

АВІАЦІЙНИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 004.94:351.814.33

doi: 10.31498/2225-6733.42.2021.240687

© Лавриненко О.С.*

ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ МОДЕЛЮВАННЯ ПОТОКУ ПОВІТРЯНИХ СУДЕН ЗА РАХУНОК ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ МОДЕЛІ ГЕНЕРАЦІЇ ЙОГО ВИПАДКОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

У статті представлений підхід до вдосконалення методу моделювання потоку повітряних суден для інтелектуальної навчальної системи «Диспетчер Tower». Вдосконалення стосується аспекту автоматичного генерування випадкових даних для класу «Повітряне судно», що є важливою і невід'ємною частиною цієї системи. Наявність механізму генерації випадкових даних щодо повітряних суден із різними льотно-технічними характеристиками в потоці дозволяє привнести в систему динамічну і стохастичну складові. Такий підхід забезпечує змінюваність повітряної обстановки в зоні відповідальності диспетчера аеродромної диспетчерської вишки, максимально наближену до реальних умов, і дозволяє відпрацювати якісно більшу кількість технологічних операцій при управлінні повітряним рухом. Як наслідок, це дозволяє відтворити обстановку в зоні відповідальності диспетчера аеродромної диспетчерської вишки та провести перевірку адекватності еталонної моделі суб'єкта навчання. Запропоноване вдосконалення дає змогу реалізувати механізм автоматичного формування вправ різного рівня складності, додати інтелектуальну складову в систему, тим самим забезпечуючи індивідуальну траєкторію підготовки суб'єкта навчання в результаті взаємодії еталонної і поточної його моделей.

Ключові слова: випадкові дані, інтелектуальна навчальна система, еталонна модель суб'єкта навчання.

O.S. Lavrynenko. Improvement of the aircraft flow modelling method by the implementation of a model for generating its random elements. The article presents the approach to improve the aircraft flow modelling method for the intelligent training system «ATC of Tower», developed by the Department of Information Technologies of the Flight Academy of the National Aviation University. The improvement concerns the aspect of automatic random data generation for the «Aircraft» class, which is the important and integral part of this system. The presence of the mechanism for generating random data in relation to aircraft with different flight performance characteristics in the stream makes it possible to supplement the system with dynamic and stochastic components. This approach ensures the variability of the air situation in the area of responsibility of the air traffic controller of the aerodrome control tower (Tower ATCO), as close as possible to real conditions, and also makes it possible to work out a qualitatively larger number of technological operations when servicing the air traffic. The approach is based on the algorithmic generator of pseudo-random numbers and logical functions. This generator randomly identifies an airline company, a type of aircraft with specific performance characteristics, which performs flight on a random route. The listed parameters are input data for the class forming the aircraft queue in the developed training system. They make it possible to recreate the situation in the area of responsibility of the air traffic controller of the aerodrome control tower and check the adequacy of the trainee reference model. The proposed improvement makes it possible to implement a mechanism for the automatic

* диспетчер управління повітряним рухом, Регіональний структурний підрозділ «Київцентраеро» Укрпороху, аеропорт, м. Бориспіль, ORCID: 0000-0001-8783-3731, lavrykkot@gmail.com

formation of the exercises with various levels of complexity, bring an intellectual component into the system, thereby providing an individual training trajectory for the training subject as a result of the interaction between the system reference and current models.

Keywords: random data, intelligent training system, trainee reference model.

Постановка проблеми. Одним із пріоритетних напрямків процесу інформатизації сучасного суспільства є застосування інформаційних технологій в освіті, що представляє собою систему методів, процесів і програмно-технічних засобів, інтегрованих з метою збору, обробки, зберігання, поширення й використання інформації в інтересах її споживачів [1]. Зокрема, інформаційні технології дозволяють перенести акценти на *самостійну роботу* при підготовці фахівців з використанням підходів щодо формування їхньої *індивідуальної траєкторії навчання*. Інтелектуальна навчальна система (ІНС) «Диспетчер Tower», що розробляється на кафедрі інформаційних технологій Льотної академії Національного авіаційного університету, націлена забезпечити таку можливість при підготовці диспетчера аеродромної диспетчерської вишки (АДВ). Кінцевою ж метою розробки є *підвищення якості управління повітряним рухом* операторами систем навігаційного обслуговування та управління рухом і в роботі [2] запропонований метод її досягнення.

