

УДК 681.3 (031)

Ю. О. Гунченко, С. А. Шворов, доктора техн. наук,
Халед Алаіасра, В. В. Савенчук

ПОБУДОВА ТРАЕКТОРІЙ ОБ'ЄКТІВ В ТРЕНАЖЕРАХ ДИСПЕТЧЕРІВ УПРАВЛІННЯ ПОВІТРЯНИМ РУХОМ

Анотація. Розглядається задача синтезу компромісно-оптимальних траєкторій польоту повітряних об'єктів для інтенсивної підготовки диспетчерів управління повітряним рухом в конфліктному середовищі. Описано розв'язання даної задачі методом багатокритеріального динамічного програмування. Запропонована математична модель руху повітряних об'єктів, яка заснована на побудові траєкторій за критерієм оптимальної швидкодії з використанням принципу максимуму Понтрягіна.

Ключові слова: Повітряний рух, повітряний об'єкт, компромісно-оптимальна траєкторія, тренажерна система, ефективність підготовки, конфліктне середовище

Yu. Gunchenko, S. Shvoro, ScD,
Khaled Alaiasra, V. Savenchuk

THE FORMATION OF THE TRAJECTORY OF THE OBJECTS IN THE TRAINING APPARATUS FOR THE DISPATCHERS OF THE AIR TRAFFIC CONTROL

Abstract. It's analyzed the question of the most optimal trajectory of the flying of air objects for the intensive preparation of dispatchers of the air traffic control during conflict situations. This task is solved by the method of multicriteria dynamic programming. It is suggested the mathematic model of air objects traffic, which is based on the formation of trajectories of optimal quick action with the usage of Pontryagin's maximum principle.

Keywords: air traffic, air object, most optimal trajectory, training system, the effectiveness of training, conflict situations

Ю. А. Гунченко, С. А. Шворов, д-ра техн. наук,
Халед Алаіасра, В. В. Савенчук

ПОСТРОЕНИЕ ТРАЕКТОРИЙ ОБЪЕКТОВ В ТРЕНАЖЕРАХ ДИСПЕТЧЕРОВ УПРАВЛЕНИЯ ВОЗДУШНЫМ ДВИЖЕНИЕМ

Аннотация. Рассматривается задача синтеза компромиссно-оптимальных траекторий полета воздушных объектов для интенсивной подготовки диспетчеров управления воздушным движением в конфликтной среде. Описано решение данной задачи методом многокритериального динамического программирования. Предложена математическая модель движения воздушных объектов, которая основана на построении траекторий по критерию оптимального быстрогодействия с использованием принципа максимума Понтрягина.

Ключевые слова: Воздушное движение, воздушный объект, компромиссно-оптимальная траектория, тренажерная система, эффективность подготовки, конфликтная среда

Вступ. Одним із важливіших напрямів підвищення ефективності підготовки диспетчерів управління повітряним рухом (УПР) є рейтингова (практична) підготовка, основний обсяг якої відводиться практичній підготовці на диспетчерських тренажерах з високим ступенем реалістичності. Вона передбачає оволодіння професійними навичками, необхідними для надання конкретного виду аеронавігаційних послуг екіпажам повітряних суден.

Таких послуг є три види: аеродромне диспетчерське обслуговування, до якого відноситься управління повітряними суднами при вильоті та посадці, а також упорядкування їх руху на аеродромі; диспетчерське обслуговування повітряних суден, які маневрують для набору заданої висоти після злету або для зниження при здійсненні посадки; районне диспетчерське обслуговування – обслуговування повітряного руху на маршруті польоту заданим курсом до місця призначення [1].

Вирішення практичної задачі щодо підвищення ефективності підготовки диспетчерів УПР може бути

© Гунченко Ю.О., Шворов С.А., Халед Алаіасра,

Савенчук В.В., 2015

досягнуто за допомогою використання спеціалізованих тренажерів, які повинні «вміти» синтезувати траєкторії повітряних об'єктів з урахуванням їх технічних характеристик та можливих конфліктних ситуацій (неприпустиме наближення до іншого повітряного судна, різке зниження висоти при заході на посадку в складних погодних умовах або внаслідок пожежі на борту, відмови двигуна або терористичного захвату повітряного судна). Формування необхідної кількості імітованих конфліктних ситуацій у ході тренувань дозволить диспетчеру УПР здобути емоційну стійкість та специфічні навички, що гарантують безпеку польотів. Для імітації подібних ситуацій за допомогою тренажера необхідно розробити математичний апарат синтезу компромісно-оптимальних траєкторій руху повітряних об'єктів у конфліктному середовищі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій [2 – 4] показує, що на даний час в тренажерних системах диспетчерів УПР застосовуються імітаційні моделі дій повітряних об'єктів, в яких не в повному обсязі враховуються конфліктні ситуації. Це пов'язано з тим, що в сучасній літературі не достатньо повно ви-

світлені методи та моделі синтезу компромісно-оптимальних траєкторій руху повітряних об'єктів у конфліктному середовищі, що потребує більш детального розгляду цих питань.

