

***Математические
модели в биологии
и медицине***

© М.М. Артемьева,
В.А. Петрухин, К.Ю. Цибрий, 2012

Рассматривается алгоритм оценки эффективности комплексного авиационного тренажера посредством оценки психофизиологического состояния его оператора. Обоснован выбор и опробована методика оценки психофизиологического состояния оператора тренажера.

УДК 681.3.06

М.М. АРТЕМЬЕВА, В.А.
ПЕТРУХИН, К.Ю. ЦИБРИЙ

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМПЛЕКСНОГО АВИАЦИОННОГО ТРЕНАЖЕРА

Введение. Тренажер – это механическое, электрическое либо комбинированное учебно-тренировочное устройство, искусственно имитирующее поведение реальной системы (процесса) с течением времени. Ключевым условием существования тренажера является наличие модели, в которой учтены основные характеристики выбранной физической или абстрактной системы (процесса) [1]. В военной индустрии тренажеры появились сначала в виде муляжей настоящего боевого оружия или боевых машин. В настоящее время технические устройства стали настолько опасны и сложны в использовании, что простыми муляжами не обойтись, поэтому в последние 30 лет тренажерные технологии, стали самостоятельной индустрией, появление которой напрямую связано с глобальной компьютеризацией нашего общества. Все симуляционные и

тренажерные технологии современного мира – это в основном технологии виртуальной реальности.

Тренажеры появляются там, где ошибка человека может привести к чрезвычайным последствиям, которые могут стоить жизни людей. Исторически тренажерная индустрия наиболее успешно развивается в медицине, атомной энергетике, аварийно-спасательных службах, военной промышленности, авиации и космонавтике.

Авиационный (пилотажный) тренажер – имитатор полета, предназначенный для наземной подготовки пилотов. В авиационном тренажере имитируется динамика полета и работа систем воздушного судна с помощью специальных моделей, реализованных в программном обеспечении вычислительного

комплекса тренажера. Тренажерная подготовка летного состава является экономически существенно более выгодным направлением, обеспечивающим требуемый уровень безопасности полетов, чем подготовка летного состава в реальном полете. В настоящее время авиационные тренажеры стали неотъемлемой частью подготовки пилотов в гражданской и в военной авиации [2].

Текущее состояние задачи. Для оценки эффективности обучающих тренажерных комплексов необходимы определенные критерии. Как правило, обучающую ценность и эффективность новых тренажеров рекомендуют определять по совокупности субъективных оценок экзаменующих или методом экспертной оценки. Однако такие методы следует признать необъективными и недостаточно полными. Анализируя обучающие достоинства тренажера, даже высококвалифицированный эксперт не может правильно интерпретировать все полученные данные, оценить субъективные особенности восприятия и способностей отдельных тренируемых при работе на тренажере. Таким образом, основная проблема заключается в отсутствии объективной оценки психофизического состояния (уровня стресса) оператора авиационного тренажера. Также необходимо учитывать крайне важный критерий – «критерий соответствия действительности», т. е. степень приближения реальности тренажером.

Стресс в контексте функционального состояния организма. Управляя самолетом, пилот получает сигналы посредством органов чувств и на основе полученной информации выбирает оптимальную стратегию пилотирования. Специфичность получаемых сигналов сопряжено с состоянием организма, называемым стрессом. Под стрессом можно понимать реакцию организма [3], либо комплекс, состоящий из сигнала, перцепции и отклика организма [4].

Стресс – состояние организма, соответствующее ситуации, в которой специфичные условия окружающей среды превышают адаптационные возможности организма [5]. Состояние стресса возникает, когда организм получает незнакомые сигналы, с которыми не может справиться, что приводит к неправильному предсказанию и потере контроля над ситуацией. Это определение включает в себя современные представления о стрессе, согласно которым важна не интенсивность фактора стресса, а возможность организма адаптироваться к нему, что критически важно при оценке эффективности тренажера и компетентности пилота. Также в определении заключено отношение к стрессу, как к сложному психофизиологическому явлению.

Стресс – естественная реакция организма на страх в критических ситуациях, когда мозг человека получает извне сигнал об опасности. Сигнал организм может получить посредством всех органов чувств: зрение, слух, вкус, обоняние, осязание.

