

С. П. Седаш

Льотна академія національного авіаційного університету, Кропивницький, Україна

МЕТОД ФОРМУВАННЯ ТРАЄКТОРІЇ ЗМІНИ ІНТЕГРАЛЬНОГО ПОКАЗНИКА ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ ТИПОВИХ ОПЕРАЦІЙ НА ТРЕНАЖЕРАХ

Анотація. Метою статті є розробка методу формування траєкторії зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій на тренажерах фахівцями цивільної авіації. В роботі розроблено метод формування траєкторії зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій на комп'ютерно-тренажерних системах при підготовці фахівців цивільної авіації. Визначено, що основою формування навичок у людини є ітеративне навчання, результатом якого є високий рівень якості виконуваних дій із допустимими витратами часу, енергії та інших ресурсів. Для опису процесу ітеративного навчання визначена залежність між швидкістю формування типових навичок на тренажерах та кількістю виконаних вправ. Оцінка якості виконання типових операцій на тренажері здійснена на основі нечітких множин, якість виконання типової операції визначено за коефіцієнтом оволодіння, що обчислюється на основі процедури нечіткого виведення за методом Мамдані. Напрямами подальших досліджень є розробка комплексного методу та моделей автоматизованої системи формування навичок операторів складних систем у цивільній авіації.

Ключові слова: формування навичок, ітеративне навчання, фахова підготовка, комп'ютерні тренажерні системи, оцінка якості навчання, цивільна авіація, теорія нечітких множин, алгоритм Мамдані.

Вступ

На даний час в освітній галузі не існує єдиного загально визнаного науково обґрунтованого походження до використання інформаційних технологій для управління освітніми процесами та формування стійких навичок виконання типових операцій. З іншого боку, опублікована значна кількість досліджень у цій області, пов'язаних з рішенням локальних завдань.

Для рішення цих завдань створюються комп'ютерні засоби підтримки навчального процесу, тренажери, системи віртуальної реальності, системи дистанційного навчання, що призводить до лавинного, некерованого зростання кількості інформаційних ресурсів, в тому числі вузькоспеціалізованих підсистем, які характеризуються відсутністю єдиної освітньої методичної платформи. Тим не менш, загально визнаними є застосування комп'ютерних тренажерних систем для операторів складних систем, а для фахівців цивільної авіації використання інтелектуальних тренажерів є єдиним способом розвитку стійких навичок у виконанні типових та унікальних операцій. Серйозною проблемою використання тренажерів є формування зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій, оскільки процес засвоєння знань та формування навичок залежить від конкретної людини, є предметом вивчення в педагогічній та психологічній галузях науки та характеризується значним ступенем невизначеності. В той же час система управління підготовкою оператора вимагає формалізації процесу формування навичок заданої якості, що і визначає актуальність дослідження, наведеного в даній статті.

Метою статті є розробка методу формування траєкторії зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій на тренажерах фахівцями цивільної авіації.

Аналіз літературних джерел. Питанню використання тренажерної техніки в процесі підготовки фахівців цивільної авіації (пілотів, диспетчерів управління повітряним рухом, авіаційно-технічного

складу, операторів безпілотних авіаційних комплексів), як операторів складних систем, присвячено достатня кількість публікацій. В першу чергу слід відмітити роботи А.Є. Яковенка [1], І.І. Верещагіна [2], С.П. Борсука [3], А.Н. Горенкова [4] С.М. Неділька, А.С. Пальоного [5], Dignum, V., Dignum, F. [6], в яких розглядається питання побудови адаптивних тренажерних систем для навчання авіа ції фахівців, принципів їх побудови. Окремо можна виділити роботи [7], які присвячені розвитку компетенцій навчаємих, в тому числі і за рахунок створення організаційних системи підготовки. В той же час питанню розвитку та оцінки якості виконання типових операцій на тренажерах в даних роботах не знайдено. Необхідно звернути увагу на роботи Столбової І.Д. [8], Гітмана М.Д. [9], Полевцікова І.Д. [10], в яких окремими елементами розглядається питання підготовки операторів складними механізмами (переважно на виробництві) та положення яких взяті як базові для даного дослідження.

