

## КІБЕРНЕТИКА

## CYBERNETICS

УДК 004.89; 004.93; 159.93

**Деякі аспекти організації зорового аналізатора людини: кібернетичний підхід / В.П. Боюн //** Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 3–22.

**Анотація.** У статті стисло наведено результати попередніх досліджень проблемних аспектів організації та функціонування сітківки ока людини з погляду кібернетики, деякі з них підтверджені моделюванням. Більш детально розглянуто організацію окремих складових зорового аналізатора людини, а саме латерального колінчастого тіла та декількох ділянок зорової кори. Обґрунтовано, зокрема, передавання інформації з різних ділянок сітківки в латеральне колінчасте тіло (ЛКТ), розміщення її в шарах ЛКТ та визначення високодинамічних зон у зображенні для керування саккадами. Показано, що в перепадах яскравості та колірності зберігається інформація про їхню величину, а в мозку є точна прив'язка точок перепаду до типів і місцезонавання біполярів з їхніми колбочками на сітківці. Запропоновано функціональну лінійчатую організацію архітектури зорової кори мозку для визначення орієнтації ліній у зображенні, що дає змогу провести стиковку ліній однієї орієнтації, виявити різні види руху та оцінити швидкість змін у просторі сцени. Відповідно до ідеї-гіпотези колонкової організації нейронів запропоновано орієнтаційно-колонкову організацію нейронів, що дає змогу визначити в одній точці простору всі можливі орієнтації ліній. Інакше кажучи, це уможливорює визначення кутів, точок дотику і перетину ліній, їхньої орієнтації, координат та розмірів, що є надзвичайно інформативними ознаками для пошуку і розпізнавання об'єктів, побудови каркасу об'єкта, а також його тривимірної моделі (за умови використання інформації з обох очей). Запропоновано ідею щодо відновлення реального зображення сцени за допомогою розфарбовування просторових ділянок зображення з використанням інформації не тільки їхніх контурів, але і реальних значень яскравості із зон foveola та fovea центральної ямки.

**Ключові слова:** нейрони периферичної сітківки та центральної ямки, on- і off-центри, рецептивні поля, концентрична організація, інформативні ознаки, латеральне колінчасте тіло, стріарна (первинна) зорова кора, орієнтаційно-лінійна та орієнтаційно-колонкова організації нейронів.

**Some aspects of the organization of the human visual analyzer: Cybernetic approach / V.P. Boyun //** Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 3–22.

**Abstract.** In the article, in a concise form, the results of previous research on the problematic issues of the organization and functioning of the human eye retina from a cybernetic point of view are given, some of which are confirmed by modeling. In more detail, the organization of individual components of the human visual analyzer is considered, namely, the lateral geniculate body and several areas of the visual cortex. In particular, the transfer of information from different areas of the retina, its placement in the layers of the lateral geniculate body, and the determination of highly dynamic zones in the image for controlling saccades are justified; it is shown that information about the magnitude of the difference of brightness and color is stored in the same difference, and in the brain, there is an exact binding of the points of the differences to the types and location of both bipolar cells and their cones in the retina. A functional linear organization of the architecture of the visual cortex of the brain is proposed for determining the orientation of the lines in the image, which makes it possible to join the lines of one orientation, detect different types of movement, and evaluate the speed of changes in the space of the scene. According to the idea-hypothesis of the columnar organization of neurons, an orientational columnar organization of neurons is proposed, which makes it possible to determine all of the possible orientations of lines at one point in space, i.e., determine the angles, tangents, and intersections of lines, their orientation, coordinates, and dimensions, which are very powerful informative features for searching and recognizing objects, building the frame of the object, as well as its three-dimensional model (under the condition of using information from both eyes). An idea is proposed to restore an actual scene image by coloring the spatial areas of the image using information not only of the contours of the areas but also of actual brightness values from the zones of the foveola and fovea of the central fovea.

**Keywords:** neurons of the peripheral retina and central fovea, on- and off-centers, receptive fields, concentric organization, informative signs, lateral geniculate body, strial (primary) visual cortex, orientation-linear and orientation-column organization of neurons.

УДК 5.681.3

**Алгоритми розв'язання лінійних обмежень у кільці лишків / С.Л. Кривий //** Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 23–32.

