
ПСИХОЛОГИЯ
ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

**ИНДЕКС КОГНИТИВНОЙ РАБОТОСПОСОБНОСТИ
ОПЕРАТОРОВ В ЭРГАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ¹**

© 2016 г. И. Г. Городецкий*, Е. А. Трофимов**

* Академик Российской академии космонавтики, профессор, заведующий кафедрой
Эргономики и информационно-измерительных систем, МАТИ –
Российский государственный технологический университет им. К. Э. Циолковского, Москва;
e-mail: igorodetskyi@yandex.ru

** Кандидат технических наук, доцент кафедры Эргономики
и информационно-измерительных систем, МАТИ – Российский государственный технологический
университет им. К. Э. Циолковского, Москва;
e-mail: eatrofimov@rambler.ru

В статье дано теоретическое обоснование понятия когнитивной работоспособности; разработана модель ее количественной оценки. Уровень когнитивной работоспособности предложено оценивать как функцию трех переменных: качества абстрактно-логической деятельности, качества сенсомоторной деятельности и способности концентрировать внимание на совмещенной деятельности (одновременном выполнении абстрактно-логической и сенсомоторной деятельности). Подробно описана методика тестового мониторинга уровня когнитивной работоспособности человека. Данная методика позволяет оценить когнитивную работоспособность оператора на основе мониторинга его когнитивной деятельности в течение пяти минут. Приведены результаты экспериментального исследования когнитивной работоспособности летчиков гражданской авиации, которые указывают на возможность использования индекса когнитивной работоспособности для снижения рисков в эргатических системах.

Ключевые слова: когнитивная работоспособность, мониторинг когнитивной работоспособности, эргатические системы, снижение рисков в эргатических системах.

Эффективность выполнения деятельности требует гармоничного развития таких человеческих ресурсов, как знания, интеллект, навыки, физическая и психическая работоспособность, а также когнитивная работоспособность. Для каждого вида деятельности можно выделить доминантные ресурсы. Так, например, принято считать, что в спортивной среде доминантными являются физическая и психическая работоспособность, для научной деятельности – знания, интеллект и когнитивная работоспособность.

Когнитивная работоспособность, по определению, цитируемому многими авторами, – это способность человека выполнять определенный объем ответственной работы, требующей значительной

активации собственного нервно-психического потенциала в рамках заданных временных лимитов и параметров эффективности [5, 12–13, 16–17]. Недостаточная когнитивная работоспособность является источником рисков [11]. В самом деле, если “активация собственного нервно-психического потенциала” не обеспечивается должным образом, то следует ожидать резкого снижения качества деятельности. Измерение и оперативный контроль текущего уровня когнитивной работоспособности позволяет не только решать проблему качества, но и снижать риски при принятии ответственных решений.

Уровень когнитивной работоспособности зависит от множества факторов, основными из них являются врожденные индивидуально-типологические особенности, мотивация к выполнению конкретной работы, состояние здоровья, степень утомления и наличие стресса, а также совпадение графика выполняемой работы с индивидуальными

¹ Авторы благодарят Городецкую Е.Н. и Капустяна В.М. за ценные замечания к работе и выражают признательность участникам исследований Якимович Н.В., Чернобрововой Е.М. и Чиринкову В.В.

ми биологическими ритмами [3]. Количественная оценка большинства этих факторов трудоемка и длительна. Но практика управления рисками требует мобильной процедуры измерения и контроля уровня когнитивной работоспособности.

Известный немецкий физиолог Х.Ф. Ульмер отмечает, что измерение работоспособности — одна из ключевых задач психофизиологии. Физическую работу, подобно физическим нагрузкам, можно выразить в физических величинах, тогда как когнитивную работу измерить существенно труднее [19]. Количественная оценка когнитивных способностей всегда была актуальной темой. Еще русский физиолог Н.А. Бернштейн в книге “О ловкости и ее развитии”, написанной в конце 40 гг. XX в., говорил о проблемах количественной оценки отдельных свойств человека, в которых проявляются способности его ума [2].

В настоящее время разработан ряд механизмов оценки различных свойств когнитивной деятельности человека, таких как интеллект (индекс *IQ*), эмоциональная компетентность (индекс *EQ*) и др. [1]. Что же касается области измерения когнитивной работоспособности, то здесь наблюдается большое разнообразие тестов, ориентированных на диагностику отдельных ее составляющих [13–15]. Основная их масса — это тесты, позволяющие объективно и вполне надежно измерять уровень развития профессионально важных качеств человека (так называемые тесты достижений). Основным недостатком этих тестов становится то, что они изолированно исследуют только уровень развития отдельных психических функций. При этом процессы не изучаются в динамике, не моделируется деятельность в целом, не рассматриваются интегральные процессы и не используются индивидуальные нормы для оценки текущего уровня работоспособности. Неполнота оценки когнитивной работоспособности человека на основе данных тестов наиболее сильно проявляется при переходе человека в неблагоприятные для качественного выполнения деятельности состояния, такие как утомление, монотония, психическая напряженность, дистресс и др.

