

УДК 656.7.071.13:656.7.052:519.876.2(045)

Борсук С.П., к.т.н., доц.

НЕЧІТКА ЕНТРОПІЯ РОЗРІЗНЕННЯ СТУДЕНТАМИ АВІАЦІЙНИМИ ДИСПЕТЧЕРАМИ РІВНЯ РИЗИКУ ПІД ЧАС ПОРУШЕННЯ НОРМ ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ЕШЕЛОНУВАННЯ

Національний авіаційний університет

grey1s@yandex.ru

Враховуючи важливість професійної підготовки авіаційного диспетчера для безпеки польотів, постійно актуальним є питання ефективності професійної їх підготовки. Оцінка рівня підготовки авіаційного диспетчера визначається низкою контрольних заходів, серед яких присутні такі, що перевіряють дотримання ним норм льотного ешелонування у горизонтальній площині. Відношення диспетчера до цих норм здебільшого не перевіряється, що створює потенційно небезпечну точку біфуркації у разі виникнення непередбаченої ситуації під час польотів. Таке відношення визначається за допомогою нечітких моделей, представлених сімейством функцій належності відповідної лінгвістичної змінної із 7-миранговою розмірністю. Для оцінки адекватності використання такої шкали було використано нечітку ентропію. Встановлено, що найбільш помітними є найкраща і найгірша оцінка, що розглядається як мотивація на їх досягнення/запобігання.

Ключові слова: безпека польотів; людський чинник; професійна підготовка авіаційних диспетчерів; норми ешелонування; ефективність шкали оцінювання; нечітка ентропія

Вступ

На теперішній час загально визнаний не тільки негативний, але ж й позитивний вплив людського чинника (ЛЧ) на забезпечення безпеки польотів (БП) [1]. І головну роль в цьому виконують авіаційні оператори (АО) «переднього краю», зокрема льотний персонал і авіадиспетчери (А/Д). Тому зовсім не випадково ІКАО визнала, скажімо, що А/Д, як АО які виконують, у тому числі, специфічні проактивні функції контролю і долання чинників загрози, є «останньою лінією захисту в частині зведення до мінімуму впливу цих загроз на управління повітряним рухом і підтримки порогових рівнів безпеки польотів» [2].

Відомо, що ІКАО в рамках поточної парадигми БП [3] розглядає кожну АП, як випадок, який не просто має окрему причину для своєї реалізації, але як випадок, засади для якого могли накопичуватись дуже тривалий час і після накопичення «критичної маси» засад, незалежно від їх природи, система безпеки досягає точки біфуркації, що призводить до її руйнації та втрати здатності до ліквідації будь-якої загрози. У такій ситуації будь-яка дія, що

повинна була б паруватися системою безпеки, призводить до АП. Такий підхід також прослідковується у моделі Ризона [4-5]. І слід вказати, що така поведінка властива системам, які при переміщенні по фазовому простору мають одну або декілька точок біфуркації.

Аналіз досліджень і публікацій

У праці [6] наведено результати досліджень з побудови ФН ЛЗ «рівень небезпеки» при аргументі – відстані між повітряними судами (ПС), яка дорівнює 20 км. Ця відстань відповідає встановленим ІКАО нормам ешелонування для випадків, коли здійснюється управління повітряним рухом (УПР) ПС, що знаходяться на одному і тому ж крейсерському ешелоні (на одній і тій же лінії шляху, чи на лініях шляху, що перетинаються) при використанні *DME* та/або *GNSS*. При цьому ПС, що летить попереду, витримує дійсну повітряну швидкість, яка на 37 км/ч (20 узлів) або більш перевищує швидкість наступного за ним ПС [7]. Розмірність відповідної ТМ, враховуючи психофізіологічні можливості людини з запам'ятовування та розрізнення певної кількості досліджуваних об'єктів, дорівнює

так званому магічному числу Міллера [8-10] і складає величину 7.

Саме 7-мирангову розмірність було обрано для лінгвістичної змінної (ЛЗ) «рівень небезпеки», за допомогою якої було

$$T^M(\text{рівень небезпеки}) = \text{дуже великий} + \text{великий} + \text{вище за середній} + \\ + \text{середній (звичайний)} + \text{нижче за середній} + \text{низький} + \text{дуже низький}$$

Слід зазначити, що в праці [11], спираючись на основні положення теорії якості і теорії вимірювань, результати відповідних досліджень, а також рекомендації ІКАО, було доведено переваги шкали оцінювання ТП саме такої розмірності для оцінки рівня небезпеки. Обрані норми ешелонування наведено у таблиці 1.

