

**Сало Н.А.** *Льотна академія Національного авіаційного університету, Кропивницький*  
**Яценко К.Г.** *Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків*  
**Гогонянц С.Ю.** *Національний університет оборони України імені Івана Черняхівського, Київ*

## МОДЕЛЬ ПІДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПІДХОДУ

*Диспетчери управління повітряним рухом є ключовим елементом системи управління повітряним рухом, посадовими особами від компетенцій та навченості яких залежить безпека польотів цивільної авіації. В статті показано, що підготовка диспетчерів управління повітряним рухом є складним завданням. Використання інтелектуальних навчальних систем є сучасною тенденцією до вдосконалення навчальної діяльності. Однією з головних проблем традиційних досліджень в сфері інтелектуальних навчальних систем є проблема моделювання знань та розуміння осіб, які навчаються. За умови, коли формування ефективної системи підготовки диспетчерів повітряного руху є важливим завданням, актуальним є розроблення моделей підготовки в інтелектуальній навчальній системі підготовці для підвищення ефективності процесу навчання. Потужним інструментарієм рішення даного завдання є використання агенто-орієнтованого підходу. На практиці при складанні плану підготовки диспетчерів управління повітряним рухом без урахування моделі, що описує процес формування і втрат рівня підготовки, можливі ситуації, коли рівень підготовки опускається нижче за мінімальний рівень, що означає нездатність диспетчера управління повітряним рухом забезпечувати безпеку польотів цивільної авіації. Доведено, що при складанні плану підготовки рівень для кожного заходу необхідно розраховувати з урахуванням проведених раніше заходів, які створюють для нього інформаційну базу і безпосередньо впливають на ефективність його проведення. Це дає можливість підвищити рівень підготовки не збільшуючи витрати на проведення кожного заходу підготовки і плану підготовки в цілому.*

*В статті розроблена модель підготовки диспетчерів управління повітряним рухом, яка ґрунтується на агенто-орієнтованому підході та дозволяє підвищити ефективність навчання за рахунок контролю рівня знань, умінь і навичок. Застосування даної моделі доцільно в інтелектуальних навчальних системах – модулях планування підготовки. Напрямими подальших досліджень є синтез методу складання розкладів занять для диспетчерів управління повітряним рухом з урахуванням даної моделі, а також процедур побудови онтологій навчальних дисциплін.*

**Ключові слова:** *агенто-орієнтований підхід, диспетчер управління повітряним рухом, модель підготовки, інтелектуальна навчальна система.*

**Salo N.** *Flight Academy of the National Aviation University, Kropyvnytskyi*  
**Yatsenko K.** *Kharkiv National Air Force University, Kharkiv*  
**Hohonians S.** *Ivan Cherniakhovskiy National Defense University of Ukraine, Kyiv*

## TRAINING MODEL FOR AIR TRAFFIC CONTROLLERS USING A MULTI-AGENT APPROACH

*Air traffic control dispatchers are a key element of the air traffic control system, officials on whose competence and education depends on the safety of civil aviation flights. The article shows that training air traffic controllers is a complex task. The use of intelligent teaching systems is a modern trend towards improving educational activities. One of the main problems of traditional research in the field of intelligent learning systems is the problem of modeling the knowledge and understanding of people who are learning. Provided that the formation of an effective training system for air traffic controllers is an important task, the development of training models in an intelligent training system to improve the effectiveness of the training process is relevant. A powerful tool for solving this problem is the use of an agent-based approach. In practice, when preparing a training plan for air traffic control dispatchers without taking into account the model that describes the formation and loss of the training level, there may be situations when the level of training falls below the minimum level, which means the inability of the air traffic control dispatcher to*

*ensure the safety of civil aviation flights. It is proved that when drawing up a preparation plan, the level for each event must be calculated taking into account the previous activities that create an information base for it and directly affect the effectiveness of its implementation. This makes it possible to increase the level of training without increasing the costs of each training event and the training plan as a whole.*

*The article has developed a training model for air traffic control dispatchers based on an agent-based approach and can improve training efficiency by controlling the level of knowledge, skills and abilities. The use of this model is advisable in intelligent learning systems - training planning modules. The directions of further research are the synthesis of the method of scheduling classes for air traffic controllers taking into account this model, as well as the procedures for constructing ontologies of academic disciplines.*

