

9. Directive 2014/34/EU (ATEX) [Electronic resource] / European Commission. – Available at: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/atex/index_en.htm (15.12.2014)
10. Directive 94/9/EU (ATEX) [Electronic resource] / European Commission. – Available at: http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/mechanical/documents/guidance/atex/index_en.htm (15.12.2014)
11. Kennzeichnung nach Richtlinie 94/9/EG [Electronic resource] / Grundlagen des Explosionsschutzes. – Available at: http://www.coopercrouse-hinds.eu/download/1/Grundlagen_Explosionsschutz_2012.pdf (12.15.2015)

Розглянуто роль людини у забезпеченні безпеки польотів в системі «льотний екіпаж – повітряне судно – середа – орган обслуговування повітряного руху». Показана можливість моделювання процесу підготовки із використанням стохастичних моделей. Визначені складові стаціонарної стохастичної моделі процесу професійної підготовки авіаційного оператора. Розглянуті міри центральних тенденцій та функції агрегації, як потенційні показники постійних особистісних властивостей авіаційного оператора

Ключові слова: безпека польотів, авіаційні оператори, моделі підготовки, постійні особистісні властивості оператора

Рассматривается роль человека в обеспечении безопасности полёта в системе «лётный экипаж – воздушное судно – среда – орган обслуживания воздушного движения». Показана возможность моделирования процесса подготовки с использованием стохастических моделей. Определены составляющие стационарной стохастической модели процесса профессиональной подготовки авиационного оператора. Рассмотрены меры центральной тенденции и функции агрегации как потенциальные показатели постоянных личностных свойств авиационного оператора

Ключевые слова: безопасность полетов, авиационные операторы, модели подготовки, постоянные личностные свойства оператора

УДК 656.7.052:519.876.2(045)
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.37795

АНАЛІЗ ПРИЙНЯТНОСТІ МІР ЦЕНТРАЛЬНОЇ ТЕНДЕНЦІЇ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ УСПІШНОСТІ АВІАЦІЙНОГО ОПЕРАТОРА

С. П. Борсук
Кандидат технічних наук, доцент
Інститут заочного та
дистанційного навчання
Національний авіаційний університет
пр. Космонавта Комарова,
1, м. Київ, Україна, 03058
E-mail: grey1s@yandex.ru

1. Вступ

Вплив на безпеку польотів (БП) чисельних факторів загроз визнається всіма учасниками процесу організації, забезпечення та безпосереднього виконання польотів. При цьому «традиційно» вважається принципово неможливим досягти абсолютно безпомилкових дій авіаційних операторів (АО) переднього краю (пілотів, диспетчерів), оскільки «людині властиво помилятися» [1]. Це призводить до постійної необхідності у виключенні або максимально можливому зниженні кількості небажаних авіаційних пригод (АП) будь-якого рівня загрози. Саме цьому в рекомендаціях ІКАО безпека здебільшого розглядається, як результат керування деякими організаційними процесами, які призвані тримати під контролем фактори ризику для безпеки польотів, які виникають, як наслідки факторів загрози в експлуатаційному контексті [2].

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

На ефективне подолання наслідків відмов технічної частини складної цілеспрямованої полі-ергати-

ної активної та гуманістичної (згідно робіт Л. Заде [3]) системи керування «льотний екіпаж – повітряне судно (ПС) – середа – орган обслуговування повітряного руху (ОПР)» здатні тільки висококваліфіковані АО [4], тому процес їх професійної підготовки (ПП) вимагає постійної уваги та вдосконалення, особливо шляхом моделювання [5]. Причому очевидно, що процес ПП залежить від відповідних технологій, а також особистісних властивостей АО, виявлення та аналіз яких є актуальною задачею підвищення ефективності їх підготовки.

Процес опанування знаннями, уміннями та навичками (ЗУН) АО найкраще представляється, як стохастичний нестаціонарний [6]. Нестационарні процеси можуть частково бути апроксимовані стаціонарними [7], що дозволяє проводити статистичну обробку даних, спираючись на відповідні їх показники. Загально прийнято, що в ідеальному випадку модель ПП описується експонентою, внаслідок чого відкривається можливість переходу до стаціонарної моделі шляхом декомпозиції цільної кривої та дослідження відповідних ділянок окремо [8, 9].