Метою статті є створення та обґрунтування методики синтезу компромісно-оптимальних траєкторій руху повітряних об'єктів у конфліктному середовищі.

Напруженість та конфліктне середовище

В основу методичного підходу, що пропонується, для інтенсифікації навчання покладено те, що «внутрішня переконаність» авіадиспетчерів в обмеженості часу, що залишається на виконання навчального завдання, викликає в них стан напруженості. Якщо ж напруженість в ході тренувань не перевищує граничне значення – вплив стає організуючим. Передбачається, що загальний час тренування підрозділяється на N етапів, кожен з яких характеризується певною напруженістю роботи у конфліктних ситуаціях λ_R ($R = 1, N$), на які авіадиспетчери реагують виконанням певних операцій на АРМ. Напруженість роботи змінюється від етапу до етапу в наростаючому підсумку:

$$\lambda_1 < \lambda_2 < \dots < \lambda_R < \dots < \lambda_N. \quad (1)$$

На кожному з етапів тренування забезпечується відтворення такої мінімально-достатньої кількості конфліктних ситуацій, при якій забезпечується підготовка персоналу до необхідного прогнозованого рівня.

Моделювання траєкторій повітряних об'єктів повинно здійснюватись з урахуванням того, що повітряний об'єкт знаходиться під впливом конфліктного середовища. Під конфліктним середовищем будемо розуміти сукупність різноманітних предметів (рухомих та нерухомих), розташованих в зоні польоту, наближення повітряного об'єкта до яких небажано.

Предмети, що складають конфліктне середовище, будемо називати конфліктуючими. Як правило, конфліктне середовище складається з конфліктуючих предметів рельєфу місцевості, наявність яких в зоні пошуку оптимальної траєкторії зумовлена процесами, не зв'язаними з проходженням через цю зону повітряного об'єкта. Конфліктуючі предмети даного класу будемо називати пасивними.

Однак, при розв'язанні деяких специфічних задач синтезу компромісно-оптимальних траєкторій, доводиться мати справу з конфліктуючими предметами, що штучно або випадково встановлюються в зоні польоту для того, щоб максимально ускладнити просування повітряного об'єкта до кінцевої цільової точки. Конфліктуючі предмети цього класу будемо називати активними. До їхнього числа можна віднести наприклад, зграю птахів, появу літака-порушника режиму польоту та інше.

Таким чином, для правильного розв'язання задачі синтезу компромісно-оптимальних траєкторій об'єктів, що рухаються у конфліктному середовищі, необхідно щоб методика розрахунку цих траєкторій дозволяла враховувати та на підставі властивостей активних та пасивних конфліктуючих предметів кількісно

оцінювати вплив конфліктного середовища на траєкторію повітряного об'єкта.

Синтез траєкторій в пасивному середовищі

В праці [5] розглянута задача синтезу компромісно-оптимальних траєкторій повітряного об'єкта в пасивному конфліктному середовищі та без урахування їх тактико-технічних характеристик. Для розв'язання даної задачі запропоновано метод багатокритеріального динамічного програмування, суть якого полягає в наступному.

Відправна задача приводиться до дискретного виду. Для цього область простору станів, що нас цікавить, накривається мережею розмірністю n $N^{(1)} \times N^{(2)} \times \dots \times N^{(n)}$, при цьому вважається, що точки траєкторії руху повітряного об'єкта можуть переміщуватися тільки з одного вузла цієї мережі до іншого.

Вузли мережі, що розташовані в заборонених областях, будемо називати забороненими точками. Шукана траєкторія не може проходити через ці точки ні за яких обставин.

У вузлах мережі, які розташовані у безпосередній близькості від конфліктуючих предметів та меж заборонених зон (в тому випадку, якщо наближення до заборонених зон небажано), розміщують точки носії (y^*, x^*) потенціалу небезпеки. Усі інші вузли мережі є точками допустимої області, в якій і виконується пошук оптимальної траєкторії.