На рисунку 1 представлено концептуальну схему розробки. Специфікаціями системи передбачається робота в режимах демонстрації, навчання та контролю. Для того, щоб система була адаптивною до дій кожного конкретного користувача, необхідне впровадження таких компонентів, як поточна й еталонна моделі суб'єкта навчання. Еталонна модель, робота над якою ведеться на даний момент, – це, за суттю, стан, якого має досягти суб'єкт навчання. Еталонна модель являє собою масив даних, що складається з наступних елементів: перелік технологічних операцій, правильність виконання яких повинна контролюватися з точки зору якісних і кількісних показників; порядок (алгоритм) виконання технологічних операцій в залежності від ситуації, яка визначається повітряною та наземною обстановкою, льотно-технічними характеристиками повітряного судна (ПС), погодними умовами і т. ін.; модель циркуляції інформаційних потоків на робочому місці диспетчера АДВ, а також референсні значення часу, що витрачається на кожну технологічну операцію, щоб забезпечити можливість об'єктивного автоматичного оцінювання операторської діяльності суб'єкта навчання.

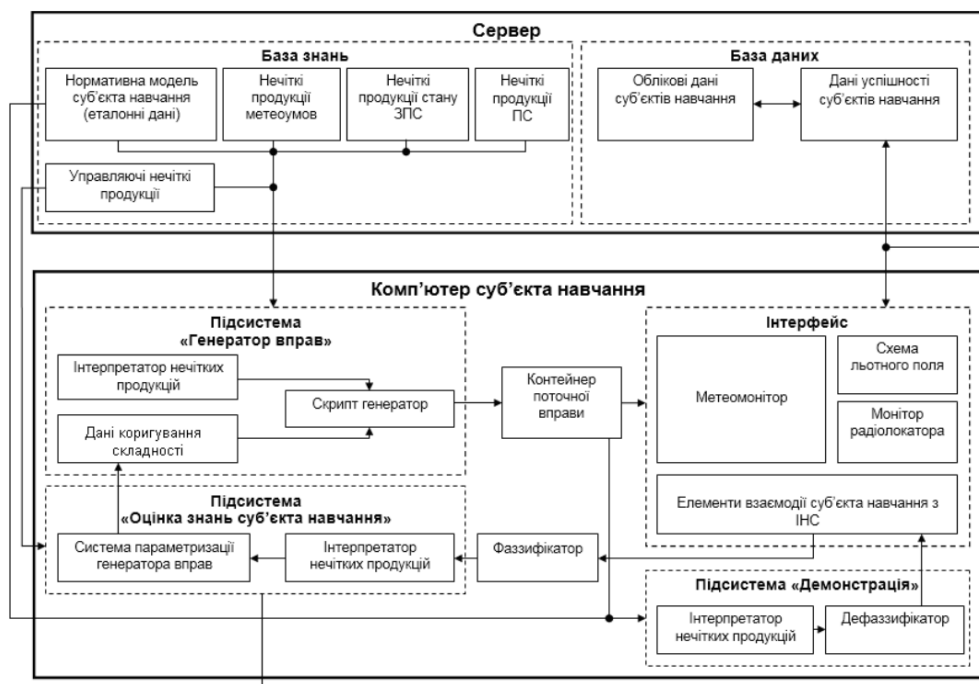


Рис 1 – Концептуальна схема інтелектуальної навчальної системи «Диспетчер Tower»

Поточна модель є динамічною, вона повинна містити таку інформацію про суб'єкта навчання, як: поточний рівень його знань, умінь і навичок; здібності до навчання; здатність виконання завдань (чи вмiє він використовувати отриману інформацію).

Поточна модель змінюється в процесі проходження навчання, тобто на основі помилок, допущених на попередніх етапах, система формує індивідуальну траєкторію навчання.

З рисунка 1 видно, що автоматичне генерування вправ різного рівня складності стає можливим при наявності бази знань щодо метеорологічних умов, стану злітно-посадкової смуги і параметрів потоку повітряних суден. Стани цих факторів визначають складність ситуації на робочому місці диспетчера АДВ. Оскільки даний фахівець постійно має справу з ПС, кількість яких має враховуватися при плануванні його робочого навантаження (пропускної спроможності), у роботі [3] увагу сфокусовано на вивченні параметрів потоку повітряних суден. Для забезпечення безпечного, впорядкованого та прискореного потоку повітряного руху диспетчеру АДВ необхідно оперувати інформацією щодо кількості ПС, з якими він буде працювати, про моменти їхнього надходження, часові інтервали між ними і категорії турбулентності в супутньому сліді [2].

На етапі розробки першого прототипу інтелектуальної навчальної системи «Диспетчер Tower» у роботі [3] запропоновано метод формування потоку повітряних суден, який забезпечує підсистему «Генератор вправ» всіма необхідними вище згадуваними параметрами. Поточний етап життєвого циклу розробки, пов'язаний з еталонною моделлю суб'єкта навчання, вимагає деталізованого технологічного аудиту процесу прийняття рішень диспетчером АДВ під час його професійної діяльності [4]. Наслідком є необхідність деталізації інформаційного оточення розроблюваного компонента. Насамперед, це стосується тісно пов'язаних між собою компонентів – еталонної моделі та параметрів потоку повітряних суден, чим і обумовлено актуальність наступних задач:

1. Формування екстенціональної частини бази знань для класу «Повітряне судно», факти якої відповідають реальній системі, шляхом проведення аналізу та синтезу необхідних льотно-технічних характеристик ПС, які можуть виконувати польоти на аеродромі, що моделюється.

