

УДК 004.94

[https://doi.org/ 10.35546/kntu2078-4481.2019.4.12](https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2019.4.12)

В.М. КОЗЕЛ

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0002-2627-2499

АНАЛІЗ ІМІТАЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ ЗА КРИТЕРІЯМИ ПРИДАТНОСТІ

У статті розглянуто застосування імітаційного моделювання при побудові інформаційних управляючих систем. Виявлено, що в досліджених роботах авторів запропоновано використання певного типу імітаційної моделі для конкретного випадку без проведення досліджень придатності інших моделей. Метою статті було дослідження імітаційних моделей для моделювання руху інформаційних потоків у закладах організаційного типу, а також дослідження найбільш відповідного методу імітаційного моделювання руху інформаційних потоків у системах управління. Розглянуто існуючі на даний момент методи імітаційного моделювання для вибору найбільш точного й придатного при побудові імітаційної моделі руху інформаційних потоків, такі як: моделі на основі абстрактних автоматів, мережі Петрі, Марківські ланцюги, агрегатні моделі Бусленка, дискретно-безперервні системи Глушкова та системи масового обслуговування. Виявлені переваги та недоліки розглянутих імітаційних моделей. Головний недолік абстрактних автоматів той, що при великій кількості станів і вхідних сигналів таблиця станів стає незручною в роботі. Моделювання з використанням мереж Петрі не дозволяє одержати кількісні характеристики. Недоліком моделі Глушкова є складність її реалізації, а також той факт, що модель всієї безперервно-дискретної системи або її елемента представляється мережею агрегатів з фіксованими каналами зв'язків. На підставі проведеного дослідження й аналізу імітаційних моделей побудовано зведену таблицю гідностей і недоліків досліджених методів побудови імітаційних моделей.

Виявлено що, найбільш зручним і простим у реалізації для розробки інформаційної системи управління закладом є моделювання процесів на базі теорії масового обслуговування. Запропоновано також використання теорія графів яка надає наочне графічне відображення руху інформаційних потоків, а системи масового обслуговування дозволяють визначити основні якісні характеристики об'єкта в динаміці.

Ключові слова: моделювання, інформаційна система управління, імітаційне моделювання, інформаційний потік.

В.Н. КОЗЕЛ

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0002-2627-2499

АНАЛИЗ ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ЗА КРИТЕРИЯМИ ПРИМЕНИМОСТИ

В статье рассмотрено применение имитационного моделирования при построении информационных управляющих систем. Выведено, что в исследованных работах авторов предложено использование определенного типа имитационной модели для конкретного случая без проведения исследований пригодности других моделей. Целью статьи было исследование имитационных моделей для моделирования движения информационных потоков в учреждениях организационного типа, а также исследования наиболее подходящего метода имитационного моделирования движения информационных потоков в системах управления. Рассмотрены существующие на данный момент методы имитационного моделирования для выбора наиболее точного и пригодного при построении имитационной модели движения информационных потоков, такие как: модели на основе абстрактных автоматов, сети Петри, Марковской цепи, агрегатные модели Бусленко, дискретно-непрерывные системы Глушкова и системы массового обслуживания. Выявленные преимущества и недостатки рассмотренных имитационных моделей. Главный недостаток абстрактных автоматов в том, что при большом количестве состояний и входных сигналов таблица состояний становится неудобной в работе. Моделирование с использованием сетей Петри не позволяет получить количественные характеристики. Недостатком модели Глушкова является сложность ее реализации, а также тот факт, что модель всей непрерывно-дискретной системы или ее элемента представляется сетью агрегатов с фиксированными каналами связи. На основании проведенного исследования и анализа имитационных моделей построено сводную таблицу достоинств и недостатков исследованных методов построения имитационных моделей.

Выведено что, наиболее удобным и простым в реализации для разработки информационной системы управления заведением является моделирование процессов на базе теории массового обслуживания. Предложено также использование теории графов, которая предоставляет наглядное

графическое отображение движения информационных потоков, а системы массового обслуживания позволяет определить основные качественные характеристики объекта в динамике.

Ключевые слова: моделирование, информационная система управления, имитационное моделирование, информационный поток.

