

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ КОНТРОЛЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА УПРАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛОВ ЛЕТЧИКА

А. М. Набатчиков¹, Е. И. Михайлов¹, О. Н. Корсун¹
¹ФГУП «ГосНИИАС», г. Москва

В работе приводятся результаты исследования возможности использования управляющих сигналов летчика в задаче контроля его психофизиологического состояния. В целях изучения влияния усталости на характеристики деятельности человека в полете на посадку по глиссаде на полунатурном стенде. Основные полётные данные используются для определения диагностических признаков утомления оператора.

В целях изучения влияния усталости на характеристики деятельности человека-оператора, была проведена серия экспериментов: испытуемые осуществляли заход на посадку по глиссаде на полунатурном стенде. Этот сложный режим полёта в совокупности с большим числом повторов без времени на отдых быстро привёл к утомляемости оператора, что подтверждается отклонениями. В ходе эксперимента записывались все основные параметры полёта.

Оценивание степени утомления по управляющим сигналам летчика

На рисунке 1 представлены управляющие сигналы (РУС по тангажу) в рабочей области для 8 последовательных заходов на посадку.

Поскольку манёвр (по условиям эксперимента) начинается «в воздухе» и заканчивается процедурой выравнивания ЛА перед посадкой, необходимо выделить из анализа небольшой участок в начале и в конце записи. Таким образом, для анализа отбирается участок, заключённый между двумя вертикальными линиями.

Для нивелирования влияния постоянной составляющей на результаты спектрального анализа, сигнал необходимо центрировать: математическое ожидание для всей реализации и только для анализируемого фрагмента отображены пунктирными линиями зелёного и красного цветов, соответственно.

Видится обоснованным предположить, что спектральная плотность мощности управляющих воздействий от оператора, по мере роста усталости и «бедности» высокочастотные составляющие и уменьшаются интеграл от спектра в рабочей области человека-оператора (до 3 Гц).

Вычисление спектра сопряжено с рядом практически тонкостей в частности, с усреднением отсчётов, с выбором типа окна (спектральное, прямоугольное) его параметров (Ханн, Бэрлетт, Хемминг, Блэкман-Наталл и др.).

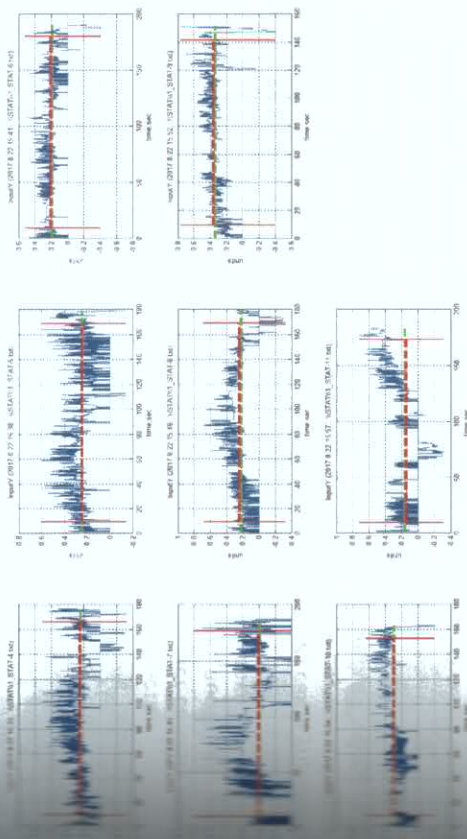


Рисунок 1. Управляющие сигналы (РУС по тангажу)

На рисунке 2 представлены графики спектральной плотности мощности управляющих сигналов (для удобства анализа – в степени 1/2). Произведено усреднение по 7 частотным компонентам. Синим цветом отображён спектр с использованием окна Гудмэна-Эноксона-Отнеса (ГЭО), красным – окна Ханна, зелёным – прямоугольного окна. В легенде, в соответствующих строках указаны интегралы по данным спектрам на всём частотном диапазоне. Также на графиках жёлтыми прямоугольниками отображены величины (для удобства визуализации, уменьшенные в 10 раз) интегралов от спектра (полученного с использованием ГЭО-окна) в полосах 0,1–0,5 Гц, 0,5–2 Гц, 2–3 Гц. Числовые значения так же указаны в легендах.

Из исключены в легендах некоторые выбросы, общая тенденция – падение интегральных оценок с ростом усталости.