2. Пошук рішення щодо можливого впровадження автоматичної диверсифікації параметрів ПС для формування інтенціональної частини бази знань з метою проведення експерименту й перевірки адекватності еталонної моделі суб'єкта навчання. Генерація різномірних елементів потоку (ПС з різними льотно-технічними характеристиками) дозволяє привнести в систему динамічну й стохастичну складову для змінюваності як повітряної обстановки, так і пов'язаної з нею еталонної моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Вхідні дані – це величини, які задаються до початку роботи алгоритму або визначаються динамічно під час його роботи [5]. Генерація даних відноситься до теорії і методів, що використовуються дослідниками в якісному дослідженні для створення даних, які обумовлюються обраним джерелом [6]. Розглядаючи генерацію випадкових даних, необхідно розуміти, що за стохастичністю вибору стоїть визначення випадкових чисел, де значення кожного числа обумовлює відповідний масив інформації або його частину.

Генератори випадкових чисел за способом отримання чисел діляться на табличні, апаратні та алгоритмічні.

Табличні генератори в якості джерела випадкових чисел використовують заздалегідь підготовлені таблиці, що містять перевірені некорельовані числа і не є генераторами в строгому розумінні цього поняття. Недоліки такого способу очевидні: використання зовнішнього ресурсу для зберігання чисел, обмеженість послідовності, зумовленість значень.

Апаратні генератори (істинно) випадкових послідовностей повинні володіти джерелом ентропії (мірою безладдя або хаотичності). Розробка генераторів, що використовують джерела ентропії, котрі генерують не корельовані й статистично незалежні числа – досить складне завдання.

Алгоритмічний генератор є комбінацією фізичного генератора та детермінованого алгоритму. Такий генератор використовує обмежений набір даних, отриманий з виходу фізичного генератора для створення довгої послідовності чисел, за рахунок перетворення початкових чисел. Даний вид генераторів становить найбільший інтерес в силу його очевидних переваг над генераторами випадкових чисел інших видів [7].

Найчастіше в інформаційних системах використовується алгоритм генератора випадко-

вих чисел Кнута. Псевдовипадкові числа вибираються з однаковою ймовірністю з кінцевого набору чисел. Обрані числа не є строго випадковими, оскільки для їхньої вибірки використовується чіткий математичний алгоритм, але вони досить випадкові для практичного застосування.

Генерація випадкових чисел починається з початкового значення. При повторному використанні того ж початкового значення створюється та сама послідовність чисел. Одним із способів отримання різних послідовностей є вибір залежного від часу початкового значення, що дозволяє створювати різні послідовності. Наприклад, для генерації початкового значення в мові програмування C# (сі-шарп) використовується системний годинник, в той час як параметризований конструктор даного класу може приймати цілочислове значення, залежне від кількості тактів у поточному часі [8].

Застосування алгоритмічного генератора при вирішенні задачі призначення місць стоянок для повітряних суден, що прибувають, розглядалося в роботі [9], де пропонувався метод оптимізації розстановки ПС за місцями стоянок на поверхні аеродрому в складі імітаційної моделі аеродрому. Для вирішення завдання використано метод імітації відпалу (рос. «отжига»). Розроблено та апробовано два алгоритми, один із яких робить вибір найкращої стоянки (беручи до уваги близькість терміналу й наявність телетрапу), і другий – вибір випадкової стоянки. Основною перевагою даного методу є властивість уникати зациклення в локальних оптимумах та продовжувати пошук глобального оптимуму. Хоча ефективність роботи даного методу імітації відпалу було показано для великого класу задач, запропонований метод оптимізації розстановки ПС передбачає аналіз розкладу прильотів ПС, а також додаткові запити щодо розстановки від авіакомпаній і служб аеропорту.

В роботі [10], основною метою якої є оптимізація послідовності та часу посадок повітряних суден, що прибувають на злітно-посадкову смугу, пропонується програмний засіб імітаційного моделювання для аналізу ефективності й швидкодії алгоритмів планування посадки ПС. Для формування експерименту вибирається параметр P – число ПС і параметр K – кількість типів ПС. Таких типів в даній роботі розглядається чотири – дуже легке ПС, легке ПС, середнє ПС, важке ПС. Тип ПС визначається за допомогою функції генерації випадкового цілого числа із заданого діапазону $1 \div K$. $C_i = rnd.Next(K)$, $i = 1, P$. Особливістю даного підходу є прорахунок часових інтервалів між ПС, що заходять на посадку, без урахування швидкості ПС на посадковій прямій. Однак, дана швидкість відіграє найважливішу роль при формуванні самого потоку, так як визначає ймовірність скорочення інтервалу.