Кожна запропонована шкала має бути перевіреною на адекватність предметній області та обраним методам роботи. Наразі існує велика кількість відповідних нечітких мір [7-12 та ін.]. У даній роботі була обрана нечітка ентропія, оскільки її вимірність для оцінки ефективності уперше була переконливо доведена у праці [13] хоча і для шкали відповідності тактико-технічних характеристик тренажера і літака початкового навчання.

Постановка завдання досліджень

Метою цієї статті є визначення нечіткої ентропії оцінок прийнятої шкали «рівень небезпеки» як міри їх розрізнення / нерозрізнення студентами спеціальності управління повітряного руху на основі аналізу отриманих ступенів належності термів ЛЗ «рівень небезпеки» до відповідних норм ешелонування повітряного простору.

Визначення нечіткої ентропії оцінок шкали «рівень небезпеки»

Відомо, що ентропія системи вимірює ступінь хаосу у системі щодо імовірності стану [12-14]. Розглянемо N станів E_1, E_2, \dots, E_N системи з якими зв'язані імовірності p_1, p_2, \dots, p_N . Тоді ентропія системи відповідно дорівнює:

проаналізовано відповідні нормативи для авіадиспетчерів та побудовано сімейство функцій належності (ФН) нечітких моделей ТП.

$$H(p_1, p_2, \dots, p_N) = - \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i;$$

Звідси можна вивести, що:

1) $H = 0$, тобто ентропія мінімальна, коли

$$\forall \begin{cases} p_r = 1 \\ r \in \{1, 2, \dots, N\}: p_i = 0; \\ i \neq r \end{cases}$$

2) $H = 1$, тобто ентропія максимальна, коли

$$p_1 = p_2 = \dots = p_N = \frac{1}{N};$$

Якщо ми скористаємося формулою

$$H(p_1, p_2, \dots, p_N) = - \frac{1}{\ln N} \sum_{i=1}^N p_i \ln p_i;$$

то зміни ентропії відбуватимуться в нормованому інтервалі $[0, 1]$, тобто:

$$H_{min} = 0; H_{max} = 1.$$

Спираючись на [12], ці поняття можуть бути застосовані для оцінки нечіткості деякої підмножини наступним чином. Нехай $m_{\bar{R}_j}(x_i)$ – значення ФН j -тої оцінки ЛЗ «РЗ» (1), що отримане для i -го інтервалу, N_j – кількість значень ФН j -тої оцінки ЛЗ «РЗ», що були отримані в процесі досліджень. Маючи нечітку підмножину, введемо наступний показник, спираючись на значення ФН:

$$a_{\bar{R}_j}(x_i) = m_{\bar{R}_j}(x_i) / \sum_{i=1}^{N_j} m_{\bar{R}_j}(x_i).$$

Тоді загальну формулу, яка дозволяє обчислити ентропію по нечіткості розрізнення кожної оцінки ТП, можна подати у такому вигляді:

$$H(a_{\tilde{R}_j}(x_1), a_{\tilde{R}_j}(x_2), \dots, a_{\tilde{R}_j}(x_N)) = -\frac{1}{\ln N_j} \left(\sum_{i=1}^{N_j} a_{\tilde{R}_j}(x_i) \cdot \ln a_{\tilde{R}_j}(x_i) \right)$$