Показник стаціонарного стохастичного процесу ПП можна представити у вигляді [10, 11]:

$$z_t = \mu + \Delta_t, \tag{1}$$

де z_t – показник ефективності процесу ПП АО;

μ – середній рівень (математичне очікування не-стаціонарного випадкового процесу z_t), який демонструє основну тенденцію-тренд формування ЗУН у АО. Оскільки μ обмежено змінюється у часі, та ці зміни стають все меншими, назвемо його показником постійних особистісних властивостей (ППОВ) АО;

Δ_t – випадкове відхилення процесу в момент часу t , нормально розподілене відносно μ .

Таким чином стає можливим виділити з ряду отриманих АО оцінок дві складові: тренд та випадковий доданок, який відрізняється під час кожного проходження контролю знань. Виділення цих складових у свою чергу дозволяє працювати із ними використовуючи відповідний математичний апарат.

Із урахуванням впливу людського фактору (ЛФ) на БП [4] надзвичайно актуальним є питання знаходження значень ППОВ, оскільки саме цей показник відрізняє АО від інших, а також визначає постійне відхилення рівня його особистих, індивідуальних здібностей від середнього. При наявності ряду показників успішності АО, оцінених, скажімо, в деякій бальній абсолютній шкалі, знаходження постійної частини відхилення може проводитися з допомогою відомих статистичних методів. І, звичайно ж, при цьому треба намагатися отримати оцінку ППОВ у вигляді єдиного агрегованого показника, який і тільки який буде мати системну властивість емерджентності [12, 13]. Розглянемо можливість застосування для цих цілей найбільш розповсюджених мір центральної тенденції.

3. Ціль та задачі дослідження

Метою досліджень є аналіз існуючих мір центральної тенденції відносно їх використання у якості показника постійних особистісних властивостей АО.

Для досягнення мети поставлено та вирішено наступні задачі:

1. Обрати основні міри центральної тенденції.
2. Проаналізувати їх математичний зміст.
3. Визначено недоліки основних мір центральної тенденції відповідно до предметної області.

4. Засоби пошуку показника постійних особистісних властивостей

Визначимо умови, в яких здійснюється пошук ППОВ. Для цього розглянемо гіпотетичну ситуацію виконання АО контрольних вправ, результати яких оцінюватимуться по 100-бальній шкалі. Типи і кількості контрольних вправ будемо вважати тотожними у кожному випадку, що дозволить порівнювати результати без додаткового опрацювання.

Перший простіший спосіб знаходження ППОВ АО – це тривіальний пошук середнього арифметичного значення [7, 11]:

$$\mu_{av} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N m_i, \tag{2}$$

де N – кількість отриманих оцінок (m_1, m_2, \dots, m_N) .

Другим способом є застосування мультиплікативного підходу, який припускає вже відносну компенсацію, тобто сумарний рівень відносного зниження одних показників еквівалентний сумарному рівню відносного збільшення інших [12]. Реалізація такого підходу здійснюється з урахуванням функції бажаності Харрінгтона, що зводиться до обчислення середнього геометричного результатів ПП [14]:

$$g_{av} = \sqrt[N]{\prod_{i=1}^N m_i}. \tag{3}$$

Третім способом знаходження ППВС оператора є обрахування середнього гармонічного:

$$h_{av} = N \sum_{i=1}^N \frac{1}{m_i}. \tag{4}$$

Кожен з трьох розглянутих засобів можна покращити шляхом додавання вагових коефіцієнтів w_i . Тоді формули (1)–(4) набувають наступного вигляду:

$$\bar{\mu}_{av} = \frac{\sum_{i=1}^N m_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^N w_i}, \tag{5}$$

$$\bar{g}_{av} = \left(\prod_{i=1}^N m_i^{w_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^N w_i}}, \tag{6}$$

$$\bar{h}_{av} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i}{\sum_{i=1}^N \frac{w_i}{m_i}}. \tag{7}$$