Із проведеного аналізу можна зробити висновок, що для вдосконалення методу моделювання потоків повітряних суден в середовищі інтелектуальної навчальної системи за рахунок розробки моделі генерування випадкових даних для елементів даного потоку, найбільш прийнятним підходом є використання алгоритмічного генератора, де вибір розгалуження здійснюється на основі ймовірнісної генерації випадкових чисел.

Метою даної роботи є вдосконалення методу моделювання потоку повітряних суден, заснованого на ймовірнісних характеристиках, за рахунок розробки та імплементації моделі генерування випадкових даних принципово необхідного переліку елементів цього потоку для інтелектуальної навчальної системи, що забезпечує самостійну роботу суб'єкта навчання.

Виклад основного матеріалу. Для еталонної моделі суб'єкта навчання, що розробляється автором на основі об'єктно-орієнтованого програмування, вхідними даними є властивості класів «Повітряне судно», «Метеоумови», «Злітно-посадкова смуга». Дані класи отримані в результаті вивчення предметної області, за допомогою анкетування та інтерв'ювання експертів (диспетчерів АДВ з різним досвідом роботи).

Для проведення експерименту як з окремими процедурами диспетчера АДВ, так і з еталонною моделлю суб'єкта навчання в цілому, а також подальшої перевірки її адекватності, для класів «Метеоумови» і «Злітно-посадкова смуга» взяті статичні вхідні дані. На поточному етапі дослідження завдання вивчення закономірностей їхніх можливих станів не поставлено.

Відносно класу «Повітряне судно» висунуто завдання формування моделі генерування випадкових даних, отриманих на підставі аналізу планової інформації аеродрому, що моделюється.

Дана модель є основою для класу *Source*, забезпечуючи його елементами потоку (повітряними судами) з присвоєними їм випадково-згенерованими змінними (льотно-технічними характеристиками ПС). Клас *Source* є частиною моделі діяльності оператора системи навігаційно-

го обслуговування та управління рухом, яку представлено в роботі [3] (рис. 2). Крім цього класу, модель оператора включає в себе також:

- Клас *Queue*, який реалізує чергу;
- Клас *Servicer*, який являє собою модель процесу прийняття рішення диспетчером АДВ, що імітує дії диспетчера в певних умовах;
- Класу *Sink* та *Sink1* – це класи, які реалізують видалення обслугованих з моделі ПС, обслуговування яких вже виконано, і тих ПС, які не дочекалися обслуговування, відповідно.

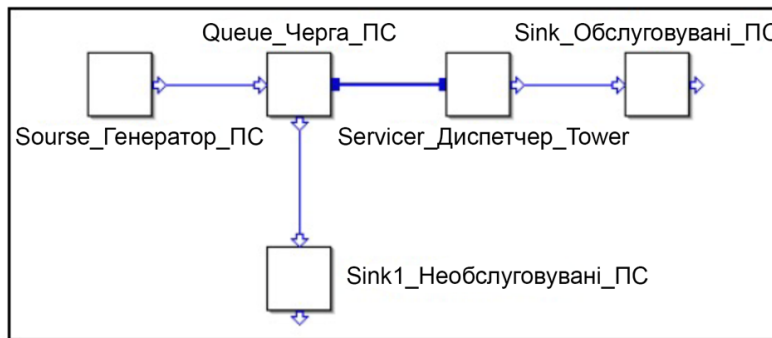


Рис. 2 – Структурна схема узагальненої моделі діяльності оператора системи навігаційного обслуговування і управління рухом як системи масового обслуговування

Для формування моделі генерації випадкових даних класу «Повітряне судно» і проведення експериментів із нею використано програмне середовище *AnyDynamics*. Генератором псевдовипадкових чисел даного програмного комплексу є алгоритм, який породжує послідовність чисел, елементи якого майже незалежні один від одного та відповідають заданому розподілу.

Для того, щоб властивості класу «Повітряне судно» відповідали реальним льотно-технічним характеристикам ПС, проведено аналіз розкладу вильотів-прильотів ПС конкретного аеродрому (за основу взято аеродром Запоріжжя, Україна), на основі якого сформовано перелік авіакомпаній та їхніх напрямків польоту (аеродром вильоту/призначення). Також проаналізовано флот кожної авіакомпанії, що дозволило визначити типи ПС, які можуть виконувати польоти за даними маршрутами, та отримати конкретні показники льотно-технічних характеристик для кожного типу ПС. Частина результатів аналізу в якості прикладу представлена в таблиці 1.