Таблиця 1. Обрані норми ешелонування повітряних суден в горизонтальній площині

№ з.п	Відстань між Повітряними суднами	Особливості диспетчерського району здійснення польотів та руху повітряних суден
1	2	3
1	S = 8 км	Сегмент заходу на посадку та на етапі зльоту (в межах диспетчерської зони (CTR (Control Zone, диспетчерська зона) на висотах польоту 1700 метрів та нижче)), коли здійснюється радіолокаційний контроль та на посадку заходить важке повітряне судно за важким повітряним судном.
2	S = 10 км	Відстань між ПС, що прямують одним маршрутом та на одному ешелоні в диспетчерському районі APP (Approach Control – диспетчерське обслуговування заходу на посадку (ЗП) ТМА (Terminal Control Area, – вузловий диспетчерський район) з використанням автоматизованої системи (АС) управління повітряним рухом (за виключенням сегментів заходу на посадку).
3		Повздовжній інтервал між повітряними суднами у сегментах заходу на посадку та на етапах зльоту середнього повітряного судна (М) за тяжким повітряним судном та легкого повітряного судна за середнім повітряним судном (в границях диспетчерської зони CTR на висотах польоту 1700 метрів та нижче).
4		Боковий інтервал між повітряними суднами у диспетчерських районах СТА (Control Area - диспетчерський район), ТМА при перетині ешелону на попутних треках і в момент перетину ешелону (без урахування повздовжнього інтервалу) за умов відсутності сходження треків.
5		Повздовжній інтервал між повітряними суднами у диспетчерських районах ТМА при перетині ешелону на попутних треках при використанні автоматизованих систем керування повітряним рухом, та в момент перетину ешелону за умов відсутності сходження треків.
6	S = 12 км	Сегмент заходу на посадку та на етапі зльоту (в межах диспетчерської зони CTR на висотах польоту 1700 метрів та нижче), коли здійснюється радіолокаційний контроль і на на посадку заходить легке повітряне судно за тяжким повітряним судном.
7	S = 20 км	Повздовжній інтервал, коли повітряні судна прямують одним маршрутом та на одному рівні (ешелоні), встановленому маршрутами управління повітряним рухом в диспетчерських районах ACC (Area Control Center – районний диспетчерський центр), APP ((Approach Control – диспетчерське обслуговування заходу на посадку).
8		Повздовжній інтервал в диспетчерських районах СТА (Control area) ТМА (Terminal control area, коли повітряні судна прямують на одному ешелоні на треках що перетинаються, незалежно від кута перетину треків.
9		Боковий інтервал в диспетчерських районах СТА, ТМА при перетині рівня зустрічних треків, в момент перетину рівня (без урахування повздовжнього інтервалу) при умові відсутності сходження треків.
10		Повздовжній інтервал в диспетчерських районах (СТА, ТМА) при перетині рівня (ешелону) на попутних треках в момент перетину рівня при умові відсутності сходження треків.
11	S = 30 км	Повздовжній інтервал в диспетчерських районах СТА, ТМА при перетині рівня зустрічних треків в момент перетину зайнятого рівня при умові відсутності сходження треків.

Скористаймося значеннями функцій належності лінгвістичної змінної «рівень небезпеки», отриманими в результаті опитування для проведення обчислень. Результати обчислення ентропії для усіх термів для норм ешелонування, наведено у таблицях 2-4.

Продивившись отримані значення можна побачити дві тенденції, які помітні в більшості норм ешелонування.

Перша тенденція – це перевищення рівня ентропії середніх термів у порівнянні із крайніми термами. Така тенденція наявна в усіх без виключення нормах ешелонування. Друга тенденція – це перевищення значень сьомого терму порівняно із першим термом (у пропорції 8 до 3). Це свідчить про прагнення мотивацію випробуваних на їх досягнення / запобігання.

Таблиця 2. Значення ентропії усіх термів норм ешелонування у 10 кілометрів

Ентропія	Норма 2	Норма 3	Норма 4	Норма 5
Терму 1	0,653027	0,671759	0,681774	0,677764
Терму 2	0,777477	0,810545	0,803336	0,807616
Терму 3	0,824456	0,873371	0,885424	0,804406
Терму 4	0,926855	0,933122	0,923375	0,838021
Терму 5	0,898771	0,913377	0,866044	0,898014
Терму 6	0,84792	0,795721	0,800823	0,899279
Терму 7	0,591836	0,550484	0,721008	0,655431

Таблиця 3. Значення ентропії усіх термів норм ешелонування у 20 кілометрів

Ентропія	Норма 7	Норма 8	Норма 9	Норма 10
Терму 1	0,724259	0,741671	0,730736	0,728815
Терму 2	0,87177	0,850969	0,851068	0,891059
Терму 3	0,901349	0,875022	0,871046	0,895666
Терму 4	0,917261	0,909809	0,920559	0,931878
Терму 5	0,884347	0,94215	0,947361	0,928168
Терму 6	0,885857	0,907285	0,855293	0,893021
Терму 7	0,699012	0,810891	0,659797	0,648105

Таблиця 4. Значення ентропії усіх термів норм ешелонування к 8, 12, 30 кілометрів

Ентропія	Норма 1	Норма 6	Норма 11
Терму 1	0,653088	0,689523	0,755846
Терму 2	0,808302	0,803956	0,893201
Терму 3	0,876317	0,866975	0,902832
Терму 4	0,967409	0,949228	0,919204
Терму 5	0,929371	0,982095	0,89578
Терму 6	0,755307	0,896899	0,91929
Терму 7	0,582	0,640169	0,806321