V.M. KOZEL

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0002-2627-2499

ANALYSIS OF IMITATION MODELS BY APPLICABILITY CRITERIA

The article describes the use of simulation modeling in the construction of information control systems. It has been found that in the studied works of the authors it is proposed to use a certain type of simulation model for a specific case without conducting studies of suitability of other models. The purpose of the article was to investigate simulation models for modeling the movement of information flows in organizational type institutions, as well as to investigate the most appropriate method for simulating the movement of information flows in control systems. The present methods of simulation modeling for selection of the most accurate and suitable in the construction of simulation model of movement of information flows are considered, such as: models based on abstract automatic machines, Petri networks, Markovsky chain, aggregate models of Buslenko, discrete-continuous Glushkov systems and mass service systems. The identified advantages and disadvantages of the simulation models considered. The main disadvantage of abstract machines is that with a large number of states and input signals, the state table becomes uncomfortable to operate. Modeling using Petri networks does not produce quantitative characteristics. The disadvantage of the Glushkov model is the complexity of its implementation, as well as the fact that the model of the entire continuous-discrete system or its element is represented by a network of units with fixed communication channels. Based on the conducted research and analysis of simulation models, a summary table of advantages and disadvantages of the investigated methods of simulation model construction has been built.

It has been revealed that the most convenient and easy to implement for the development of an information system for the management of the institution is the modeling of processes based on the theory of mass service. It is also proposed to use graph theory, which provides a visual graphical representation of the movement of information flows, and mass service systems allow to determine the main qualitative characteristics of the object in dynamics.

Keywords: modeling, information management system, simulation modeling, information flow.

Постановка проблеми

Дослідження систем управління - це вид діяльності, спрямований на розвиток і вдосконалення управління відповідно до постійно змінюються зовнішніми і внутрішніми умовами. В умовах динамічності і суспільного устрою, управління повинно знаходитися в стані безперервного розвитку, яке сьогодні неможливо забезпечити без дослідження шляхів і можливостей цього розвитку, без вибору альтернативних напрямків. Дослідження управління здійснюється в щоденній діяльності менеджерів і персоналу, в роботі спеціалізованих аналітичних груп, лабораторій.

Однією з основних умов ефективного функціонування системи управління є постійний аналіз інформаційних потоків, які забезпечують взаємодію з зовнішнім середовищем, а також внутрішніми підрозділами, встановлення раціональних зв'язків між джерелами і приймачами інформації та шляхів її циркуляції. Зазначені аспекти є передумовами для побудови моделі руху інформації, метою якої є вдосконалення та підвищення ефективності діяльності закладу. Для вирішення задач при проектуванні ІСУ використовують аналітичні й імітаційні моделі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання побудови ефективних систем управління організаційних закладів, а також застосування імітаційних моделей для побудови інформаційно-управляючих систем в останні роки піднімалися в роботах В.Є. Ходаков, Н.А. Соколової, Ю. Якусевич і ін. [1, 2, 3]. В роботах авторів запропоновано використання певного типу імітаційної моделі для конкретного випадку без проведення досліджень придатності інших моделей. Таким чином, дослідження придатності тієї чи іншої імітаційної моделі для побудови інформаційних систем управління є актуальною задачею.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи було дослідження імітаційних моделей для моделювання руху інформаційних потоків у загальних закладах, а також дослідження найбільш відповідного методу імітаційного моделювання руху інформаційних потоків у системах управління.

Викладення основного матеріалу дослідження

Імітаційне моделювання - це метод, що дозволяє будувати моделі, які враховують час виконання процесів. В імітаційній моделі зміни процесів і даних асоціюються з подіями. Процес імітаційного

моделювання полягає в послідовному переході від однієї події до іншої. Звичайно, імітаційні моделі будуються для пошуку оптимального рішення в умовах обмеження по ресурсах, коли інші математичні моделі виявляються занадто складними [4].

