольцами – объём, устойчивость и переключаемость внимания.	4,0
	3. Методика «Счёт по Крепелину» – устойчивость произвольного внимания и когнитивная выносливость.	3,0
	4. Методика «Проба Мюнстербурга» – избирательность и концентрация внимания.	3,0
	5. Корректирующая проба Б. Бурдона – устойчивость и концентрация внимания.	4,0
	6. Корректирующая проба Б. Бурдона–Анфимова – устойчивость и концентрация внимания в условиях внешних помех.	4,0
	7. Кольца Ландольта – объём, устойчивость, избирательность и концентрация внимания.	5,0
	8. Тест «Таблицы Шульте» – объём, устойчивость и переключение внимания.	4,0
	9. Тест «Чёрно-красные таблицы Горбова–Шульте» – объём, распределение и переключение внимания в условиях многозадачности.	5,0
	10. Отыскивание чисел с переключением (ЧКТ) – распределение и устойчивость произвольного внимания.	4,0
	11. V-тест – переключение и избирательность внимания при удержании заданного правила/образа.	3,0
	12. Методика «Отсчитывание» – устойчивость (колебания) внимания и когнитивный контроль.	4,0
	13. Методика «Лебединского» – переключение (лабильность) внимания.	3,0
	14. Методика «Перепутанные линии» – концентрация и устойчивость зрительно-пространственного внимания.	3,0

Анализ результатов экспертного опроса показал, что порог $\geq 4,0$ прошли 8 методик. Однако включение всех валидных процедур в итоговый набор тестов методологически нецелесообразно из-за высокой степени конструктивного перекрытия (мультиколлинеарности диагностируемых параметров) и ограничения временного регламента психофизиологического обследования. В связи с этим был применён принцип взаимодополняемости диагностических конструктов: из группы высшей экспертной оценки (5,0 баллов) отобраны две методики, обеспечивающие непересекающееся покрытие всех четырёх базовых параметров внимания без дублирования измерительных конструктов.

Тест «Чёрно-красные таблицы Горбова–Шульте» получил максимальную оценку благодаря доказанной экологической валидности в условиях многозадачности. В разрабатываемой системе данная методика используется исключительно для оценки распределения и переключения внимания, так как её архитектура (поочерёдная работа с двумя знаковыми полями по разным правилам) максимально нагружает механизмы когнитивного контроля и лабильности нервных процессов, минимизируя влияние простого зрительного поиска.

Методика «Кольца Ландольта», традиционно относимая к диагностике темпа восприятия, в

авиационном контексте интерпретируется как маркер объёма и концентрации внимания. Удержание заданного эталона при последовательном сканировании гомогенного поля требует интенсивной фокусировки и ёмкости оперативного зрительного поля, что функционально соответствует параметрам концентрации и объёма внимания оператора. Высокая экспертная оценка (5,0) подтверждает её прогностическую значимость именно в этом конструкте.

Таким образом, итоговая диагностическая батарея для когнитивной функции «внимание» сформирована на основе двух взаимодополняемых процедур:

«Кольца Ландольта» – метрики объёма (X_s) и концентрации (X_c) внимания;

«Чёрно-красные таблицы Горбова–Шульте» – метрики распределения (X_d) и переключения (X_p) внимания.

Результаты данных методик количественно формализуются в вектор из четырёх нормированных показателей $X_{s,n}$, $X_{c,n}$, $X_{d,n}$ и $X_{p,n}$, который подаётся на вход четырёхмерного нечёткого классификатора. Подобная архитектура входа обеспечивает полный охват когнитивного конструкта внимания при сохранении методологической чистоты и отсутствии избыточной нагрузки на обследуемого.

Вслед за сбором первичных диагностических данных, формирующих четырёхмерный вектор количественных показателей по когнитивной функции «внимание», архитектура нечёткого вывода требует предварительной унификации входного пространства. Данная процедура реализуется в два последовательных вычислительных контура.

