

4. Repin V.V. *Biznes-processy. Modelirovanie, vnedrenie, upravlenie* [Business processes. Modeling, implementation, management]. Mann, Ivanov i Ferber Publ., 2013. 512 p.
5. Van Der Aalst W. M. P. *Process Mining: Data Science in Action*. Berlin, Springer-Verlag Publ., 2016. 467 p.
6. Kalenkova A. A., Van Der Aalst W. M. P., Lomazova I. A., Rubin V. A. Process mining using BPMN: relating event logs and process models. *Software & Systems Modeling*. 2017, vol. 16, pp. 1019–1048.
7. Dumas M., Rosa M., Mendling J., Reijers H.A. *Fundamentals of business process management*. Springer Publ., 2013. 391 p.
8. Brocke J., Rosemann M. *Handbook on business process management*. Berlin, Springer-Verlag Publ., 2015. 709 p.
9. Chalyi S. Bogatov I. Method of constructing an attribute description of the business process «as is» in the process approach to enterprise management. *EUREKA: Physical Sciences and Engineering*, 2018, pp. 63–72.
10. Chalyi S. F., Bogatov I.O., Pribylnova I.B. Metodi formuvannya uporyadkovanih po procesam tras zhurnalu podij v zadachah procesnogo upravlinnya [Techniques of reordering traces in the event logs in business process management tasks]. *Visnik Nacional'nogo tekhnichnogo universitetu «Harkivskij politekhnicheskij institut». Seriya: Sistemnij analiz, upravlinnya ta informacijni tekhnologii* [Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser. System analysis, control and information technology], 2018, № 21 (1297), pp. 43–47.
11. Chalyi S., Levykin I., Biziuk A., Vovk A., Bogatov I. Development of the technology for changing the sequence of access to shared resources of business processes for process management support. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020, vol 2, № 3 (104), pp. 22–29.
12. Steeman W. VINST information needed to understand the dataset. *Volvo IT*, 2012. 12 p.

Hadziusha (received) 21.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чалий Сергій Федорович – доктор технічних наук, професор, Харківський національний університет радіоелектроніки, професор кафедри інформаційних управляючих систем, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: serhii.chalyi@nure.ua

Богатов Євген Олегович (Богатов Евгений Олегович, Bogatov Ievgen Olegovich) – Харківський національний університет радіоелектроніки, асистент кафедри інформаційних управляючих систем, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0741-7242>; e-mail: bogatovevgeniy@gmail.com.

Чалий Сергій Федорович – доктор технических наук, профессор, Харьковский национальный университет радиоэлектроники, профессор кафедры информационных управляющих систем, г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: serhii.chalyi@nure.ua

Богатов Евгений Олегович – Харьковский национальный университет радиоэлектроники, ассистент кафедры информационных управляющих систем, г. Харьков, Украина; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0741-7242>; e-mail: bogatovevgeniy@gmail.com.

Chalyi Serhii Fedorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kharkiv National University of Radio Electronics, Professor of the Department of Information Control System, Kharkiv; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9982-9091>; e-mail: serhii.chalyi@nure.ua

Bogatov Ievgen Olegovich – Kharkiv National University of Radio Electronics, Assistant of Department of Information Control System, Kharkiv; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0741-7242>; e-mail: bogatovevgeniy@gmail.com.

УДК 004.9+519.85

DOI: 10.20998/2079-0023.2020.02.11

О. М. НИКУЛИНА, В. П. СЕВЕРИН, Н. В. КОЦЮБА

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ СКЛАДНИМИ ДИНАМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

Розроблена структура інформаційної технології оптимізації складних динамічних систем. Структура включає блок моделей систем, модуль методів інтегрування, блок обчислення критеріїв якості систем, блок методів оптимізації, модуль структур даних та блок подання інформації. Представлена функціональна модель інформаційної технології. У блоці моделей систем знаходяться моделі динамічних систем – об'єктів управління, регуляторів, інформаційних управляючих систем. Це дозволяє моделювати інформаційні управляючі системи енергоблоків АЕС, систему управління квадрокоптером, генератори електричних імпульсів та інші динамічні системи. У модулі інтегрування зібрані методи інтегрування систем диференціальних рівнянь: метод матричної експоненти для інтегрування лінійних систем, системні методи для інтегрування нелінійних систем, інші методи. У блоці обчислення критеріїв якості систем створені програми для обчислення різних критеріїв інформаційних управляючих систем: стійкості процесів управління, ідентифікації параметрів, прямих показників якості систем, інтегральних квадратичних оцінок. Розроблено блок методів оптимізації. Цей блок містить модулі методів одновимірного пошуку, багатовимірної безумовної оптимізації, глобального пошуку, генетичних алгоритмів, мінімізації суми квадратів, умовної оптимізації, векторної оптимізації. Для тестування методів створені модулі тестових функцій. Ці модулі включають тестові функції, їх бази даних та програми тестування. Розроблено модуль загальних структур даних. Запропоновані глобальні структури даних – структура постійних даних задач і методів

© О. М. Нікуліна, В. П. Северин, Н. В. Коцюба, 2020

оптимізації, структура змінних параметрів стану процесу оптимізації та структура функцій для узгодження взаємодії методів оптимізації. Блок подання інформації розв'язання задач дозволяє подавати процес оптимізації у вигляді таблиць і графіків.