**Keywords:** *agent-based approach, air traffic control dispatcher, training model, intelligent learning system.*

**Сало Н.А.** *Лётная академия Национального авиационного университета, Кропивницький*

**Яценко К.Г.** *Харьковский национальный университет Воздушных Сил имени Ивана Кожедуба, Харьков*

**Гогоняц С.Ю.** *Национальный университет обороны Украины имени Ивана Черняховского, Киев*

## **МОДЕЛЬ ПОДГОТОВКИ ДИСПЕТЧЕРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МУЛЬТИАГЕНТНОГО ПОДХОДА**

*Диспетчеры управления воздушным движением являются ключевым элементом системы управления воздушным движением, должностными лицами от компетенций и образованности которых зависит безопасность полетов гражданской авиации. В статье показано, что подготовка диспетчеров управления воздушным движением является сложной задачей. Использование интеллектуальных обучающих систем является современной тенденцией к совершенствованию учебной деятельности. Одной из главных проблем традиционных исследований в области интеллектуальных обучающих систем является проблема моделирования знаний и понимания лиц, которые обучаются. При условии, что формирование эффективной системы подготовки диспетчеров воздушного движения является важной задачей, актуальным является разработка моделей подготовки в интеллектуальной обучающей системе подготовке для повышения эффективности процесса обучения. Мощным инструментарием решения данной задачи является использование агентно-ориентированного подхода. На практике при составлении плана подготовки диспетчеров управления воздушным движением без учета модели, описывающей процесс формирования и потерь уровня подготовки, возможны ситуации, когда уровень подготовки опускается ниже минимального уровня, что означает неспособность диспетчера управления воздушным движением обеспечивать безопасность полетов гражданской авиации. Доказано, что при составлении плана подготовки уровень для каждого мероприятия необходимо рассчитывать с учетом проведенных ранее мероприятий, которые создают для него информационную базу и непосредственно влияют на эффективность его проведения. Это дает возможность повысить уровень подготовки не увеличивая расходы на проведение каждого мероприятия подготовки и плана подготовки в целом.*

*В статье разработана модель подготовки диспетчеров управления воздушным движением, основанная на агентно-ориентированном подходе и позволяет повысить эффективность обучения за счет контроля уровня знаний, умений и навыков. Применение данной модели целесообразно в интеллектуальных обучающих системах - модулях планирования подготовки. Направлениями дальнейших исследований является синтез метода составления расписаний занятий для диспетчеров управления воздушным движением с учетом данной модели, а также процедур построения онтологий учебных дисциплин.*

**Ключевые слова:** *агентно-ориентированный подход, диспетчер управления воздушным движением, модель подготовки, интеллектуальная обучающая система.*

### **1. Вступ**

Навчання, як проблемна область, що включає педагогічні і психологічні знання, у даний час слабо формалізована. Для рішення зазначеної проблеми актуально застосування концепцій і методів штучного інтелекту. Ключова проблема при побудові систем, заснованих

на знаннях, полягає в тому, як представляти, поповнювати і використовувати знання, які мають об'єкти та суб'єкти навчання, з урахуванням того, що ці знання є неточними, невизначеними і нечіткими. Диспетчери управління повітряним рухом (УПР) є ключовим елементом системи управління повітряним рухом, посадовими особами від компетенцій та навченості яких залежить безпека польотів цивільної авіації. Задача планування підготовки шляхом складання розкладів занять та отримання взаємозв'язків дисциплін представляє собою модифіковану задачу управління проектом з обмеженнями на ресурси (resource constrained project scheduling problem, RCPSP) зі специфічними ресурсними і часовими вимогами. За умови, коли формування ефективної системи підготовки диспетчерів повітряного руху є важливим завданням, актуальним є розроблення моделей підготовки в інтелектуальній навчальній системі підготовці для підвищення ефективності процесу навчання. Потужним інструментарієм рішення даного завдання є використання агенто-орієнтованого підходу.

## 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

Для розв'язання задачі планування підготовки диспетчерів УПР застосовують точні та наближені методи. До першого класу відносяться: метод прямого перебору, метод гілок та границь, метод динамічного програмування, графічний метод, метод мережевого програмування, програмування в обмеженнях й інші.

Значний внесок у створення, розвиток і дослідження точних методів рішення був внесений наступними представниками: Р. Brucker, R.E. Bellman, A.H. Land, В.С. Танаєвим, М.Я. Ковальовим, В.Н. Бурковим, В.В. Шкурбой, Ю.С. Федосенко та багатьма іншими. До наближених методів відносяться: пошук із заборонами (Tabu search), метод локального пошуку, мультиагентні системи, генетичні алгоритми, метод мурашиних колоній, нейронні мережі, апроксимаційні схеми, різні варіації часткового і спрямованого перебору, а також сучасні евристичні правила, що надають можливість генерувати розклади для задач великої розмірності за необхідний час. Наближені алгоритми застосовуються, коли пошук точного рішення неможливий у зв'язку з великою розмірністю задачі.

Значний внесок у створення, розвиток і дослідження евристичних алгоритмів був внесений: W.H. Kohler, L. Wolsey, Ю.А. Кочетовим, Е.О. Мухачевою, І.Х. Сигалом, М.А. Посипкіним, А.А. Корбутом, К.В. Рудаковим, В.Р. Хачатуровим.

## 3. Мета дослідження

Метою статті є розроблення моделі підготовки диспетчерів УПР із застосуванням мультиагентного підходу.

## 4. Основні наукові результати

У інтелектуальних начальних системах (ІНС) підготовки диспетчерів УПР виділимо наступні типи знань:

- знання про предмет навчання;
- знання про суб'єкта навчання;
- знання про стратегію навчання;
- лінгвістичні знання.

Інформація в ІНС структурована таким чином, що вона описує стандартну ситуацію навчання. В якості такої структури в системі використовується фрейм. У зв'язку з тим, що навчання можна представити як процес переходу з однієї ситуації в іншу, мережа фреймів моделює зазначений процес. Управління в системі засновано на заданих викладачем стратегіях навчання і на обробці подій. Стратегії навчання задаються у виді мережі переходів між фреймами.

В ІНС підготовки диспетчерів УПР, можна виділити дві основні моделі:

- модель учня;
- модель вчителя.