1. Нормирование. Первичным этапом выступает приведение разнородных метрик к единому безразмерному интервалу $[0;1]$. Поскольку диагностический инструментарий генерирует показатели с противоположной направленностью оптимизации, применяются два варианта линейного масштабирования. Для параметров, рост которых прямо коррелирует с эффективностью выполнения задачи (баллы успешности, количество верных ответов), используется прямое преобразование:

$$X_{i,n} = \frac{X_i - X_{i,\min}}{X_{i,\max} - X_{i,\min}}. \quad (1)$$

В случае метрик, где минимальное значение отражает наивысшую результативность (временные интервалы выполнения серий), активируется обратный механизм:

$$X_{i,n} = \frac{X_{i,\max} - X_i}{X_{i,\max} - X_{i,\min}}. \quad (2)$$

Здесь X_i обозначает исходное значение в физических единицах, $X_{i,n}$ – нормированный аналог, а $X_{\min}$ и $X_{\max}$ задают нижнюю и верхнюю нормативные границы, зафиксированные отраслевыми стандартами [Руководство по психологическому обеспечению..., 2001].

Дифференцированный подход обусловлен физической природой диагностируемых конструктов. Прямая шкала применяется для метрик X_s и X_c . Обратная логика масштабирования внедрена для временных характеристик серийной работы X_d и X_p .

2. Фаззификация. Следующим шагом выступает трансформация чётких нормированных координат $X_{i,n}$ в векторы степеней принадлежности $\mu_T(X_{i,n})$ к трёхуровневой лингвистической шкале $T \in \{\text{«Низкий»}, \text{«Средний»}, \text{«Высокий»}\}$. Аппроксимация качественных уровней выполнена через трапецевидные функции принадлежности, аналитическое описание которых задаётся выражением:

$$\mu(X_{i,n}) = \begin{cases} 0, & X_{i,n} < a \text{ или } X_{i,n} > d \\ \frac{X_{i,n} - a}{b - a}, & a \leq X_{i,n} < b \\ 1, & b \leq X_{i,n} \leq c \\ \frac{d - X_{i,n}}{d - c}, & c < X_{i,n} \leq d \end{cases} \quad (3)$$

В данной структуре параметры a и d определяют границы носителя (зоны нулевой принадлежности), а отрезок $[b; c]$ задаёт ядро функции, где степень принадлежности достигает максимума ($\mu=1$). Базовые опорные точки для ядер трапеций определены путём адаптации нормативных диапазонов, регламентированных в [8], к единой шкале посредством формул (1)–(2). Итоговые интервалы максимальных значений ($\mu=1$) для каждого термина представлены ниже:

$X_{s,n}$: Н[0; 0,382], С[0,385; 0,715], В[0,718; 1];

$X_{c,n}$: Н[0; 0,535], С[0,549; 0,746], В[0,76; 1];

$X_{d,n}$: Н[0; 0,187], С[0,19; 0,592], В[0,595; 1];

$X_{p,n}$: Н[0; 0,2], С[0,204; 0,746], В[0,751; 1];

Жёсткая привязка к дискретным интервалам создаёт методологический конфликт: разрывы между смежными уровнями формируют области с нулевой активацией ($\mu=0$), что недопустимо в архитектуре нечёткого вывода. Для устранения данного недостатка и сохранения непрерывности оценочного пространства нормативные ядра расширены в обе стороны на поправочный коэффициент $\Delta \in [0,05; 0,15]$. Такая параметризация гарантирует перекрытие соседних термов на уровне истинности 0,5, а также исключает появление «мёртвых зон» и обеспечивает плавную, устойчивую агрегацию признаков на всём диапазоне входных параметров. Визуализация итоговых конфигураций функций принадлежности для всех входных переменных представлена на рисунке 1.