Ключові слова: інформаційна технологія, динамічна система, складна система, інформаційна управляюча система, математична модель, показник якості, метод оптимізації, процес оптимізації.

Е. Н. НИКУЛИНА, В. П. СЕВЕРИН, Н. В. КОЦЮБА

РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОЙ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИМИЗАЦИИ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Разработана структура информационной технологии оптимизации сложных динамических систем. Структура включает блок моделей систем, модуль методов интегрирования, блок вычисления критериев качества систем, блок методов оптимизации, модуль структур данных и блок представления информации. Представлена функциональная модель информационной технологии. В блоке моделей систем находятся модели динамических систем – объектов управления, регуляторов, информационных управляющих систем. Это позволяет моделировать информационные управляющие системы энергоблоков АЭС, систему управления квадрокоптера, генераторы электрических импульсов и другие динамические системы. В модуле методов интегрирования собраны методы интегрирования систем дифференциальных уравнений: метод матричной экспоненты для интегрирования линейных систем, системные методы для интегрирования нелинейных систем, другие методы. В блоке вычисления критериев качества систем созданы программы для вычисления различных критериев информационных управляющих систем: устойчивости процессов управления, идентификации параметров, прямых показателей качества систем, интегральных квадратичных оценок. Разработан блок методов оптимизации. Этот блок содержит модули методов одномерного поиска, многомерной безусловной оптимизации, глобального поиска, генетических алгоритмов, минимизации суммы квадратов, условной оптимизации, векторной оптимизации. Для тестирования методов созданы модули тестовых функций. Эти модули включают тестовые функции, их базы данных и программы тестирования. Разработан модуль общих структур данных для уменьшения количества формальных параметров подпрограмм, повышения надежности и согласования информационной технологии при ее работе и развитии. Предложены глобальные структуры данных – структура постоянных данных задач и методов оптимизации, структура переменных параметров состояния процесса оптимизации и структура функций для согласования взаимодействия методов оптимизации. Блок представления информации решения задач позволяет представлять процесс оптимизации в виде таблиц и графиков.

Ключевые слова: информационная технология, динамическая система, сложная система, информационная управляющая система, математическая модель, показатель качества, метод оптимизации, процесс оптимизации.

O. M. NIKULINA, V. P. SEVERYN, N. V. KOTSUBA

DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY FOR OPTIMIZING THE CONTROL OF COMPLEX DYNAMIC SYSTEMS

The structure of information technology optimization of complex dynamic systems is developed. The structure includes a block of systems models, a module of integration methods, a block for calculating system quality criteria, a block of optimization methods, a module of data structures and a block for presenting information. A functional model of information technology is presented. The block of systems models contains models of dynamic systems – control objects, regulators, information control systems. This makes it possible to simulate information control systems of NPP power units, a quadcopter control system, generators of electrical impulses and other dynamic systems. In the module of integration methods, methods for integrating systems of differential equations are collected: the matrix exponential method for integrating linear systems, system methods for integrating nonlinear systems, and other methods. In the block for calculating system quality criteria, programs have been created for calculating various criteria for information control systems: stability of control processes, identification of parameters, direct indexes of the quality of systems, integral quadratic estimates. The block of optimization methods has been developed. This block contains modules of methods of one-dimensional search, multivariate unconditional optimization, global search, genetic algorithms, sum of squares minimization, conditional optimization, vector optimization. To test methods, test function modules are created. These modules include test functions, their databases and testing programs. A module of common data structures has been developed. Global data structures are proposed – the structure of constant data of optimization problems and methods, the structure of the state variables of the optimization process and the structure of functions to coordinate the interaction of optimization methods. The block for presenting information for solving problems allows the optimization process to be presented in the form of tables and graphs.

Keywords: information technology, dynamic system, complex system, information control system, mathematical model, quality index, optimization method, optimization process.