Отметим, что интеллект и когнитивная работоспособность человека базируются на одних и тех же психических функциях, однако эти ресурсы личности по своей природе различны. Интеллект — это пополняемый, но не расходуемый ресурс личности, а когнитивная работоспособность — ресурс, требующий регулярного восстановления. Например, интеллект летчика при выполнении сложных заданий не только не уменьшается, но и может увеличиться, а его когнитивная работоспособ-

ность в результате утомления может значительно уменьшиться. Когнитивная работоспособность — это очень динамичный ресурс, величина которого в течение суток может изменяться в разы.

Если операторскую деятельность рассматривать как целостное образование, то следует выделить важную категорию так называемых интегральных процессов, которые регулируют участие отдельных психических функций в структуре целостной деятельности [10]. К ним относят процессы целеполагания, прогнозирования, самоорганизации и самоконтроля деятельности, которые не сводимы к отдельным психическим функциям. Именно благодаря интегральным процессам человек способен совмещать выполнение нескольких задач, регулируя передачу ведущей роли от одних психических функций к другим. На этом основании можно считать гораздо более перспективным создание тестов, где в качестве основного приема диагностики выступает моделирование не отдельных психических функций, а операторской деятельности в целом, а также регистрация результатов ее выполнения.

Можно предположить, что для конкретных видов деятельности, в частности, операторской деятельности, возможна разработка комплексных показателей когнитивной работоспособности, представляющих собой интегральную оценку основных факторов, определяющих эту работоспособность.

Целью настоящей работы является разработка методики тестового мониторинга уровня когнитивной работоспособности операторов эргатических систем.

Объектом исследования выступили летчики гражданской авиации.

Предмет исследования — качество операторской деятельности, осуществляемой в тестовом режиме за экраном монитора. Измерялись такие переменные, как качество выполнения сенсомоторной деятельности, качество выполнения абстрактно-логической деятельности и концентрация внимания при одновременном выполнении обоих видов деятельности.

Актуальность разработанной методики состоит в возможности с ее помощью продвинуться в решении такой проблемы психофизиологии как измерение работоспособности человека.

Основные задачи исследования: отбор параметров для измерения когнитивной работоспособности; разработка модели количественной оценки когнитивной работоспособности; разработка системы тестирования и создание программных

средств тестирования работоспособности операторов; проведение экспериментальных исследований когнитивной работоспособности.

Как уже было упомянуто выше, оперативный контроль когнитивной работоспособности не должен быть ориентирован на измерение отдельных факторов, на оценку уровня развития отдельных профессионально важных качеств, психофизиологического состояния человека, а должен в первую очередь представлять собой интегративный индикатор, который был бы чувствителен к изменению любого фактора, определяющего эту работоспособность.

Для обозначения измеряемого значения уровня когнитивной работоспособности мы вводим “индекс CQ ” (*cognition quotient*, читается как “сикью”). Поскольку когнитивная работоспособность является энергетической характеристикой живых систем, то появляется возможность провести параллель с аналогичными характеристиками механических систем. Интеллект, измеряемый индексом IQ , может быть соотнесен с потенциальной энергией системы. Тогда индекс CQ надо соотнести с кинетической энергией. Графическое изображение динамики этого индекса представляет собой кривую работоспособности конкретного оператора.

Многолетние исследования и разработки в области когнитивной работоспособности, выполненные в рамках научно-исследовательских программ Российского космического агентства, позволили выделить три показателя, которые в совокупности являются достаточно чувствительным индикатором всего многообразия факторов, влияющих на когнитивную работоспособность человека, осуществляющего операторскую деятельность [6–9]:

- Качество абстрактно-логической (*abstract-logical*) деятельности – C_{AL} ;
- Качество сенсомоторной (*sensorimotor*) деятельности – C_{SM} ;
- Способность концентрировать внимание (*attention span*) на совмещенной деятельности (одновременном выполнении абстрактно-логической и сенсомоторной деятельности) – C_{AS} .

Содержанием любой операторской деятельности является прием, переработка и анализ информации (абстрактно-логическая деятельность), двигательные реакции (сенсомоторная деятельность) и наиболее важная психофизиологическая функция человека – степень сосредоточенности на выполняемом процессе [21], [23]. Это и определяет выбор сенсомоторного и абстрактно-логического компонентов операторской деятель-

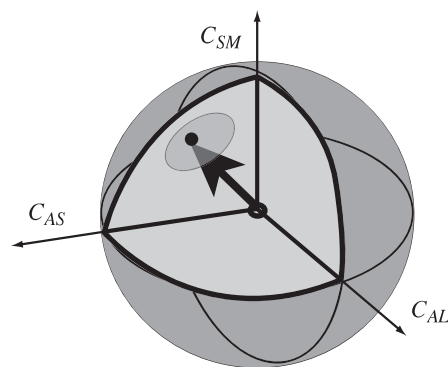


Рис. 1. Вектор когнитивной работоспособности

Примечания. C_{AL} – качество абстрактно-логической деятельности; C_{SM} – качество сенсомоторной деятельности; C_{AS} – способность концентрировать внимание на совмещенной деятельности.