Исследование реакции человека на стрессовые ситуации поможет определить его реакцию в той или иной критической ситуации. Возможны три модели поведения человека во время опасности: бегство от опасности, преодоление опасности и шок [6]. С количеством приобретенного чувственного опыта организм все чаще выбирает модель преодоления опасности

наименьшими затратами для себя вплоть до полного исключения данной ситуации из категории опасных. В данном случае организм выбирает последовательность действий, исключающих получение возможного вреда или ущерба.

Одна из ключевых задач тренажеров – приобретение этого чувственного опыта оператором тренажера. Разработчики современных тренажеров пытаются максимально возможно приблизить условия работы оператора тренажера к реальным: полностью имитируется кабина самолета от моделирования самого каркаса и трехмерной визуализации полета до струй воздуха, растекающихся в кабине. Такая тщательная подготовка пилота поможет, во-первых, отсеять принципиально негодных к пилотированию и, во-вторых, позволить пилоту набрать чувственный опыт, чтобы в критической ситуации пилот смог принять единственно верное решение. Исследование неосознанной реакции организма (симптомов страха) пилота может определить степень стресса и подготовленность пилота к испытаниям в условиях реального полета.

Стресс-реакцию у организма вызывает любое воздействие среды. В организме одновременно включаются в работу регуляторные системы и повышается уровень функционирования некоторых других систем, мобилизующих функциональные резервы.

Регуляторные системы осуществляют прямую связь, управляя уровнем функционирования, и обратную связь, контролируя его. Таким образом, они регулируют расход функционального резерва для того, чтобы был обеспечен гомеостатический режим (режим саморегуляции, когда система стремится восстановить исходное состояние и удержать его в некотором интервале значений, что является нормальным значением параметра) взаимодействия систем, которые реагируют на воздействие окружающей среды. В случае, когда автономные механизмы не могут обеспечить необходимый уровень функционирования системы, центральные регуляторные механизмы мобилизуют стратегические резервы.

Проявления стресса и его обнаружение. Судить об уровне стресса можно по деятельности регуляторных систем и степени их напряжения. Вопрос в том, как оценить эту степень и количественно ее измерить.

Решение данной задачи заключается в установлении связи между деятельностью регуляторных систем и проявлениями стресса в организме.

Внешне стресс у человека имеет следующую симптоматику [7]:

- учащенное дыхание, не сопровождаемое физическими нагрузками;
- проблемы глотания;
- раздражительность или злоба без объективной на то причины;
- неспособность сконцентрироваться на поставленной задаче;
- изменение диаметра зрачка;
- усиленное потоотделение;
- изменение температуры тела;
- впечатление отсутствия контроля;

- дискомфорт в желудке, который не является результатом физического состояния («медвежья болезнь»);
- сухость во рту.

Внутренние признаки стрессовой ситуации:

- изменение химического состава крови (например, выброс гормонов адреналина и норадреналина);
- учащенное сердцебиение, не сопровождаемое физическими усилиями;
- изменение сердечного давления;
- изменение объемов крови в конечностях;
- кожно-гальваническая реакция;
- изменение активности головного мозга.

Среди описанных симптомов физически измеряемыми являются учащение сердцебиения и дыхания, изменение химического состава крови, активность головного мозга и кожно-гальваническая реакция. На основе анализа данных параметров используют различные методы оценки стресса, такие как:

- пневмотахометрия – метод исследования механики дыхания, основанный на записи скоростей движения и объема вдыхаемого и выдыхаемого воздуха. Основной недостаток спирометрии заключается в том, что испытуемый может значительно влиять на объем и частоту дыхания [8];
- термография – метод функциональной диагностики, основанный на регистрации инфракрасного излучения человеческого тела, пропорционального его температуре. Для измерения температуры тела обычно используется пироэлектрический датчик. Высокая инертность метода делает его невозможным при анализе быстрых процессов в человеке;
- степень электропроводности кожи определяется в основном деятельностью потовых желез, кровоснабжением и т. д. Изменение электрического сопротивления кожи называют кожно-гальванической реакцией. Данный метод получил широкое распространение в психофизиологических исследованиях [9];
- электроэнцефалография – метод измерения электрической активности коры головного мозга с помощью измерения поверхностных потенциалов. Ввиду индивидуальных особенностей организма электроэнцефалографические портреты для каждого человека уникальны. Математическая обработка сигнала в таком случае усложняется, а выделение закономерностей, общих для всех людей, до настоящего времени не решенная задача, требующая отдельного внимания [10];
- анализ variability длительности сердечного цикла. Математический анализ ритма сердца (variability сердечного ритма) является простым, доступным и достоверным методом оценки физиологического состояния организма, а, главное, этот метод позволяет непрерывно контролировать динамику изменения состояния человека. Variability сердечного ритма (VSR) – это универсальный показатель оперативной реакции организма на каждое воздействие внешней среды.