**Анотація.** Запропоновано алгоритми перевірки виконаності обмежень типу лінійних рівностей у кільцях лишків  $Z_m$ . Показано, що ці алгоритми належать класу поліноміальної часової складності.

**Ключові слова:** лінійні рівняння, кільце лишків, алгоритми, складність.

**Algorithms for solving linear constraints over residue ring / S. Kryvyi //** Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 23–32.

**Abstract.** Algorithms for checking the problem of satisfying the constraints in the form of linear equalities over residue rings  $Z_m$  are proposed. The proposed algorithms are shown to belong to the class of polynomial time complexity.

**Keywords:** linear equalities, residue ring, algorithms, complexity.

УДК 519.713.1

**Доповнення –  $\omega$ -регулярних виразів. I / А.М. Чеботарьов // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 33–43.**

**Анотація.** Під час використання  $\omega$ -регулярних виразів у задачах верифікації та синтезу реактивних систем виникає проблема доповнення цих виразів, яка пов'язана з перевіркою включення  $\omega$ -регулярних мов. Для цього зазвичай  $\omega$ -регулярну мову задають  $\omega$ -автоматом  $A$  і будують автомат, що розпізнає доповнення  $\omega$ -регулярної мови, заданої автоматом  $A$ . У статті замість  $\omega$ -регулярних виразів розглянуто симетричні –  $\omega$ -регулярні вирази, пов'язані з поняттям зворотного слова ( $\omega$ -слова). Перехід від алгоритму доповнення –  $\omega$ -регулярного виразу до відповідного алгоритму для  $\omega$ -регулярного виразу полягає в заміні використаних понять симетричними поняттями. Розглянуто задачу безпосереднього переходу від –  $\omega$ -регулярного виразу, що задає –  $\omega$ -мову, до –  $\omega$ -регулярного виразу, який задає доповнення цієї мови. Серед  $\omega$ -регулярних виразів виокремлено три класи, для кожного з яких визначено алгоритм побудови доповнення –  $\omega$ -регулярного виразу із цього класу. Це суттєво спрощує розв'язання розглядуваної задачі. Розглянуто клас виразів вигляду  $\Sigma^{-\omega} R$ , де  $R \in \Sigma^*$  і не має вигляду  $R_1 \Sigma^*$ .

**Ключові слова:** –  $\omega$ -регулярний вираз, доповнення –  $\omega$ -регулярного виразу, суфікс регулярного виразу, алфавіт  $\Sigma'$ , сумісні слова, умова сумісності.

**Complementation of –  $\omega$ -regular expressions. I / A.N. Chebotarev // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 33–43.**

**Abstract.** When using  $\omega$ -regular expressions in the verification and synthesis of reactive systems, the problem of complementing these expressions arises, which is related to the language containment problem. To this end, a  $\omega$ -regular language is usually defined by a  $\omega$ -automaton  $A$ , and the automaton is constructed that recognizes the complement of the language defined by  $A$ . In this paper, instead of  $\omega$ -regular expressions, we consider symmetric –  $\omega$ -regular expressions based on the notion of reverse word (–  $\omega$ -word). The transition from the algorithm for complementing a –  $\omega$ -regular expression to the corresponding algorithm for a  $\omega$ -regular expression consists in replacing the notions used by the notions symmetric to them. We consider the problem of the direct transition of the regular expression that defines a –  $\omega$ -regular language to the –  $\omega$ -regular expression that defines the complement of this language. Among –  $\omega$ -regular expressions, we distinguish three non-intersecting classes, for each of which we develop an algorithm to complement –  $\omega$ -regular expressions that belong to this class. This significantly simplifies solving the problem under consideration. In this paper, we consider a class of –  $\omega$ -regular expressions of the form  $\Sigma^{-\omega} R$ , where  $R \in \Sigma^*$ , and does not have the form  $R \Sigma^*$ .

**Keywords:** –  $\omega$ -regular expression, complement of the –  $\omega$ -regular expression, suffix of the regular expression, alphabet  $\Sigma'$ , contiguous words, contiguity condition.