Основний матеріал

Дослідження у даній статті спираються на результати роботи [11]. Розроблена у [11] модель системи управління вимагає побудови плануємої (розрахункової) траєкторії зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій при багаторазовому повторенні вправи на основі математичного моделювання ітеративного навчання.

Рекомендована швидкість формування типових навичок на тренажерах $\gamma_{нов}$, визначає заплановану траєкторію зміни інтегрального показника якості, який обчислюється за формулою:

$$\gamma_{нав.} = \begin{cases} -n(1 - K_{овол.}^{пор.}) / N_{нав.}, & K_{овол.}^{пор.} < 1; \\ -\ln(1 - K_{овол.}^{пор.} + \varepsilon_{овол.}^{пор.}) / N_{нав.}, & K_{овол.}^{пор.} = 1, \end{cases} \quad (1)$$

де $N_{нав.}$ – кількість правильно виконаних типових операцій; $K_{овол.}^{пор.}$ – пороговий коефіцієнт оволодіння

ня; $\varepsilon_{\text{овол.}}^{\text{пор.}} \in [0;1]$ – допустиме відхилення від $K_{\text{овол.}}^{\text{пор.}}$ при розрахунках $\gamma_{\text{нав.}}$.

По завершенню вправи обчислюється показник:

$$K_{\text{овол.}}^{\text{екс.}} = 1 - e^{-\gamma_{\text{нав.}} N_{\text{вик.}}}, \quad (2)$$

що описує розрахункове значення інтегрального показника якості, яка повинна бути досягнуто після виконання вправи $N_{\text{вик.}}$ раз і необхідне для визначення відхилення (рис. 1) фактичної траєкторії зміни інтегрального показника якості від запланованої (розрахункової).

Дана величина використовується для визначення підмножини можливих відповідних впливів при повторному виконанні вправи.

Значення $K_{\text{овол.}}^{\text{пор.}}$, $\varepsilon_{\text{овол.}}^{\text{пор.}}$, $N_{\text{нав.}}$, використовуватися для обчислення $\gamma_{\text{нов.}}$, можуть перераховуватися автоматично на основі накопиченої статистики про результати навчання операторів за певний проміжок часу. Далі необхідно обґрунтувати порядок отримання формули, яка використовується для обчислення рекомендованої швидкості формування навичок (швидкості навчання) $\gamma_{\text{нов.}}$.

Як відомо, навчання являє собою процес придбання індивідуального досвіду [4, 10]. У статті розглядається ітеративне навчання, під яким розуміють багаторазове повторення деякою навчальною системою певних дій для досягнення поставленої мети при незмінності зовнішніх умов. В основі формування навичок у людини лежить саме ітеративне навчання. Розглянемо результативний аспект ітеративного навчання, і, як наслідок, результативні характеристики ітеративного навчання, тобто оператор повинен досягти необхідного результату, який представляє собою високий рівень якості виконуваних дій із допустимими витратами часу, енергії та інших характеристик. Результативні характеристики навчання перебувають у залежності як від сталості зовнішніх умов (тобто параметрів навколишнього середовища), так і сталості мети навчання. Одночасне дотримання сталості зовнішніх умов і мети навчання необхідно, щоб зрівняти результати ітеративного навчання в різні моменти часу, тобто для використання кількісного опису процесу ітеративного навчання.

Основною результативною характеристикою ітеративного навчання є критерій рівня навчання, у якості якого можуть виступати наступні характеристики: часові (наприклад, час виконання деякої дії або операції); швидкісні (наприклад, швидкість реакції, швидкість руху, тобто величини, зворотні часу); точнісні (наприклад, величина помилки в сантиметрах, градусах, кількість помилок); інформаційні (наприклад, обсяг матеріалу, що заучується).