Сердечно-сосудистая система с ее многоуровневой регуляцией представляет собой функциональную систему, конечным результатом деятельности которой является обеспечение заданного уровня функционирования целостного организма. Обладая сложными нервно-рефлекторными и нейрогуморальными механизмами, система кровообращения обеспечивает своевременное адекватное кровоснабжение соответствующих структур. При прочих равных условиях можно считать, что любому заданному уровню функционирования целостного организма соответствует эквивалентный уровень функционирования аппарата кровообращения [11, 12]. Таким образом, сердечный ритм является естественным маркером общей баланса систем регуляции физиологических функций в организме, состояния функциональных резервов организма.

Метод ВСП нашел широкое применение в области психофизиологии. Например, эмоциональное состояние человека напрямую отражается в ВСП: мощности высокочастотных волн уменьшаются при эмоциональном напряжении [13] и тревожном состоянии [14], а также в посттравматическом стрессовом расстройстве [15]. Показано, что ВСП сильно изменяется у людей, подвергающихся частым и продолжительным беспокойствам в течение дня [16]. На данный момент метод ВСП нашел свое применение уже в более чем 1500 работах [17].

В работе используется методика кардиоинтервалографии. Характерной ее особенностью является его высокая чувствительность к разнообразным внутренним и внешним воздействиям. Простота съема информации сочетается с возможностью извлечения из получаемых данных обширной и разнообразной информации о регуляции физиологических функций и адаптационных реакциях целостного организма.

В качестве необходимого оборудования используется монитор сердечного ритма. Основным техническим элементом устройства является пояс с датчиком на груди оператора. Выделяемый пот создает проводящую прослойку между телом оператора и датчиком, тем самым обеспечивая хороший контакт. Помимо датчика необходимо устройство первичной сбора, хранения и обработки информации, куда и поступают данные с детектора.

Алгоритм оценки психофизиологического состояния оператора. В качестве универсального показателя обычно используется средняя частота пульса. В рамках настоящего исследования данный показатель не совсем подходит, ибо он отражает лишь конечный результат воздействия на организм целой серии вмешательств регуляторной системы в аппарат кровообращения. Средняя частота пульса – обобщенный показатель, отражающий лишь характеристики уже установившегося гомеостатического механизма.

Задача гомеостатического механизма заключается в том, чтобы между симпатическим и парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы установился баланс (вегетативный гомеостаз). Одной и той же частоте пульса могут соответствовать различные комбинации активностей звеньев системы, управляющей вегетативным гомеостазом [11].

Для анализа данных в настоящей работе использовались результаты, полученные Р.М. Баевским для анализа последовательности RR-интервалов [11, 18]. Кардиоинтервалограмма рассматривается как совокупность последовательных временных промежутков – интервалов между последовательными зубцами R электрокардиограммы.

Методы изучения ВСП можно условно разделить на три группы: исследование общей вариабельности (статистические методы или временной анализ); исследование внутренней организации динамического ряда кардиоинтервалов (автокорреляционный анализ, корреляционная ритмография, методы нелинейной динамики); исследование периодических составляющих ВСП (частотный анализ).

В данной работе исследование ВСП проводилось с помощью частотного анализа, поскольку это лучше всего подходит для точной количественной оценки периодических процессов в сердечном ритме.

Физиологический смысл спектрального анализа состоит в том, что с его помощью оценивается взаимодействие отдельных уровней управления ритмом сердца. Одна из гипотез заключается в том, что активность соответствующих уровней регуляции тем выше, чем больше мощность соответствующих медленноволновых составляющих спектра сердечного ритма. Чем выше уровень, тем больший объем информации он должен перерабатывать и тем длиннее период колебаний, связанный с его деятельностью. Поэтому смещение периода спектральной составляющей в сторону увеличения можно интерпретировать как передачу управления на более высокие уровни, как включение в процесс управления дополнительных звеньев.