Основне призначення моделей – це формування навчальних впливів, що ґрунтуються на знаннях про психофізіологічний, психологічних і інтелектуальні здібності учня, а також на знаннях про попередні результати навчання [1]. Модель учня може бути реалізована у

виді двох баз знань: психодіагностичної і педагогічної. Перша представляє собою мережу фреймів. Друга база знань заснована на мережових представленнях про траєкторії руху при виконанні програми навчання по різним темам. Модель вчителя може бути представлена базою знань про вивчені теми і систему правил навчальних впливів. Знання про вивчені теми формалізовані у виді мережі фреймів, а слотами є варіанти подання інформації. Правила педагогічних впливів – це правила продукцій, ліва частина яких містить значення параметрів типу учня, а також координати точки проходження теми, а в правій частині правила утримуються варіанти подання інформації.

Мультиагентна система навчання задається четвіркою [2]:

$$S = \langle X, R, A, O \rangle, \quad (1)$$

де  $X$  – множина агентів,  $R$  – множина відношень між агентами;  $A$  – множина дій, що виконуються даними агентами;  $O$  – середовище агентів.

Задамо множину типів агентів та позначимо їх ролі:

$X = \{ \text{Агент-Викладач, Агент-Учень, Агент-Психолог, Агент-Методист, Агент-Адміністратор} \}$ .

Агент-Викладач представлений у ІНС основними компонентами:

- пізнавальною картою курсу (ПКК) і дозволом на користування цією картою. ПКК – це гіперграф, вершинами якого є вузли предметної області в розглянутому курсі, розкладені на модулі і теми; а дуги – відносини між усіма частинами ПКК. Декомпозиція предметної області відбувається на основі механізмів цілеполягання і таксації мети. Кожен модуль складається з кадрів – квантів інформації. Використання ПКК задається за допомогою сценаріїв, що реалізуються в конкретній організаційній формі взаємодії через кадри. Сценарії зберігаються в базі знань;

- психологічними параметрами (психосемантична карта сприйняття освітнього процесу, стиль викладацької діяльності, параметри функціонального стану).

Агент-Учень представлений наступними основними компонентами:

- психологічними параметрами (психосемантична карта сприйняття освітнього процесу, стиль навчальної діяльності, володіння типами розумових операцій, тривожність, мотивація, мислення, функціональний стан і ведуча репрезентативна система);

- соціологічними параметрами;

- статистично-когнітивними параметрами (інформація про пройдені теми, модулі, заняття, час, що витрачений на їх проходження і відповіді, індивідуальна траєкторія навчання (ІТН); знання і незнання в кожній точці ПКК та ІТН, виражені в успішності рішення завдань визначених таксонів; індивідуальний рейтинг успішності освоєння предмета; загальний рейтинг у групі).

Агент-психолог представлений наступними основними компонентами:

- тестами (на всі психологічні і соціологічні параметри викладача і учня);

- базою рекомендацій (рекомендації з оптимізації стилю навчальної діяльності і поточного функціонального стану, індивідуалізовані установки і підкріплення до і після рішення педагогічних завдань, рекомендації з оптимальної взаємодії в групі).

- алгоритмами реалізації рекомендацій (алгоритми конструювання функціонального стану потоку, індивідуалізації по психологічних і соціологічних параметрах, семантичної диференціації сприйняття складової освітнього процесу).

Агент-Методист представлений наступними основними компонентами:

- загальнометодологічними знаннями щодо проектування навчального курсу і всіх його складових;

- рекомендаціями щодо проектування курсу (побудова ПКК, таксономія і декомпозиція цілей навчання, створення завдань для визначеного таксона).

- алгоритмами (алгоритми реалізації рекомендацій із проектування курсу, аналізу відповідей учнів).

Агент-Адміністратор виконує наступні функції:

- генерація, переведення у пасивний стан і ліквідація агентів.
- захист агентів від несанкціонованого доступу.
- ведення баз знань і даних.
- забезпечення взаємодії агентів.
- забезпечення адекватної поведінки ІНС в цілому.

Відносини ( $R$ ) між агентами будуються в двох координатах – вісь організаційних форм взаємодії і вісь часу. В організаційні форми включається типи занять.

Підготовка диспетчерів УПР планується на період, тривалість якого оцінюється бюджетом часу  $T_{II}$  і бюджетом коштів  $S_{II}$ , виділених на проведення підготовки.

Загальний рівень підготовки  $R^{II}$  знаходиться в діапазоні (рис. 1):

$$R_{\min}^{II} \leq R^{II} \leq R_{\max}^{II}. \quad (2)$$

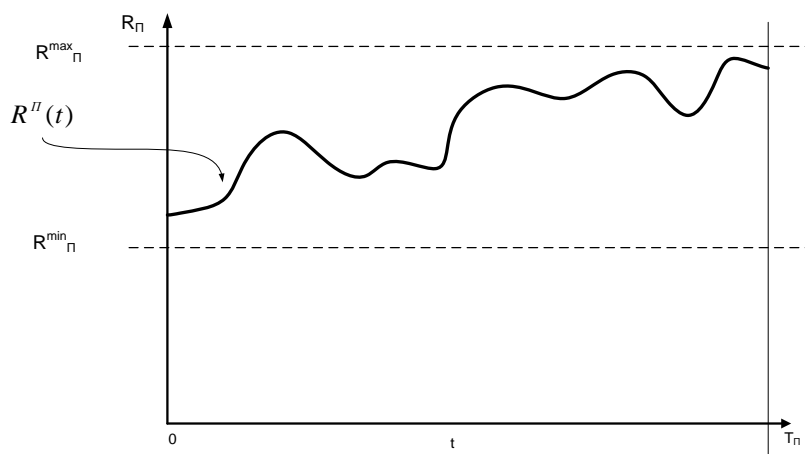


Рис. 1. Загальний рівень підготовки  $R^{II}$  як функція часу

За період  $T_{II}$  в ході проводяться різні типи навчальних занять:

$$M_i \in M, i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

де  $M$  множина всіх можливих для проведення форм підготовки (рис. 2).