Кількісний опис ітеративного навчання здійснюється з використанням кривих навчання - графі-

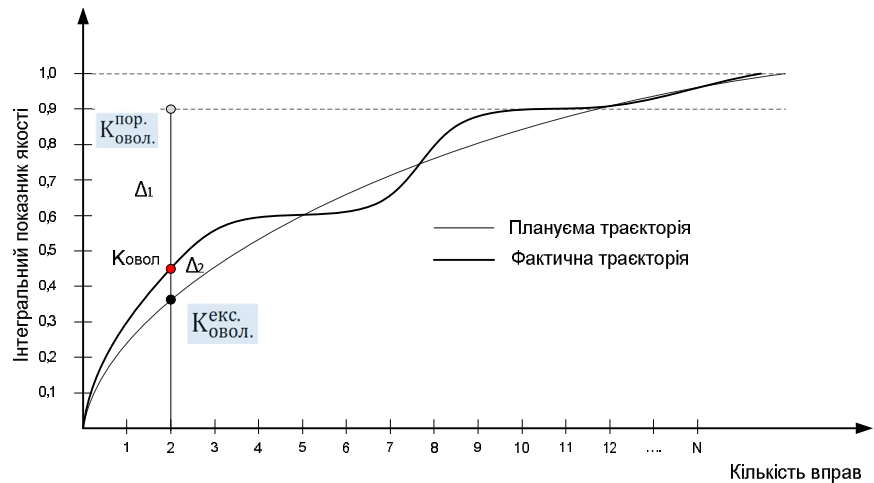


Рис. 1. Планована та розрахункова траєкторії (приклад)

ків, які показують залежність критерію рівня навчання від числа ітерацій (повторень) або від часу при сталості зовнішніх умов [1]. Важливою особливістю ітеративного навчання є уповільнено-асимптотичний характер кривих навчання. Це значить, що крива монотонна та асимптотично прагне до деякої межі, при цьому швидкість зміни критерію рівня навчання зменшується згодом. Дана закономірність свідчить про наявність загальних механізмів навчання в людей. Як правило, криві ітеративного навчання представляють експонентні криві.

У загальному виді експонентна крива навчання представляє одну із двох залежностей:

$$x(t) = x^{\infty} + (x^0 - x^{\infty})e^{-\gamma t}, \quad t > 0, \quad (3)$$

$$x_n = x^{\infty} + (x^0 - x^{\infty})e^{-\gamma n}, \quad n = 0, 1, 2, \dots, m,$$

де t – час навчання, n – кількість спроб з моменту початку навчання (передбачається, що навчання починається в момент часу $t = 0$, $x(t)$, (x_n) – значення результативної характеристики навчання в момент часу t (на n – тій ітерації), x^0 – початкове значення результативної характеристики навчання (яке відповідає моменту початку навчання), x^{∞} – кінцеве значення результативної характеристики навчання (величина, до якої крива навчання асимптотично прагне, тобто межа навчання), γ – швидкість навчання (ненегативна константа, що визначає швидкість зміни кривій навчання розмірність якої зворотна часу або кількості ітерацій). Частковими залежностями, отриманими на основі формули (3), є такі:

$$x(t) = e^{-\gamma t} \quad (4)$$

$$x(t) = 1 - e^{-\gamma t} \quad (5)$$

Залежність (4) може показувати, наприклад, величину помилки, яка монотонно убуває. Залежність (5) може інтерпретуватися як "рівень навченості", який монотонно зростає.