Различают параметрические и непараметрические методы спектрального анализа. К первым относится авторегрессионный анализ, ко вторым – быстрое преобразование Фурье (БПФ) и периодограммный анализ. Обе эти группы методов дают сравнимые результаты.

Параметрические, и в частности авторегрессионные, методы требуют соответствия анализируемого объекта определенным моделям. Общим для всех классических методов спектрального анализа является вопрос применения функции окна (Windowing). Основное назначение окна – уменьшение величины смещения в периодограммных спектральных оценках. Существуют определенные различия спектрального оценивания данных при использовании периодограммного метода с равномерным окном (при 256 значениях RR-интервала) и применении различных уровней межсегментного сдвига и различного числа отсчетов на сегмент.

Увеличение разрешения при возрастании межсегментного сдвига и числа отсчетов на сегмент влечет за собой появление массы дополнительных пиков в спектре и увеличение амплитуды пиков в правой половине спектра. При спектральном анализе ВСП важное значение имеет объем анализируемой выборки (таблица). При коротких записях (5 минут) выделяют три главных спектральных компоненты. Эти компоненты соответствуют диапазонам дыхательных волн и медленных волн 1-го и 2-го порядка.

ТАБЛИЦА. Параметры спектрального анализа ВСР

Наименование компонентов спектра	Частотный диапазон, Гц	Период, сек
HF	0,4 – 0,15	2,5 – 6,6
LF	0,15 – 0,04	6,6 – 25,0
VLF	0,04 – 0,003	25,0 – 333

При спектральном анализе динамических рядов кардиоинтервалов с объемами выборок 100 – 128 кардиоинтервалов (или 128 секунд) можно измерить только мощности дыхательных волн и медленных волн 1-го порядка. Что касается медленных волн 2-го порядка, учитывая, что верхняя граница диапазона их значений достигает 70 – 80 секунд, то основная мощность данной медленноволновой составляющей отражается, как правило, первой гармоникой спектра. При спектральном анализе обычно вычисляются средние мощности спектров дыхательных волн и медленных волн 1-го и 2-го порядков. По данным спектрального анализа сердечного ритма вычисляются два важных показателя: индекс централизации (ИЦ) и индекс активации подкорковых нервных центров (ИАП). ИЦ отражает степень преобладания недыхательных составляющих синусовой аритмии над дыхательными. Фактически – это количественная характеристика соотношений между центральным и автономным контурами регуляции сердечного ритма. Вторым индексом ИАП характеризует активность сердечнососудистого подкоркового нервного центра по отношению к более высоким уровням управления. Повышенная активность подкорковых нервных центров проявляется ростом ИАП. С помощью данного индекса могут контролироваться процессы коркового торможения.

Мощность высокочастотной составляющей спектра (дыхательные волны, HF – high frequency). Активность симпатического отдела вегетативной нервной системы, как одного из компонентов вегетативного баланса, можно оценить по степени торможения активности автономного контура регуляции, за который ответственен парасимпатический отдел. Обычно дыхательная составляющая составляет 15 – 25 % суммарной мощности спектра. Снижение данной доли до 8 – 10 % указывает на смещение вегетативного баланса в сторону преобладания симпатического отдела. Если же величина HF падает ниже 2 – 3 % то можно говорить о резком преобладании симпатической активности. В этом случае существенно уменьшается и показатель RMSSD, вычисляющийся как среднее значение суммы квадратов разностей последовательных RR-интервалов. Чем стабильнее ритм, тем меньше разности между кардиоинтервалами и тем ниже значение RMSSD. Наоборот рост этого показателя указывает на увеличение активности парасимпатической системы.

Мощность медленных волн 1-го порядка (MB-1, LF – low frequency). Данный показатель характеризует состояние системы регуляции сосудистого тонуса.

Время, необходимое сосудодвигательному (вазомоторному) центру продолговатого мозга на восприятие изменений артериального давления, анализ и передачу соответствующих изменений гладкомышечным волокнам сосудов колеблется от 7 до 20 секунд; в среднем оно равно 10 секундам. Поэтому в ритме сердца можно обнаружить волны с частотой 0,1 гц (10 с.), получившие название вазомоторных.