Вступ. В теперішній час існує багато складних динамічних систем (СДС), управління якими вимагає використання інформаційних технологій (ІТ) для створення або удосконалення спеціалізованих інформаційних управляючих систем (ІУС) [1–3]. Типовим прикладом ІУС СДС є ІУС найпотужнішого в Україні енергоблоку АЕС з ядерним реактором ВВЕР-1000, що складається з багатьох локальних ІУС та потребує модернізації шляхом оптимізації показників якості процесів управління [4]. Аналогічні вимоги виникають і для ІУС багатьох СДС у різних технічних галузях [2, 3].

ІТ оптимізації управління СДС розвинені недостатньо, що потребує подальшої розробки таких ІТ [1, 2]. Аналіз проблем управління СДС показує, що невирішеною актуальною проблемою є розробка методів та моделей оптимізації управління СДС, які характеризуються великим обсягом необхідної для їх описання інформації, високим порядком і великою кількістю параметрів та нелінійностей, що потребує створення ІТ оптимізації складних ІУС [5, 6]. ІТ оптимізації управління СДС на етапі їх проектування

повинна реалізовувати можливості моделювання лінійних і нелінійних динамічних систем (ДС), аналізу і синтезу таких систем, їх оптимізації за різними критеріями якості [7]. Огляд показників якості ІУС показує, що найбільш ефективними показниками для ІУС СДС є прямі показники якості (ППЯ) та поліпшені інтегральні квадратичні оцінки (ІКО), однак питання їх формування, обчислення та застосування для оптимізації ІУС розроблені недостатньо [8, 9]. Проведений огляд методів безумовної, умовної та багатокритеріальної оптимізації показує, що не достатньо розвинені методи синтезу оптимальних ІУС за ППЯ і покращеними ІКО, які дозволяють ефективно розв'язувати такі задачі оптимізації показників якості ІУС, де функції обмежень і цільова функція обчислюються в єдиному обчислювальному процесі та мають обмежені області визначення в просторі варійованих параметрів [10–12].

Мета даної статті полягає в розробці структури та елементів інформаційної технології оптимізації управління складними динамічними системами.

Структура інформаційної технології. Загальна структура ІТ оптимізації СДС представлена на рис. 1 і включає шість основних функціональних елементів: блок моделей систем (БМС), модуль методів інтегрування (ММІ), блок обчислення критеріїв якості систем (БОКЯС), блок методів оптимізації (БМО), модуль структур даних (МСД) та блок подання інформації (БПІ). Модулі представляють сукупність взаємопов'язаних програм для виконання відповідних функцій ІТ, а блоки – сукупність модулів для виконання більш складних функцій. БМС призначений для завдання параметрів моделей ІУС, відповідних систем диференціальних рівнянь (СДР) та передавальних функцій (ПФ). ММІ призначений для розв'язання СДР різними методами інтегрування.

БОКЯС призначений для обчислення різних критеріїв якості ІУС на основі їх моделей у вигляді СДР або ПФ. Цей модуль включає програми критеріїв стійкості ІУС, критеріїв ідентифікації, методів обчислення ППЯ на основі інтегрування СДР, методів обчислення ІКО на основі ПФ. БМО призначений для розв'язання задач ідентифікації параметрів моделей та синтезу оптимальних ІУС. Цей блок містить програми методів одновимірного пошуку, багатовимірної безумовної оптимізації, глобального пошуку, генетичних алгоритмів, методів мінімізації суми квадратів, умовної оптимізації, векторних методів оптимізації. БМО використовує функції БОКЯС.

Для взаємодії всіх елементів ІТ розроблений МСД. У цей модуль входять структура постійних параметрів задач і методів оптимізації, структура даних процесів оптимізації, структура функцій для задач

оптимізації та методи обробки цих структур. БПІ призначений для табличного та графічного виводу процесу розв'язання задач оптимізації ІУС.

На рис. 2 представлена функціональна модель процесу оптимізації. Така модель враховує складність розв'язання задач оптимізації управління СДС та завдяки використанню структур даних задач і процесу оптимізації та розділенню процесу оптимізації на початок і продовження дозволяє запам'ятовувати процес оптимізації з можливістю його продовження або подання результатів.

Блок моделей систем. БМС містить програми математичних моделей ДС для аналізу, ідентифікації та оптимізації. Нелінійні моделі ДС представлені СДР:

$$dX/d\tau = f(X, x, c, g), \quad X(\tau_0) = X_0, \quad (1)$$

де X – вектор відносних змінних стану ДС;
 τ – відносна змінна часу;
 f – векторна функція правих частин СДР;
 x – вектор змінних параметрів ДС;
 c – вектор постійних параметрів ДС;
 g – вектор зовнішніх дій;
 τ_0 – початкове значення відносною змінної часу;
 X_0 – вектор початкових умов.
 Підвищити швидкість розрахунків дозволяють лінійні моделі ДС:

$$dX/d\tau = A(x)X + B(x)g, \quad X(\tau_0) = X_0, \quad (2)$$

де $A(x)$ і $B(x)$ – матриці стану і входу, що залежать від вектора змінних параметрів ДС x .