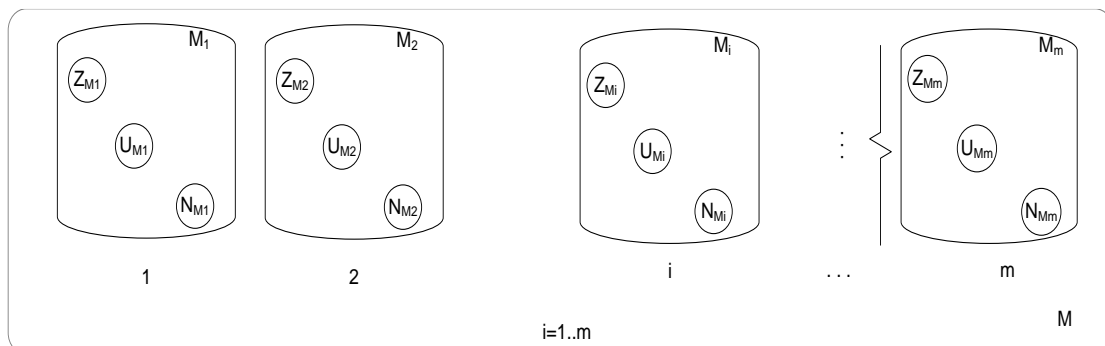


Рис. 2. Множина всіх доступних для проведення заходів підготовки

Кожен окремий захід підготовки  $M_i$  характеризується приростом знань –  $Z_{M_i} \in Z, i = \overline{1, m}$ , умінь –  $U_{M_i} \in U, i = \overline{1, m}$ , навичок –  $N_{M_i} \in N, i = \overline{1, m}$  диспетчерів

управління повітряним рухом (рис. 3), часом проведення –  $t_{M_i}^n$  і сумарною вартістю матеріально технічних засобів  $S_{M_i}$  необхідних для його проведення.

Рівень підготовки диспетчерів УПР  $R_{M_i}^{\Pi}$  як сукупність знань, умінь, навичок, що формує захід  $M_i$ , в процесі підготовки будемо визначати за формулою:

$$R_{M_i}^{\Pi} = f(Z_{M_i}, N_{M_i}, U_{M_i}). \quad (4)$$

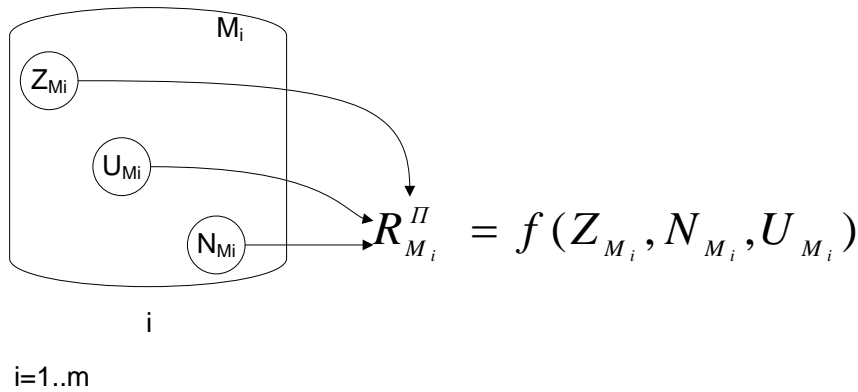


Рис.3. Рівень  $R_{M_i}^{\Pi}$ , який формує захід  $M_i$ , в процесі підготовки як функція від знань, умінь, навичок  $Z_{M_i}, N_{M_i}, U_{M_i}$

Рівні знань, умінь, навичок  $Z_{M_i}, N_{M_i}, U_{M_i}$  для кожного заходу підготовки  $M_i$  і функція  $f$  визначаються методом експертного оцінювання.

Кожен захід підготовки  $M_i$  формує інформаційну базу з деяким коефіцієнтом  $K$  (по кожному компоненту відповідно  $K_{Z_{M_i}}, K_{U_{M_i}}, K_{N_{M_i}}$ ) для проведення інших заходів підготовки.

Таким чином, рівень знань, умінь, навичок  $Z_{M_i}, U_{M_i}, N_{M_i}$ , що формується, кожного заходу підготовки диспетчерів УПР  $M_i$ , залежить від інших, безпосередньо попередніх, підготовчих заходів підготовки, і у свою чергу, робить вплив на рівень знань, умінь, навичок, що формується подальших заходів підготовки.

Позначимо рівні знань, умінь, навичок, що формуються з урахуванням інформаційної бази, закладеної після проведення безпосередньо передуючих заходу  $M_i$  інших заходів з множини всіх можливих для проведення заходів, як,  $Z_{M_i/M}, N_{M_i/M}, U_{M_i/M}$  а сформований таким чином рівень підготовки запишемо як  $R_{M_i/M}^{\Pi}$ .