Надійшла

УДК 621.391:519.2:519.7

**Оцінювання ймовірності успіху атаки випередження на смартконтракти / Л.В. Ковальчук, А.А. Вихло // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 44–55.**

**Анотація.** Розглянуто атаку випередження (frontrunning attack), яка є однією з найпоширеніших атак на смартконтракти. Її сутність полягає в маніпулюванні порядком включення транзакції в блок з метою отримання вигоди внаслідок зміни послідовності оброблення транзакцій. Особливу загрозу така атака становить для проведення аукціонів р2р продажу «зеленої» електроенергії. У цій роботі спочатку розглянуто та проаналізовано різні типи атак випередження, які формалізовано в покрокових алгоритмах виконання. Запропоновано модель, в якій оцінено ймовірність успіху такої атаки. Для запропонованої моделі отримано явну формулу для ймовірності успіху атаки заміщення та атаки вставки, які є окремими випадками атаки випередження. Показано, що ймовірність успіху залежить від параметрів мережі та від співвідношення між комісіями транзакцій, створених чесним користувачем та зловмисником. Наведено чисельні приклади практичного застосування отриманої формули, які додатково підтверджують коректність аналітичних результатів.

**Ключові слова:** блокчейн, смартконтракти, аукціони, р2р продаж «зеленої» електроенергії, атака випередження.

**Assessment of the probability of success of a frontrunning attack on smart contracts / L.V. Kovalchuk, A.A. Vykhlo // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 44–55.**

**Abstract.** A frontrunning attack is one of the most common attacks on smart contracts. Its essence lies in manipulating the order of transaction inclusion in a block to gain an advantage by altering the transaction processing sequence. This attack poses a particular threat to the conduct of p2p auctions for selling “green” electricity. In this paper, different types of such attacks are examined, analyzed, and formalized in step-by-step execution algorithms. Next, a model is proposed to assess the probability of success of such an attack. An explicit formula is derived for the probability of success of a displacement attack and an insertion attack, which

are specific cases of a frontrunning attack. The probability of success is shown to depend on network parameters and the ratio between the transaction fees created by an honest user and a malicious user. Numerical examples of practical applications of the derived formula are provided, further confirming the correctness of the analytical results.

**Keywords:** blockchain, smart contracts, auctions, p2p sales of “green” electricity, frontrunning attack.

---

УДК 517.977.5

**Особенности возбуждения динамических процессов в групповых электроприводах обтискных станів / В.А. Красношапка, В.В. Красношапка, Ю.В. Писаренко, Мамедова К.Ю. // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 56–63.**

**Анотація.** Досліджено вплив змінних технологічних навантажень на головну лінію прокатного стану. Наведено математичну модель динамічних процесів у групових електроприводах обтискних технологічних машинних агрегатах (прокатних станах). Показано, що залежність моменту технологічного опору від швидкостей робочих валків визначається формулою, яка враховує особливості технологічного навантаження. Дослідження впливу змінних технологічних навантажень на головну лінію прокатного стану показало, що найбільш небезпечним є збільшення значення коефіцієнта тертя на верхньому валу. З'ясовано, що у цих випадках може відбуватися значне неузгодження швидкостей робочих валків, а падіння моменту технологічного опору на верхньому валку не компенсується зростанням моменту технологічного опору на нижньому валку. Тому в пружних ланках головної лінії прокатного стану збуджуються автоколивання, а також нестійкі режими коливань.

**Ключові слова:** динамічна модель, груповий машинний агрегат, обтискний стан, прокатний стан.

---

**Features of the excitation of dynamic processes in group electric drives of pressure states / V.A. Krasnoshapka, V.V. Krasnoshapka, J.V. Pisarenko, Mamedova K.Yu. // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 56–63.**

**Abstract.** In the paper, a study of the influence of variable technological loads on the main line of the rolling mill is carried out. A mathematical model of the study of dynamic processes in group electric drives of crimping technological machine units (rolling mills) is presented. It is shown that the dependence of the moment of technological resistance on the speeds of the working rolls is determined by the dependence that takes into account the peculiarities of the technological load. The study of the influence of variable technological loads on the main line of the rolling mill showed that the drop in the coefficient of friction on the upper shaft is the most dangerous. It was found out that in these cases, there can be a significant mismatch of the speeds of the working rolls, and the drop in the moment of technological resistance on the upper roll is not compensated by the increase in the moment of technological resistance on the lower roll; therefore, self-oscillations are excited in the elastic links of the main line of the rolling mill, as well as unstable modes of oscillations.