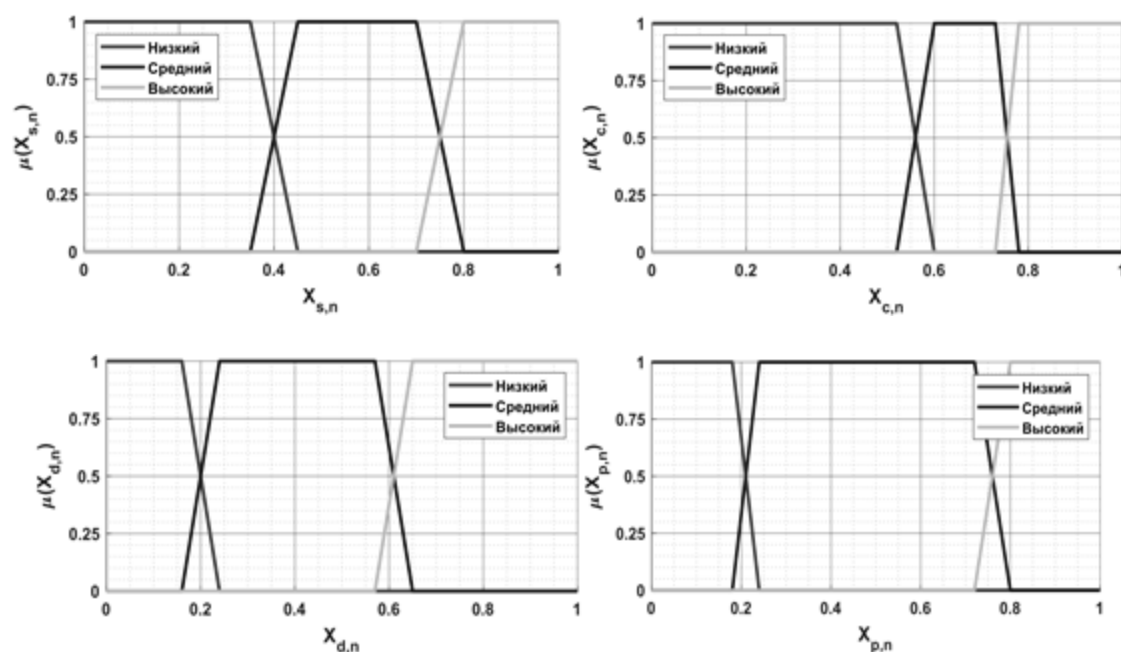


Рисунок 1 – Графики функций принадлежности входных переменных $X_{s,n}$; $X_{c,n}$; $X_{d,n}$; $X_{p,n}$

Предлагаемый метод оценки когнитивной функции «внимание» Y_V на основе четырёх входных метрик $X_{s,n}$, $X_{c,n}$, $X_{d,n}$ и $X_{p,n}$, характеризующих объём, концентрацию, распределение и переключение внимания соответственно, реализуется на базе алгоритма нечёткого вывода Мамдани [Тагирова, Зубкова, 2022], функционирующего в четырёхмерном пространстве входных признаков.

Результаты и обсуждение

Вычислительный процесс состоит из четырёх последовательных этапов. На этапе фазификации каждое скалярное значение $X_{i,n}$ транслируется в вектор степеней принадлежности к лингвистическому терм-множеству $T = \{\text{«Низкий»}, \text{«Средний»}, \text{«Высокий»}\}$ посредством параметризованных трапециевидных функций принадлежности. Активация полной продукционной базы, сформированной как декартово произведение термов ($3^4=81$ правило), осуществляется оператором нечёткой конъюнкции ($\min$), что гарантирует строгий учёт вклада каждого когнитивного компонента без эффекта искусственной компенсации. Результирующие степени истинности правил объединяются оператором $\max$, формируя итоговую нечёткую область. Преобразование в чёткое значение $Y_V \in [0; 1]$ (дефазификация) выполняется методом центра тяжести, после чего результат подаётся на вход порогового классификатора для определения итоговой оценки когнитивной функции «внимание». Ниже представлена структура базы продукционных правил.

Поскольку система оперирует четырьмя входными переменными, каждая из которых квантуется тремя лингвистическими термами $\{\text{«Низкий»}, \text{«Средний»}, \text{«Высокий»}\}$, полная база правил формируется как декартово произведение терм-множеств

Каждое правило описывается единым структурным шаблоном:

ЕСЛИ ($X_{s,n}$ есть T_{1a}) **И** ($X_{c,n}$ есть T_{2b}) **И** ($X_{d,n}$ есть T_{3c}) **И** ($X_{p,n}$ есть T_{4d}), **ТО** (Y_V есть T_Y),

где индексы $a, b, c, d \in \{H, C, B\}$ задают конфигурацию когнитивного профиля, а T_Y определяется экспертной матрицей соответствия, реализующей принцип доминирования наиболее выраженного параметра. Для иллюстрации семантики вывода приведены ключевые правила, отражающие граничные, центральное и переходные состояния:

Пр. 1 (нижняя граница):

ЕСЛИ ($X_{s,n}$ есть T_{1H}) **И** ($X_{c,n}$ есть T_{2H}) **И** ($X_{d,n}$ есть T_{3H}) **И** ($X_{p,n}$ есть T_{4H}), **ТО** (Y_V есть T_H).