Для моделювання руху потоків інформації широко застосовують імітаційні моделі. Імітаційні моделі застосовують, коли необхідно забезпечити спостереження за ходом процесу протягом певного часового періоду (або, коли неможливо застосувати аналітичні моделі математичного програмування до рішення задач управління). При побудові імітаційних моделей вибирають деякі базові одиниці моделі – об'єкти або сутності. Це можуть бути різні фізичні об'єкти, наприклад, робоче місце, одиниця встаткування, вузол і т.д. Об'єктам присвоюють атрибути. Фіксовані атрибути описують природу й характеристики об'єкта, змінні – стан об'єкта. Стан моделюючої системи описується усіма станами, що характеризують її об'єкти. Зв'язки між об'єктами задаються атрибутами. Фіксовані атрибути описують статичні, змінні – динамічні зв'язки. Залежно від характеру зміни атрибутів розрізняють безперервні й дискретні моделі. У моделях дискретних подій виділяють набір робіт. Такими роботами, наприклад, можуть бути технологічні операції по обробці деталей. Побудова моделі в цьому випадку полягає в логіко-математичному описі відповідних робіт, подій і процесів.

Розглянемо існуючі на даний момент методи імітаційного моделювання для вибору найбільш точного й придатного при побудові імітаційної моделі руху інформаційних потоків.

Моделі на основі абстрактних автоматів.

Абстрактні автомати використовують для опису об'єктів АСУ, для яких характерна наявність дискретних станів і дискретний характер роботи в часі. До таких об'єктів належать елементи й вузли ПК, пристрої контролю й регулювання, системи комутації, програми й операційні системи.

Абстрактний автомат можна представити видом [5]:

$$A = \{X, Y, ZX, Z_0, \delta(z, x), \lambda(z, x)\}$$

де X - кінцева множина вхідних сигналів (вхідний алфавіт автомата);
 Y - кінцева множина вихідних сигналів (вихідний алфавіт автомата);
 ZX - вихідна множина станів автомата;
 $Z_0 \in Z$ - початковий стан автомата;
 $\delta(z, x)$ - функція переходів автомата;
 $\lambda(x, z)$ - функція виходів або зрушена функція виходів.

Функції $\delta(z, x)$ й $\lambda(x, z)$ задають однозначне відображення множини (z, x) , де $z \in Z$ й $x \in X$ у множині X і Y . Автомат, заданий функцією виходів, називається автоматом першого роду, автомат, заданий зрушеною функцією виходів, - автоматом другого роду.

Абстрактний автомат сам по собі не є універсальним і незручний для практичного застосування. Головний недолік той, що при великій кількості станів і вхідних сигналів таблиця станів стає незручною в роботі.

В абстрактному автоматі розглядаються послідовні переходи стану. Тому така модель незастосовна для об'єктів, здатних виконувати свої функції паралельно.

Моделей на основі мережі Петрі.

Для моделювання об'єктів, що дозволяють виконувати свої функції, паралельно використовують мережі Петрі. Мережі Петрі – це інструмент опису й дослідження мультипрограмих, асинхронних, розподілених, паралельних, недетермінованих і/або стохастичних систем обробки інформації.

У якості графічного засобу мережі Петрі можуть використовуватися для наочного представлення моделюючої системи, подібно блок-схемам, структурним схемам і мережним графікам. Поняття, що вводиться в цих мережах, фішки дозволяють моделювати динаміку функціонування систем і паралельні процеси. У якості математичного засобу аналітичне представлення мережі Петрі дозволяє визначити рівняння стану, алгебраїчні рівняння й інші математичні співвідношення, що описують динаміку систем [6].

Проста мережа Петрі із трьох елементів: множина місць, множина переходів і відношення інцидентності. Мережі Петрі мають зручну графічну форму представлення у вигляді графа, у якому місця зображуються колом, а переходи прямокутниками. Місця й переходи з'єднуються спрямованими дугами, кожній дузі зіставляється деяке натуральне число. Це число називається кратністю дуги, яке графічно зображується поруч із дугою. Дуги, що мають одиничну кратність, позначаються без приписування одиниці.

Мережі Петрі мають зручну графічну форму представлення у вигляді графа, у якому місця зображуються колом, а переходи прямокутниками.