Існують різні моделі ітеративного навчання, більшість із яких створюються за аналогією з різними явищами та процесами, що відбуваються в системах живої або неживої природи [10]. Але в статті була обрана найбільш проста залежність, показана у формулі (4). З одного боку, ця залежність відображає

тільки загальну тенденцію процесу навчання, однак через слабку формалізованість завдання управління процесом формування навичок з використанням тренажерів, така залежність підходить найкраще, оскільки вимагає для свого застосування тільки отримані значення показників $K_{овол.}^{ноп.}$, $N_{нав.}$, $\varepsilon_{овол.}^{ноп.}$. При сталості зовнішніх умов можна описати процес ітеративного навчання оператора кількісно як теоретичну залежність комплексного коефіцієнта оволодіння від числа виконань деякої вправи на основі (5):

$$K_{овол.}^{теор.} = 1 - e^{-\gamma N_{впр.}}, \quad (6)$$

де $K_{овол.}^{теор.}$ – теоретичне значення комплексного коефіцієнта оволодіння по завершенні виконання вправи $N_{впр.}$ раз; γ – швидкість навчання, швидкість, яка представляє, зміни кривої навчання, що i є ненегативною константою; $N_{впр.}$ – кількість виконань вправи з моменту початку навчання. На основі формули (6) була виведена формула (1) для розрахунків рекомендованої швидкості формування навички $\gamma_{нов.}$

Виконаємо оцінку якості виконання типових операцій на тренажері на основі нечітких множин. Якість виконання типової операції визначимо як ступінь відповідності нормативам за допомогою обчислення коефіцієнтів оволодіння. Значення коефіцієнтів оволодіння за окремими показниками якості

$$\forall K_r^{mрm} \in M_{mрm}, i \forall K_s^{\partialин} (t_j) \in M_{\partialин}$$

обчислюються, головним чином, на основі процедури нечіткого виведення за методом Мамдані. Для зіставлення кожного показника коефіцієнта оволодіння будується система продукційних правил.

Нормативи задаються із застосуванням нечітких множин як термів лінгвістичних змінних системи правил. Застосування нечіткого виведення обумовлене неповнотою вихідної інформації про нормативи, що можливо з залученням експертів (організаторів навчання). Розроблений метод оцінювання якості виконання вправи, заснована на застосуванні нечітких вимірів. Процес обчислення

$$\forall K_r^{mрm} \in M_{mрm}, i \forall K_s^{\partialин} (t_j) \in M_{\partialин}$$

представлений низкою кроків.

На кроці 1 для зіставлення кожному показнику якості коефіцієнта оволодіння будується множина нечітких правил-продукцій. Розглянемо приклад обчислення коефіцієнта оволодіння для показника якості "кут відхилення вантажу від вертикальної осі стріли" (у градусах).

На кроці 2 встановлюються значення для побудови вхідних лінгвістичних змінних, які використовуються у правилах:

$$M_{наб.} = \left\{ P_i^{2p} \mid i = \overline{1, N_{якос.}} \right\} -$$

множина вихідних даних про значення показників якості. Тут кортеж

$$P_i^{наб.} = \left\langle \begin{matrix} P_{відм.}^{\min}, P_{відм.}^{\max}, P_{доб.}^{\min}, P_{доб.}^{\max}, \\ P_{зад.}^{\min}, P_{зад.}^{\max}, P_{незад.}^{\min}, P_{незад.}^{\max}, \Delta P \end{matrix} \right\rangle$$

представляє дані про межі відрізків $\left[P_{відм.}^{\min}, P_{відм.}^{\max} \right]$, $\left[P_{доб.}^{\min}, P_{доб.}^{\max} \right]$, $\left[P_{зад.}^{\min}, P_{зад.}^{\max} \right]$, $\left[P_{незад.}^{\min}, P_{незад.}^{\max} \right]$ зіставлених з відмінним, добрим, задовільним та незадовільним значеннями i -го показника якості відповідно, а також про допустиме відхилення ΔP від правої та лівої меж відрізків. Параметри кортежів P_i^{2p} є основою для функцій приналежності термів вхідних лінгвістичних змінних вигляду:

$$f_T = \begin{cases} 0, & x \leq P_{відм.}^{\min} - \Delta P; \\ \left(x - P_{відм.}^{\min} + \Delta P \right) / \Delta P, & x \in \left[P_{відм.}^{\min} - \Delta P, P_{відм.}^{\min} \right]; \\ 1, & x \in \left[P_{відм.}^{\min}, P_{відм.}^{\max} \right]; \\ \left(P_{відм.}^{\max} + \Delta P - x \right) / \Delta P, & x \in \left[P_{відм.}^{\max}, P_{відм.}^{\max} + \Delta P \right]; \\ 0, & x \geq P_{відм.}^{\max} + \Delta P, \end{cases} \quad (7)$$