Для кількісної оцінки небезпеки наближення повітряного об'єкта до конфліктуючих предметів застосовується метод потенційних функцій [6 – 7]. В якості потенційної функції обрана функція наступного виду:

$$P(\rho) = K \cdot e^{-\alpha\rho}, \quad (2)$$

де $\rho = \sqrt{(x - x^*)^2 + (y - y^*)^2}$; (x^*, y^*) – координати точок-носіїв потенціалу небезпеки (пасивних конфліктуючих предметів); (x, y) – координати повітряного об'єкта; α та K – позитивні коефіцієнти, що визначають ступінь небезпеки наближення до тих або інших конфліктуючих предметів (задаються евристично). Далі для кожної точки з допустимої області визначається сумарний потенціал близькості до конфліктуючих предметів.

Довжина шляху характеризується довжиною переходу з рівня $j-1$ по координаті y на рівень j . При цьому вважається, що повітряний об'єкт, знаходячись в одній з допустимих точок на $j-1$ -му рівні мережі, може переходити лише в одну з допустимих точок на j -му рівні.

Довжина переходу визначається за формулою

$$L_{j-1,i}^{j,m} = \sqrt{(x_m - x_i)^2 + (y_j - y_{j-1})^2}, \quad (3)$$

де (x_i, y_{j-1}) – координати повітряного об'єкта на $j-1$ -му рівні мережі; (x_m, y_j) – координати допустимої точки на j -му рівні мережі.

Враховуючи те, що критерій, який оцінює небезпеку від зближення «свого» та «чужого» об'єктів, повинен мінімізуватися, то вибрана функція $\psi = \psi(S_{\min})$, яка убуває при зростанні відстані між ними, визначається наступним чином:

$$\psi = \exp(\mu S_{\min}), \quad (4)$$

де μ – позитивний коефіцієнт; S_{\min} – відстань між об'єктами.

Синтез оптимальної траєкторії руху в заданих умовах

Задача синтезу оптимальної траєкторії руху в заданих умовах розв'язується методом динамічного програмування з узагальненим критерієм оптимальності по нелінійній схемі компромісів. При цьому для визначення оптимального шляху в кожен m -у допустиму точку по координаті x j -го рівня по y на кожному кроці розв'язується функціональне рівняння Беллмана

$$\Phi(j, m) = \min_{i \in I_{j-1}} [\Delta\Phi_{j-1,i}^{j,m} + \Phi(j-1, i)], \quad j \in [1, J], \quad (5)$$

з граничною умовою $\Phi(0, s) = 0$, де j – кількість рівнів переходу по координаті y на мережі; I_{j-1} – кількість допустимих точок на $j-1$ -му рівні мережі; s – номер початкової точки по координаті x на нульовому рівні мережі; $\Phi(j, m)$ – сумарні втрати по узагальненому критерію оптимальності при переході з початкової точки $(0, s)$ в точку (j, m) мережі;

$\Delta\Phi_{j-1,i}^{j,m}$ – прирощення узагальненого критерію при переході з точки $(j-1, i)$ в точку (j, m) мережі.

В узагальнений критерій якості входять три приватних критерії. Перший критерій кількісно визначає ступінь небезпеки наближення до пасивних конфліктуючих предметів. Другий – характеризує довжину переходу з точки $(j-1, i)$ в точку (j, m) мережі. Третій приватний критерій визначає ступінь небезпеки наближення «чужого» повітряного об'єкта до рухомого «свого» об'єкта під час переходу з точки $(j-1, i)$ в точку (j, m) мережі.

Структура узагальненого критерію будується у відповідності з методологією нелінійної схеми компромісів [5 – 8] та визначається виразом

$$\Delta\Phi_{j-1,i}^{j,m} = \frac{P_{\max}}{P_{\max} - P_{j,m}} + \frac{L_{\max}}{L_{\max} - L_{j-1,i}^{j,m}} + \frac{\psi_{\max}}{\psi_{\max} - \psi_{j-1,i}^{j,m}}. \quad (6)$$

$$P \cos(\alpha + \varphi_{0\theta}) \cos \beta - mg \sin \theta - X_a = m \frac{dV}{dt};$$

$$P \sin(\alpha + \varphi_{0\theta}) \cos \gamma_a - mg \cos \theta + Y_a \cos \gamma_a - Z_a \sin \gamma_a = mV \frac{d\theta}{dt}; \quad (7)$$

$$P \cos(\alpha + \varphi_{0\theta}) \sin \beta \cos \gamma_a - Y_a \sin \gamma_a - Z_a \cos \gamma_a = mV \frac{d\psi}{dt}.$$

В якості оптимальної точки на рівні j вибирається та допустима точка даного рівня, якій відповідає мінімум сумарних втрат по узагальненому критерію оптимальності. Таким чином забезпечується визначення опорних точок траси польоту повітряного об'єкта.