ности в качестве основных показателей для моделирования индекса CQ . Третий показатель в модели индекса CQ – концентрация внимания. Она является одним из основных свойств внимания, и во многом определяет уровень работоспособности человека-оператора и эффективность его деятельности.

Таким образом, когнитивная работоспособность – индекс CQ – представляется функцией трех показателей C_{AL} , C_{SM} , C_{AS} . Условно он может быть изображен вектором в пространстве этих показателей, как показано на рисунке (рис. 1).

Этот вектор индивидуален, он может изменяться ежеминутно и на всем протяжении жизни. Его изменения касаются и величины, и положения, что определяется, как было отмечено выше, врожденными индивидуально-типологическими особенностями, степенью мотивации к выполнению конкретной работы, состоянием здоровья, степенью утомления и наличием стресса, а также индивидуальными биологическими ритмами. Область изменения вектора – это графическое отражение области функциональных возможностей человека в координатах качества совмещенной деятельности и концентрации внимания.

Зная динамику индекса CQ , можно не только контролировать текущий уровень когнитивной работоспособности оператора, но и осуществлять его прогноз. Человек должен иметь средства управления своей когнитивной работоспособностью, так же, как он поддерживает физическую форму, занимаясь фитнесом и спортом. Процесс управления CQ в первую очередь ориентирован на самооценку готовности к принятию ответственных решений и выполнению ответственных заданий.

МЕТОДИКА

Участники исследования. Группа участников исследования состояла из 46 штатных летчиков Российских авиакомпаний “Аэрофлот” и “Волга – Днепр” в возрасте от 36 до 57 лет (медиана 46 лет). Все участники исследования на момент тестирования окончили курсы переподготовки летного состава, прошли медицинскую комиссию и были допущены к летной деятельности.

Аппаратура. Лабораторные эксперименты по измерению текущего уровня когнитивной работоспособности участников исследования осуществлялись с помощью специально разработанной системы моделирования операторской деятельности в тестовом режиме. Система представляет собой комплекс программ для персонального компьютера. Система имеет двухканальную схему управления, как показано на рис. 2.

Один канал моделирует сенсомоторную деятельность оператора, а второй – абстрактно-логическую. Функции управляющего устройства (в терминологии систем автоматики) выполняет участник исследования, осуществляющий совмещенную деятельность (одновременное выполне-

ние сенсомоторной и абстрактно-логической деятельности). Манипулятор (компьютерная мышь) используется в качестве единого органа управления по обоим каналам.

В основу модели сенсомоторного канала заложена задача слежения за виртуальной целью, выполняющей маневр на экране монитора. Маневр представляет собой гармонические колебания по двум осям. Координаты положения цели представляются в виде:

$$x_1 = A_x \sin \omega_x t,$$

$$y_1 = A_y \sin \omega_y t,$$

где A_x, A_y – амплитуды маневра цели; ω_x, ω_y – угловые частоты.

*Процедура исследования***Описание сенсомоторной деятельности.**

В процессе работы участник исследования с помощью манипулятора (компьютерной мыши) перемещал визир по экрану, совмещая его с целью. Задачей управления являлась минимизация ошибки рассогласования между положением цели (x_1, y_1) и положением визира (x_2, y_2). Ошибка должна была быть не более заданной при