Пр. 41 (центральное):

ЕСЛИ ($X_{s,n}$ есть T_{1C}) **И** ($X_{c,n}$ есть T_{2C}) **И** ($X_{d,n}$ есть T_{3C}) **И** ($X_{p,n}$ есть T_{4C}), **ТО** (Y_V есть T_C).

Пр. 81 (верхняя граница):

ЕСЛИ ($X_{s,n}$ есть T_{1B}) **И** ($X_{c,n}$ есть T_{2B}) **И** ($X_{d,n}$ есть T_{3B}) **И** ($X_{p,n}$ есть T_{4B}), **ТО** (Y_V есть T_B).

Пр. 6 (переходное):

ЕСЛИ ($X_{s,n}$ есть T_{1H}) **И** ($X_{c,n}$ есть T_{2H}) **И** ($X_{d,n}$ есть T_{3C}) **И** ($X_{p,n}$ есть T_{4B}), **ТО** (Y_V есть T_C).

Остальные 77 правил формируются аналогичным путём лексикографического перебора всех комбинаций термов, что гарантирует математическую полноту покрытия входного пространства и исключает образование «дыр» в зоне неопределённости при агрегации заключений.

Активация каждого правила вычисляется посредством операции нечёткой конъюнкции:

$$\beta_j = \min(\mu_a(X_{s,n}), \mu_b(X_{c,n}), \mu_c(X_{d,n}), \mu_d(X_{p,n})).$$

Структурная схема алгоритма нечёткого вывода Мамдани на примере оценки когнитивной функции Y_V представлена на рисунке 2.