**Keywords:** dynamic model, group machine unit, crimping mill, rolling mill.

---

УДК 519.713

**Спрямоване пересування колективу автоматів без компаса на квадратній решітці ширини 2 / С.В. Сапунів // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 64–73.**

**Анотація.** Розглянуто задачу збереження напрямку пересування колективом скінчених автоматів на двовимірній цілочисловій решітці ширини 2 з непозначеними елементами (вершинами). Автомати не розрізняють вершини середовища за їхніми координатами (тобто автомати не мають компаса). Наведено колективи, які складаються із одного автомата та декількох камінців, розташування яких цілком визначається автоматом. Доведено, що на відміну від автомата з чотирма камінцями, автомат з трьома та меншою кількістю камінців не зберігає напрямку пересування на решітці.

**Ключові слова:** колектив автоматів, лабіринт, спрямоване пересування.

---

**Directional movement of a collective of compassless automata on square lattice of width 2 / S.V. Sapunov // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 64–73.**

**Abstract.** A collective of finite automata has to preserve unidirectional movement on a two-dimensional integer lattice of width two whose elements (vertices) are anonymous. The automata do not distinguish between equally labeled vertices by their direction coordinates (that means each automaton has no compass). We consider collectives consisting of an automaton and some pebbles, i.e., automata of the simplest form, whose positions are completely determined by the automaton. We prove that a collective of an automaton and a maximum of 3 pebbles cannot maintain movement direction on the lattice, but a collective of an automaton and four pebbles can.

**Keywords:** collectives of automata, labyrinth, unidirectional movement.

УДК 519.872

**Прискорене моделювання ймовірності блокування вимог у системі обслуговування з пуасонівським вхідним потоком, керованим напівмарковським процесом / М.Ю. Кузнцов, І.М. Кузнцов, А.А. Шумська // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 74–88.**

**Анотація.** Розглянуто багатоканальну систему обслуговування, в яку надходить пуасонівський потік вимог з інтенсивністю, що залежить від поточного стану напівмарковського процесу. Цей же стан визначає і тип вимоги. Кожен канал обслуговування містить декілька ліній. Для свого обслуговування вимоги різного типу потребують певну кількість ліній, яка визначається відповідним розподілом. У випадку недостатньої кількості вільних ліній допускається переорієнтація вимоги з одного каналу обслуговування на інший. Тривалість обслуговування має довільний розподіл, який залежить як від типу вимоги, так і від кількості ліній, які вона потребує. Для знаходження ймовірності блокування вимог певного типу із запитом на задану кількість ліній обслуговування запропоновано метод прискореного моделювання. На числовому прикладі здійснено порівняння із методом Монте-Карло, зокрема проаналізовано, як змінюється відносна похибка оцінки зі зменшенням ймовірності блокування.

**Ключові слова:** система обслуговування, напівмарковський процес, канал, лінія, ймовірність блокування, метод Монте-Карло, прискорене моделювання, оцінка, відносна похибка.

---

**Fast simulation of customers blocking probability in a queueing system with Poisson input flow controlled by a semi-Markov process / M.Yu. Kuznetsov, I.M. Kuznetsov, A.A. Shumska // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 74–88.**

**Abstract.** A multichannel queueing system with a Poisson input flow is considered. The input flow rate depends on the current state of a semi-Markov process. This state also determines the type of the customer. Each channel contains several service lines. To be serviced, the customer requires several lines with the distribution dependent on the customer's type. Not each channel is accessible for customers of a given type. The accessibility is determined by some distribution depending both on the customer's type and on the required number of lines. If the channel does not have sufficient service lines, it is possible to reorient this customer to another channel. The service time has a general distribution function depending on the customer's type and the number of lines required for servicing. A fast simulation method is proposed to evaluate the blocking probability of customers of a certain type demanding a given number of service lines. A comparison with the Monte Carlo method is made using a numerical example, and the change in the relative error of the estimate for decreasing blocking probability is analyzed.