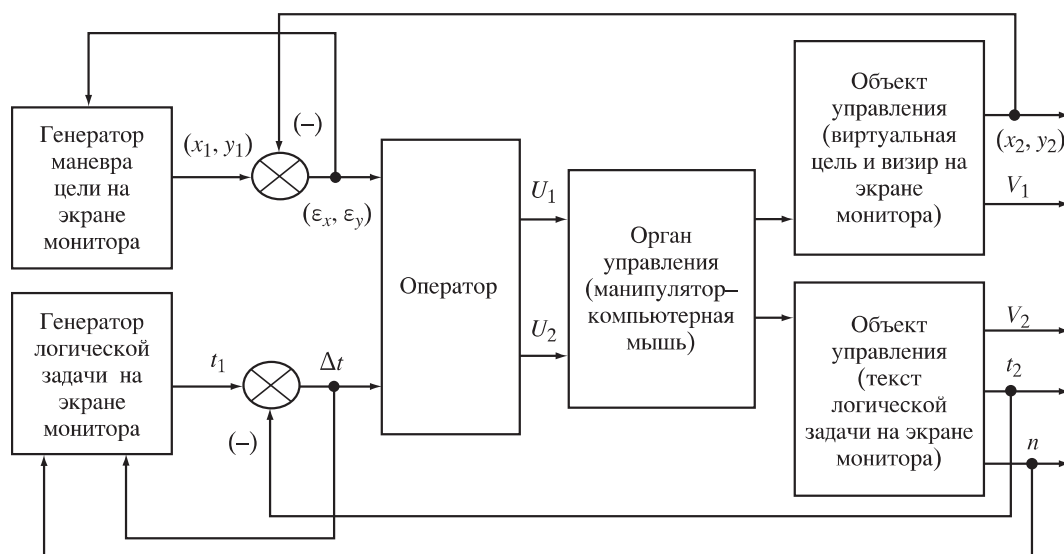


Рис. 2. Функциональная схема системы моделирования операторской деятельности

Примечания. На схеме приняты следующие обозначения:

(x_1, y_1) – координаты виртуальной цели, представленной на экране монитора;

(x_2, y_2) – координаты визира на экране монитора;

(ϵ_x, ϵ_y) – ошибки слежения за целью по двум координатам;

U_1 – управляющее воздействие – перемещение манипулятора (компьютерной мыши);

V_1 – линейная скорость маневра виртуальной цели на экране монитора;

t_1 – время экспозиции текста логической задачи на экране монитора;

t_2 – время решения логической задачи оператором;

Δt – дефицит времени экспозиции текста логической задачи;

R – результат решения задачи оператором;

U_2 – управляющее воздействие – нажатие клавиши манипулятора (компьютерной мыши);

V_2 – скорость решения логической задачи.

настройке системы. Это и определяло формальное правило выполнения цели слежения:

$$\varepsilon_x = |x_1 - x_2| \leq \varepsilon_{\text{зад}},$$

$$\varepsilon_y = |y_1 - y_2| \leq \varepsilon_{\text{зад}}.$$

Особенностью данной системы является то, что сенсомоторный канал управления имеет внутреннюю обратную связь по ошибке слежения. Если текущее значение ошибки ε_x или ε_y оказывается меньше заданной, то автоматически происходит увеличение сложности задачи — увеличивается соответствующая амплитуда A и угловая частота ω маневра цели. Эти изменения происходят до тех пор, пока ошибка не превысит заданную. В этом случае направление изменения амплитуды и угловой частоты меняется на противоположное, что приводит к упреждению процесса управления и уменьшению ошибки слежения.

Эта система относится к классу экстремальных систем управления [22]. Как известно, характерным для таких систем является наличие экстремума выходной характеристики. Такую характеристику можно получить, если в системе протекают процессы, ведущие к противоположным результатам. В нашем случае, это процесс минимизации ошибки слежения и максимизации скорости маневра цели. Если участник исследования выполнял задачу слежения, то есть ошибка была меньше заданной, то автоматически увеличивалась скорость цели, что приводило к увеличению ошибки слежения. Экстремальный закон управления позволял для каждого конкретного участника исследования автоматически устанавливать оптимальное соотношение между максимальной скоростью маневра цели и допустимой ошибкой слежения. Таким образом, система адаптируется под параметры деятельности конкретного участника исследования и приходит в устойчивое состояние, что и характеризует качество решения задачи слежения. А значение максимальной скорости маневра цели определяет границу области функциональных возможностей участника исследования. Для оценки качества решения задачи слежения в нашей системе использовалась линейная скорость маневра цели:

$$V_1 = \sqrt{V_x^2 + MV_y^2},$$

$$V_x = A_x \cdot \omega_x,$$

$$V_y = A_y \cdot \omega_y.$$

Описание абстрактно-логической деятельности. В качестве модели абстрактно-логической деятельности был использован процесс решения

задачи арифметического счета. Объектом управления здесь является текст логической задачи, а параметрами управления — результат ее решения R и время решения t_2 , которое не должно превышать времени экспозиции задачи t_1 .

$$R = \begin{cases} 1 - \text{задача решена верно,} \\ 0 - \text{задача не решена} \end{cases}$$

$$\Delta t = t_1 - t_2 \geq 0.$$

Перед участником исследования ставилась задача минимизации времени решения и максимизации числа правильных ответов. В процессе работы системы на экран монитора высвечивались две пары цифр (a, b) и (c, d) . Участнику исследования необходимо было произвести попарное их суммирование с последующим сравнением полученных сумм:

$$(a + b) \geq (c + d)$$

или

$$(a + b) < (c + d).$$

Решая логическую задачу (какая сумма больше), участник исследования нажимал правую или левую клавишу компьютерной мыши. Нажатие клавиши приводило к смене условия задачи на экране монитора. Смена задания происходила и в случае, если участник исследования не успевал дать ответ за время экспозиции t_1 текста задачи (истекло время ожидания ответа).