Мережі Петрі були розроблені й використовуються для моделювання паралельних і асинхронних систем. При моделюванні в мережах Петрі місця символізують який-небудь стан системи, а перехід символізують якесь дії, що відбуваються в системі. Система, перебуваючи в деякому стані, може породжувати певні дії, і, навпаки, виконання якоїсь дії переводить систему з одного стану в інший.

Моделювання в мережах Петрі здійснюється на подієвому рівні. Визначаються, які дії відбуваються в системі, який стан передувал цим діям і який стан прийме система після виконання дії. Виконання подієвої моделі в мережах Петрі описує поведінка системи. Аналіз результатів виконання може сказати про те, у яких станах перебувала або не перебувала система, які стани в принципі не досяжні. Однак такий аналіз не дає кількісних характеристик, які визначають стан системи [6].

Таким чином, моделювання з використанням мереж Петрі не дозволяє одержати кількісні характеристики, що неприпустимо при побудові ІСУ закладу.

Моделі Марківських ланцюгів.

Метод моделювання на основі Марківських ланцюгів широко застосовують у таких галузях, як автоматизація проектування й організації в автоматизованих системах наукових досліджень, у системах дослідження й проектування, у системах масового обслуговування, при аналізі різних сторін діяльності людини, в автоматизованому керуванні виробничими й іншими процесами. Моделі на основі Марківських ланцюгів використовуються на етапах проектування, створення, впровадження, експлуатації систем, а також на різних рівнях їх вивчення, починаючи від аналізу роботи елементів і закінчуючи дослідженням системи в цілому при їхній взаємодії з навколишнім середовищем [7].

Марківські процеси є приватним видом випадкових процесів. Розрізняють такі види Марківських випадкових процесів [7]:

- з дискретними станами й дискретним часом (ланцюг Маркова);
- з безперервними станами й дискретним часом (Марківські послідовності);
- з дискретними станами й безперервним часом (безперервний ланцюг Маркова);
- з безперервним станом і безперервним часом.

Ланцюги Маркова призначені, головним чином, для повного опису як довгочасної, так і локальної поведінки процесу. Марківські процеси (процеси без післядії) відіграють величезну роль у моделюванні систем масового обслуговування (СМО), а також у моделюванні й виборі стратегії керування соціально-економічними процесами, що відбуваються в суспільстві, зокрема, застосовуються керовані ланцюги Маркова.

До одного з основних недоліків подібних моделей можна віднести наявність великої кількості статичних даних, що суттєво збільшує вартість і час при проектуванні ІСУ.

Агрегатні моделі Бусленка

При системному підході ІСУ розглядають як єдину складну систему разом з керуючими підсистемами. Для забезпечення високої якості управління необхідно добре знати властивості керованих підсистем. Для того, щоб виявляти властивості керованих підсистем, їх реакцію на застосовувані розв'язки й заходу, а також оцінювати якість прийнятих рішень, необхідно використовувати в роботі ІСУ результати моделювання функціонування підсистем у тих або інших прогнозованих умовах. Для рішення цих завдань можна застосовують агрегатну модель Бусленка. [8] Агрегатна модель описує об'єкт управління у вигляді багаторівневої структури з динамічних систем заданих типів або агрегатів. При цьому системи розглядаються як узагальнюючий (самий загальний і самий складний) клас складних систем і називаються агрегативними. Агрегат використовується для моделювання елементарних блоків складних систем. Агрегативною системою називається будь-яка сукупність агрегатів, якщо передача інформації між ними відбувається миттєво й без викривлень. Агрегатом називається математична модель виду:

$$A = \{T, Z, X, U, Y, H, G\}$$

- де
- T – інтервал моделювання (звичайно кінцевий);
 - Z – множина станів (фазовий простір);
 - X – множина вхідних сигналів;
 - U – множина керуючих (особливих) сигналів;
 - Y – множина вихідних сигналів;
 - H – оператор переходів, який визначає поточний стан по передісторії;
 - G – оператор виходів.

У загальному випадку всі послідовності подій в агрегаті є реалізаціями випадкових послідовностей із заданими законами розподілу, оператор H також є випадковим оператором.