Мощность медленных волн 1-го порядка определяет активность вазомоторного центра. Активность вазомоторного центра падает с возрастом и у лиц пожилого возраста этот эффект практически отсутствует. Вместо медленных волн 1-го порядка, увеличивается мощность медленных волн 2-го порядка. Это означает, что процесс регуляции артериального давления осуществляется при участии неспецифических механизмов путем активации симпатического отдела вегетативной нервной системы. Обычно в норме процентная доля вазомоторных волн в положении «лежа» составляет от 15 до 35 – 40 %.

Мощность медленных волн 2-го порядка (MB-2, VLF – very low frequency). Спектральная составляющая сердечного ритма в диапазоне 0,04 – 0,015 гц (25 – 70 с). Достоверно показано [19], что MB-2 характеризует влияние высших вегетативных центров на сердечнососудистый подкорковый центр и может использоваться как надежный маркер степени связи автономных (сегментарных) уровней регуляции кровообращения с надсегментарными, в том числе с гипоталамическим и корковым уровнем. В норме мощность MB-2 составляет 15 – 30% суммарной мощности спектра.

Индекс централизации (ИЦ, IC – index of centralization) хорошо отражает соотношение между автономным и центральным контурами регуляции сердечного ритма:

$$IC = \frac{LF + VLF}{HF}.$$

Данный показатель позволяет судить об активности сердечнососудистого подкоркового центра, связанного с деятельностью высших уровней управления.

Эксперименты с радиоуправляемыми моделями. Проведен ряд экспериментов с использованием радиоуправляемого вертолета модели T-rex 600 компании Align [7]. Управление осуществлялось радиоаппаратурой Futaba T9CP Super.

Стаж тренировок пилота на симуляторе – 70 часов, стаж полета – 25 часов, пульс в спокойном состоянии – 55–60 ударов в минуту.

Все эксперименты делились на две группы:

- на симуляторе полета (радиоаппаратура подключается к ПК);
- «полевые» эксперименты (радиоаппаратура подключается к вертолету).

Результаты экспериментов. Проведем сравнение индексов централизации у данного испытуемого в состоянии покоя и в эксперименте с симулятором полета (рис. 1). Симулятор в данном эксперименте выступал в роли тренажера.

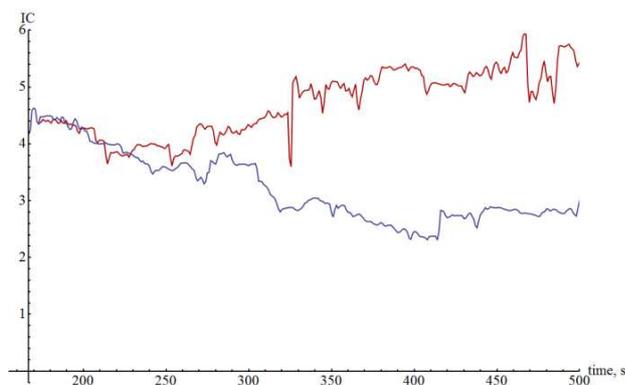


РИС. 1. Сравнение индексов централизации опытного пилота в состоянии покоя и в эксперименте с симулятором полета. Верхняя кривая – индекс централизации в состоянии покоя, нижняя – на симуляторе

Полученные графики отражают тот факт, что с помощью используемой методики можно различить состояния человека с различной степенью стресса, следовательно, данная методика может быть применена для оценки психофизиологического состояния оператора тренажера.

Проведем сравнение индексов централизации у данного испытуемого в эксперименте с симулятором полета и в эксперименте реального полета (рис. 2).

