

УДК[658.336:629.735.072.8]:519.87

EDN [PRNBUK](#)



Энтропийная модель мониторинга распределения и переключения зрительного внимания пилота при первоначальной лётной подготовке

Л.И. Фролова^{1*}, А.К. Волков¹, С.Г. Косачевский¹, З.Р. Заббаров²

¹Ульяновский институт гражданской авиации имени Главного маршала авиации Б.П. Бугаева, ул. Можайского, 8/8, Ульяновск, 432071, Россия

²ПАО «Аэрофлот», ул. Арбат, 1, Москва, 119019, Россия

*E-mail: frolova.i.lidiya@gmail.com

Аннотация. Представлено применение энтропийной модели для мониторинга распределения и переключения зрительного внимания пилота при первоначальной лётной подготовке (РПЗВ). РПЗВ описывается с помощью многомерной случайной величины, отдельные параметры которой являются одномерными случайными величинами, представляющими собой комплексные показатели глазодвигательной деятельности (ГДД) пилота, полученные с применением технологии айтрекинга. Энтропийная модель мониторинга РПЗВ отражает динамику изменений РПЗВ за анализируемый период. Представлена апробация предложенного подхода на основе данных проведенного экспериментального исследования на базе тренажерного центра ФГБОУ ВО УИ ГА. Применение энтропийной модели мониторинга РПЗВ позволяет выявить причины нестабильности РПЗВ и предложить рекомендации для его корректировки в будущем.

Ключевые слова: пилот, первоначальная лётная подготовка, распределение и переключение зрительного внимания, мониторинг, энтропия

Entropy-based model for monitoring pilot's visual attention distribution during initial flight training

L.I. Frolova^{1*}, A.K. Volkov¹, S.G. Kosachevsky¹, Z.R. Zabbarov²

¹Ulyanovsk Civil Aviation Institute, 8/8 Mozhaisky st., Ulyanovsk, 432071, Russia

²Public Joint Stock Company «Aeroflot - Russian Airlines», 1 Arbat st., Moscow, 119019, Russia

*E-mail: frolova.i.lidiya@gmail.com

Abstract. The article presents entropy-based model for monitoring pilot's visual attention distribution during initial flight training (PVAD). PVAD is described using a multidimensional random variable, the individual parameters of which are one-dimensional random variables, which are complex indicators of pilot's eye-tracking activity. The entropy-based model for monitoring PVAD reflects changes of PVAD over the analyzed period. An approbation of the proposed approach is presented based on experimental study conducted in UIGA. The use of the proposed approach will make it possible to identify instability of RPBR and offer recommendations for future adjustments.

Keywords: pilot, initial flight training, pilot's visual attention distribution, monitoring, entropy

1. Введение

Необходимость повышения качества подготовки лётных кадров требует совершенствования программ профессиональной подготовки лётного состава гражданской авиации. Об этом свидетельствуют проводимые научно-исследовательские работы, среди которых особое внимание уделяется методике лётного обучения, в полной мере учитывающей особенности и возможности нового поколения учебных воздушных судов, оснащённых электронными системами отображения информации (Electronic Flight Instrument Systems - EFIS) [1].

Взаимодействие с EFIS имеет в своей основе визуальную информацию. В связи с этим, использование данных ГДД, полученных с помощью айтрекера, является одним из наиболее перспективных подходов к решению задач в области мониторинга РПЗВ [2, 3].

Очевидно, что прямое наблюдение за визуальным поведением пилота и параметрами его ГДД не позволяют объективно осуществлять мониторинг РПЗВ. В рамках настоящего исследования предлагается подход к мониторингу РПЗВ, основанный на использовании объективных данных ГДД и дифференциальной энтропии.

2. Описание метода исследования и постановка задачи

Для моделирования РПЗВ предлагается подход, основанный на дифференциальной энтропии случайного вектора. Данный вектор описывается в виде многомерной случайной величины $Y = (Y_1, Y_2, \dots, Y_m)^T$. Отдельные компоненты вектора $Y_i, (i=1, 2, \dots, m)$ в свою очередь представляются одномерными случайными величинами, представляющими собой комплексные показатели ГДД, характеризующие РПЗВ пилота через общее количество фиксаций, общую длительность фиксаций и количество возвращений к определенной области интереса [4]. Способы вычисления комплексных показателей ГДД были рассмотрены авторами в предыдущих работах.