Таблиця 1

Аналіз авіакомпаній та льотно-технічних характеристик повітряних суден для класу «Повітряне судно»

| Назва авіакомпанії/ код ІКАО (реєстраційний номер) | Тип ПС | Крейсерська швидкість ПС, км/год | Дальність польоту ПС, км | Категорія турбулентності в супутньому сліді | Швидкість ПС на посадковій прямій, км/год |
|--|------------------|----------------------------------|--------------------------|---|---|
| «Мотор Січ»/MSI | Ан-12Б | 570 | 3600 | Середнє (М) | 230 |
| | Ан-140-100 | 540 | 3680 | Середнє (М) | 225 |
| | Ан-24РВ | 460 | 2000 | Середнє (М) | 165 |
| | Ан-74ТК-200 | 600 | 4325 | Середнє (М) | 180 |
| | Як-40 | 510 | 1800 | Середнє (М) | 150 |
| «Міжнародні авіалінії України»/AUI | Boeing 737-800 | 852 | 5765 | Середнє (М) | 263 |
| | Boeing 737-900ER | 852 | 5925 | Середнє (М) | 261 |
| | Embraer E190 | 890 | 3200 | Середнє (М) | 260 |
| «Turkish Airlines»/THY | Airbus A319-100 | 840 | 6800 | Середнє (М) | 242 |
| | Airbus A320-200 | 840 | 6150 | Середнє (М) | 248 |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |

Продовження таблиці 1

| Назва авіакомпанії/ код ІКАО (реєстраційний номер) | Пробіг, м | Розбіг, м | Аеропорт призначення/ вильоту | Дальність від UKDE (Запоріжжя) |
|--|-----------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| «Мотор Січ»/MSI | 500 | 900-2200 | OBBI (Бахрейн) | 3640 |
| | | | OIE (Тегеран) | 3030 |
| | | | OOSA (Бавшар) | 4610 |
| | | | UBBB (Баку) | 2980 |
| | 880 | 880 | UKKK (Жуляни) | 414 |
| | | | UMMS (Мінськ) | 846 |
| | 580 | 650 | UKKK (Жуляни) | 414 |
| | | | UMMS (Мінськ) | 846 |
| | 700 | 2050 | UGTB (Тбілісі) | 1790 |
| | | | LYPG (Подгориця) | 1450 |
| 750 | 1250 | UKKK (Жуляни) | 414 | |
| | | UMMS (Мінськ) | 846 | |
| «Міжнародні авіалінії України»/AUI | 1630 | 2241 | UKBB (Бориспіль) | 380 |
| | | | LTAI (Анталья) | 1470 |
| | | | HESH (Шарм-ель-Шейх) | 2520 |
| | 1750 | 2450 | UKBB (Бориспіль) | 380 |
| | | | LTAI (Анталья) | 1470 |
| | | | HEGN (Хургада) | 2590 |
| 1260 | 1890 | UKBB (Бориспіль) | 380 | |
| «Turkish Airlines»/THY | 1450 | 1520 | LTFM (Стамбул) | 1000 |
| | 1530 | 2090 | LTFM (Стамбул) | 1000 |
| ... | ... | ... | ... | ... |

При формуванні моделі генерації випадкових вхідних даних класу «Повітряне судно» за допомогою функції генерації випадкових чисел *uniform* програмного середовища *AnyDynamics* генерація випадкового вибору проводилася на наступних етапах: вибір авіакомпанії; вибір типу ПС; вибір напрямку (аеродром призначення/вильоту).

Функція *uniform* передбачає генерацію випадкових чисел у заданому проміжку відповідно до рівномірного закону розподілу. Отже, кожній з авіакомпаній, типу ПС і напрямку присвоєні свої числові значення. Таким чином, для даної моделі розроблено інтенціональну частину (правила) з використанням логічних (булевих) функцій «істинно» та «хибно».

Після проходження генерації випадкових чисел, значення яких присвоєно конкретному факту екстенціональної частини бази знань, й оперування цими фактами за допомогою правил інтенціональної частини, отримуються вихідні дані моделі генерації випадкових даних класу «Повітряне судно», а саме випадковий тип ПС, що має конкретні льотно-технічні характеристики, що відносяться до обраної випадковим чином авіакомпанії, яка виконує політ за випадковим маршрутом. Вихідні дані зазначеної вище моделі, в свою чергу, є вхідними даними для класу *Queue*, який формує чергу ПС, що вилітають та прибувають.