Анализ функции когерентности между управляющими сигналами и осциллограммами полётными данными

Следующий предлагаемый метод – анализ функции когерентности между сигналами. Функция когерентности выражается через спектральные плотности осциллограмм образом:

$$\gamma_{xy}(f_m) = \frac{|S_{xy}(f_m)|}{\sqrt{S_{xx}(f_m) \cdot S_{yy}(f_m)}}$$

На рисунке 3 представлены графики когерентности между управляющим

воздействием (РУС-тангаж) и вертикальной перегрузкой. Для вычисления и пользовалось окно Ханна, разбивка реализации на кадры по 512 отсчетов с 7/8-м перекрытием. Производилась оценка интеграла в полосе от 0 до 3 Гц (определенная область) – значения указаны в заголовках соответствующих графиков. В правой нижней части рисунка приведено резоме, визуализирующее тенденцию изменения интегрального критерия по мере роста усталости.

На данных графиках видно, как с ростом усталости падает степень линейности связи между двумя сигналами (до 4-го эксперимента), после чего оператор прикладывает дополнительные усилия и добивается роста показателя (до 7-го эксперимента) вслед за этим наступает срыв деятельности (8-ой эксперимент). Аналогично рассмотренному ранее, производится анализ связи управления РУС-крен и крена (рисунок 4). Так же, как и в предыдущем случае, наблюдается тенденция к уменьшению интегрального критерия, затем небольшой рост и окончательный спад.

Отметим, что подавляющее количество управляющих воздействий оператора совершал в канале тангажа (процесс «удержания» глассады), в то время как в канале крена оператор спорадически компенсировал набегавшие ошибки по боковой координате. Данное обстоятельство повлияло на меньшую вариативность характера изменения критерия для крена.