Рис. 1. Структура інформаційної технології

Цій моделі відповідає ПФ:

$$W(x, s) = \beta(x, s)/\alpha(x, s), \quad (3)$$

де $\beta(x, s)$ і $\alpha(x, s)$ – многочлени змінної Лапласа s , коефіцієнти яких залежать від вектора змінних параметрів ДС x .

Розроблені математичні моделі для СДС та їх ІУС: ядерних реакторів ВВЕР-1000 різних серій; парогенератора ПГВ-1000; парових турбін К-1000-60/1500, К-1000-60/1500-2, К-220-4,4-3; реакторної установки; систем другого контуру енергоблоку АЕС; енергоблоку АЕС з реактором ВВЕР-1000; квадрокоптера; генераторів електричних імпульсів напруги та струму; фільтрів Баттерворта; інших ДС. Модулі для цих ДС включають файли з вихідними даними параметрів та обчисленням параметрів, програми з базами даних (БД) різних моделей, функції самих моделей та їх ІУС з різними регуляторами, програми дослідження процесів, ідентифікації та оптимізації параметрів, а також допоміжні програми.

Модуль методів інтегрування. ММІ містить програми для розв’язання лінійних та нелінійних СДР (1) і (2) різними методами інтегрування. В цей модуль для підвищення точності та надійності обчислень обрані матричні методи інтегрування – метод матричної експоненти, системні методи першого, другого та третього ступенів, а також однокрокові

методи Мерсона, Фельдберга та інші. Інтегрування лінійних СДР (2) виконується методом матричної експоненти та її інтегралу за допомогою підпрограми, де вхідними параметрами є матриці моделі лінійної СДР (2), кінець інтервалу інтегрування та число кроків інтегрування, а вихідними параметрами – масив моментів часу, масив значень перехідного процесу. Для інтегрування нелінійних СДР (1) використовуються системні методи першого, другого та третього ступенів, що реалізовані підпрограмами, в яких вхідними параметрами є векторна функція правих частин СДР (1), вектор стану, вектори змінних та постійних параметрів, вектор зовнішніх дій, кінець інтервалу інтегрування, кількість кроків інтегрування, а вихідними параметрами – масив моментів часу та масив значень перехідного процесу для усіх змінних стану у вигляді двовимірного масиву. Ці підпрограми використовують допоміжні підпрограми: підпрограму, що обчислює матрицю Якобі для векторної функції нелінійної СДР (1); підпрограму, що обчислює інтеграл матричної експоненти у вигляді матричного ряду з мінімізацією кількості обчислень без зменшення точності.

Блок обчислення критеріїв якості систем. У БОКЯС входять модулі для обчислення критеріїв стійкості ІУС, критеріїв ідентифікації, ППЯ і ІКО.

Модуль критеріїв стійкості ІУС призначений для аналізу стійкості лінійних систем з ПФ (3) та