Трапецієподібні функції приналежності, що задаються аналітично вираженнями виду (7), широко використовуються в наукових дослідженнях Застосування за замовчуванням тільки чотирьох термів засноване на широкому використанні 5-бальної системи оцінювання в освіті (звичайно без оцінки "1"). Однак, у настойках тренажеру викладачем може бути встановлене більше число термів для підвищення точності обчислень.

На кроці 3 встановлюється кортеж $K_{наб.}$, що містить такі складові: відмінне $K_{відм.}$, добре $K_{доб.}$, задовільне $K_{зад.}$ та незадовільне $K_{незад.}$ значення коефіцієнта оволодіння. Параметри кортежу є основою для вихідних лінгвістичних змінних і відповідають термам у вигляді одноточкових множин:

$$\left\{ \langle K_{відм.}, 1 \rangle \right\}, \left\{ \langle K_{доб.}, 1 \rangle \right\}, \left\{ \langle K_{зад.}, 1 \rangle \right\}, \left\{ \langle K_{незад.}, 1 \rangle \right\}.$$

На кроці 4 з використанням алгоритму Мамдані (який отримав найбільше застосування в системах нечіткого виведення) здійснюється нечітке виведення, в результаті чого обчислюються коефіцієнти оволодіння по кожному показнику:

$$K_r^{mрm} = f_{овол.}^{mрm} \left(P_r^{mрm}, P_r^{2p}, K_{наб.} \right); \quad (8)$$

$$K_s^{\partialин} (t_j) = f_{овол.}^{\partialин} \left(P_s^{\partialин} (t_j), P_s^{2p}, K_{наб.} \right),$$

де $P_r^{2p} \in M_{наб.}$ і $P_s^{2p} \in M_{наб.}$.

На першому етапі алгоритму Мамдані (фазифікація) встановлюється відповідність між чисельним значенням кожної вхідної змінної системи нечіткого виведення значенням функції приналежності вхідній лінгвістичній змінній.

Етап агрегування підумов у нечітких правилах продукцій є процедурою знаходження ступені істинності умов за кожним із правил. Ті правила, ступінь істинності умов яких відмінний від нуля, є активними та використовуються для подальших розрахунків. Етап активізація висновків у нечітких правилах продукцій – це процес знаходження ступені істинності кожного з висновків правил.

Акумуляція висновків нечітких правил продукцій – це знаходження функції приналежності для кожної з вихідних лінгвістичних змінних.

Етап дефазифікації вихідних змінних представляє процедуру знаходження звичайного (не нечіткого) значення для кожної з вихідних лінгвістичних змінних. На цьому етапі коефіцієнт оволодіння, що відповідає деякому j -му показнику якості, буде розраховуватися як центр ваги для одноточкових множин за формулою:

$$K_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot \mu(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu(x_i)} \quad (9)$$

де n – число одноточкових (одноелементних) нечітких множин, кожне з яких характеризує єдине значення розглянутої вихідної лінгвістичної змінної.

Вихідні дані для побудови функцій приналежності можуть перераховуватися автоматично на основі статистики про результати навчання операторів на тренажерах за певний проміжок часу.

Для деяких показників якості допустимо, коли нечіткі множини фактично не використовуються.

Висновки

В статті на підставі розробленої моделі автоматизованого управління формуванням навичок у операторів складних систем розроблено метод формування траєкторії зміни інтегрального показника якості виконання типових операцій на тренажерах, основною відмінністю якого є застосування теорії нечітких множин для опису процесу ітеративного навчання отримання залежності швидкості формування типових навичок на тренажерах від кількості виконаних вправ, що визначає заплановану траєкторію зміни інтегрального показника якості.