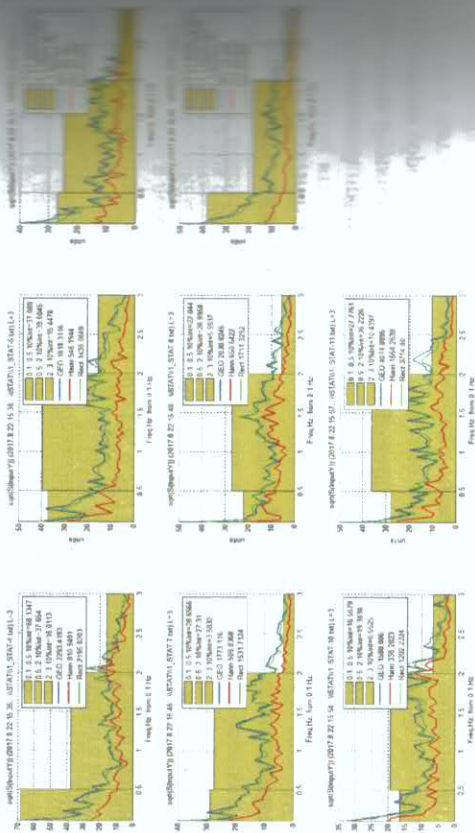


Рисунок 2. Корень спектральной плотности мощности управляющих сигналов

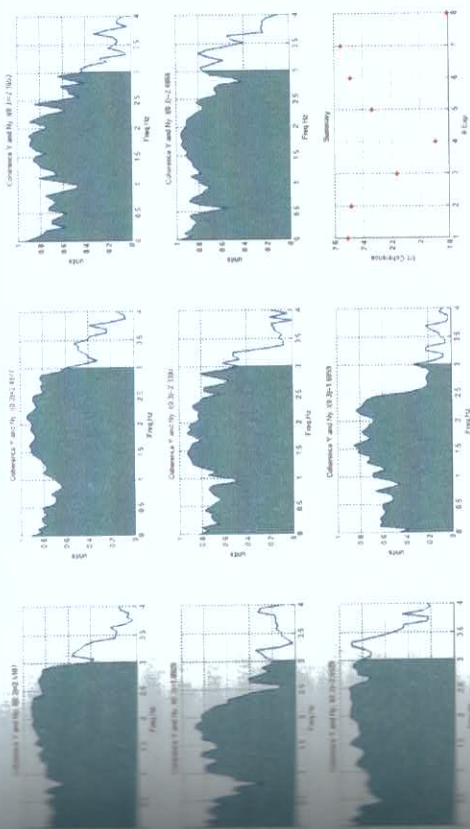


Рисунок 3. Функция когерентности между РУС-тангаж и вертикальной перегрузкой

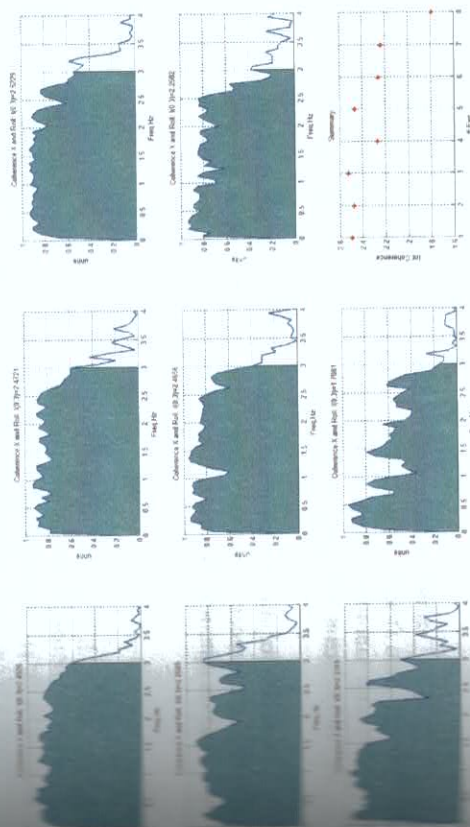


Рисунок 4. Функция когерентности между РУС-крен и креном

В ходе следующего эксперимента оператор в течение часа выполнял на полнатурном стенде многократные приборные заходы на посадку (без предъявления внекабинной обстановки). В качестве дополнительных факторов, повышающих рабочую нагрузку, использовались: тест, требующий реакции на вербальный стимул, необходимость произнести оговорённое слово при включении соответствующего индикатора. В процессе эксперимента непрерывно снимался ЭЭГ. В качестве маркера начала захода на посадку, оператор трижды моргал, создавая этим в записи ЭЭГ, помехи легко обнаруживаемого типа.

На рисунке 5 представлен график зависимости среднего значения когерентности между ошибкой по высоте (вертикальным отклонением от глиссады) и управляющим сигналом оператора в продольном канале от среднеквадратического отклонения ошибки по высоте. Каждая точка на графике соответствует очередному заходу на посадку.

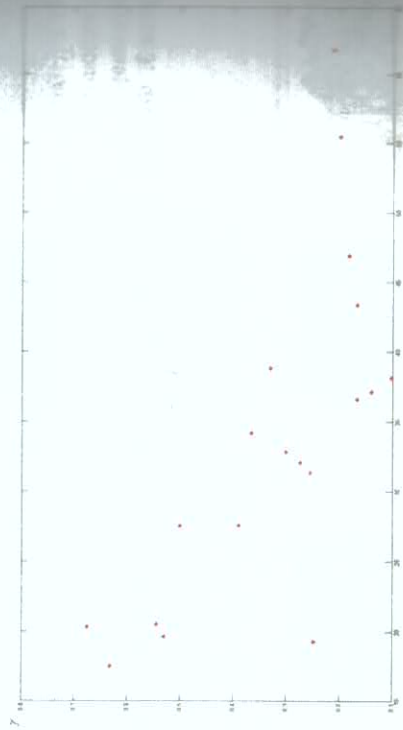


Рисунок 5. График зависимости среднего значения функции когерентности между ошибкой по высоте и управляющим сигналом оператора в продольном канале от среднеквадратического отклонения ошибки по высоте

За исключением нескольких выпадающих из общей закономерности точек ошибка по высоте тем ниже (соответственно, выше точность пилотирования), чем выше средние значения функции когерентности между ошибкой по высоте и управляющим сигналом оператора в продольном канале.

Заключение

Проведенные исследования позволили установить диагностические признаки, устанавливающие связь между степенью утомления и спектральными характеристиками управляющих сигналов, а также уровнем когерентности между управляющими летчика и полетными параметрами, ключевыми для решения задачи

данной задачи. В работе также установлено, что среднее значение функции когерентности между ошибкой по высоте и управляющим сигналом оператора в продольном канале коррелирует со среднеквадратическим отклонением ошибки по высоте.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ), проект 18-08-01142-а.

ЛИТЕРАТУРА

1. Parasuraman Raja, Wilson Glenn F. Putting the brain to work: Neuroergonomics, present, and future // HUMAN FACTORS. Том 50. Выпуск 3. 2008. С. 468–474.
2. Малишевский А. В., Бровкин П. Е., Власов Е. В. Оценка эффективности вынужденной деятельности летательного аппарата // Мир транспорта. Том 12. № 5 (54). 2014. С. 216–229.
3. Себряков Г. Г. Проблемы проектирования полувыводимых систем авиационного назначения летательных аппаратов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2007. № 10. С. 2–7.
4. Себряков Г. Г. Характеристики деятельности человека-оператора в динамических системах слежения и наведения летательных аппаратов // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2007. № 11. С. 2–8.
5. Елдокуменов В. Н., Ким Р. В., Красильщиков М. Н. и др. Использование нейросетевой модели управляющих действий летчика в интересах его индивидуальной адаптации // Известия Российской академии наук. Теория и системы управления. 2015. № 4. С. 111.
6. Корсун О. Н., Михайлов Е. И. Методы анализа электроэнцефалограмм в целях оценки состояния человека-оператора в процессе пилотирования // Cloud of Science. 2018. Т. 5. № 4. С. 649–663.