Сьомим способом знаходження ППОА є орієнтація на реалізацію так званого «планування по вузькому місцю», що є одним із одно-крокових методів вирішення задач з векторними показниками ефективності [12]. Якщо усі вправи матимуть однакову «ціну» (складність), то відповідний показник буде мати вигляд:

$$g_{av} = \min_i (m_1, m_2, \dots, m_N). \tag{8}$$

Восьмим способом знаходження ППОВ АО є знаходження медіани. Медіана med , як показник ППОВ, визначає той результат, який ділить навпіл розмах множини значень даних ПП. При цьому, якщо звернутися до теорії ймовірності, то мова йде про ймовірність отримання результату меншого за медіану, яка дорівнює ймовірності отримання результату більшого за медіану $p(x < med) = p(x > med) = 0.5$. Медіана є процентілем рівня 0.5, тобто значенням, яке буде менше за 50 % інших отриманих значень [7; 11; 16–18].

Дев'ятим способом знаходження ППОВ АО є знаходження моди. Мода це таке значення у виборці, яке має найбільшу ймовірність (частоту) появи $\forall i: p(\text{mod}) > p(x_i)$.

Десятий спосіб знаходження ППОВ АО орієнтується на середнє Тьюкі [19] та реалізується присвоєнням кожному можливому результату зваженого коефіцієнта, пропорційно різності між значеннями та медіаною вибірки $w_i = f(\text{med} - x_i)$.

Ще два способи аналізу ППОВ оператора складаються з використання середнього усіченого й Вінсоризованого середнього та потребують виключення частки результатів, що обов'язково впливає на результати аналізу.

5. Аналіз потенційних показників постійних особистісних властивостей ППОВ

Перевагою першого статистичного показника є простота використання й тлумачення результатів. Дійсно, пошук суми усіх можливих відхилень та її ділення на кількість відхилень дає розуміння середнього відхилення. Визначення цього середнього μ_{av}^1 , як математичного очікування $M[\cdot]$ для наступного контрольного завдання та нового середнього μ_{av}^2 дає можливість прослідкувати за коливаннями середнього значення оператора та порівняти його кінцевий результат із $M[\cdot]$.

Оскільки АО, як правило, виконує не одне контрольне завдання, зміна $M[\cdot]$ під час повного курсу ПП дозволяє оцінити показники його успішності у динаміці. При цьому, побудував відповідну гістограму та порівнюючи її ліву половину із правою, нескладно отримати обґрунтування для висновку о схильності АО до помилок, виражену в певній кількості балів, на яку сума оцінок с однієї сторони перевищує суму з іншої сторони. Тому слід орієнтуватися на середнє абсолютне відхилення, отримавши величину, яку часто використовують для оцінки прогностичних функцій. Однак, розглянуте середнє є ризикованим показником ППОВ, оскільки адитивний підхід припускає, за визначенням, можливість абсолютної компенсації як завгодно малих значень одних показників ПП АО як завгодно великими значеннями інших показників.

Другий підхід є надзвичайно цікавим та в цілому відповідає реальній практиці ПП АО. Дійсно, скажімо, під час так званих «вивізних польотів» курсантів пілот-інструктор «м'яко тримає кермо» і завжди готовий втрутитися в процес керування ПС, щоб не допустити його вихід за межі льотних обмежень. Однак, на сьогоднішній день можливість застосування мультиплікативного підходу в авіації згадується в обмеженій кількості досліджень [15].

Середнє гармонічне як правило використовують при обробці даних, заданих зворотними значеннями. Розглядаючи послідовність отриманих АО оцінок можливість застосування середнього гармонічного викликає сумнів.

Вагові коефіцієнти призначені для визначення ступеня важливості результату в залежності від його місця у виборці, що може визначатися, наприклад, складністю відмови технічної частини досліджуваної ергатичної системи, що відпрацьовується під час ПП. Ця залежність може спиратися на багато факторів, але в нашому дослідженні слід спеціально згадати наступні два. Перший фактор – це БП, для забезпечення якої проводиться дослідження. Підвищення