На рисунку 3 представлено програмну реалізацію в середовищі *AnyDynamics* моделі генерації випадкових даних класу «Повітряне судно». Дана модель або карта поведінки складається зі станів, розгалужень і переходів. Стани представлені у вигляді прямокутника з закругленими кутами і відповідають деякому тривалому якісному стану об'єкта, що моделюється. Стан «Vubir_AK» відповідає за генерацію псевдовипадкового значення, яке обумовлює конкретну авіакомпанію. Ромбами відзначені точки розгалуження переходів (стрілки), де перевіряється відповідність згенерованого значення з призначеним значенням наступного стану. Стани «MSI», «AUI», «THY», «UTN», «PGT» та «UJX» мають назву відповідно коду авіакомпаній ІКАО (Міжнародної організації цивільної авіації).

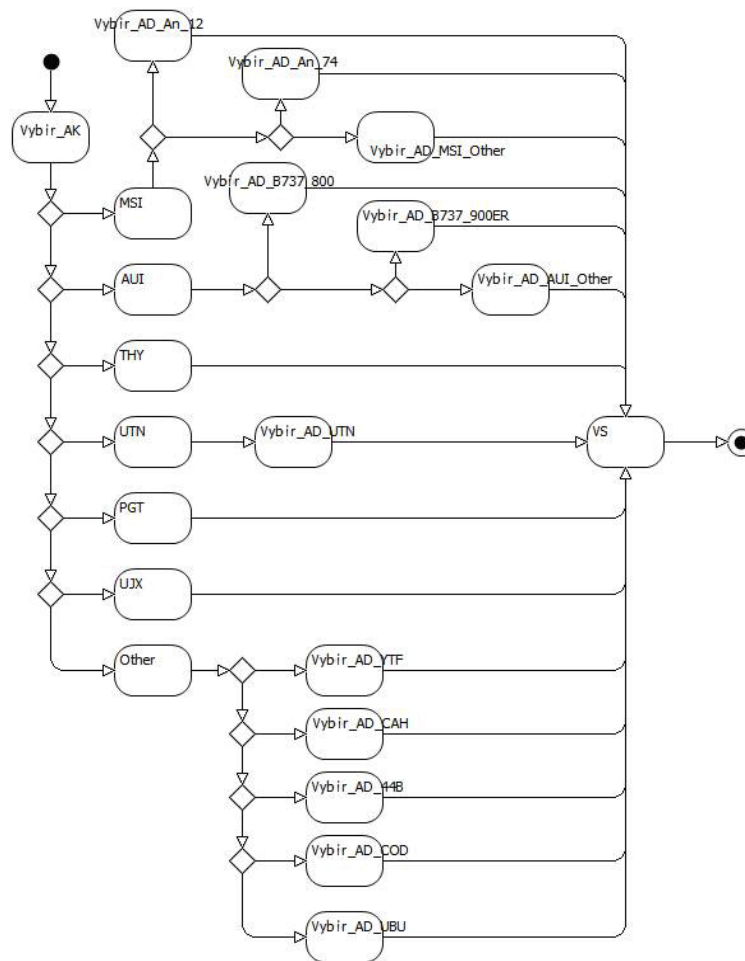


Рис. 3 – Реалізація моделі генерації випадкових даних класу «Повітряне судно» в програмному середовищі *AnyDynamics*

Вихідними параметрами цих станів є виконання вибору ймовірного типу повітряного судна з флоту, що може виконувати польоти до/з аеродрому, що моделюється, а також призначення вхідним даним системи конкретних параметрів льотно-технічних характеристик обраного ПС. Стан «Other», в свою чергу, робить такий самий вибір та призначення параметрів, але вибір виконується з переліку приватних авіакомпаній, де найчастіше флот складається з одного літака. Відповідно до аналізу планової інформації виявлено п'ять таких авіакомпаній (літаків), які найчастіше виконують польоти на аеродромі, що моделюється. Стан, який має назву «VS», в результаті роботи моделі передає сформовані вхідні данні в систему. Інші стани системи генерують аеродром вильоту або призначення для обраного типу ПС в залежності від напрямлень, які виконує та чи інша компанія, та максимальної дальності польоту, обраного на попередньому етапі ПС. Такі стани, як «THY», «PGT», «UJX», не мають подальших розгалужень з приводу того, що ці авіакомпанії виконують рейси лише за одним напрямком (наприклад: авіакомпанія «Turkish Airlines» з ICAO кодом «THY» з аеропорту Запоріжжя виконує рейси до аеропорту Стамбула).