Напрямами подальших досліджень є розробка комплексного методу та моделей автоматизованої системи формування навичок операторів складних систем у цивільній авіації.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Яковенко А.Е., Нарожный А.В., Гогунский В.Д. Стратегия принятия решений в условиях адаптивного обучения // Східно – Європ. журн. передових технологій. — Харків: Технол. центр, 2005. – № 2/2 (14) . – С. 105 - 110.
2. Верещагін І. І. Автоматизований синтез і моделі гнучких комп'ютерних професійних тренажерів широкого призначення [Текст] : автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Верещагін Ігор Іванович ; НАН України, М-во освіти і науки України, Міжнар. наук.-навч. центр інформ. технологій та систем. – К., 2007. – 20 с.
3. Борсук С. П. Адаптивне навчання операторів на функціональному тренажері [Текст] : автореф. дис. канд. тех. наук : 05.07.14 / Борсук Сергій Павлович; Нац. авіац. ун-т. – К., 2011. – 23 с.
4. Горенков А.Н. Современные тренажёрные и моделирующие комплексы в системе профессиональной подготовки управления воздушным движением // Транспортное дело, 2016. – № 4. – С. 70-73.
5. Неділько В.М. Проблеми побудови системи адаптивної тренажерної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом / В. М. Неділько, А. С. Пальоний, К. Ю. Сурков // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. – 2017. – № 4. – С. 64–72.
6. Dignum, V., Dignum, F. Modelling agent societies: co-ordination frameworks and institutions. In: Brazdil, P., Jorge, A. (eds.) Progress in Artificial Intelligence: Knowledge Extraction, Multi-agent Systems, Logic Programming, and Constraint Solving, LNAI 2258, Springer, 2001. – pp. 191-204.
7. Wickens, C. D. Effectiveness of Part-Task Training and Increasing-Difficulty Training Strategies: A Meta-Analysis Approach [Електронний ресурс] / C.D. Wickens, S. Hutchins, T. Carolan and J. Cumming // Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society, July 2012.
8. Столбова И.Д. Адаптивное управление качеством предметной подготовки в техническом вузе на основе компетентностного подхода (на примере подготовки студентов): автореф. дис. ... д-р. техн. наук: 05.13.10. М., 2012.
9. Гитман М.Б., Данилов А.Н., Столбов В.Ю. Оценка уровня сформированности компетенций выпускника вуза // Открытое образование, 2014. – № 1(102) . – С. 24-31.
10. Fayzakhmanov R., Polevshchikov I., Polyakov A. Computer-aided Control of Sensorimotor Skills Development in Operators of Manufacturing Installations // Proc. of the 6th International Conference on Applied Innovations in IT (ICAIIIT), Koethen (Germany), 13 March, 2018. – Vol. 6. – P. 59-65.
11. Седаш С.П. Модель автоматизованого управління формуванням навичок у операторів складних систем / С.П. Седаш, О.О. Возний // Системи озброєння і військова техніка. – 2020. – № 3(63). – С. 98-103.

Received (Надійшла) 12.11.2020

Accepted for publication (Прийнята до друку) 20.01.2021

Method for forming the trajectory of changing the integral indicators of the quality of the performance of typical operations on the simulator

S. Siedash

Abstract. The purpose of the article is to develop a method of forming a trajectory of change of the integrated indicator of the quality of performance of standard operations on simulators by civil aviation specialists. In this work, a method has been developed that allows one to determine the dependence of the rate of formation of typical skills on computer training systems on the number of exercises performed, determines the planned trajectory of changes in the integral quality indicator. Evaluation of the quality of performing typical operations on the simulator is determined on the basis of fuzzy sets, the quality of performing a typical operation is determined by the mastery rate, calculated on the basis of the fuzzy inference procedure using the Mamdani method. Areas of further research are the development of a comprehensive method and models of automated system of skills development of operators of complex systems in civil aviation.

Keywords: skill formation, iterative learning, computer training systems, education quality assessment, civil aviation, fuzzy set theory, Mamdani's algorithm.