Бусленко при розгляді складних систем виділяє два типи станів:

- 1) звичайний (не особливий) стан, у якому система перебуває майже увесь час;
- 2) особливий стан, характерний для системи в деякі ізольовані моменти часу, що збігаються з моментами одержання вхідних і керуючих сигналів або видачі вихідного сигналу. У ці моменти стан агрегату може змінитися стрибкоподібно, а між особливими станами зміна координат відбувається плавно й безупинно.

Агрегат являє собою математичну схему загального виду, окремим випадком якої є функції алгебри логіки, релейно-контактні схеми, кінцеві автомати, динамічні системи, описувані звичайними диференціальними рівняннями й ряд інших. [9]

Недоліком даної моделі є складність її реалізації, а також той факт, що модель всієї безперервно-дискретної системи або її елемента представляється мережею агрегатів з фіксованими каналами зв'язків, що неприйнятно.

Дискретно-безперервні системи Глушкова.

Моделі Глушкова застосовуються для моделювання безперервно-дискретних систем. Формалізм опису містить у собі математичну модель безперервно-дискретної системи, мову специфікації, а також набір процедур і функцій реалізації моделюючого алгоритму. На противагу агрегативному підходу, алгоритм, що моделює В.М.Глушков базується на дискретному подієвому підході до моделювання складних систем [10].

Під моделюванням поведінки безперервно-дискретної системи розуміємо побудову безлічі послідовностей подій, що приводять до зміни її поведінки й структури, зараховуючи до події початковий стан системи. Глобальна поведінка моделюється за допомогою спеціального процесу-монітора, який просуває системний час відповідно до календаря планування подій або відповідно до аналізу часу настання події, яка планується за умовою. Процес моделювання закінчується, коли календар подій виявляється порожнім.

Недоліком даної моделі є складність її реалізації, а також той факт, що модель описує всю безперервно-дискретну систему, що не дозволяє розбити все завдання на підзадачі (моделювання відділів, робочих місць й ін.).

Системи масового обслуговування.

Системи масового обслуговування (СМО) являють собою системи спеціального виду, що реалізують багаторазове виконання однотипних завдань. Моделі СМО застосовуються в багатьох галузях економіки, фінансів, виробництва й побуту, для вивчення режимів функціонування обслуговуючих систем і дослідження явищ, що виникають у процесі обслуговування.

Системи масового обслуговування - це системи, які визначаються наявністю потоку інформації й обслуговуючих пристроїв [11]. На вході моделі - набір параметрів системи (характер потоку заявок, число каналів і їх продуктивності, правила роботи СМО). Вихід - показники якості обслуговування (час очікування, імовірність відмови, довжина черги й ін.). Моделі СМО дозволяють оптимізувати ці процеси обслуговування, тобто досягати певного рівня обслуговування (максимального скорочення черги або втрат вимог) при мінімальних витратах, пов'язаних із простим обслуговуючим пристроєм.

Основні завдання теорії масового обслуговування - знаходження ймовірностей різних станів систем масового обслуговування (СМО), а також установлення залежності між заданими параметрами (числом каналів n , інтенсивністю потоку заявок (розподілом часу обслуговування t та ін.) і характеристиками роботи СМО [11].

Під потоком обслуговування розуміємо потік інформації, що обслуговується один за іншим, одним безупинно зайнятим каналом обслуговування. Заявка – надходження даних на обслуговуючий пристрій, тобто переміщення даних $U = \{u_{ij}\}$ з одного пакета інформації в інший. Цей потік виявляється найпростішим, тільки якщо час обслуговування заявки $T_{\text{обсл}}$ являє собою випадкову величину, що має показовий розподіл. Параметром цього розподілу μ є величина, зворотна середньому часу обслуговування [11]:

$$\mu = 1/t_{\text{обсл}}$$

де $t_{\text{обсл}} = M[T_{\text{обсл}}]$;
 M -математичне очікування.