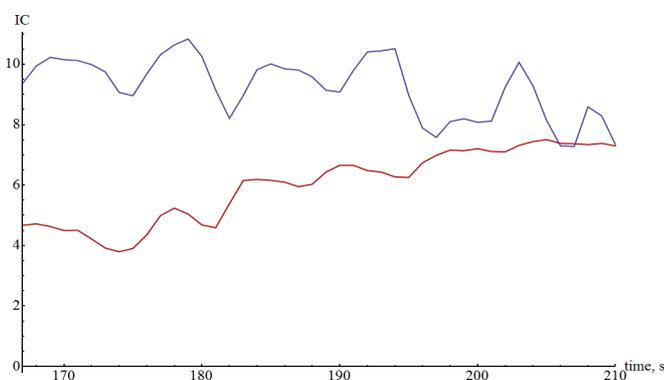


РИС. 2. Сравнение индексов централизации одного пилота в эксперименте с симулятором полета и эксперименте реального полета. Верхняя кривая – индекс централизации в реальном полете, нижняя – на симуляторе полета

Из графика видны значительные различия значений индекса централизации в этих двух экспериментах. Следовательно, уровень стресса, испытываемый пилотом на симуляторе полета, отличается от уровня стресса, испытываемого в реальном полете. Таким образом, можно определить, что данный симулятор полета плохо приближает реальные условия полета.

Необходимо отметить, необходимость нахождения испытуемого в состоянии гомеостаза при проведении эксперимента, поскольку результаты эксперимента сильно зависят от текущего психофизиологического фона, который может отличаться от истинного состояния покоя (гомеостаза).

Приведем сравнение результатов эксперимента для одного и того же испытуемого в состоянии покоя в разные дни (рис. 3). Под состоянием покоя подразумевается сидячее положение испытуемого в расслабленном состоянии.

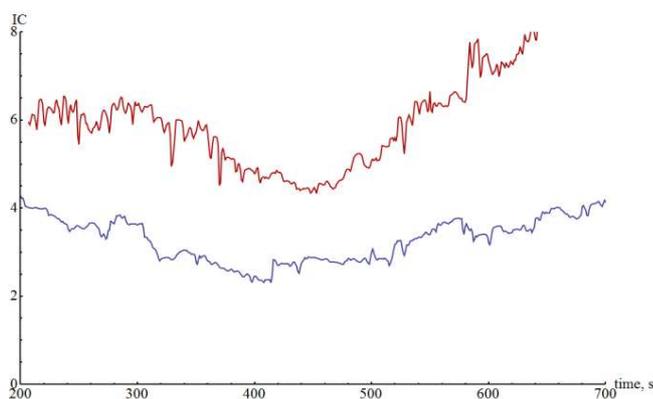


РИС. 3. Сравнение индексов централизации одного и того же испытуемого, находящегося в состоянии покоя в разные дни

Выявленные проблемы. В ходе экспериментов выявлены следующие задачи для совершенствования предложенной методики:

1. Необходима комплексная калибровка результатов эксперимента на состояние гомеостаза каждого конкретного оператора авиационного тренажера. В качестве решения предлагается проведение ряда «калибровочных» экспериментов перед основным экспериментом.

2. Необходимы эталонные эксперименты (полеты). Для того чтобы оценить эффективность авиационного тренажера (степень приближения им реальных условий полета), необходимо сравнить показатели стресса у оператора авиационного тренажера с показателями стресса пилота, управляющего авиационным средством, моделью которого является данный тренажер.

3. Ограничение метода. При спектральном анализе динамических рядов кардиоинтервалов с объемами выборок 100–128 кардиоинтервалов (или 128 секунд) можно измерить только мощности дыхательных волн и медленных волн 1-го порядка. Верхняя же грань медленных волн 2-го порядка достигает 333 с, следовательно, эксперимент должен длиться не менее 5,5 минут, при этом большая часть сценариев тренажера (например, посадка самолета) рассчитана менее чем на 5 минут.

Заключение. В ходе исследования проведен сравнительный анализ различных методов определения психофизиологического состояния человека, выбрана и обоснована методика количественной оценки стрессового состояния на основе анализа законов регулирования сердечного ритма. Предложенные методики проверены на пробных экспериментах с радиоуправляемыми моделями, по итогам анализа которых были обнаружены недостатки способа измерений, а также проблемы, возникающие в ходе эксперимента.

М.М. Артемьева, В.О. Петрухин, К.Ю. Цибрий

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ КОМПЛЕКСНОГО АВІАЦІЙНОГО ТРЕНАЖЕРА

Розглядається алгоритм оцінки ефективності комплексного авіаційного тренажера за допомогою оцінки психофізіологічного стану його оператора. Обґрунтовано вибір і випробувана методика оцінки психофізіологічного стану оператора тренажера.