Особенностью этого канала управления является наличие обратной связи по дефициту времени экспозиции задачи Δt . Если $\Delta t \geq 0$ и участник исследования правильно решал задачу, то время экспозиции t_1 снижалось. В противном случае оно увеличивалось. Адаптивность времени экспозиции t_1 реализует экстремальный режим управления. Достижение цели управления включает два полярных процесса. Это — минимизация числа ошибочных решений участника исследования и минимизация времени принятия решений. Снижение времени экспозиции, вызванное правильными ответами участника исследования, приводило к увеличению вероятности ошибки, в то время как высокое качество принятия решения зависит от времени экспозиции напрямую. Таким образом, экстремальный режим управления оптимизирует скорость принятия решения V_2 , при которой устанавливается баланс между временем принятия решения и числом правильных ответов.

Скорость принятия решения индивидуальна для каждого участника исследования. Она определяет границу области его функциональных возможностей. Она и использовалась для оцен-

ки качества решения участником исследования логической задачи:

$$V_2 = c \frac{n}{\sum t_2},$$

где n – число правильных решений логической задачи; $\sum t_2$ – суммарное время всех правильных решений; $c = \frac{n}{N}$ – доля правильных решений от общего их числа N .

Время тестирования участников исследования составляло 5 минут.

Регистрация показателей. В ходе лабораторных исследований регистрировались следующие параметры:

- амплитуды A_x и A_y маневра цели по двум координатам;
- угловые частоты ω_x и ω_y маневра цели по двум координатам;
- время экспозиции текста логической задачи t_1 на экране монитора;
- время решения логической задачи t_2 участником исследования;
- результат решения задачи R участником исследования;
- число правильных решений логической задачи – n ;
- общее число предъявленных логических задач N за время тестирования.

Дискретность съема данных в процессе тестирования составляла 20 мс. Таким образом, за 5 минут тестирования одного участника исследования массив экспериментальных данных составлял 15 тысяч записей.

Переменные. На основании экспериментальных данных рассчитывались показатели качества сенсомоторной C_{SM} и абстрактно-логической C_{AL} деятельности. Текущие значения C_{SM} и C_{AL} вычислялись как среднее значение скорости маневра цели V_1 и принятия решения V_2 за интервал времени усреднения:

$$C_{SM} = \frac{1}{\tau} \sum V_1, \quad C_{AL} = \frac{1}{\tau} \sum V_2,$$

где x – количество точек съема данных за интервал времени усреднения. Он составлял 10 сек. При шаге съема данных 20 мс количество точек съема данных $x = 500$.

Значения всех показателей нормировались к максимальным значениям по группе участников исследования. Таким образом, показатели измерялись в баллах в диапазоне изменения от 0 до 1.

Концентрация внимания участника исследования оценивалась как степень синхронности выполнения обеих задач (путем расчета коэффициента корреляции). Если участник исследования сконцентрирован на совмещенной деятельности (одновременном решении задачи слежения и логической задачи), то в процессе тестирования изменение показателей C_{SM} и C_{AL} будет происходить синхронно. Если же концентрация внимания на совмещенной деятельности низкая, то участник исследования не совмещает решение задач, а решает их последовательно. В этом случае изменение показателей C_{SM} и C_{AL} будет происходить в противофазе. Таким образом, концентрация внимания будет выражена в виде коэффициента корреляции Пирсона двух показателей C_{SM} и C_{AL} :

$$C_{AS} = \text{КОРРЕЛ}(C_{SM}; C_{AL}).$$

Показатель C_{AS} не зависит от абсолютных значений C_{SM} и C_{AL} , а значит, является независимым по отношению к ним параметром.

В качестве модели расчета индекса CQ использовалась следующая линейная форма:

$$CQ = n(m_1 C_{AS} + m_2 C_{SM} + m_3 C_{AL}),$$

где m_i – весовые коэффициенты показателей качества деятельности участника исследования в тестовом режиме; n – масштаб шкалы измерения.

Линейная форма является достаточно распространенной моделью различных процессов и систем. Она используется в задачах линейного программирования (исследование операций) в качестве целевой функции широкого класса задач. Регрессионная модель многих экономических задач также является линейной формой [4].

В соответствии с законами математической статистики, линейная форма случайных величин, имеющих нормальный закон распределения, также подчиняется нормальному закону. Кроме того, линейная форма отражает не только размер вектора, но и его пространственную ориентацию, что важно в наших исследованиях.

На практике экспериментальные данные не имеют строго нормального распределения, а только могут приближаться к нему. Для оценки этого и рассчитывается критерий Колмогорова–Смирнова. В этой ситуации степень соответствия распределения индекса CQ нормальному распределению в значительной степени зависит от значений весовых коэффициентов m_i . Значения весовых коэффициентов m_i определяются по выборке большого количества данных тестирования путем перебора значений, который осуществляется с помощью специально разработанной программы.