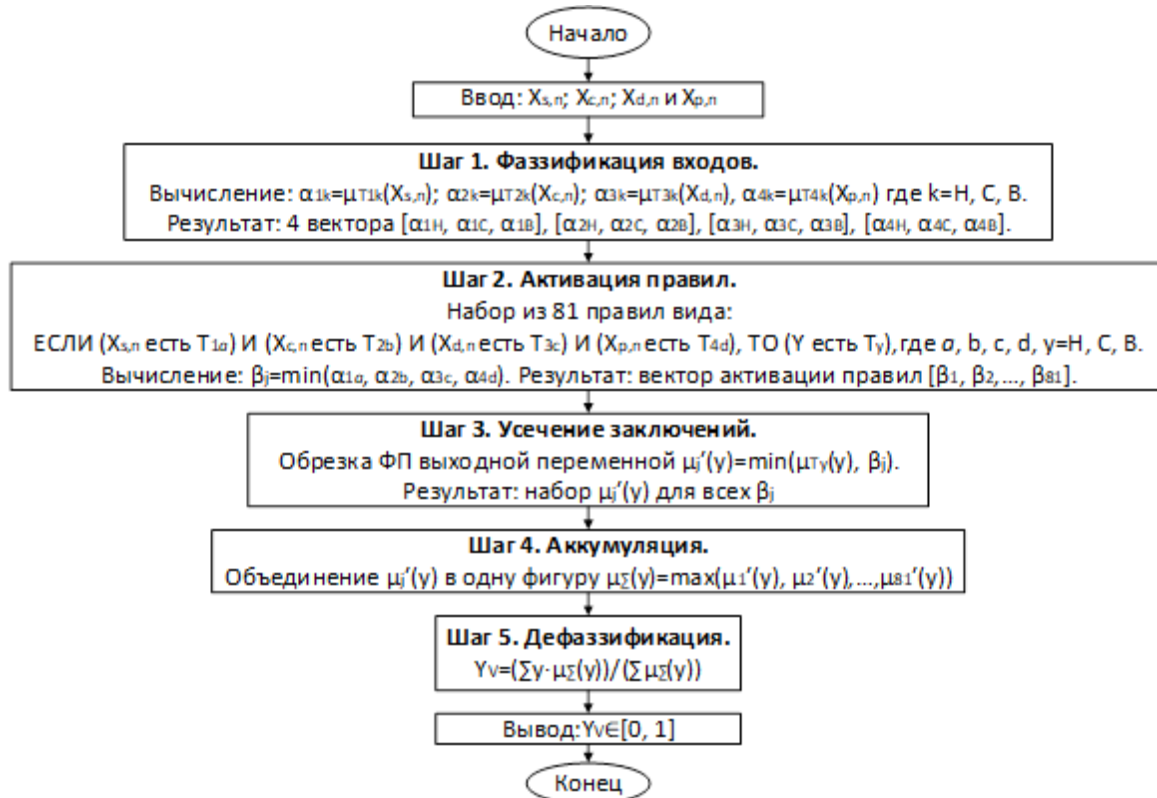


Рисунок 2 – Структурная схема алгоритма оценки когнитивной функции «внимание» (Y_v) на основе четырехмерного нечеткого классификатора

Итогом функционирования модуля нечёткого вывода выступает скалярная оценка $Y_v \in [0; 1]$, характеризующая интегральный уровень когнитивной функции «внимание». Данное значение формируется путём агрегации четырёх нормированных метрик $X_{s,n}$, $X_{c,n}$, $X_{d,n}$, $X_{p,n}$ через базу из 81 продукционного правила с последующей дефаззификацией методом центра тяжести. Для перевода количественного результата в качественное заключение разработан пороговый классификатор, который относит состояние внимания оператора из числа лётного состава к одному из трёх функциональных уровней:

- зона риска $[0; 0,4]$ – критический дефицит внимания;
- допустимый уровень $(0,4; 0,7]$ – соответствие минимальным профессиональным требованиям;
- высокий уровень $(0,7; 1,0]$ – оптимальный профиль внимания.

Границы интервалов классификатора $[0; 0,4]$, $(0,4; 0,7]$, $(0,7; 1,0]$ установлены на основе методологии экспертной настройки нечётких систем [Тагирова, Зубкова, 2022] и требований нормативных документов по профессиональному отбору авиационного персонала [Руководство по психологическому обеспечению..., 2001]. Подобный подход соответствует практике разработки интерпретируемых классификаторов в критических приложениях, где пороги определяются не статистическими распределениями, а экспертным консенсусом относительно минимально допустимого уровня надёжности деятельности [Ali и др., 2025]. Конкретные значения 0,4 и 0,7 выбраны как компромисс между чувствительностью к дефицитам внимания и устойчивостью к измерительному шуму, что согласуется с рекомендациями по параметризации выходных термов в системах Мамдани [Klir, Yuan, 1995]

Такая структура выходной интерпретации обеспечивает прозрачность диагностического заключения и позволяет специалисту врачебно-лётной экспертной комиссии принимать обоснованные решения о допуске лётного состава к управлению воздушными судами на основе детализированной оценки ключевых параметров внимания без утраты информативности на этапе классификации. Дальнейшая верификация границ возможна на репрезентативной выборке лётного состава с использованием методов критериальной валидности.

Заключение

В результате проведённого исследования разработан и обоснован метод оценки когнитивной функции «внимание» лётного состава на основе четырёхмерного нечёткого классификатора. Ключевыми результатами работы являются следующие:

1. Сформирована диагностическая батарея на основе двух взаимодополняемых методик («Кольца Ландольта» и «Чёрно-красные таблицы Горбова–Шульте»), обеспечивающих полный охват четырёх базовых параметров внимания (объём, концентрация, распределение, переключение) без избыточной нагрузки на обследуемого.

2. Установлены границы изменения входных метрик и разработана система трапециевидных функций принадлежности для каждого из четырёх параметров внимания, обеспечивающая непрерывность пространства состояний и математически корректный переход от количественных психодиагностических показателей к лингвистической шкале, состоящей из трёх термов: «Низкий», «Средний» и «Высокий».

2. Разработан алгоритм нечёткого вывода Мамдани с полной базой из 81 продукционного правила, что гарантирует математическую полноту покрытия входного пространства и исключает образование «мёртвых зон» при агрегации признаков.