Пусть случайные векторы $Y_1^{(1)} = (Y_1^{(1)}, Y_2^{(1)}, Y_3^{(1)})$ и $Y_1^{(2)} = (Y_1^{(2)}, Y_2^{(2)}, Y_3^{(2)})$ характеризуют РПЗВ на данном и предыдущем этапе контроля и их компоненты имеют нормальное распределение. Тогда формула мониторинга РПЗВ будет представлена в следующем виде [5]:

$$H(Y) = \sum_{i=1}^3 \ln \frac{\sigma_{Y_k^{(2)}}}{\sigma_{Y_k^{(1)}}} + 0,5 \ln \frac{|R_{Y^{(2)}}|}{|R_{Y^{(1)}}|}. \quad (1)$$

где $|R_{Y^{(u)}}|$ – определитель корреляционной матрицы $R_{Y^{(u)}}$ случайного вектора $Y^{(u)}$,
 $u=1,2, i=1 \dots 3$;

Представив:

$$\Delta H(Y)_{\Sigma} = \sum_{i=1}^3 \ln \frac{\sigma_{Y_k^{(2)}}}{\sigma_{Y_k^{(1)}}},$$
$$\Delta H(Y)_R = 0,5 \ln \frac{|R_{Y^{(2)}}|}{|R_{Y^{(1)}}|}.$$

выражение (1) примет следующий вид:

$$\Delta H(Y) = \Delta H(Y)_{\Sigma} + \Delta H(Y)_R \quad (2)$$

где $\Delta H(Y)_{\Sigma}$ и $\Delta H(Y)_R$ – изменение энтропии вследствие изменения дисперсий и определителей корреляционных матриц соответственно.

Модель мониторинга (1) справедлива в случае, если изменения в системе, происходящие на этапе мониторинга, не влекут изменения закона распределения случайных величин. В противном случае вид формулы поменяется.

Таким образом, алгоритм мониторинга РПЗВ состоит из следующих этапов:

1. Оценка изменений общей энтропии за анализируемый период.
2. Выявление периодов, в которых наблюдалось максимальное изменение общей энтропии.
3. Анализ энтропий хаотичности и самоорганизации в периодах максимальных изменений общей энтропии, на предмет того, какая из них в наибольшей степени повлияла на изменение общей энтропии.
4. Анализ составляющих энтропий хаотичности и самоорганизации (комплексных показателей ГДД), за счет которых произошло изменение энтропии.
5. Определение рекомендаций для корректировки РПЗВ.

3. Методика исследования

Рассмотрим практическое применение предложенной модели для анализа тренажёрного полёта в рамках экспериментального исследования на базе тренажёрного центра ФГБОУ ВО УИГА. В проведении эксперимента приняли участие 30 испытуемых,

которые были разделены на 2 группы: группа 1 – курсанты, не приступившие к лётной практике, группа 2 – курсанты, приступившие к лётной практике.

Схема эксперимента состояла в следующем. Каждый испытуемый выполнял полёт в соответствии с заданным сценарием (рисунок 1):

1. Первый участок – горизонтальный полёт в течение 3 минут, при котором нужно было выдерживать приборную скорость 105 узлов, высоту 1000 футов.
2. Второй участок – восходящая спираль, при которой нужно было выдерживать приборную скорость 92 узла, крен 30 градусов, вертикальную скорость +600 футов/мин до высоты 3000 футов.
3. Третий участок – горизонтальный полёт в течение 3 минут, при котором нужно было выдерживать приборную скорость 105 узлов, высоту 3000 футов.
4. Четвёртый участок – нисходящая спираль, при которой нужно было выдерживать скорость 92 узла, крен 45 градусов и вертикальную скорость -500 футов/мин до высоты 1000 футов.
5. Пятый участок – горизонтальный полёт в течение 3 минут, при котором нужно было выдерживать приборную скорость 105 узлов, высоту 1000 футов.

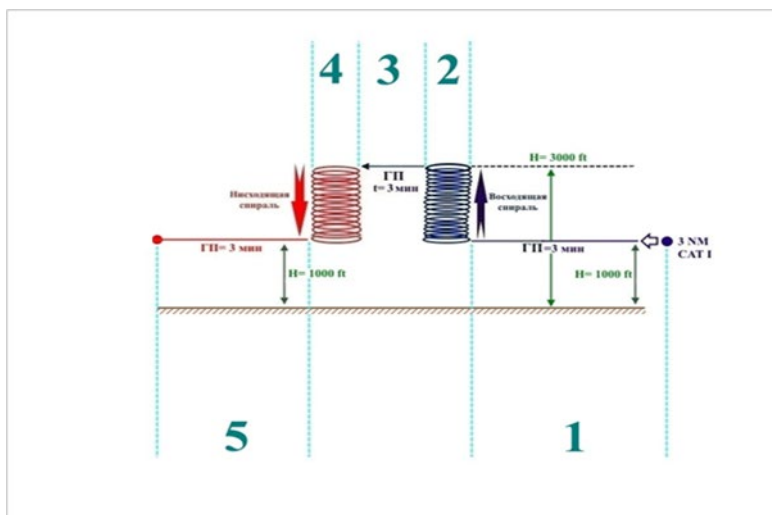


Рисунок 1. Схема экспериментального полёта.

Результаты тестирования случайного вектора $Y_1^{(1)} = (Y_1^{(1)}, Y_2^{(1)}, Y_3^{(1)})$ на соответствие нормальному закону распределения с использованием критерия Шапиро-Уилка позволяют сделать вывод о том, что распределение переменной статистически значимо не отличается от нормального распределения ($p > 0,05$). Это позволяет использовать предложенную формулу (1).

4. Описание результатов

В результате применения модели (1) и предложенного алгоритма мониторинга РПЗВ, описанного выше, были получены следующие результаты.

1. Рассмотрим динамику общей энтропии системы РПЗВ в течение 5 этапов полета в виде графика (рисунок 2).