Маючи значення пропускної здатності для конкретного аеродрому, значення мінімальних інтервалів ешелонування ПС і використовуючи клас *Source_Генератор_ПС*, який є частиною моделі діяльності оператора системи навігаційного обслуговування і управління рухом, навчальна система за допомогою класу *Queue* здатна згенерувати вхідні данні для еталонної моделі – потік повітряних суден. Потік являє собою певну кількість ПС, їхній час вильоту і час прибуття, які буде отримано на підставі обліку часу вильоту конкретного ПС з інших аеродромів. Частота як прибуття, так і вильоту, формується відповідно до експоненціального закону розподілу (закон

був визначений при дослідженні закономірностей формування потоку ПС у зоні відповідальності диспетчера АДВ), а також з урахуванням інтервалів ешелонування ПС у районі відповідальності диспетчера АДВ. Користувач (суб'єкт навчання), в свою чергу, повинен контролювати витримування заданих суміжним органом управління повітряним рухом інтервалів у своєму секторі й випускати ПС із урахуванням інтервалів та обстановки в своєму й суміжному секторах.

Перевірка роботи моделі генерування випадкових даних проводилась у складі імітаційної моделі еталонного процесу прийняття рішень на робочому місці диспетчера аеродромної диспетчерської вишки (еталонної моделі суб'єкта навчання для інтелектуальної навчальної системи «Диспетчер Tower»). В результаті прогону в діалоговому вікні системи відображаються повідомлення щодо сформованих елементів потоку. Повідомлення, що інформує про ПС, що виконує заходження на посадку, містить такі дані як: радіотелефонний позивний; аеропорт вильоту; тип ПС; категорія турбулентності в сліді.

Приклад: (BCз ", "UR-UBU Відень, BE 350 (L) ").

Повідомлення, яке інформує про ПС, що вилітає, містить наступні дані: радіотелефонний позивний; аеропорт призначення; назва маршруту виходу з району аеродрому за приладами (SID – standard instrument departure); тип ПС; категорія турбулентності в сліді; стоянка для ПС.

Приклад: ("BCв", "MSI740, Тбілісі, DITIX4A, Ан-74 (М) ст.№ 41").

Диверсифікація льотно-технічних характеристик ПС в результаті багаторазового прогону імітаційної моделі показала, що в достатній мірі та наближено до реальних умов впливає як на час виконання деяких процедур авіадиспетчера, так і процес приймання рішень ним в цілому.

Висновки

В рамках проведеної роботи отримані наступні результати:

1. Сформовано екстенсіальну частину бази знань для класу «Повітряне судно» на основі проведеного аналізу планової інформації аеродрому, що моделюється. Факти цієї частини бази знань є вхідними даними для еталонної моделі суб'єкта навчання.
2. Рішенням для впровадження автоматичної диверсифікації параметрів ПС для формування інтенціональної частини бази знань стало вдосконалення методу моделювання потоку повітряних суден у середовищі інтелектуальної навчальної системи. Вдосконалення стосується розробки та подальшої імплементації моделі генерування випадкових даних для елементів потоку. Наявність згенерованих даних, що стосуються повітряних суден з різними льотно-технічними характеристиками в потоці, впливає як на змінюваність повітряної обстановки, так і на технологію роботи диспетчера аеродромної диспетчерської вишки в цілому, аж до зміни часу виконання технологічних операцій при управлінні повітряним рухом. Це, в свою чергу, дозволило привнести в систему динамічну й стохастичну складові та провести експеримент із еталонною моделлю суб'єкта навчання для перевірки її адекватності.

Перелік використаних джерел:

1. Горбунова Л.И. Использование информационных технологий в процессе обучения / Л.И. Горбунова, Е.А. Субботина // Молодой ученый. – 2013. – № 4. – С. 544-547.
2. Піліпюнок О.М. Метод підвищення якості управління повітряними суднами операторами систем навігаційного обслуговування й управління рухом [Текст] : дис... канд. техн. наук : 05.22.13 / Піліпюнок Оксана Миколаївна. – Кропивницький, 2017. – 265 с.
3. Джума Л.Н. Моделирование потока воздушных судов в зоне ответственности диспетчера Tower / Л.Н. Джума, О.Н. Пилипёнок // Научные записки Украинского научно-исследовательского института связи. – К. : Украинский НИИ связи, 2015. – № 5 (39). – С. 93- 97.
4. Dzhuma L. Revealing the Regularities Related to the Professional Activities of the Air Traffic Controller of Airport Traffic Control Tower / L. Dzhuma, O. Dmitriiev, O. Lavrynenko, M. Soroka // Technology Audit and Production Reserves. – 2021. – Vol. 3, № 2 (59). – Pp. 29-40. – Mode of access: <https://doi.org/10.15587/2706-5448.2021.235456>.
5. Кнут Д.Э. Искусство программирования : в 4 т. / Д.Э. Кнут. – М. : Вильямс, 2002. – 1 т. – (Основные алгоритмы). – 720 с.
6. Given L.M. The SAGE encyclopedia of qualitative research methods / Lisa M. Given. – Thousand