Тоді, формула (4) має вигляд

$$R_{M_i/M}^{\Pi} = f(Z_{M_i/M}, N_{M_i/M}, U_{M_i/M}). \quad (5)$$

Для урахування розглянутих взаємозв'язків заходів  $M_i$  підготовки будується матриця суміжності коефіцієнтів взаємного впливу  $K \in [0;1]$  по кожній з компонент  $Z, U, N$  коефіцієнтів взаємного впливу  $K_{Z_{M_i}}, K_{U_{M_i}}, K_{N_{M_i}}$  елементів підготовки  $M_i$ .

Матриці суміжності коефіцієнтів  $K$  складаються по переліку заходів. Кожна з них є квадратною матрицею, розмірність якої дорівнює – кількості заходів підготовки в комплексі, а рядки і стовпці відповідають елементам компонент  $Z, U, N$ .

Таким чином, з урахуванням матриць суміжності коефіцієнтів взаємного впливу прирост знань, умінь і навичок, які формує кожен захід підготовки  $M_i$  з урахуванням інформаційної бази, отриманої від проведених раніше заходів підготовки з множини  $M$ , можна записати

$$Z_{M_i/M} = Z_{M_i} + \sum_{j=1}^m Z_{M_j} \cdot K_{Z_{M_j}}, \quad (6)$$

$$U_{M_i/M} = U_{M_i} + \sum_{j=1}^m Z_{M_j} \cdot K_{U_{M_j}}, \quad (7)$$

$$N_{M_i/M} = N_{M_i} + \sum_{j=1}^m Z_{M_j} \cdot K_{N_{M_j}}. \quad (8)$$

Враховуючи вирази (6) – (8) формула (5) матиме вигляд:

$$R_{M_i/M}^{\Pi} = f \left( Z_{M_i} + \sum_{j=1}^m Z_{M_j} \cdot K_{Z_{M_j}}, U_{M_i} + \sum_{j=1}^m Z_{M_j} \cdot K_{U_{M_j}}, N_{M_i} + \sum_{j=1}^m Z_{M_j} \cdot K_{N_{M_j}} \right). \quad (9)$$

Використовуючи формули (6) – (8) можна визначити рівень підготовки  $R_{M_i/M}^{\Pi}$  з урахуванням інформаційної бази, отриманої від проведених раніше заходів підготовки диспетчерів УПР з множини  $M$  для будь-якого заходу  $M_i$  при плануванні підготовки.

На практиці при складанні плану підготовки диспетчерів УПР без урахування моделі, що описує процес формування і втрат рівня підготовки, можливі ситуації, коли рівень підготовки  $R^{\Pi}$  опускається нижче за мінімальний рівень  $R_{\min}^{\Pi}$ , що означає нездатність диспетчера УПР забезпечувати безпеку польотів цивільної авіації (рис. 4).

Інтерпретуємо даний математичний апарат в термінах задачі планування підготовки. Кожен захід  $M_i$  в плані підготовки характеризується часом початку і тривалістю заходу підготовки.