3. Разработан трёхуровневый пороговый классификатор, согласованный с принципами риск-ориентированного управления безопасностью полётов и концепцией «слабого звена» в авиационной эргономике.

4. Обеспечена семантическая прозрачность диагностического процесса: каждый этап преобразования данных (фаззификация – активация правил – аккумуляция – дефаззификация) имеет чёткую интерпретацию и может быть верифицирован экспертом.

Практическая значимость работы заключается в предложении метода для объективной оценки состояния внимания авиационного персонала, который может быть интегрирован в системы профессионального психологического отбора и периодического контроля когнитивной функции «внимание» как важнейшей составляющей когнитивной работоспособности.

Перспективы дальнейших исследований связаны с программной реализацией разработанного метода и его верификацией на репрезентативной выборке лётного состава.

Библиография

1. Алексеенко 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. – DOI: 10.24412/2223-6872-2024-452-18-31.
2. Анастаси А. Психологическое тестирование: монография. – М.: Директ-Медиа, 2008. – 859 с. – ISBN: 978-5-9989-0357-1.
3. Руководство по психологическому обеспечению отбора, подготовки и профессиональной деятельности летного и диспетчерского состава гражданской авиации: утв. распоряжением Минтранса России от 31.10.2000 г. № 57-р. – М.: Воздушный транспорт, 2001. – 210 с.
4. Тагирова Л.Ф., Зубкова Т.М. Разработка экспертной системы определения статуса обучаемого интеллектуально

- системы на основе алгоритма нечеткого вывода Мамдани // Информационные технологии. – 2022. – Т. 28. – № 7. – С. 359–368. – DOI: 10.17587/it.28.359-368.
5. Ali A.A., Kaleel A.H., Abbas N.H. Decision-Making Model for Aircraft Landing Based on Fuzzy Logic Approach // Journal Européen des Systèmes Automatisés. – 2025. – Vol. 58. – № 2. – DOI: <https://doi.org/10.18280/jesa.580213>.
6. 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. – DOI: 10.4236/jbbs.2022.1210027.
7. Borsboom D. Psychometric perspectives on diagnostic systems // Journal of Clinical Psychology. – 2008. – Vol. 64. – № 9. – P. 1089–1108. – DOI: 10.1002/jclp.20503.
8. EASA. Annual Safety Review 2024. – Cologne: European Union Aviation Safety Agency, 2024. – 112 p. – URL: <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/annual-safety-review-2024>.
9. ICAO. Safety Report 2023. – Montréal: ICAO, 2023. – 92 p.
10. Klir G.J., Yuan B. Fuzzy Sets and Fuzzy Logic: Theory and Applications. – Upper Saddle River: Prentice Hall, 1995. – 576 p.
11. Masi G., Amprimo G., Ferraris C., Priano L. Stress and Workload Assessment in Aviation – A Narrative Review // Sensors. – 2023. – Vol. 23. – № 7. – Art. 3556. – DOI: 10.3390/s23073556.

A Method for Assessing the Cognitive Function "Attention" of Flight Personnel Based on a Four-Dimensional Fuzzy Classifier

Dmitrii S. Koptev

Senior Lecturer,
Department of Information Security,
Southwest State University,
305040, 94, 50 Let Oktyabrya str., Kursk, Russian Federation;
e-mail: d.s.koptev@mail.ru

Maksim O. Tanygin

Doctor of Technology, Associate Professor,
Department of Information Security,
Southwest State University,
305040, 94, 50 Let Oktyabrya str., Kursk, Russian Federation;
e-mail: tanygin@ya.ru

Mariya O. Revyakina

PhD in Medicine,
Leading Researcher of the Laboratory of Molecular,
Translational and Digital Cardioimmunology,
Orel State University named after I.S. Turgenev,
302026, 95, Komsomol'skaya str., Orel, Russian Federation;
e-mail: moplotnikova@mail.ru

Abstract

The article proposes a method for assessing the cognitive function "attention" of flight personnel based on a four-dimensional fuzzy classifier operating according to the Mamdani algorithm. A diagnostic battery of two complementary techniques has been developed ("Landolt Rings" and