- Oaks, CA: SAGE Publications, Inc., 2008. – Vol. 2. – 1014 p. – Mode of access: <https://doi.org/10.4135/9781412963909>.
7. Слеповичев И.И. Генераторы псевдослучайных чисел / И.И. Слеповичев. – Саратов: СГУ, 2017. – 117 с.
 8. Калинин А.А. Разработка алгоритмов с использованием принципов ООП на языке С# : учебно-методическое пособие / А.А. Калинин. – М. : МГУП имени Ивана Федорова, 2014. – 106 с.
 9. Егоркина А.В. Метод оптимизации расстановки воздушных судов по местам стоянок на поверхности аэродрома в составе имитационной модели аэродрома / А.В. Егоркина, К.А. Вересов // Имитационное моделирование. Теория и практика. – 2017. – №. 2. – С. 368-373.
 10. Кулида Е.Л. Система анализа алгоритмов оптимизации последовательности и времен посадок прибывающих воздушных судов / Е.Л. Кулида // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2020. – 2020. – С. 1528-1534.

References:

1. Gorbunova L.I., Subbotina E.A. Ispol'zovanie informatsionnykh tekhnologii v protsesse obucheniia [The use of information technology in the education process]. *Molodoi uchenyi – Young Scientist*, 2013, no. 4, pp. 544-547. (Rus.)
2. Dzhuma L.N., Pilipenok O.N. Modelirovanie potoka vozdushnykh sudov v zone otvetstvennosti dispetchera Tower [Modeling of the air traffic flow in the area of Tower controller's responsibility]. *Nauchnye zapiski Ukrainського nauchno-issledovatel'skogo instituta svyazi – Scientific proceeding of Ukrainian research institute of communication*, 2015, no. 5 (39), pp. 93-97. (Rus.)
3. Pilip'onok O.M. *Metod pidvishchennia iakosti upravlinnia povitrianimi sudhami operatorami sistem navigatsiinogo obslugovuvannia i upravlinnia rukhom*. Diss. kand. techn. nauk [Method of improving the aircraft management of operators of the navigation service systems and traffic control Cand. tech. sci. diss.]. Kropivnits'kii, 2017. 265 p. (Ukr.)
4. Dzhuma L., Dmitriiev O., Lavrynenko O., Soroka M. Revealing the Regularities Related to the Professional Activities of the Air Traffic Controller of Airport Traffic Control Tower. *Technology Audit and Production Reserves*, vol. 3, no. 2 (59), 2021, pp. 29-40. doi: **10.15587/2706-5448.2021.235456**.
5. Knut D.E. *Iskusstvo programmirovaniia*. Tom 1. Osnovnye algoritmy [The Art of Computer Programming. Volume 1. Fundamental Algorithms]. Moscow. Vil'iams Publ., 2002, no. 3. 720 p.
6. Given L.M. The SAGE encyclopedia of qualitative research methods. Vol. 2. Thousand Oaks, CA, SAGE Publications, Inc., 2008. 1014 p. doi: **10.4135/9781412963909**.
7. Slepovichev I.I. *Generatory psevdosluchainykh chisel* [Pseudo-random number generators]. Saratov, SGU Publ., 2017. 117 p. (Rus.)
8. Kalinin A.A. *Razrabotka algoritmov s ispol'zovaniem printsipov OOP na iazyke S# : uchebno-metodicheskoe posobie* [Development of algorithms using the principles of object-oriented programming in C #: a tutorial]. Moscow, Moscow State Unitary Enterprise named after Ivan Fedorov Publ., 2014. 106 p. (Rus.)
9. Egorkina A.V., Veresov K.A. Metod optimizatsii rasstanovki vozdushnykh sudov po mestam stoyanok na poverkhnosti aerodroma v sostave imitatsionnoi modeli aerodroma [Method of optimization of aircraft placement by parking areas on the surface of an aerodrome as part of a simulation model of an aerodrome]. *Imitatsionnoe modelirovanie. Teoriia i praktika – Simulation modeling. Theory and practice*, 2017, no. 2, pp. 368-373. (Rus.)
10. Kulida E.L. Sistema analiza algoritmov optimizatsii posledovatel'nosti i vremen posadok pribyvaiushchikh vozdushnykh sudov [System for analyzing algorithms for optimizing the sequence and landing times of arriving aircraft]. *Upravlenie razvitiem krupnomasshtabnykh sistem MLSD'2020 – Managing the development of large-scale systems MLSD'2020*, 2020, pp. 1528-1534. (Rus.)

Рецензент: Ю.В. Сікірда
канд. техн. наук, доц., ЛА НАУ

Стаття надійшла 01.03.2021