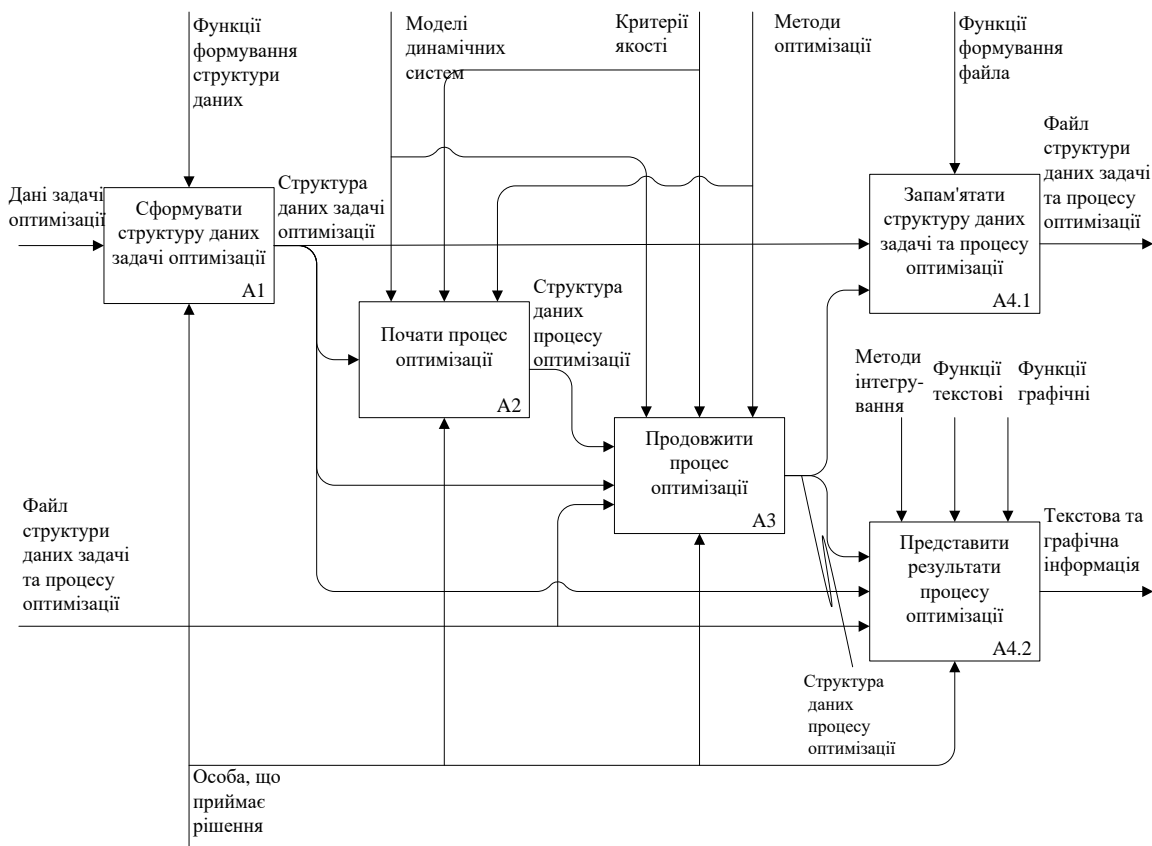


Рис. 2. Функціональна модель процесу оптимізації

обчислення критеріїв стійкості на основі характеристичного многочлена

$$\alpha(x, s) = \alpha_0(x)s^n + \alpha_1(x)s^{n-1} + \dots + \alpha_n(x). \quad (4)$$

У ньому реалізовані методи аналізу стійкості: обчислення ступеня стійкості, визначення ознаки стійкості многочлена (4) за ознакою стійкості Стодоли та критерію Рауса з обчисленням елементів першого стовпця таблиці Рауса $\rho_i(x)$, $i = \overline{1, n}$, визначення меж стійкості, обчислення векторної цільової функції (ВЦФ) стійкості $F_S(x)$ для послідовного виконання обмежень області стійкості, побудови графіків ступеня стійкості.

Модуль критеріїв ідентифікації ІУС призначений для обчислення критеріїв ідентифікації параметрів систем для мінімізації середньоквадратичного відхилення (СКВ) $S(x)$ теоретичних даних від експериментальних. У цьому модулі реалізовані методи розв'язання задач ідентифікації параметрів лінійних систем – функції ідентифікації параметрів ІУС, ВЦФ ідентифікації з СКВ $F_I(x)$ на основі $F_S(x)$.

Модуль ППЯ призначений для аналізу та обчислення ППЯ процесів ІУС: перерегулювання $\sigma(x)$, розмаху коливач $\zeta(x)$, загасання коливач $\lambda(x)$, часу регулювання $\tau_c(x)$ [7]. У цьому модулі реалізовані методи аналізу та розв'язання задач оптимізації параметрів ІУС за ППЯ:

$$\sigma(x) \leq \sigma_m, \zeta(x) \leq \zeta_m, \lambda(x) \leq \lambda_m, \min \tau_c(x), \quad (5)$$

де $\sigma_m, \zeta_m, \lambda_m$ – максимально допустимі значення показників якості.

Модуль ППЯ включає функції обчислення ППЯ ІУС, ВЦФ з ППЯ $F_C(x)$ на основі $F_S(x)$ для лінійних і нелінійних ІУС (1) і (2).

Модуль методів обчислення ІКО призначений для аналізу та обчислення покращених ІКО якості ІУС $I(x)$ [7]. У ньому реалізовані методи розв'язання задач оптимізації параметрів ІУС за покращеними ІКО – формування еталонної ІУС, функції обчислення ІКО ІУС, обчислення ВЦФ з ІКО $F_E(x)$.

Всі модулі БОКЯС включають БД задач, тестові моделі, сценарії тестування програм.

Блок методів оптимізації. БМО містить програми методів оптимізації: одновимірного пошуку, багатовимірної безумовної оптимізації, глобального пошуку, генетичних алгоритмів, мінімізації суми квадратів, умовної оптимізації, векторних методів оптимізації. Модуль методів одновимірного пошуку для розв'язання задачі $\min f(x)$, $x \in R$ включає програми методів та допоміжні програми. У цьому модулі реалізовані методи Свенна, поділу інтервалу навпіл, дихотомії, Фібоначчі, золотого перетину, адаптації кроку, бісекції, квадратичної інтерполяції з трьома та двома точками, січних, Ньютона, кубічної інтерполяції з чотирма та двома точками.