**Keywords:** queueing system, semi-Markov process, channel, line, blocking probability, Monte Carlo method, fast simulation, estimate, relative error.

---

УДК 519.85

**Двоетапна транспортна задача з двосторонніми обмеженнями на потреби споживачів та верхніми межами на пропускні спроможності проміжних пунктів / П.І. Стецюк, В.О. Стовба, О.М. Хом'як, М.Г. Стецюк // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 89–101.**

**Анотація.** Розглянуто математичну модель двоетапної транспортної задачі з двосторонніми обмеженнями на потреби споживачів та верхніми межами на пропускні спроможності проміжних пунктів. Обґрунтовано необхідні та достатні умови сумісності системи лінійних обмежень відповідної задачі лінійного програмування. Наведено дві математичні моделі двоетапної транспортної задачі, до яких можна звести вихідну модель. Представлено результати обчислювальних експериментів із застосування описаної задачі для модельної задачі оптимального розбиття множини з використанням солвера CPLEX з NEOS-сервера.

**Ключові слова:** двоетапна транспортна задача, задача лінійного програмування, сумісність системи обмежень, оптимальне розбиття множини, CPLEX, NEOS.

---

**Two-stage transportation problem with two-sided constraints on consumer demands and upper bounds for capacity of intermediate points / P.I. Stetsyuk, V.O. Stovba, O.M. Khomiak, M.G. Stetsyuk // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 89–101.**

**Abstract.** A mathematical model of a two-stage transportation problem with two-sided constraints on consumer demands and upper bounds on the bandwidths of intermediate points is considered. The necessary and sufficient conditions of consistency of the linear constraints system of the corresponding linear programming problem are substantiated. Two mathematical models of a two-stage transportation problem are presented, to which the initial model can be reduced. The results of computational experiments on applying the problem described to the optimal set partitioning problem using the CPLEX solver from the NEOS server are presented.

**Keywords:** two-stage transportation problem, linear programming problem, constraint system compatibility, optimal set partitioning, CPLEX, NEOS.

---

УДК 517.9

**Математичне моделювання Т-імунної відповіді у разі COVID-19 / К.Л. Атоєв, П.С. Кнопов //** Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 102–112.

**Анотація.** Розроблено математичну модель для дослідження впливу стану колективного імунітету на перебіг пандемії COVID-19. Модель враховує різні ланки імунної системи та дає змогу досліджувати механізми виникнення режимів метастабільного хаосу під час імунної відповіді. Досліджено взаємозв'язок між станом енергетичної системи клітини та динамікою імунної відповіді. Розглянуто задачу оптимального керування імунною відповіддю для мінімізації ризику патологічних порушень, пов'язаних із надмірним запаленням унаслідок синдрому викиду цитокінів в організмі у разі COVID-19. Показано, як зміни у різних ланках імунної системи впливають на тривалість захворювання. Визначено залежність загальної кількості уражених вірусом клітин від зміни балансу синтезу та витрат енергії у клітинах.

**Ключові слова:** математичне моделювання, модель Т-імунної відповіді, COVID-19, оптимальне керування, детермінований хаос.

---

**Mathematical modeling of the T-immune response in COVID-19 / K.L. Atoyev, P.S. Knopov //** Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 102–112.

**Abstract.** A mathematical model has been developed to study the impact of the state of collective immunity on the dynamics of the COVID-19 pandemic. The model accounts for different components of the immune system and allows for the investigation of mechanisms that lead to metastable chaos during the immune response. The relationship between cellular energy states and the dynamics of the immune response has been studied. The problem of optimal control of the immune response is considered, with the aim of minimizing the risk of pathological disorders associated with excessive inflammation due to cytokine release syndrome in the body during COVID-19. It has been shown how changes in different components of the immune system affect the duration of the disease. The dependence of the total number of virus-infected cells on the changes in the balance of energy synthesis and expenditure in cells has been determined.

**Keywords:** mathematical modeling, T-immune response model, COVID-19, optimal control, deterministic chaos.

---

УДК 519.711

**Оцінки розв'язків операторних рівнянь в умовах невизначеності / О.Г. Наконечний, П.М. Зінко, Т.П. Зінко //** Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 113–124.