Таблица 1. Данные тестирования летчиков гражданской авиации (в баллах)

№ участника	C_{AS}	C_{SM}	C_{AL}	CQ	№ участника	C_{AS}	C_{SM}	C_{AL}	CQ
1	0.48	0.78	0.69	123.7	24	0.26	0.74	0.63	110.1
2	0.67	0.80	0.41	106.5	25	0.46	0.80	0.49	107.7
3	0.28	0.93	0.32	96.0	26	0.41	0.66	0.40	89.7
4	0.57	0.86	0.19	89.1	27	0.40	0.78	0.43	99.2
5	0.47	0.74	0.65	117.4	28	0.33	0.65	0.86	125.9
6	0.52	0.98	0.64	134.0	29	0.41	0.81	0.31	91.2
7	0.36	0.47	0.30	66.5	30	0.39	0.86	0.55	114.7
8	0.26	0.48	0.12	49.6	31	0.55	0.67	0.32	87.2
9	0.33	0.70	0.62	108.2	32	0.36	0.52	0.40	78.8
10	0.60	0.87	0.47	114.3	33	0.36	0.43	0.35	68.2
11	0.58	0.54	0.39	85.7	34	0.66	0.61	0.41	94.1
12	0.56	0.68	0.58	110.7	35	0.63	0.65	0.47	100.7
13	0.29	0.94	0.42	106.2	36	0.33	0.70	0.61	107.8
14	0.55	0.83	0.68	128.7	37	0.60	0.54	0.52	97.4
15	0.72	1.00	0.66	142.8	38	0.59	0.51	0.39	83.7
16	0.31	0.54	0.75	107.9	39	0.59	0.62	0.64	111.7
17	0.46	0.78	0.59	115.0	40	0.58	0.46	0.53	91.8
18	0.47	0.69	0.49	101.1	41	0.51	0.73	0.70	122.8
19	0.65	0.68	0.51	107.0	42	0.53	0.60	0.33	82.4
20	0.60	0.84	0.30	97.9	43	0.28	0.57	0.39	78.7
21	0.50	0.64	0.56	104.7	44	0.66	0.85	0.48	116.3
22	0.74	0.63	0.43	99.5	45	0.76	0.67	0.81	135.1
23	0.48	0.94	0.57	124.0	46	0.57	0.69	1.00	147.4

Примечания. C_{AS} – способность концентрировать внимание на совмещенной деятельности; C_{SM} – качество сенсомоторной деятельности; C_{AL} – качество абстрактно-логической деятельности; CQ – значение уровня когнитивной работоспособности.

Статистические критерии. Репрезентативность выборки экспериментальных данных осуществлялась путем расчета показателей их распределения с использованием статистического пакета *SPSS Statistics 17.0*. Соответствие распределения данных тестирования нормальному распределению определялось по критерию Колмогорова–Смирнова.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В табл. 1 приведены расчетные показатели по результатам тестирования 46-и летчиков Российских авиакомпаний.

Для приведенной в табл. 1 выборки экспериментальных данных весовые коэффициенты показателей индекса CQ составляют: $\lambda_1 = 1$; $\lambda_2 = 2.3$; $\lambda_3 = 3$. Значения λ_i определялись путем перебора при условии максимального приближения к нормальному закону распределения. При этом учитывались требования, принятые для расчета индекса IQ : масштаб шкалы измерения должен

быть таким, чтобы среднее значение IQ равнялось 100 и с такой дисперсией, чтобы 50% людей имели IQ между 90 и 110 и по 25% – ниже 90 и выше 110.

Результаты расчета показателей распределения индексов CQ представлены в табл. 2.

Таблица 2. Показатели распределения значений индексов CQ для группы летчиков гражданской авиации (по критерию Колмогорова–Смирнова)

Показатели распределения		Значение
Количество участников исследования		46
Разности экстремумов	Модуль	.068
	Положительные	.053
	Отрицательные	–.068
Критерий Колмогорова–Смирнова		.460
Асимптотическая значимость		.984

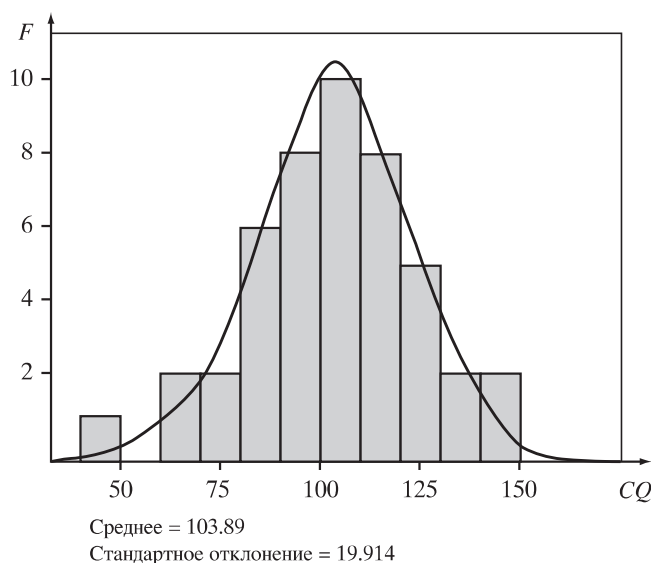


Рис. 3. Гистограмма распределения индекса CQ

Примечания. F – частота встречаемости данного уровня CQ среди участников исследования (количество человек); CQ – индекс когнитивной работоспособности.