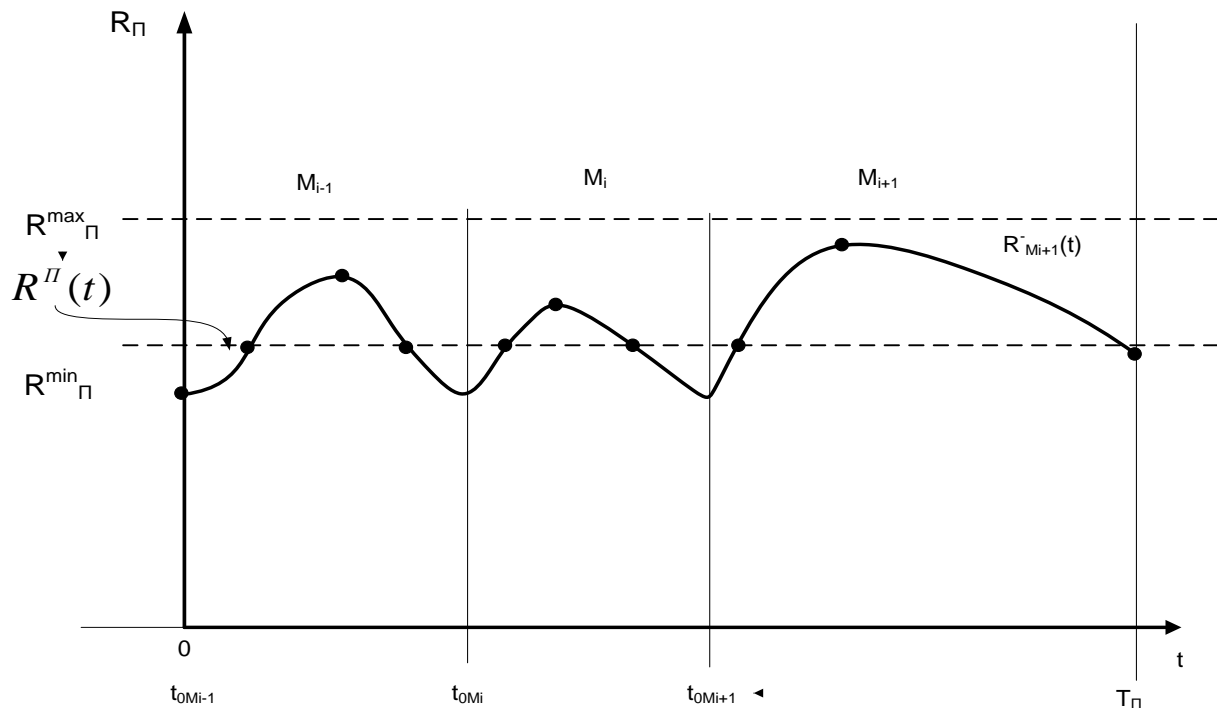


Рис. 4. Рівень підготовки диспетчерів УПР як функція часу

Після виконання заходу, рівень підготовки збільшується на величину  $R_{M_i}^{II}$  за час  $t = t_{M_i}^0$ . Процес збільшення рівня підготовки  $R_{M_i}^{II}$  описується функцією  $R_{M_i}^{II+}$ . Після виконання заходу підготовки  $M_i$  рівень підготовки  $R_{M_i}^{II}$  починає знижуватися, що описується функцією втрат  $R_{M_i}^{II-}$ .

Тобто, при проведенні  $M_i$  заходу підготовки, рівень підготовки  $R^{II}$  збільшується в динаміці часу  $t = t_{M_i}^0$  відповідно до функції приросту  $R_{M_i}^{II+}$  і, потім рівень  $R^{II}$  зменшується відповідно до функції  $R_{M_i}^{II-}$ .

Знаючи для кожного заходу підготовки  $M_i$  функції,  $R_{M_i}^{II+}$ ,  $R_{M_i}^{II-}$  і тривалість заходу, можна для кожного заходу  $M_i$  визначити його оптимальний час початку  $t_{M_i}^0$ , так, щоб  $R_{\min}^{II} \leq R^{II} \leq R_{\max}^{II}$ , або хоча б  $R_{\min}^{II} \leq R^{II}$ . При складанні плану підготовки рівень  $R_{M_i}^{II}$  для кожного  $M_i$  заходу необхідно розраховувати з урахуванням проведених раніше заходів, які створюють для нього інформаційну базу і безпосередньо впливають на ефективність його проведення. Це дає можливість підвищити рівень підготовки не збільшуючи витрати  $S_{M_i}$  на проведення кожного заходу підготовки  $M_i$  і плану підготовки в цілому (рис. 5).

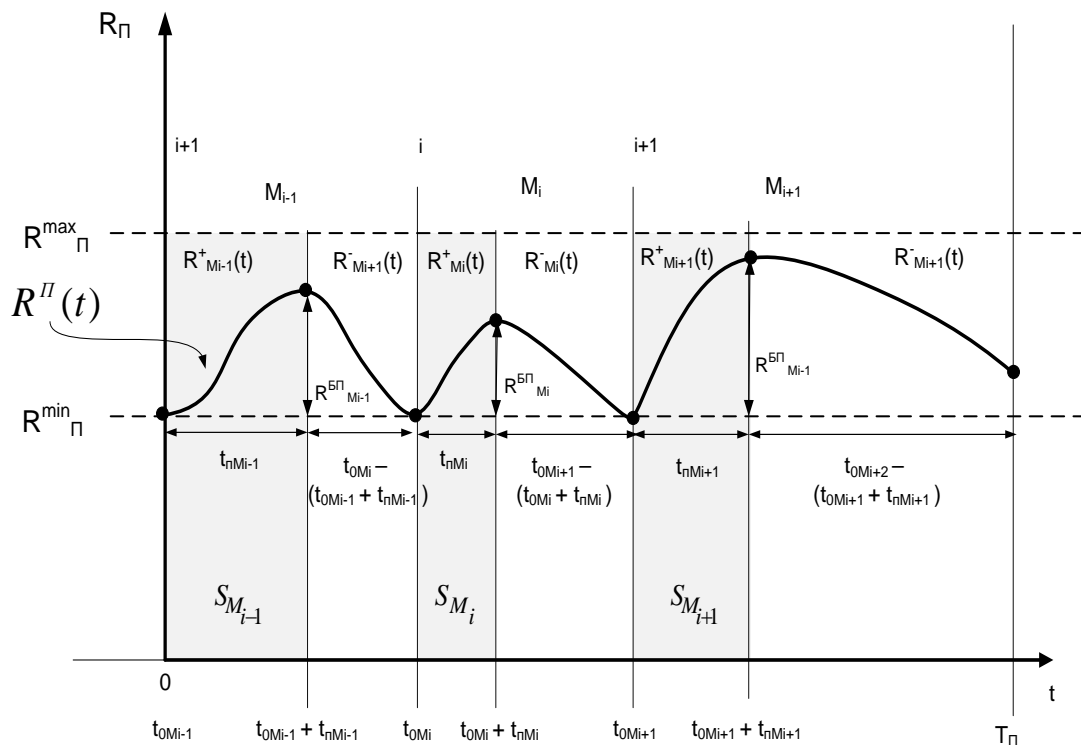


Рис. 5. Процес планування підготовки з урахуванням параметрів заходів, які проводяться

Формалізуємо задачу планування підготовки диспетчерів УПР в термінах побудованої математичної моделі.