**Анотація.** Знайдено гарантовані оцінки для прямокутних матриць, які задовольняють лінійні операторні рівняння з невідомими правими частинами. За певних припущень показано, що гарантовані оцінки матриць можуть бути знайдені як розв'язки систем операторних рівнянь. У випадку, коли дані спостережень задані з детермінованими похибками, які належать певним обмеженим множинам, отримано вирази для верхніх та нижніх оцінок розв'язків таких рівнянь, а також вирази для верхніх та нижніх похибок таких оцінок. Одержані результати проілюстровано на тестовому прикладі.

**Ключові слова:** лінійне операторне рівняння, ядро оператора, спряжений оператор, гарантована апостеріорна оцінка матриці, гарантована апостеріорна похибка оцінки матриці, мінімальний за нормою розв'язок рівняння.

---

**Estimates of the solutions of operator equations under uncertainty / O.G. Nakonechnyi, P.M. Zinko, T.P. Zinko //** Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 113–124.

**Abstract.** The paper focuses on finding the guaranteed estimates for rectangular matrices that satisfy the linear operator equations with unknown right-hand sides. Under certain assumptions, it is shown that guaranteed estimates of matrices can be found as the solutions of systems of operator equations. In the case where observation data are given with deterministic errors, which belong to certain bounded sets, we obtain the expressions for upper and lower estimates of the solutions of such equations, as well as expressions for upper and lower errors of such estimates. The obtained results are illustrated by an example.

**Keywords:** linear operator equation, operator core, conjugate operator, guaranteed a posteriori estimate of matrix, guaranteed a posteriori error of the estimate of matrix, minimum by norm solution of the equation.

---

УДК 519.622.22

**Підхід до визначення параметрів динамічної системи за нелокальних умов перевизначення високого порядку / К.Р. Айда-заде, В.М. Абдуллаєв //** Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 125–144.

**Анотація.** Досліджено задачу ідентифікації постійних параметрів, що входять до правих частин лінійної неавтономної системи диференціальних рівнянь зі звичайними похідними першого порядку. Особливість задачі полягає в тому, що додаткові умови для ідентифікації параметрів, по-перше, є нелокальними, а по-друге, містять похідні невідомої функції. Розглянуто умови існування та єдиності розв'язку задачі та запропоновано два різні підходи до числового розв'язання задачі. Наведено результати комп'ютерних експериментів.

**Ключові слова:** динамічна система, параметрична ідентифікація, навантажене диференціальне рівняння, умови існування розв'язку, комп'ютерні експерименти.



**Approach to determining the parameters of a dynamic system under nonlocal high-order overdetermination conditions / K.R. Aida-zade, V.M. Abdullayev // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 125–144.**

**Abstract.** We analyze the problem of identifying the constant parameters involved in the right-hand sides of a linear non-autonomous system of differential equations with first-order ordinary derivatives. The specificity of the problem is that additional conditions for identifying parameters, first, are non-local, and second, include derivatives of an unknown function. We examine the conditions for the existence and uniqueness of a solution to the problem and propose two different approaches to the numerical solution of the problem. The results of computer experiments are presented.

**Keywords:** dynamic system, parametric identification, loaded differential equation, conditions for the existence of a solution, computer experiments.

---

УДК 519.816

**Порівняння результатів ранжування альтернатив, отриманих за декількома варіантами методу аналізу ієрархій / М.М. Потьомкін, О.М. Семененко, Ю.О. Клят, А.А. Седляр // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 145–153.**

**Анотація.** Зазначено, що метод аналізу ієрархій є одним з найшироковживаних багатокритерійних методів, а його обчислювальні процедури зазнали неодноразових удосконалень та модифікацій. Через наявність багатьох варіантів методу аналізу ієрархій є залежність визначення найкращих альтернатив від застосованого варіанта цього методу. Наведено опис трьох варіантів методу аналізу ієрархій: оригінального, спрощеного та нечіткого. Результатами розв'язання відомого прикладу за цими трьома варіантами підтверджено, що вони можуть призводити до отримання різних ранжувань. Зроблено висновок, що заради підвищення обґрунтованості рекомендацій для особи, яка приймає рішення, обчислення доцільно виконувати з використанням кількох варіантів методу, а рішення про перевагу однієї альтернативи над іншою наслідок приймати лише у разі збігу результатів порівняння альтернатив за більшістю використаних варіантів методу.