У модулі методів багатовимірної безумовної оптимізації для розв'язання задачі $\min f(x)$, $x \in R^p$ реалізовані методи покоординатного спуску, сполучених напрямків Пауелла, Бокса, симплексного

пошуку, Нелдера – Міда, Хука – Дживса, найшвидшого спуску, Флетчера – Рівса, Полака – Ріб'єра, Ньютона, Марквардта, Бройдена, Девідона – Флетчера – Пауелла, Бройдена – Флетчера – Гольдфарба – Шанно. У відповідності з рис. 2 для цих підпрограм реалізовані функції ініціалізації та ітерації.

Модуль методів глобального пошуку мінімуму багатоекстремальних функцій включає методи Вейля, випадкового пошуку, сферичного випадкового пошуку, направляючих конусів, рою часток, бінарний та безперервний генетичні алгоритми.

Модуль мінімізації суми квадратів для розв'язання задачі $\min S(x)$, $x \in R^p$ реалізує методи Гаусса – Ньютона і Левенберга – Марквардта.

У модулі методів умовної оптимізації реалізовані методи бар'єрів, внутрішньої та зовнішньої точок, комбінованих штрафних функцій, ковзного допуску. Існує можливість задавати довільні методи одновимірного пошуку та багатовимірної безумовної оптимізації.

Векторні методи оптимізації використовують методи одновимірного пошуку та методи багатовимірної безумовної оптимізації для розв'язання задач умовної та багатокритеріальної оптимізації на основі класів векторних функцій – векторних ШФ і ВЦФ. Завдяки переважанню операцій всі підпрограми оптимізації працюють як з векторними функціями, так й із звичними скалярними цільовими функціями залежно від оголошення їх класу в підпрограмі задачі оптимізації.

Підпрограми всіх методів оптимізації містять необхідні математичні операції конкретного методу. Для загальних операцій створений модуль утиліт, який містить підпрограми обчислення значення цільової функції, обчислення функції в новій точці пошуку, перевірки критеріїв виходу, лічильника числа ітерацій, загальних операторів ітерації, кроку одновимірного пошуку, простого режиму з однією задачею і одним методом, пакетного режиму запуску задач і методів оптимізації, перемикання режимів роботи. Якщо установлена ознака для запам'ятовування процесу оптимізації, процес оптимізації запам'ятовується у зовнішньому файлі. Цей процес можна відобразити або продовжити (рис. 2). Перевірка критеріїв виходу виконується при кожному обчисленні цільової функції. Це дозволяє точніше обчислити характеристики ефективності методів оптимізації. Є можливість подавати як всі точки пошуку, так і тільки кращі точки.

У кожному модулі методів оптимізації є БД методів. Якщо метод оптимізації починає розв'язувати задачу оптимізації, то запускається функція початку методу, після якої виконується ітераційний цикл методу доти, поки не виконається умова завершення методу (рис. 2). Для тестування методів оптимізації створені модулі тестових функцій, які включають тестові функції, їх БД та сценарії тестування.

Загальні структури даних. Для зменшення кількості формальних параметрів підпрограм, підвищення надійності і спрощення узгодження роботи комплексу програм при його розвитку без зміни інтерфейсних частин підпрограм запропоновані глобальні структури

даних. Структура постійних параметрів містить у своїх полях постійні параметри задачі оптимізації, методу її розв'язання, таблиць і графіків відображення результатів. В багатьох підпрограмах ІТ широко використовуються функції зміни полів цієї структури та доступ до її опцій значень. Структура процесу оптимізації містить змінні дані про поточний стан процесу оптимізації та дозволяє спростити управління цим процесом. Ця структура створюється і розширюється підпрограмами відображення і збереження таблиць і графіків процесу оптимізації, попереднього виділення пам'яті під масиви для табличного і графічного подання процесу оптимізації. Структура функцій оптимізації містить типи функцій для розв'язання різних задач оптимізації та узгодження методів одновимірного пошуку, багатовимірної безумовної оптимізації й умовної оптимізації. Типи функцій цієї структури дозволяють використовувати різні методи оптимізації для розв'язання складних задач і уникати дублювання програмного коду.

Блок подання інформації розв'язання задач. У БПІ розв'язання задач реалізовані текстові та графічні можливості ІТ. У модулі табличного подання процесу оптимізації знаходяться функції формування і подання елементів таблиці: заголовку, значень критеріїв закінчення, кількості ітерацій та обчислення функції, значення функції та її аргументів, результатів оптимізації. Модуль графічного подання процесу оптимізації містить функції обчислення меж аргументів для побудови графіків, формування графічних масивів, подання графіків траєкторії оптимізаційного пошуку. Модуль подання перехідних процесів у ДС містить функції обчислення перехідних процесів у лінійних і нелінійних системах.