По результатам расчета можно сделать вывод, что распределение значений индексов CQ , полученных при тестировании группы летчиков гражданской авиации, достоверно не отличается от нормального распределения.

На рис. 3 представлена гистограмма распределения индекса CQ .

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ результатов оценки индекса CQ группы участников исследования показывает, что у 56% участников исследования значение CQ находится в интервале между 90 и 110, у 24% – ниже 90, а у 20% – выше 110. Отклонения от требований реализации модели CQ незначительные и определяются недостаточным объемом выборки.

По аналогии с оценкой индекса IQ можно говорить, что трое летчиков имеют низкий индекс $CQ < 70$. Это может быть вызвано различными причинами – состоянием здоровья, высокой степенью утомления и др. Может быть дана только одна рекомендация – временное отстранение от полетов и дополнительное прохождение медико-психологического обследования. В результате будет достигнуто снижение рисков авиационных перелетов.

Известно, что в ряде частных авиакомпаний были увеличены месячные нормы налета пилотов с 80 до 90 часов. Очевидно, что авторы таких мероприятий (менеджеры-управленцы и владельцы компаний) не имеют представления об опасных

последствиях возникающего при этом выраженного утомления как для результатов выполняемой деятельности, так и для самих пилотов. По мнению летчиков – участников настоящего исследования – только за истекший год у них в 2–3 раза возросло количество инцидентов, то есть опасных ситуаций, которые могли закончиться авариями или катастрофами. Таким образом, интенсификация труда операторов, приводящая к снижению их когнитивной работоспособности, увеличивает риски негативного проявления человеческого фактора.

Контроль текущего значения индекса CQ операторов эргатических систем служит одним из механизмов предотвращения техногенных чрезвычайных происшествий по причине снижения когнитивной работоспособности. Индекс CQ не ориентирован на расчет вероятности неблагоприятных событий и степени неблагоприятных последствий, но может являться нормативным фактором допуска к выполнению ответственных заданий. Для этого необходима разработка индивидуальных и популяционных норм индекса CQ для конкретных операторов и видов операторской деятельности.

Следует отметить, что набор весовых коэффициентов модели λ_i индекса CQ уникален для групп людей с конкретной профессиональной специализацией. Известно, что “удельный вес понятийного и сенсомоторного компонентов, включенных в операторскую деятельность”, является классифицирующим признаком операторской деятельности [18]. Поэтому оценивать текущую работоспособность, например, менеджера, не корректно по гистограмме распределения CQ , полученной для летчиков гражданской авиации. Точно также набор весовых коэффициентов λ_i будет уникальным и для каждой возрастной группы специалистов. Все это предъявляет особые требования к оценке репрезентативности выборки. Она должна оцениваться в рамках конкретного вида операторской деятельности и возрастной группы участников исследования.

Несмотря на эти ограничения, диапазон задач, при решении которых может быть использован индекс CQ , достаточно широк. Это, в первую очередь, снижение рисков негативного проявления человеческого фактора, профессиональный отбор, контроль психофизиологического состояния [20], степени утомления специалистов, занятых в различных отраслях народного хозяйства.

Представленная в работе методика прошла апробацию в рамках многих научно-исследовательских работ (НИР), выполненных по заказу Роскосмоса

в период с 1995 г. по 2013 год, неоднократно докладывалась на всероссийских и международных конференциях [6–7], [9], прошла апробацию в рамках Международного эксперимента “МАРС-500”. Результаты разработки внедрены и успешно используются в авиакомпаниях “Аэрофлот” и “Волга – Днепр”.

ВЫВОДЫ

1. Обоснована необходимость оперативного измерения когнитивной работоспособности как средства снижения рисков негативного проявления Человеческого Фактора.

2. Предложена новая тестовая технология измерения когнитивной работоспособности человека, в основе которой лежит моделирование совмещенной деятельности как процесса, связанного с восприятием конкретной информации, ее переработкой и принятием решений по выполнению необходимых действий. Разработан программный комплекс тестирования участников исследования.

3. Обоснован выбор параметров измерения когнитивной работоспособности.

4. Предложена модель количественной оценки когнитивной работоспособности в виде индекса *CQ*, представляющего собой интегральный индикатор качества выполнения задач совмещенной деятельности и концентрации внимания при ее выполнении.