Основні задачі теорії масового обслуговування - знаходження ймовірностей різних станів систем масового обслуговування (СМО), а також встановлення залежності між заданими параметрами (числом каналів n , інтенсивністю потоку заявок λ , розподілом часу обслуговування t , і т.д.) і характеристиками роботи СМО. У якості таких характеристик можуть розглядатися [11, 12]:

- середнє число заявок A , яке обслуговує СМО в одиницю часу (абсолютна пропускна здатність СМО);
- імовірність обслуговування заявки, що надійшла, Q (відносна пропускна здатність СМО)

$$Q = A/\lambda$$

- імовірність відмови $P_{\text{отк}}$, тобто ймовірність того, що заявка, яка надійшла, не буде обслужена - одержить відмову:

$$P_{\text{отк}} = 1 - Q$$

- середнє число заявок у СМО (які обслуговуються або очікують своєї черги) z ;
- середнє число заявок у черзі g ;
- середній час перебування заявки в СМО (у черзі або під обслуговуванням) $t_{\text{сист}}$;
- середній час перебування заявки в черзі $t_{\text{оч}}$;

У загальному випадку всі ці характеристики залежать від часу. Але багато СМО працюють у незмінних умовах досить довгий час, і тому для них встигає встановитися режим, близький до стаціонарного.

Одержати розрахункові характеристики ефективності СМО можна шляхом моделювання роботи СМО за допомогою програмних засобів.

У загальному випадку всі ці характеристики залежать від часу. Але багато СМО працюють у незмінних умовах досить довгий час, і тому для них устигає встановитися режим, близький до стаціонарного.

До основних недоліків СМО можна віднести застосування деяких спрощень і допущень, зокрема, що потік інформації розглядається як пуассонівський.

На підставі проведеного дослідження й аналізу імітаційних моделей побудуємо зведену таблицю гідностей (+) і недоліків (-) даних методів, застосовне до вирішення поставленої нами раніше задачі. (табл 1.)

Таблиця 1

Переваги та недоліки систем моделювання

показники ІМ	Простота реалізації	Наявність блоку паралельної обробки	Наявні числові характеристики	Універсальність
Абстрактні автомати	+	-	+	-
Мережі Петрі	+	+	-	-
Марковські ланцюги	-	+	+	+ -
Агрегатна модель Бусленко	-	+	+	+ -
Дискретно-безперервна система Глушкова	-	+	+	+ -
СМО	+	+	+	+

Виходячи з таблиці 1 неважко зробити висновки, що найбільш придатною імітаційною моделлю є СМО. Однак необхідно розглянути застосування допущень у СМО, зокрема правомірності використання пуассонівських потоків в ІСУ. Для цього, розглянемо саме визначення «пуассонівський потік» і характеристики потоків у закладах організаційного типу.

Потік називається стаціонарним, якщо ймовірність влучення того або іншого числа подій на елементарну ділянку часу довжиною τ залежить тільки від довжини ділянки й не залежить від того, де саме на осі t розташована ця ділянка.

Потік подій називається потоком без післядії, якщо для будь-яких непересічних ділянок часу число подій, що попадають на один з них, не залежить від того, скільки подій потрапило на інший.

Потік подій називається ординарним, якщо ймовірність влучення на елементарну ділянку двох або більш подій зневажає мала в порівнянні з ймовірністю влучення однієї події.

Потік подій, що має всі три властивості - стаціонарність, відсутність післядії, ординарність - називається найпростішим, або стаціонарним пуассонівським потоком.

Пуассонівський потік подій тісно пов'язаний з відомим з теорії ймовірностей розподілом Пуассона: число подій потоку, що попадають на часовий інтервал деякої величини, розподілене за законом Пуассона.

Оскільки організаційна структура закладу є жорстко фіксованою і при розгляді системи щодо робочих місць для визначення основних характеристик усієї системи досить визначити характеристики кожного робочого місця окремо. При такому розгляді ІСУ можна звести до моделювання окремих її підсистем (відділів, факультетів, кафедр, робочих місць), що дозволяє застосувати потоки без наслідків. Діяльність закладу являє собою циклічну послідовність із періодичністю «рік». У такий спосіб можна стверджувати, що потоки є стаціонарними. Таким чином, у розглянутій моделі будемо припускати, що черга не обмежена, а потік інформації є пуассонівським.