1. Під планом підготовки надалі розумітимемо впорядковану на тимчасовому інтервалі  $[0, T_{II}]$  послідовність  $P^{II}$  заходів підготовки диспетчерів УПР  $M_i \in M, i = \overline{1, m}$ .

2. Довжина послідовності 1, це кількість заходів підготовки (або кроків), які необхідно виконати за планом підготовки, або складність плану.

3. Вихідними даними для планування підготовки є:

- $T_{II}$  час підготовки (період планування);
- $S_{II}$  бюджет що, виділений на проведення підготовки;



- допустимий рівень підготовки  $R^{\Pi}$  ( $R_{\min}^{\Pi} \leq R^{\Pi} \leq R_{\max}^{\Pi}$ ), задається у вигляді інтервалу  $[R_{\min}^{\Pi}; R_{\max}^{\Pi}]$ ;

- перелік заходів підготовки  $M_i \in M, i = \overline{1, m}$ , де для кожного заходу має бути вказаний приріст знань –  $Z_{M_i} \in Z, i = \overline{1, m}$ , умінь –  $U_{M_i} \in U, i = \overline{1, m}$ , навичок –  $N_{M_i} \in N, i = \overline{1, m}$  тривалість заходу – час, сумарна вартість матеріально-технічних засобів  $S_{M_i}$  необхідних для його проведення;

- функція  $R_{M_i}^{\Pi} = f(Z_{M_i}, N_{M_i}, U_{M_i})$  для визначення загального формованого рівня підготовки сукупності знань, умінь, навичок;

- функція зростання  $R_{M_i}^{\Pi+}(t)$  для опису процесу збільшення рівня підготовки диспетчерів УПР при проведенні заходу  $M_i$ ;

- функція втрат  $R_{M_i}^{\Pi-}(t)$  для опису процесу зниження рівня підготовки диспетчерів УПР після виконання заходу підготовки  $M_i$ ;

- матриці коефіцієнтів суміжності заходів підготовки  $K \in [0; 1]$  по кожній з компонент  $Z, U, N$  коефіцієнтів взаємного впливу  $K_{Z_{M_i}}, K_{U_{M_i}}, K_{N_{M_i}}$  елементів підготовки  $M_i$ .

4. Номер заходу в плані підготовки диспетчерів УПР (або кроку) позначимо  $k = \overline{1, l}$ .

5. Окремий пункт (крок) плану підготовки диспетчерів УПР позначимо як  $P_k^{\Pi}$ , а в плані він може бути представлений наступним чином:

6. Позначимо  $d(P_{k-1}^{\Pi}, P_k^{\Pi}) = t_{M_i^k}^0 - t_{M_i^{k-1}}^0$  – як відстань (час) між суміжними кроками плану підготовки диспетчерів УПР.

7. Задача планування полягає у виборі такої послідовності  $P^{\Pi}$  заходів підготовки диспетчерів УПР  $M_i \in M, i = \overline{1, m}$ , на часовому інтервалі  $[0, T_{\Pi}]$ , яка забезпечувала б такий рівень підготовки диспетчерів УПР  $R^{\Pi}$ , коли інтервал часу між заходами максимальний, а забезпечений ними рівень підготовки  $R^{\Pi}$  знаходиться в заданих межах, або не нижче необхідного рівня

$$P^{\Pi} \Rightarrow M_i^1, M_i^2, \dots, M_i^k, \dots, M_i^l \in M, i = \overline{1, m} \quad k = \overline{1, l}. \quad (10)$$

З множини можливих варіантів  $M_i \in M, i = \overline{1, m}$  вибирають такі, які забезпечували  $R^{\Pi} \in [R_{\min}^{\Pi}, R_{\max}^{\Pi}]$  при обмеженнях:

- за сумарними витратами на проведення заходів підготовки диспетчерів УПР;
- за сумарними часовими витратами на проведення заходів за планом підготовки диспетчерів УПР і інтервалами часу між заходами:

Рішення даного завдання можливе методом динамічного програмування або евристичними методами.

## 5. Висновки

Таким чином, в статті розроблена модель підготовки диспетчерів управління повітряним рухом, яка ґрунтується на агенто-орієнтованому підході та дозволяє підвищити ефективність навчання за рахунок контролю рівня знань, умінь і навичок. Застосування даної моделі доцільно в інтелектуальних навчальних системах – модулях планування підготовки. Напрямами подальших досліджень є синтез методу складання розкладів занять для диспетчерів УПР з урахуванням даної моделі, а також процедур побудови онтологій навчальних дисциплін.