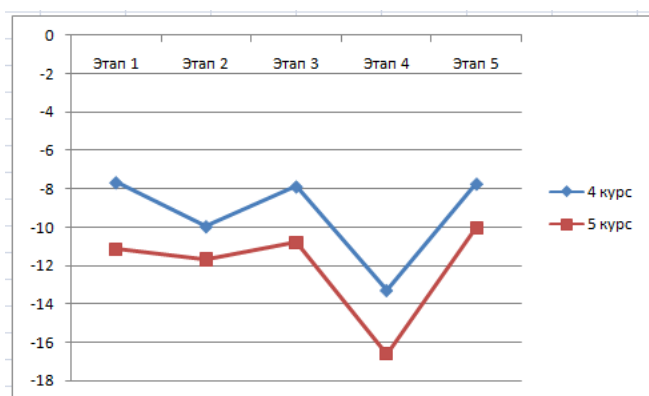


Рисунок 2. Динамика общей энтропии РПЗВ пилота.

2. По рисунку 2 можно сделать вывод о том, что максимальное изменение общей энтропии наблюдалось на этапах 3 и 5.

3. Вычислим изменение энтропий хаотичности и самоорганизации на этапах 3 и 5 с целью определения характера изменения общей энтропии.

$$\text{Группа 1: } \Delta H(Y)_V^3 = 5,4, \Delta H(Y)_V^5 = 10,94, \Delta H(Y)_R^3 = -0,62; \Delta H(Y)_R^5 = 1,61,$$

$$\text{Группа 2: } \Delta H(Y)_V^3 = 4,79, \Delta H(Y)_V^5 = 6,71, \Delta H(Y)_R^3 = -1,44, \Delta H(Y)_R^5 = 2,79.$$

Следовательно, на увеличение нестабильности РПЗВ в группах 1 и 2 в большей степени повлияло увеличение энтропии хаотичности.

4. Для того чтобы определить какая составляющая энтропии хаотичности повлияла в большей степени, вычислим максимальное значение энтропии хаотичности каждого комплексного показателя ГДД для групп 1 и 2.

$$\text{Группа 1: Этап 3: } \Delta H(Y_1)_V = 0,83, \Delta H(Y_2)_V = 2,15, \Delta H(Y_3)_V = 1,71;$$

$$\text{Этап 5: } \Delta H(Y_1)_V = 1,06, \Delta H(Y_2)_V = 1,89, \Delta H(Y_3)_V = 1;$$

$$\text{Группа 2: Этап 3: } \Delta H(Y_1)_V = 0,79, \Delta H(Y_2)_V = 0,79, \Delta H(Y_3)_V = 0,76;$$

$$\text{Этап 5: } \Delta H(Y_1)_V = 1,31, \Delta H(Y_2)_V = 1,53, \Delta H(Y_3)_V = 0,95;$$

Видим, что в группах 1 и 2 на снижение стабильности РПЗВ оказал наибольшее влияние параметр Y_2 , соответствующая комплексному показателю ГДД «Длительность фиксаций».

5. Следовательно, на этапах 3 и 5 необходимо проанализировать РПЗВ пилота, так как именно в эти периоды наблюдалось увеличение энтропии хаотичности по комплексному показателю ГДД «Длительность фиксации». Уменьшение общей энтропии и увеличение стабильности РПЗВ может быть достигнуто за счет более равномерного распределения комплексного показателя ГДД «Длительность фиксации».

5. Выводы

Таким образом, использование энтропийной модели мониторинга РПЗВ пилота позволяет:

- Определить наиболее критическое изменение РПЗВ пилота.
- Выяснить, какой комплексный показатель ГДД повлиял на это изменение.
- Предложить рекомендации для корректировки РПЗВ пилота.

Список литературы

1. Исследование и разработка методов профессиональной подготовки пилотов на основе оптимизации распределения внимания при эксплуатации самолетов с электронной системой отображения информации: отчет о НИР (заключ.) / Ульяновский институт гражданской авиации имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева (УИ ГА); руководитель С. Г. Косачевский ; исполнитель Д. В. Айдаркин. – Ульяновск, 2017.
2. Кузнецов, И.Б. Методология распределения внимания пилота: учебное пособие / И.Б. Кузнецов. – Санкт-Петербург: Политехника, 2012. – 167 с.
3. Барабанщиков, В.А. Регистрация и анализ направленности взора человека / В.А. Барабанщиков, А.В. Жегалло. – Москва: Институт психологии Российской академии наук, 2013. – 316 с.
4. Волков, А.К. Оценка компетентности курсанта в процессе первоначальной летной подготовки на основе нечеткого моделирования / А.К. Волков, Л.И. Фролова, С.Г. Косачевский, З.Р. Заббаров // Научный вестник ГосНИИ ГА. - № 38. – Москва: ФГУП Государственный НИИ гражданской авиации, 2022. – С. 105-115.
5. Тырсин, А.Н. Энтропийное моделирование многомерных стохастических систем: Монография. / А.Н. Тырсин. – Воронеж: Издательство «Научная книга», 2016. – 156 с.