5. Приведены результаты апробации технологии измерения когнитивной работоспособности на примере тестирования группы летчиков гражданской авиации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анастаси А. Психологическое тестирование. Перевод с англ. // Под ред. К.М. Гуревича, В.И. Лубовского. М.: Педагогика, 1982.
2. Бернштейн Н.А. О ловкости и ее развитии. М.: Изд-во “Физкультура и спорт” Государственного комитета СССР по печати. 1991.
3. Бодров В.А. Профессиональное утомление. Фундаментальные и прикладные проблемы. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2009.
4. Венцель Е.С. Исследование операций. Задачи, принципы, методология: учеб. пособие для вузов. 4-е изд., стереотип. М.: Дрофа, 2006.
5. Голиков Ю.А., Костин А.Н. Особенности психической регуляции и классы проблемностей в сложной операторской деятельности // Психол. журн. 1994. Т. 15. № 2. С. 3–17.
6. Городецкий И.Г. Новая модель совмещенной деятельности операторов // Тезисы Пятой международной конференции “Пилотируемые полеты в космос”. Звенигород, 2003.
7. Городецкий И.Г., Петрова Е.М., Трофимов Е.А., Якимович Н.В. Мониторинг умственной работоспособности операторов-космонавтов. Седьмой международный аэрокосмический конгресс. Тезисы докладов. М.: Изд. Хоружевский А.И., 2012.
8. Городецкий И.Г., Трофимов Е.А. Индекс *CQ*, мониторинг когнитивной работоспособности. Восьмой международный аэрокосмический конгресс. Тезисы докладов. М.: АИР, 2015.
9. 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.
10. Карпов А.В. Метасистемная организация уровней структур психики. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 2004.
11. Котик М.А. Психология и безопасность. Риск в трудовой деятельности. Таллин: “Валгус”, 1981.
12. Краткий психологический словарь / Под ред. А.В. Петровского, М.Г. Ярошевского. М.: Изд-во политической литературы, 1985.
13. Методики диагностики психических состояний и анализа деятельности человека / Под ред. Л.Г. Дикой. М.: Изд-во “Институт психологии РАН”, 1994.
14. Психологические основы профессиональной деятельности: хрестоматия / сост. В.А. Бодров М.: ПЭР СЭ; Логос, 2007.
15. Райгородский Д.Я. Практическая психодиагностика. Методики и тесты. Учебное пособие. Самара: Издательский Дом “Бахрах-М”, 2001.
16. Рождественская В.И. Индивидуальные различия работоспособности. М.: “Педагогика”, 1980.
17. Соловьев В.Н. Умственная и физическая работоспособность студентов как фактор адаптации к учебному процессу // Успехи современного естествознания. 2004. № 8. С. 69–72.
18. Справочник по инженерной психологии / Под ред. Б.Ф. Ломова. М.: Машиностроение, 1982.
19. Ульмер Х.-Ф., Брюк К., Эве К., Карбах У., Детьен П., Вутке В., Цан Р., Тевс Г. Физиология человека. В 3-х томах. Пер. с англ. / Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. М.: Мир, 1996.
20. Ушаков И.Б., Богомолов А.В., Кукушкин Ю.А. Паттерны функциональных состояний оператора. М.: Наука, 2010.
21. Человеческий фактор. В 6-ти томах. Т. 4. Эргономическое проектирование деятельности и систем. Пер. с англ. / Под ред. Г. Салвенди. М.: Мир, 1991.
22. Шагин А.В. Основы автоматизации техпроцессов: учеб. пособие. М.: Высшее образование, 2009.
23. Щербатых Ю.В. Психология труда и кадрового менеджмента в схемах и таблицах: справочное пособие / Ю.В. Щербатых. М.: Кнорус, 2011.

INDEX OF OPERATOR'S COGNITIVE PERFORMANCE IN OPERATOR-DEPENDENT SYSTEMS

I. G. Gorodetsky^{*}, E. A. Trofimov^{**}

^{*} *Academician of the Russian Academy of cosmonautics, professor, head of the department of ergonomics and information-measuring systems, MATI – Tsiolkovsky Russian State Technological University, Moscow, Russia;*

^{**} *PhD (technical sciences), associated professor of ergonomics and information-measuring systems, MATI – Tsiolkovsky Russian State Technological University, Moscow, Russia*

The article describes a theoretical background of the concept of cognitive performance and the model of its quantitative assessment. It has been proposed to evaluate the level of cognitive performance as a function of three variables: the quality of the abstract-logical activity, the quality of sensorimotor activity and the ability to focus on the combined activity (both on the abstract-logical and sensorimotor activities). The test method of monitoring of the level of cognitive performance has been presented in details. This method allows evaluating an operator's cognitive performance based on the monitoring of its cognitive activity for five minutes. The results of the experimental study of cognitive performance of civil aviation pilots indicate the possibility of using the cognitive performance index to reduce risks in operator-dependent systems.

Key words: cognitive performance, monitoring of mental performance, risk reduction in operator-dependent systems.