Висновки

Дивлячись на наукові результати, отримані у даній статті, найбільш суттєві положеннями вважаємо:

– враховуючи важливість проблеми виявлення ступеня розрізнення відповідних оцінок як професійними операторами керування повітряним рухом, так і студентами, що навчаються у відповідних вищих навчальних закладах, уперше в практиці УПР введена і обчислена нечітка ентропія як спеціальна міра такого розрізнення;

– встановлено, що найбільш помітними є найкраща і найгірша оцінка, що може розглядатися як мотивація на їх досягнення / запобігання. Наведений результат був отриманий для обмежених нормативів ешелонування, однак згідно плану досліджень декілька норм ешелонування не було проаналізовано (зокрема у дослідження не увійшла жодна норма вертикального ешелонування);

– встановлено, що здебільшого найгірша оцінка більш виражена за найкращу (у пропорції 8 до 3).

Подальші дослідження питання доцільно проводити у напрямку охоплення сегменту вертикальних норм ешелонування та перевірки різниці між згаданими 8-ма та 3-ма нормами ешелонування згідно їх ентропії.

Список літератури

1. Рева А.Н. Человеческий фактор и безопасность полетов: (Проактивное исследование влияния): монография / А.Н.Рева, К.М.Тумышев, А.А.Бекмухамбетов; науч. ред. А.Н.Рева, К.М.Тумышев. – Алматы, 2006. – 242 с.
2. ИКАО: Контроль факторов угрозы и ошибок (КУО) при управлении воздушным движением: Сиг. ICAO 314 – AN / 178. – Монреаль, Канада, 2008.
3. Руководство по управлению безопасностью полетов (РУБП): Doc. ICAO 9859 – AN / 474. – Монреаль, Канада, 2009.
4. Reason J. Human Error / J.Reason // Cambridge University Press. – Cambridge, 1990. – 41 p.

5. Reason J. Managing the Risks of Organizational Accidents / J.Reason; Ashgate Aldershot, 1998. – 266 p.

6. Рева О.М. Нечітка модель ставлення авіадиспетчера до ризику настання потенційно-конфліктної ситуації / О. М.Рева, С. П.Борсук // *Авіаційно-космічна техніка і технологія: наук.-техн. ж.* / Мін-во освіти і науки України, Національний аерокосмічний ун-т ім. М.Є.Жуковського «ХАІ». – Х., 2013. – № 10 (107). – С. 214-221.

7. Единые принципы моделирования риска столкновения в обоснование Руководства по методике планирования воздушного пространства для определения минимума эшелонирования: Сіг. ICAO 319 – AN / 181 (Doc. 9689). – Монреаль, Канада, 2009.

8. Козелецкий Ю. Психологическая теория решений: пер. с польск. Г.Е.Минца, В.Н.Поруса / Ю.Козелецкий; под ред. Б.В.Бирюкова. – М.: Прогресс, 1979. – 504 с.

9. Miller G. The magical number seven, plus or minus two: some limits on or capacity for processing information / G.Miller // *Psychological Review*, 1956. – N 63. – P. 81-97

10. Герасимов Б. М. Організаційна ергономіка: Методи та алгоритми досліджень і проектування: монографія / Б.М.Герасимов, В.В.Камишин. – К:

Інформаційні системи, 2009. – 212 с.

11. Рева О.М. Нечіткі моделі ергономічної кваліметрії точності пілотування : Монографія / О.М.Рева, В.В.Камишин, В.А.Шульгін, С.В.Недбай; за ред. О.М.Рєви. – Рівне: Овід, 2010. – 106 с.

12. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств: пер. с франц. В. Б. Кузьмина / А.Кофман ; под ред. С.И.Травкина. – М.: Радио и связь, 1982. – 432 с.

13. Нечеткие множества в задачах управления и искусственного интеллекта / А.Н.Аверкин, И.З.Батыршин, А.Ф.Блишун, В.Б.Силов, В.Б.Тарасов; под ред. Д.А.Поспелова. – М.: Наука, 1986. – 312 с.

14. Шеридан Т. Б. Системы человек-машина: Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором: пер. с англ. / Т.Б.Шеридан, У.Р.Феррел; под ред. К.В.Фролова. – М.: Машиностроение, 1980. – 400 с.

Статтю подано до редакції 25.08.2015