БП забезпечується присвяченням більшої ваги до засвоєння АО тих професійних освітніх елементів, для яких він показав найгірші результати. Таким чином, вагові коефіцієнти будуть підкреслювати найбільш небезпечні невдачі АО за час ПП та будуть мотивувати на їх усунення. Другий фактор – це частота отриманих результатів. Виходячи з нього, можна змінювати індивідуальний графік ПП АО таким чином, щоб він міг відпрацьовувати постійні помилки для їх подальшого усунення. Так, можна присвоїти підвищені коефіцієнти значенням, які знаходяться ближче до середнього, а вже після цього обчислювати зважене середнє вже з урахуванням коефіцієнтів. Або можна присвоїти зважені коефіцієнти пропорційно кількості отриманих балів, відстані до середнього чи навіть порядкового номера відповіді. В будь-якому випадку коефіцієнти вимагають додаткового аналізу отриманих даних ПП та обов'язково впливатимуть на подальшу обробку результатів, а отже їх необхідно використовувати із обережністю.

Слід зазначити, що в деяких випадках можуть існувати декілька мод. Окрім того, в залежності від обробки отриманих послідовностей, моди можуть з'являтися й зникати. Зміна кількості мод залежить від способу представлення отриманої послідовності оцінок рівнів ПП. Отже, якщо знайти μ_{av} для послідовностей оцінок результатів ПП й обрахувати $d_i = \mu_{av} - m_i$, отримаємо послідовність, що описує відносні відстані від μ_{av} до кожного значення. Взявши модуль від $\forall d_i$ та просумував отримані пари значень для кожної відстані, отримуємо суми значень для відстаней незалежно від того, з якої сторони від μ_{av} знаходяться ці кількості. Нескладно уявити собі послідовність, яка на перший погляд має одну моду, але при обробці даних, отримані суми стануть модами нової послідовності. Наприклад, якщо в початковій послідовності модою є відсутність відхилень, то сума відхилень на 1 бал в будь-яку сторону може перевищувати значення початкової моди.

Середнє Тьюкі знаходиться у два кроки. На першому кроці обчислюється медіана, на другому – обчислюються відстані та присвоюються ваги. Таким чином, граничні значення, отримані з невеликою частотою менш впливають на результати подальшого аналізу.

Аналізом маргінальних результатів в процесі ПП АО, с одного боку можна знехтувати, оскільки ці результати становлять критичні помилки або є результатом унікального особистого досвіду, а тому мають невелику статистику, що не дозволяє виявити закономірності. С іншого боку, зміна результатів може змінити загальну статистичну картину, особливо, якщо мова йде про їх виключення. Оскільки робота з отриманими даними впливає на ПП АО, а в перспективі і на БП, останні два з розглянутих статистичних показників не підходять для використання в контексті наших досліджень.

6. Обговорення застосування мір центральної тенденції у якості показника постійних особистісних властивостей

Нажаль, жодна з розглянутих мір центральної тенденції не може бути використана у якості ППОВ сама по собі. Основною причиною для цього є дуже

великі вимоги до такого показника, який би достовірно та адекватно дозволяв оцінювати середній рівень одного оператора простим та повноцінним шляхами одночасно. Тим способам, які є простими не вистачає точності або навіть відповідності завданню. Складні способи так само виключають певну частину результатів, або не відповідають вимогам предметної області.

7. Висновки

Виходячи з отриманих та наведених у даній статті аналітичних наукових результатів витікає можливість застосування для оцінки ППОВ АО ряду статистичних показників.

Для вирішення поставлених задач було розглянуто дванадцять способів пошуку агрегованого значення ППОВ. Із них тільки сім можна визнати допустимими для умов дослідження. По цих семи показниках можна стверджувати наступне:

– використання середнього арифметичного є найбільш тривіальним підходом, до якого можна вдатися при умові поточного періодичного контролю ЗУН;

– середнє геометричне, як більш складне та ситуативне, може бути використане у випадках, коли кожна наступна оцінка певним чином залежить від попередньої;

– міри із ваговими коефіцієнтами дозволяють призначити важливість результатів у випадку їх розрізнення;

– медіана корисна у випадках, де важливо розділяти результати навпіл, а мода корисна у випадках необхідності обліку найбільш статистично ймовірного результату;

– жодна з проаналізованих мір центральної тенденції не може бути повноцінно використана у будь-якому випадку для процесу ПП.

У подальшому було б доцільно синтезувати нові міри центральної тенденції на базі існуючих, приймаючи до уваги методичні та дидактичні вимоги до визначення ППОВ АО.