Висновки. Запропонована загальна структура і функціональна модель інформаційної технології оптимізації складних динамічних систем, яка включає моделювання динамічних систем у вигляді систем диференціальних рівнянь та передавальних функцій, інтегрування систем диференціальних рівнянь, обчислення критеріїв якості систем, методи для розв'язання різних задач оптимізації, наочне представлення інформації щодо розв'язків задач оптимізації динамічних систем. Представлені блоки й модулі інформаційної технології: блок моделей систем, модуль методів інтегрування, блок обчислення критеріїв якості систем, блок методів оптимізації, модуль загальних структур даних та блок подання інформації.

Список літератури

1. Бастриков М. В., Пономарев О. П. *Информационные технологии управления*. Москва: ЭКСМО, 2002. 391 с.
2. Павлов А. А., Теленик С. Ф. *Информационные технологии и алгоритмизация в управлении*. Киев: Техника, 2002. 344 с.
3. Ершова Н. М. *Современные методы теории проектирования и управления сложными динамическими системами: монография*. Днепропетровск: ПРАСА, 2016. 272 с.
4. Ястребенекский М. А., Васильченко В. Н., Виноградов С. В. *Безопасность атомных станций: информационные и управляющие системы* / ред. М. А. Ястребенекского. – Київ: Техніка, 2004. 472 с.

5. Афанасьева О. В., Голик Е. С., Первухин Д. А. *Теория и практика моделирования сложных систем: Учебное пособие*. Санкт-Петербург: СЗТУ, 2005. 132 с.
6. Чернорутский И. Г. *Методы оптимизации в теории управления: Учебное пособие*. Санкт-Петербург: Питер, 2004. 256 с.
7. Бесекерский В. А., Попов Е. П. *Теория систем автоматического управления*. Санкт-Петербург: Профессия, 2004. 752 с.
8. Измаилов А. Ф., Солодов М. В. *Численные методы оптимизации: Учебное пособие*. Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2005. 304 с.
9. Mokhtar S. Bazaraa, Hanif D. Sherali, Shetty C. M. *Nonlinear programming theory and algorithms; third edition* Hoboken, New Jersey: Wiley, 2006. 853 p.
10. Северин В. П., Никулина Е. Н. *Методы одномерного поиска: лабораторный практикум по курсу «Методы оптимизации»*. Харьков: НТУ «ХПИ», 2013. 124 с.
11. Никулина Е. Н., Северин В. П., Лукинова Д. А. Математические модели для исследования переходных режимов ядерного реактора ВВЭР-1000 серии В-320. *Ядерная та радіаційна безпека*. 2018. Вып. 1(77). С. 18-23.
12. Северин В. П., Никулина Е. Н., Лютенко Д. А. Многокритериальный синтез систем управления энергоблока АЭС с использованием лаборатории методов оптимизации OPTLAB. *Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»: сб. наук. пр. Темат. вип.: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. Харків: НТУ «ХПІ», 2015. № 15(1124). С. 106-111.

References (transliterated)