"Gorbov-Schulte Black-Red Tables"), providing an assessment of four basic attention parameters: volume, concentration, distribution, and switching. The assessment procedure includes the normalization of heterogeneous metrics, the development and parameterization of trapezoidal membership functions for each of the four input variables, fuzzification through trapezoidal membership functions, activation of a base of 81 production rules, and defuzzification by the center of gravity method. A three-level classifier has been developed, assigning the operator's attention state to one of the zones: risk [0; 0.4], acceptable level (0.4; 0.7], and high level (0.7; 1.0]. The proposed method ensures the semantic transparency of the diagnostic process, eliminates the effect of artificial compensation for deficits in individual attention parameters, and allows for making informed decisions on the professional suitability of flight personnel.

For citation

Koptev D.S., Tanygin M.O., Revyakina M.O. (2026) Metod otsenki kognitivnoy funktsii «vnimanie» letnogo sostava na osnove chetyrekhmernogo nechetkogo klassifikatora [A Method for Assessing the Cognitive Function "Attention" of Flight Personnel Based on a Four-Dimensional Fuzzy Classifier]. *Psikhologiya. Istoriko-kriticheskie obzory i sovremennye issledovaniya* [Psychology. Historical-critical Reviews and Current Researches], 15 (5A), pp. 247-257. DOI: 10.34670/AR.2026.72.19.001

Keywords

Cognitive performance, cognitive function "attention", flight personnel, fuzzy logic, Mamdani algorithm, four-dimensional classifier, flight safety.

References

1. Alekseenko, M.S., & Serova, A.A. (2024). Sistemno-psikhologicheskaya kontseptsiya professionalnogo otbora lits letnogo i dispetcherskogo sostava [Systemic-psychological concept of professional selection of flight and air traffic control personnel]. *Sistemnaya psikhologiya i sotsiologiya*, (4/52), 18–31. DOI: 10.24412/2223-6872-2024-452-18-31
2. Ali, A.A., Kaleel, A.H., & Abbas, N.H. (2025). Decision-making model for aircraft landing based on fuzzy logic approach. *Journal Européen des Systèmes Automatisés*, 58(2). DOI: <https://doi.org/10.18280/jesa.580213>
3. Anastasi, A. (2008). *Psikhologicheskoye testirovaniye* [Psychological testing]. Direct-Media.
4. Antoine, M., Abdessalem, H., & Frasson, C. (2022). Cognitive workload assessment of aircraft pilots. *Journal of Behavioral and Brain Science*, 12(10), 474–484. DOI: 10.4236/jbbs.2022.1210027
5. Borsboom, D. (2008). Psychometric perspectives on diagnostic systems. *Journal of Clinical Psychology*, 64(9), 1089–1108. DOI: 10.1002/jclp.20503
6. EASA. (2024). *Annual Safety Review 2024*. European Union Aviation Safety Agency. Retrieved from <https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/annual-safety-review-2024>
7. ICAO. (2023). *Safety Report 2023*. International Civil Aviation Organization.
8. Klir, G.J., & Yuan, B. (1995). *Fuzzy sets and fuzzy logic: Theory and applications*. Prentice Hall.
9. Masi, G., Amprimo, G., Ferraris, C., & Priano, L. (2023). Stress and workload assessment in aviation – A narrative review. *Sensors*, 23(7), Art. 3556. DOI: 10.3390/s23073556
10. Ministry of Transport of the Russian Federation. (2001). *Rukovodstvo po psikhologicheskomu obespecheniyu otbora, podgotovki i professionalnoy deyatel'nosti letnogo i dispetcherskogo sostava grazhdanskoy aviatsii* [Guidelines for psychological support for the selection, training, and professional activities of civil aviation flight and air traffic control personnel] (Order No. 57-r, October 31, 2000). Vozdushnyy transport.
11. Tagirova, L.F., & Zubkova, T.M. (2022). Razrabotka ekspertnoy sistemy opredeleniya statusa obuchayemogo intellektualnoy sistemy na osnove algoritma nechetkogo vyvoda Mamdani [Development of an expert system for determining the status of a student of an intelligent system based on the Mamdani fuzzy inference algorithm]. *Informatsionnyye tekhnologii*, 28(7), 359–368. DOI: 10.17587/it.28.359-368