**Список використаної літератури**

1. Верещагін І.І. Автоматизований синтез і моделі гнучких комп'ютерних професійних тренажерів широкого призначення: автореф. дис ... канд. техн. наук: 05.13.06 / Верещагін Ігор Іванович; НАН України. К.: , 2007. 20 с.
2. Жданов И.С., Шабалина О.А. Интеллектуальное управление процессом разработки учебных проектов. Высшее профессиональное образование в современной России: перспективы, проблемы, решения: матер, междунар. н.-мет. конф.: в рамках Междунар. науч. симпоз., посвящ. 140-лет. МГТУ МАМИ /МГТУ МАМИ и др. Секц.5. 2005. С. 40–41.
3. Литвин В.В. Мультиагентні системи підтримки прийняття рішень, що базуються на прецедентах та використовують адаптивні онтології. Штучний інтелект. 2009. № 2. С. 24–33.
4. Ломакіна М.Є., Суркова К.В., Сурков К.Ю. Засоби корекції професійної підготовки майбутніх авіадиспетчерів. Науковий вісник Льотної академії. Серія: Педагогічні науки: зб. наук. пр. 2018. Вип. 4. С. 138–144.
5. Musatova E.G., Lazarev A.A., Ponomarev K.V., Yadrentsev D.A., Bronnikov S.V., Khusnullin N.F. A Mathematical Model for the Astronaut Training Scheduling Problem. IFAC-PapersOnLine. 2016. Vol. 49, No. 12. P. 221–225.
6. Гафаров Е.Р. Графический метод решения задач комбинаторной оптимизации. Автоматика и Телемеханика. 2016. № 12. С. 26–36.
7. Jaemin Choi, Matthew J. Realf, Jay H. Lee. Dynamic programming in aheuristically confined state space: a stochastic resource-constrained projectscheduling application. Computers and Chemical Engineering. 2004. Vol. 28 (6). P. 1039–1058.
8. Palpant M., Artigues C., Michelon P. Lssper: Solving the resource–constrainedproject scheduling problem with large neighbourhood search. Technical ReportLIA report 255, Laboratoire d'Informatique d'Avignon. 2003.
9. Kovalev M.M. Models and methods of scheduling. Lectures. Minsk, Publishinghouse BSU. 2004. P. 234–253.
10. Хачатуров В.Р., Веселовский В.Е., Злотов А.В. и др. Комбинированные методы и алгоритмы решения задач дискретной оптимизации большой размерности. М.: Наука, 2000. 360 с.
11. Glover Fred W., Gary A. Kochenberger. Handbook of metaheuristics. SpringerScience & Business Media, 2003. 557 p.
12. Pape C. Le. Implementation of resource constraints in ILOG SCHEDULE: a library for the development of constraint-based scheduling systems. IntelligentSystems Engineering. 1994. Vol. 3. P. 55–66.

**References**

1. Vereshchahin, I.I. (2007), *Automated synthesis and models of flexible computer professional simulators for general purposes: Author's thesis*, NAN Ukrainy, Kiev, 20 p.
2. Zhdanov, I.S., and Shabalina, O.A. (2005), "Intellectual'noe upravlenie protsessom razrabotki uchebnykh proektov"[Intelligent management of the development of educational projects], *Higher professional education in modern Russia: prospects, problems, solutions: mater, int. N.-met. Conf. : within the framework of the International scientific sympos., ded. 140 years old. MSTU MAMI*, Section 5, pp. 40–41.
3. Lytvyn, V.V. (2009), "Mulyahentni systemy pidtrymky pryiniattia rishen, shcho bazuiutsia na pretsedentakh ta vykorystovuiut adaptivni ontolohii" [Case-based multi-agent decision support systems using adaptive ontologies], *Artificial Intelligence*, No. 2, pp. 24–33.
4. Lomakina, M.Ie., Surkova, K.V., and Surkov, K.Iu. (2018), "Zasoby korektsii profesiinoi pidhotovky maibutnykh aviadyspetcheriv" [Correction tools for the training of future air traffic controllers], *Scientific Bulletin of the Flight Academy. Series: Pedagogical sciences: collection of scientific papers*, Vol. 4, pp. 138–144.

5. Musatova, E.G., Lazarev, A.A., Ponomarev, K.V., Yadrentsev, D.A., Bronnikov S.V. and Khusnullin, N.F. (2016), "A Mathematical Model for the Astronaut Training Scheduling Problem", *IFAC-PapersOnLine*, Vol. 49, No. 12, pp. 221–225.
6. Gafarov, E.R. (2016), "Graficheskii metod resheniya zadach kombinatornoi optimizatsii" [Graphic method for solving combinatorial optimization problems], *Automation and Telemekhanics*, No. 12, pp. 26–36.
7. Jaemin Choi, Matthew J. Realff and Jay H. Lee (2004) Dynamic programming in a heuristically confined state space: a stochastic resource-constrained project scheduling application *Computers and Chemical Engineering*, Vol. 28 (6), pp. 1039–1058.
8. M. Palpan, C. Artigues, and P. Michelon. (2003), "Lssper: Solving the resource-constrained project scheduling problem with large neighbourhood search". *Technical Report LIA report 255, Laboratoire d'Informatique d'Avignon*, Avignon.
9. Kovalev, M.M. (2004) "Models and methods of scheduling", *Lectures*, pp. 234–253.
10. Khachaturov, V.R., Veselovskii, V.E., Zlotov A.V. and dr. (2000), "*Kombinirovannye metody i algoritmy resheniya zadach diskretnoi optimizatsii bol'shoi razmernosti*" [Combined methods and algorithms for solving discrete optimization problems of large dimension], Nauka, Moscow, 360 p.
11. Glover, Fred W. and Kochenberger, Gary A. (2003), "*Handbook of metaheuristics*", Springer Science & Business Media, 557 p.
12. Pape C. Le (1994), "Implementation of resource constraints in ILOG SCHEDULE: a library for the development of constraint-based scheduling systems", *Intelligent Systems Engineering*, Vol. 3, pp. 55–66.