Для побудови траєкторій польоту повітряних об'єктів між опорними точками траси та з урахуванням їх тактико-технічних характеристик пропонується використовувати математичну модель руху повітряних об'єктів, за допомогою якої забезпечується наближення розрахункових траєкторій цілей до реальної траєкторії руху повітряних об'єктів (літак, гелікоптер тощо). З цією метою розглянемо спрощену модель літака, представляючи її у вигляді керованого твердого тіла постійної маси, яке має шість ступенів свободи.

Модель руху з урахуванням моделі повітряного об'єкта

При розгляді руху такого тіла будемо мати 6 рівнянь руху з шістьма змінними параметрами, які і будуть описувати відповідні ступені свободи. Три з цих рівнянь будуть описувати рух центру ваги літака відносно певним чином обраного початку координат на $j-1$ -му рівні мережі. Інші три – рух літака відносно свого центру ваги (так звані кути Ейлера). В ці три рівняння ввійдуть, як відомі величини, всі моменти від керуючих площин літака (елеронів, рулів висоти, рулів напрямку, закрилків тощо). Фізично це припущення означає, що літак може відхилитись відносно положення рівноваги у будь-якому напрямку за незначний час.

При цьому доцільно вибирати шість наступних змінних руху повітряного об'єкта:

V – швидкість літака відносно обраного початку координат (її абсолютна довжина або модуль);

Θ – кут тангажа (кут між вектором швидкості літака та горизонтальною площиною);

Ψ – кут рискання (кут між проекцією вектора швидкості на горизонтальну площину і віссю OX);

α – кут атаки (кут між проекцією вектора швидкості на площину симетрії літака та повздовжньою віссю літака, яка проходить через центр маси повітряного об'єкта);

β – кут ковзання (кут між вектором швидкості літака і площиною симетрії).

γ_a – кут крену (кут між вертикальною до поверхні землі віссю та віссю, перпендикулярною до площини швидкості).

Математична модель руху повітряного об'єкта описується наступними рівняннями [10]:

Будемо вважати, що параметри m (маса літака), $\varphi_{об}$ (кут закріплення двигунів) – фіксовані і визначаються конкретним типом повітряного об'єкта. Також можна вважати g постійною (не залежить від висоти польоту).

Величини X_a , Y_a , Z_a – аеродинамічні сили. Вони виражаються через квадрат швидкості.

Величина P – максимальна сила тяги всіх двигунів. Вона залежить від числа двигунів, їх максимальної потужності і висоти польоту.

У моделі руху повітряного об'єкта припускається обмеженість сили тяги та перенавантаження. З цією метою розглядається тангенційна складова вектора перевантаження, що направлена перпендикулярно траєкторії польоту. Дотична складова вектора перевантаження залежить тільки від сили тяги, і будемо вважати, що вона не перевищує допустимого значення. В цьому випадку маємо наступне представлення n_g (горизонтального перенавантаження) через кут ривання Ψ і n_v (вертикального перенавантаження) через кут тангажа Θ :

$$\frac{d\Psi}{dt} = \frac{n_g}{V} \quad \text{та} \quad \frac{d\Theta}{dt} = \frac{n_v}{V}. \quad (8)$$

Тоді загальне перенавантаження визначається за формулою

$$|n| = \sqrt{n_g^2 + n_v^2}; \quad |n| \in [0, N]. \quad (9)$$

Остаточно система диференціальних рівнянь руху повітряного об'єкта має наступний вигляд:

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = V \cos \Theta \cos \Psi; \\ \frac{dy}{dt} = V \cos \Theta \sin \Psi; \\ \frac{dz}{dt} = V \sin \Theta; \\ \frac{dV}{dt} = \frac{1}{m} (P - mg \sin \Theta - CV^2); \\ \frac{d\Theta}{dt} = \frac{n_v}{V}; \\ \frac{d\Psi}{dt} = \frac{n_g}{V}. \end{cases} \quad (10)$$