Висновки

Виконано дослідження імітаційних моделей, виявлені гідності й недоліки при побудові ІСУ закладів організаційного типу. Таким чином, найбільш зручним і простим у реалізації для досягнення

поставленої мети є моделювання процесів на базі теорії масового обслуговування. Запропоновано використання теорії графів яка надає наочне графічне відображення руху інформаційних потоків, а системи масового обслуговування дозволяють визначити основні якісні характеристики об'єкта в динаміці.

Список використаної літератури

1. Соколова Н.А., Боскин О.О. Имитационная модель процесса дистанционного обучения. Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. 2004. №1(13) С. 13-21.
2. Якусевич Ю. Г. Аналіз проблем реформування освіти та побудова формалізованих моделей ВНЗ. Проблеми інформаційних технологій. 2015. №17. С.100-109.
3. Ходаков В.С. Высшее образование: взгляд со стороны и изнутри. Херсон. 2006. 338 с.
4. Исследование операций: Учебник для высших технических учебных заведений. Волков И.А./ Под ред. В.С. Зарубина, А.П. Крищенко, Загоруйко Е.А. Москва: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 435 с.
5. Мелихов А.Н. Ориентированные графы и конечные автоматы. Москва : Наука, 1971. 416 с.
6. Котов В. Е. Сети Петри. Москва : Наука, 1984. 161 с.
7. Рассказова М. Н. Имитационное моделирование систем : учебное пособие. Омск : Омский государственный институт сервиса, 2010. 80 с.
8. Бусленко Н.П. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. Москва.: Наука, 1977. 240 с.
9. Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. Москва : Наука, 1978. 400 с.
10. Глушков В.М. Основы безбумажной информатики. Москва : Наука, 1982. 552 с.
11. Ржевський С.В., Александрова В.М. Дослідження операцій: Підручник. Київ : «Академвидав», 2006. 560 с.
12. Козел, В. Н., Шеховцов А.В. Построение математической модели формирования распределенных систем. Автоматика. Автоматизация. Электротехнические комплексы и системы. 2009. №1(23) С. 87-92.

References

1. Sokolova N.A., Boskin O.O. Imitatsionnaya model protsessa distantsionnogo obucheniya. Avtomatika. Avtomatizatsiya. Elektrotehnicheskie kompleksi i sistemy, 2004, no. 1(13), pp. 13-21.
2. Yakusevich Yu. G. Analiz problem reformuvannya osviti ta pobudova formallizovanih modeley VNZ. Problemi Informatsynih tehnologiy. 2015, no.17, pp.100-109.
3. Hodakov V.E. Vyisshee obrazovanie: vzgyad so storony i iznutri. Herson., 2006. 338 p.
4. Issledovanie operatsiy: Uchebnik dlya vyisshih tehnikeskikh uchebnyih zavedeniy. Volkov I.A./ Pod red. V.S. Zarubina, A.P. Krischenko, Zagoruyko E.A. Moscow: MGTU im. N.E. Baumana, 2002. 435 p.
5. Melihov A.N. Orientirovannyye grafyi i konechnyye avtomaty. Moscow: Nauka, 1971. 416 p.
6. Kotov V. E. Seti Petri. 1984. 161 p.
7. Rasskazova M. N. Imitatsionnoe modelirovanie sistem : uchebnoe posobie. Omsk : Omskiy gosudarstvennyiy institut servisa, 2010. 80 s.
8. Buslenko N.P. Avtomatizatsiya imitatsionnogo modelirovaniya slozhnyih sistem. Moscow.: Nauka, 1977. 240 p.
9. Buslenko N.P. Modelirovanie slozhnyih sistem. Moskva : Nauka, 1978. 400 p.
10. Glushkov V.M. Osnovy bezbumazhnoy informatiki. Moscow : Nauka, 1982. 552 p.
11. Rzhhevskiy S.V., Aleksandrova V.M. Doslidzhennya operatsiy: PIDruchnik. Kyiv : «Akademvidav», 2006. 560 p.
12. Kozel, V. N., Shehovtsov A.V. Postroenie matematicheskoy modeli formirovaniya raspredelennyih sistem. Avtomatika. Avtomatizatsiya. Elektrotehnicheskie kompleksi i sistemy, 2009, no.1(23), pp. 87-92.