Література

1. Стрелков, Ю. К. Инженерная и профессиональная психология [Текст]: уч. пос. / Ю. К. Стрелков. – М.: Издательский центр «Академия»; Высшая школа, 2001. – 360 с.
2. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП): Док. ICAO 9859 – AN / 474 [Текст] / Монреаль, Канада, 2009.
3. Заде, Л. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений [Текст] / Л. Заде; под ред. Н. Н. Моисеева, С. А. Орловского; пер. с англ. Н. И. Ринго. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
4. Рева, А. Н. Человеческий фактор и безопасность полетов: (Проактивное исследование влияния): монография [Текст] / А. Н. Рева, К. М. Тумышев, А. А. Бекмухамбетов; науч. ред. А. Н. Рева, К. М. Тумышев. – Алматы, 2007. – 242 с.
5. Рева, А. Н. Сплайн-модель формирования профессиональных навыков у авиационных операторов [Текст] / А. Н. Рева, С. П. Борсук, Б. М. Мирзоев, В. В. Камышин // *Elmi məsələlər: Jurnal Milli Aviasiya Akademiyasının*. – 2013. – Cild 15, № 1. – С. 89–97.
6. Рева, О. М. Мікропідхід в моделі професійної підготовки та прогнозування техніки пілотування [Текст] / О. М. Рева // *Наукові праці академії*. – 2000. – Вип. V, Ч. I. – С. 170–188.
7. Вентцель, Е. С. Теория вероятностей [Текст] / Е. С. Вентцель. – М.: Наука, 1969. – 576 с.
8. Борсук, С. П. Стохастична модель виявлення моменту припинення тренувань авіаційних операторів [Текст] / С. П. Борсук // *Науковий вісник Херсонської державної морської академії: наук. ж.* – 2013. – № 1(8). – С. 208–215.
9. Борсук, С. П. Складові стохастичних показників навченості для чотирьох режимів роботи авіаційного оператора [Текст] / С. П. Борсук // *Искусственный интеллект: наук. ж.* – 2013. – № 2 (60). – С. 100–108.
10. Шеффе, Г. Дисперсионный анализ [Текст] / Г. Шеффе; пер. с англ. – М.: Наука, 1980. – 512 с.
11. Прохоров, С. А. Структурно-спектральный анализ случайных процессов [Текст] / С. А. Прохоров, В. В. Графкин. – Самара: СНЦ РАН, 2010. – 128 с.
12. Сизова, Т. М. Статистика [Текст]: уч. пос. / Т. М. Сизова. – СПб.: СПб ГУИТМО, 2005. – 80 с.
13. Надежность и эффективность в технике: справочник в 10 т. - Т. 3: Эффективность технических систем [Текст] / под общ. ред. В. Ф. Уткина, Ю. В. Крючкова. – М.: Машиностроение, 1988. – 328 с.
14. Перегудов, Ф. И. Введение в системный анализ [Текст]: уч. пос. / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – М.: Высшая школа, 1989. – 367 с.
15. Адлер, Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий [Текст] / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова, Ю. В. Грановский. – М.: Наука, 1976. – 277 с.
16. Рева, А. Н. Актуальные направления разработки проактивных моделей решения «треугольника рисков» ИКАО [Текст]: 4-та Всеукраїнська наук.-практ. конф. / А. Н. Рева, В. І. Вдовиченко, С. П. Борсук і др. // *Сучасні енергетичні установки на транспорті, технології та обладнання для їх обслуговування*. – Херсон: Вид-во ХДМА, 2013. – С. 334–338.
17. Афифи, А. Статистический анализ: Подход с использованием ЭВМ [Текст] / А. Афифи, С. Эйзен; пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – 488 с.
18. Айвазян, С. А. Прикладная статистика. Основы эконометрики: учеб. для вузов. В 2 т. 2-е изд., испр. Т. 1 [Текст] / С. А. Айвазян, В. С. Мхитарян // *Теория вероятностей и прикладная статистика*. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001. – 656 с.
19. Hoaglin, D. C. Understanding Robust and Exploratory Data Analysis [Text] / D. C. Hoaglin, F. Mosteller, J. W. Tukey. – John Wiley & Sons, New York, 2000. – 448 p.