Перші 3 рівняння – це перехід від звичайної прямокутної системи координат до змінних, якими описується рух літака. Четверте рівняння – взяте з першого рівняння наведеної вище системи загальних аеродинамічних рівнянь і виражає собою залежність швидкості від сили тяги при тому чи іншому куті тангажа. Якщо $\Theta = \pi/2$ (політ вертикальний) сила тяги P взаємодіє проти сили ваги і сили лобового опору CV^2 . Якщо ж $\Theta=0$, то P взаємодіє лише проти сили лобового опору. Рівняння 5 та 6 – використовуються для врахування перенавантаження [10].

Метод розв'язання задачі синтезу траєкторії руху

Розв'язуючи дану задачу за методом, в основу якого покладено принцип максимуму Понтрягіна отримаємо ще 6 додаткових рівнянь з 6 додатковими

змінними. З умови максимуму відповідно складеного Гамільтоніану визначаються оптимальні керування P, n_g, n_v , підстановка яких в систему диференціальних рівнянь і надає замкнену систему рівнянь (кількість невідомих співпадає з кількістю рівнянь). Розв'язуючи крайову задачу для цієї системи з параметрами початкового і кінцевого стану літака отримаємо шукану траєкторію.

Ця траєкторія буде оптимальною в сенсі оптимальної швидкодії [9 – 10] й може складатися з наступних етапів:

- зменшення швидкості і просторовий маневр для виходу в напрямку на задану точку простору;
- політ з розгоном або гальмуванням літака;
- просторовий маневр для виходу в задану точку під заданим напрямом з заданою швидкістю.

Висновки. Таким чином, застосування спеціалізованих тренажерів та тренажерних систем з комплексним використанням вищезазначених моделей і методів вирішення задачі синтезу компромісно-оптимальних траєкторій руху повітряних об'єктів допоможе скоротити час на формування навчальних завдань та значно підвищити ступінь адекватності обстановки, що моделюється і, як наслідок забезпечити інтенсифікацію підготовки диспетчерів управління повітряним рухом.

Список використаної літератури

1. Підготовка в органах ОПР РСР (СОПР). [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://controller.ukrsatse.ua/index.php?act=Part&CODE=262>. – 2015 (дата доступу 26.05.2015)
2. Колотуша В. П. Напрями підвищення якості початкової підготовки диспетчерів УПП / В. П. Колотуша // Наукові записки Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Педагогічні та історичні науки. – К. : – 2011. Вид-во НПУ ім. М. П. Драгоманова. – Вип. 96. – С. 101 – 110.
3. HUMAN FACTORS: Best practices for e-learning developers in ATM. *EUROCONTROL, Edition 1.0*, 2007, 98 p. available at: [Url:http://www.ariatm.com/documents/e_LearningBP_766277.pdf](http://www.ariatm.com/documents/e_LearningBP_766277.pdf) (accessed 26.05.2015).
4. HUMAN FACTORS: Study Report on Factors Affecting Handovers. *EUROCONTROL, Edition 1.0*, 2007, 34 p. available at: [Url:http://www.ariatm.com/documents/R_HandoverTakeover_766289.pdf](http://www.ariatm.com/documents/R_HandoverTakeover_766289.pdf) (accessed 26.05.2015).
5. Воронин А. Н. Многокритериальный синтез динамических систем // А. Н. Воронин. – К. : Наукова думка, 1992. – 157 с.
6. Айзерман М. А. Метод потенциальных функций в теории обучения машин / М. А. Айзерман, С. М. Браверман, Л. И. Розоноэр – М. : Наука, 1970. – 384 с.
7. Шворов С. А. Підхід до вирішення задачі компромісно-оптимального вибору маршруту рухів об'єктів в конфліктному середовищі / С. А. Шворов, А. М. Берназ, О. І. Бурчак, Ю. В. Каменчук // Вісник КНУ. Сер. Військові науки. – К. : КНУ ім. Т. Шевченка. – 2007. – Вип. 19. – С. 68 – 70.

8. Воронин А. Н., Сложные технические и эргатические системы: методы исследования. [Воронин А. Н., Зиятдинов Ю. К., Харченко А. В., Осташевский В. В.] – Харьков : Факт, 1997. – 240 с.

9. Лисенко В. П. Моделювання та оптимізація систем керування: Навч. посібник / В. П. Лисенко, С. А. Шворов – К. : Наук. світ, 2012. – 133 с.