1. Bastrikov M. V., Ponomarev O. P. *Informatsionnye tehnologii upravleniya* [Information technologies control]. Moscow, EKSMO Publ., 2002. 391 p.
2. Pavlov A. A., Telenik S. F. *Informatsionnye tehnologii i algoritimizatsiya v upravlenii* [Information technologies and algorithms in control]. Kiev, Tekhnika Publ., 2002. 344 p.
3. Ershova N. M. *Sovremennyye metody teorii proektirovaniya i upravleniya slozhnyimi dinamicheskimi sistemami: monografiya* [Modern methods of the theory of design and control of complex dynamic systems: monograph]. Dnepropetrovsk, PRASA Publ., 2016. 272 p.
4. Yastrebenetskiy M. A., Vasil'chenko V. N., Vinogradov S. V. *Bezopasnost' atomnykh stantsiy: informatsionnye i upravlyayushchie sistemy* [Nuclear power plant safety: information and control Systems]. Kiev, Tekhnika Publ., 2004. 472 p.
5. Afanas'eva O. V., Golik E. S., Pervukhin D. A. *Teoriya i praktika modelirovaniya slozhnykh sistem: uchebnoye posobiye* [Theory and practice of modeling complex systems: Textbook]. St. Petersburg. SZTU Publ., 2005. 132 p.
6. Chernorutskiy I. G. *Metody optimizatsii v teorii upravleniya: uchebnoye posobiye* [Optimization methods in control theory: Textbook] St. Petersburg. Piter Publ., 2004. 256 p.
7. Besekerskiy V. A., Popov E. P. *Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Theory of automatic control systems]. St. Petersburg. Professiya Publ., 2004. 752 p.
8. Izmailov A. F., Solodov M. V. *Chislennyye metody optimizatsii: uchebnoye posobiye* [Numerical optimization techniques: Textbook]. Moscow, FIZMATLIT Publ., 2005. 304 p.
9. Mokhtar S. Bazaraa, Hanif D. Sherali, Shetty C. M. *Nonlinear programming theory and algorithms; third edition* Hoboken, New Jersey: Wiley, 2006. 853 p.
10. Severin V. P., Nikulina E. N. *Metody odnomernogo poiska: laboratornyy praktikum po kursu «Metody optimizatsii»* [One-dimensional search methods: laboratory practice on the course "Optimization Methods"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2013. 124 p.
11. Nikulina E. N., Severin V. P., Lukinova D. A. Matematicheskie modeli dlya issledovaniya perekhodnykh rezhimov yadernogo reaktora VVER-1000 serii V-320 [Mathematical models for investigation of transient regimes of VVER-1000 nuclear reactor of V-320 series]. *Ядерная та радіаційна безпека* [Nuclear and radiation safety]. 2018, no. 1(77), pp. 18-23.
12. Severin V. P., Nikulina E. N., Lukinova D. A. Mnogokriterial'nyy sintez sistem upravleniya ehnergobloka AES s bspol'zovaniem laboratorii metodov optimizatsii [Multicriteria synthesis of NPP power unit control systems using the OPTLAB optimization methods laboratory]. *Vestnik Nats. tekhn. un-ta "KhPI": sb. nauch. tr. Temat.*

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Нікуліна Олена Миколаївна (Нікуліна Елена Николаевна, Nikulina Olena Mykolaivna) – д-р техн. наук, доцент, професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2938-4215>; e-mail: elniknik02@gmail.com

Северин Валерій Петрович (Северин Валерий Петрович, Severyn Valerii Petrovich) – д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2969-6780>; e-mail: severinvp@gmail.com

Коцюба Ніна Вікторівна (Коцюба Нина Викторовна, Kotsiuba Nina Viktorivna) – асистент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна.; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0017-7426>; e-mail: kotsuba.nv@gmail.com

Нікуліна Елена Николаевна – д-р техн. наук, доцент, професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2938-4215>; e-mail: elniknik02@gmail.com

Северин Валерий Петрович – д-р техн. наук, професор, професор кафедри системного аналізу та інформаційно-аналітичних технологій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2969-6780>; e-mail: severinvp@gmail.com

Коцюба Нина Викторовна (Коцюба Нина Викторовна, Kotsiuba Nina Viktorivna) – асистент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0017-7426>; e-mail: kotsuba.nv@gmail.com

Nikulina Olena Mykolaivna – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of Department Software Engineering and Management Information Technologies National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2938-4215>; e-mail: elniknik02@gmail.com

Severyn Valerii Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of Department System Analysis and Information-Analytical Technologies National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2969-6780>; e-mail: severinvp@gmail.com

Kotsiuba Nina Viktorivna – Assistant of Department Software Engineering and Management Information Technologies National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, Ukraine; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0017-7426>; e-mail: kotsuba.nv@gmail.com

UDC 004.93

DOI: 10.20998/2079-0023.2020.02.12

K. S. KHABARLAK, L. S. KORIASHKINA

MOBILE ACCESS CONTROL SYSTEM BASED ON RFID TAGS AND FACIAL INFORMATION

RFID tags see a widespread use in modern security systems, including home intercoms, access control cards, contactless credit cards, biometric passports. Here we focus on a single application, namely access control systems. Currently they have either high cost or low security guarantees. Hence, the developments focusing on improving access control security while lowering the cost is a rapidly developing field. The purpose of this work is to create an alternative access control scheme, where card scanners are replaced with passive RFID tags, and all of the communication is done via user's smartphone Wi-Fi. Based on the analysis of existing approaches to the development of access control systems, it was concluded that use of mobile systems is the most promising due to their expandability and presence of a large number of sensors, such as NFC, camera etc. In the proposed model RFID tags are mounted near a turnstile or a smart door. Tag reading and programming is done via NFC chip directly on an Android or iOS mobile device, which allows for a significant price cut for such a system implementation. A detailed description of a tag writing procedure with the data required to perform it is provided. To enhance security, together with smartphone-based authorization we require the user to provide his photograph while entering a secure gate. The photograph is then displayed on a monitoring dashboard side-by-side with his registration picture, so that the two can then be matched

© К. С. Хабарлак, Л. С. Коряшкіна, 2020