**Ключові слова:** метод аналізу ієрархій, нечіткий метод аналізу ієрархій, приклад обчислень, ранжування альтернатив, спрощений метод аналізу ієрархій.

---

**Comparing the results of the ranking of alternatives obtained by several options of the analytic hierarchy process / M.M. Potomkin, O.M. Semenenko, Y.O. Kliat, A.A. Sedliar // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 145–153.**

**Abstract.** It is noted that the analytic hierarchy process is one of the most widely used multi-criteria methods, and its calculation procedures have repeatedly become the object of various improvements and modifications. The presence of many variants of the analytic hierarchy process may result in the dependence of the determination of the best alternatives on the used variant of this method. A description of three variants of the analytic hierarchy process is provided: original, simplified, and fuzzy. Based on the results of solving a known example, these three options confirmed that they can lead to different rankings. It was concluded that in order to increase the validity of the recommendations for the person making the decision, it is advisable to carry out calculations according to several options, and it is advisable to make a decision about the superiority of one alternative over another only in case of convergence of the results of their comparison according to the majority of used options.

**Keywords:** analytic hierarchy process, fuzzy analytic hierarchy process, example of calculations, alternative ranking, simplified analytic hierarchy process.

---

УДК 519.7:65.011

**Застосування системного аналізу та математичного апарату нечіткої логіки для моделювання процесу оцінювання фінансового стану підприємства / А.О. Азарова, Ю.В. Крак, Л.О. Нікіфорова, О.Д. Азаров, К.С. Белякова // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 154–168.**

**Анотація.** У статті досліджено наявний теоретичний доробок для оцінювання як фінансового стану, так і фінансової стійкості підприємства на основі різних підходів, зокрема моделі банкрутства, імітаційного моделювання та ін. Розроблено математичну та структурну моделі процесу оцінювання фінансового стану підприємства засобами системного аналізу, а також його формалізації з використанням апарату нечіткої логіки. Обґрунтовано множину агрегуючих функцій для узагальнення кількісних оцінювальних параметрів, що описують фінансову стійкість, ліквідність та платоспроможність, ділову активність, а також прибутковість досліджуваного підприємства. Крім того, для отримання точного результуючого рішення в математичній моделі враховано ділову репутацію компанії, що оцінюється за п'ятьма якісними параметрами. Експериментальний пул верифікації розробленої моделі оцінювання фінансового стану підприємства складає 15 підприємств.

**Ключові слова:** системний аналіз, математичне моделювання, нечітка логіка, оцінювання рівня фінансового стану підприємства.

---

**Application of system analysis and mathematical apparatus of fuzzy logic for modeling of the process of assessing the financial state of the enterprise / A.O. Azarova, Iu.V. Krak, L.O. Nikiforova, O.D. Azarov, K.S. Belyakova // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 154–168.**

**Abstract.** The article analyzes the available theoretical studies on assessing both the financial state and financial stability of an enterprise based on various approaches, including bankruptcy models, simulation modeling, etc. This made it possible for the authors of the article to develop their own mathematical and structural models of the process of assessing the financial state of the enterprise by means of system analysis, as well as its formalization based on the apparatus of fuzzy logic. A set of aggregating functions for summarizing quantitative evaluation parameters describing the financial stability, liquidity and solvency, business activity, and profitability of the enterprise under study is substantiated. Moreover, the mathematical model took into account the company's business reputation, which is evaluated based on five qualitative parameters, to obtain an accurate resulting decision. The experimental pool of verification of the developed model for assessing the enterprise's financial state is 15 enterprises.

**Keywords:** system analysis, mathematical modeling, fuzzy logic, assessing of enterprise's financial state.

УДК 519.8

**Деякі представлення тригармонійних функцій / А.М. Шутівський // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 169–180.**

**Анотація.** Отримано результати, які дають змогу розглядати теорію ігрових задач динаміки як середовище для побудови важливих математичних об'єктів. А саме, проінтегровано тригармонійне рівняння в декартових координатах зі спеціально підібраними граничними умовами. Побудовано тригармонійний інтеграл Пуассона для верхньої півплощини, який належить до класу додатних операторів. Розглянуто функціональну залежність тригармонійного оператора від періодичних функцій та отримано інтеграл із дельтаподібним ядром, яке можна розкласти на три знакосталі дробу. Аналіз асимптотичної поведінки тригармонійного ядра засвідчує узгодженість отриманих результатів із раніше відомими результатами.