10. Михтарян Р. В. Динамика полёта / Р. В. Михтарян. – М. : Наука, 1978. – 255 с.

Отримано 27.05.2015

References

1. Pidgotovka v organakh OPR RSP (SOPR). [Electronic Resource] (In Ukrainian), available at: <http://controller.ukosatse.ua/index.php?act=Part&CODE=262>. – 2015. (accessed 26.05.2015).

2. Kolotusha V.P. Napryamu Pidvischenya Yakosti Pochatkovoi Pidgotovki Dispatcheriv UPR [Directions Improving the Quality of Initial Training of UPR Controllers], (2011), *Naukovi Zapiski Nacionalnogo Pedagogichnogo Universitetu imeni M.P. Dragomanova. Pedagogichni ta Istorichni Nauki Kiev, Ukraine: Pedagogichni Nauki*, Vol. 63, pp. 101 – 110 (In Ukrainian).

3. HUMAN FACTORS: Best practices for e-learning developers in ATM. EUROCONTROL, Edition 1.0, 2007 (In English).

4. HUMAN FACTORS: Study Report on Factors Affecting Handovers. EUROCONTROL, Edition 1.0, 2007 (In English).

5. Voronin A.N. Mnogokriterialniy sintez dinamicheskikh system [Multicriterial Synthesis of Dynamic Systems], (1992), Kiev, Ukraine, *Naukova Dumka*, 157 p. (In Russian).

6. Ayzerman M.A., Braverman E.M., and Rozonoer L.I. Metod potentsialnikh funktsiy v teorii obucheniya mashin [The Method of Potential Functions in the Theory of Machine Learning], (1970), Moscow, Russian Federation, *Nauka*, 384 p. (In Russian).

7. Shvorov S.A., Bernaz A.M., Burchak O.I., and Kamenchuk Yu.V. Pidhid do virisheniya zadachi kompromisno-optimalnogo viboru marshrutu ruhiv obyektiv v konfliktnomu seredovischi [The Approach to Solving the Problem of Compromise-optimal Route Selection Movements of Objects in a Conflict Environment], (2007), *Visnik KNU. Seriya Viyskovy Nauki*, Kiev, Ukraine: *KNU imeni T. Shevchenka*, Vol. 19, pp. 68 – 70 (In Ukrainian).

8. Voronin A.N., Ziatdinov Yu.K., Kharchenko A.V., and Ostashevskiy V.V. Sloznie tehnikheskie i ergaticheskie issledovaniya [Sophisticated Technical and Ergatic Research], (1997), Kharkov, Ukraine, *Fact*, 240 p. (In Russian).

9. Lisenko V.P., and Shvorov S.A. Modeluvannya ta optymizaciya system keruvanya: Navchalniy posibnik [Modeling and Optimization of Control Systems: Educational Manual], (2012), Kiev, Ukraine, *Naukoviy Svit*, 133 p. (In Ukrainian).

10. Mihtaryan R.V. Dinamika poleta [Aircraft Flight Dynamics], (1978), Moscow, Russian Federation, *Nauka*, 255 p. (In Russian).



Гунченко
Юрій Олександрович,
д-р техн. наук, доцент,
проф. каф. математичного
забезпечення комп'ютерних
систем Одеського нац. ун-ту
ім. І.І. Мечникова (вул. Дво-
рянська, 1, м. Одеса, Украї-
на), тел. +38(048)7996445.
E-mail: 7996445@mail.ru



Шворов
Сергій Андрійович,
д-р техн. наук, професор,
професор каф. автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
Національного ун-ту біоре-
сурсів і природокористуван-
ня України (вул. Героїв обо-
рони, 15, м. Київ, Україна),
тел. +38(044)5878222.
E-mail: sosdok@i.ua



Халед
Алаіасра, здобувач каф. ма-
тематичного забезпечення
комп'ютерних систем Оде-
ського нац. ун-ту імені І.І.
Мечникова (вул. Дворянсь-
ка, 1, м. Одеса, Україна)
E-mail:
khaledaiasra@gmail.com



Савенчук
Вікторія Вікторівна,
аспірант каф. математично-
го забезпечення комп'ю-
терних систем Одеського
нац. ун-ту імені І.І. Мечни-
кова (вул. Дворянська, 1, м.
Одеса, Україна).
E-mail: kusya.19@mail.ru