М.М. Artemyeva, V.A. Petrukhin, K.Y. Tsibriy

ESTIMATION OF EFFICIENCY OF AVIATION SIMULATOR

In the article it is considered algorithm of aviation simulator efficiency estimate by means of psychophysiological condition estimate of simulator operator. The method of psychophysiological condition estimate was chosen and checked.

1. Banks J., Carson J., Nelson B., Nicol D. Discrete-Event System Simulation. // Prentice Hall, 2001. – P. 3.
2. Серегин Г.Н. Авиационные тренажеры – реальный путь к повышению безопасности полетов // Право и безопасность. – 2006. – Т. 12, № 3-4. – С. 20 – 21.
3. Selye H. The Physiology and Pathology of Exposures to Stress. // Acta Medica Publ., Montreal, 1950.
4. Levine S., Ursin H. What is stress? In: Brown, M.R., Koob, G.F., Rivier, C. (Eds.), Stress: Neurobiology and Neuroendocrinology. Marcel Dekker, Inc., New York, 1991. – P. 3 – 21.
5. Koolhaas J. et al. «Stress revisited: A critical evaluation of the stress concept» // Neuroscience and Biobehavioral Reviews. – 2011. – 35. – P. 1291–1301.
6. Cannon W.B. The wisdom of the body. New York: W. W. Norton, 1932.
7. The American Institute of Stress [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stress.org/topic-effects.htm>, свободный. – Загл. с экрана.
8. Miller M.R., Crapo R., Hankinson J. et al. «General considerations for lung function testing» // European Respiratory J. – July 2005. – 26 (1). – P. 153–161.
9. Mendes W.B. Assessing the autonomic nervous system // In: E. Harmon-Jones and J. Beer (Eds.) Methods in the Neurobiology of Social and Personality Psychology. Guilford Press. – 2009.
10. The relationship of theory and methodology in EEG studies of mental activity // Lazarev VV. Int J. Psychophysiol. – 2006 Dec; 62(3). – P. 384 – 93. Epub 2006 Mar 10.
11. Баевский Р.М. Прогнозирование состояний на грани нормы и патологии. – М.: «Медицина», 1979 – 298 с.

12. *Heart rate variability. Standards of Measurement, Physiological interpretation and clinical use* // *Circulation*. – 1996. – V. 93. – P. 1043 – 1065.
13. *Nickel P.F. Nachreiner. «Sensitivity and Diagnosticity of the 0.1-Hz. Component of Heart Rate Variability as an Indicator of Mental Workload»* // *Human Factors*. – 2003. – 45 (4). – P. 575 – 590.
14. *Jönsson P. «Respiratory sinus arrhythmia as a function of state anxiety in healthy individuals»* // *International J. of Psychophysiology*. – 2007. – 63. – P. 48 – 54.
15. *Hagit C. et al. «Analysis of heart rate variability in posttraumatic stress disorder patients in response to a trauma-related reminder»* // *Biological Psychiatry*. – 1998. – 44 (10). – P. 1054–1059.
16. *Brosschot J.F., E. Van Dijk J.F. Thayer «Daily worry is related to low heart rate variability during waking and the subsequent nocturnal sleep period»* // *International J. of Psychophysiology*. – 2007. – 63. – P. 39 – 47.
17. *Short-term cardiovascular oscillations in man: measuring and modelling the physiologies*, Cohen and Taylor // *J. of Physiology*. – 2002. – 542.3. – P. 669 – 683.
18. *Баевский Р.М., Иванов Г.Г. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения* // *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. – 2001. – № 3. – С. 108.
19. *Хаспекова Н.Б. Регуляция вариативности ритма сердца у здоровых и больных с психогенной и органической патологией мозга*. – Дисс. ... д-ра мед. наук. – М., 1996. – 217 с.

Получено 21.06.2012

Об авторах:

Артемяева Мария Михайловна,

студентка Московского физико-технического института (государственного университета),
e-mail maria.m.artemieva@gmail.com

Петрухин Владимир Алексеевич,

ведущий научный сотрудник Института кибернетики имени В.М. Глушкова НАН Украины,
e-mail vapetr@gmail.com

Цибрий Кирилл Юрьевич,

аспирант Физико-технического учебно-научного центра НАН Украины.
e-mail ktsibriy@gmail.com