**Ключові слова:** тригармонійне рівняння, верхня півплощина, перетворення Фур'є, ряд Фур'є, додатний оператор.

**Some representations of triharmonic functions / A.M. Shutovskyi // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 169–180.**

**Abstract.** In this paper, a range of results have been obtained that enable one to consider the theory of game dynamics problems as an environment for constructing important mathematical objects. Namely, the triharmonic equation is integrated in the Cartesian coordinates with specially selected boundary conditions. The triharmonic Poisson integral for the upper half-plane, which belongs to the class of positive operators, is constructed. The functional dependence of the triharmonic operator on periodic functions is considered, and an integral with a delta-shaped kernel is obtained, which can be decomposed into three constant-sign fractions. The analysis of the asymptotic behavior of the triharmonic kernel shows the consistency of the obtained results with the previously known results.

**Keywords:** triharmonic equation, upper half-plane, Fourier transform, Fourier series, positive operator.

## ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНІ КОМПЛЕКСИ

## SOFTWARE–HARDWARE SYSTEMS

УДК 519.8.812.007

**Інтелектуальна система діагностики адаптації людини до екстремальних збурень / Н.І. Аралова, А.О. Чикрій, Л.Я.-Г. Шахліна // Кібернетика та системний аналіз. 2024. Том 60, № 6. С. 181–189.**

**Анотація.** Запропоновано інтелектуальну систему діагностики адаптації організму людини до екстремальних збурень зовнішнього та внутрішнього середовища. Складовими елементами системи є математичні моделі транспорту та масообміну респіраторних газів, самоорганізації системи дихання та кровообігу, системи теплообміну і теплопередачі та системи імунного відклику, а також їхні взаємодія та взаємовплив.

**Ключові слова:** інтелектуальна система діагностики, математична модель функціональної системи дихання, взаємодія і взаємовплив функціональних систем організму, адаптація організму до екстремальних збурень.

**Intelligent system of diagnostic human adaptation to extreme disturbance N.I. Aralova, A.O. Chikriy, L.Ya.-G. Shakhlina // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 181–189.**

**Abstract.** An intelligent system for diagnosing the human body's adaptation to extreme disturbances of the external and internal environment is proposed. The components of the system are mathematical models of transport and mass exchange of respiratory gases, self-organization of the respiratory and circulatory systems, heat exchange and heat transfer systems, and the immune response system, their interaction and mutual influence.

**Keywords:** intelligent diagnostic system, mathematical model of the functional respiratory system, interaction and mutual influence of the functional systems of the body, adaptation of the body to extreme disturbances.

**Анотація.** Описано модель архітектури програмного модуля для автоматизованої візуалізації. Модель містить інформацію про структурні компоненти програми та зв'язки між ними. Охарактеризовано запропонований програмний комплекс для автоматичної побудови моделі програм, написаних мовою Swift. Продемонстровано на прикладі спосіб використання цієї моделі для виявлення вад проєктування.

**Ключові слова:** програмування, програмний модуль, архітектура програмного забезпечення (ПЗ), оцінювання якості ПЗ, візуалізація архітектури, автоматизований статичний аналіз, шаблони проєктування, метрики, абстрактне синтаксичне дерево.

---

**Automated visualization of program architecture components for the swift language / O. Frankiv, M. Glybovets** // Kibernetika ta Systemnyi Analiz. 2024. Vol. 60, N 6. P. 190–198.

**Abstract.** A model of the architecture of a software module for automated visualization is described. The model contains information about the structural components of the program and the connections between them. The proposed software complex for the automatic construction of program models written in Swift is characterized. A method for using this model to detect design flaws has been demonstrated with an example.

**Keywords:** programming, software module, software architecture, software quality assessment, architecture visualisation, automated static analysis, design patterns, metrics, abstract syntax tree.

---