

11. Nix, D. A. Learning Local Error Bars for Nonlinear Regression [Текст] / Nix D. A., Weigend A. S. // Advances in Neural Information Processing Systems: Proceedings of the 1994 Conference. – Denver, 1995. – P. 489-496.
12. Popov, S. Evolutionary Optimized Network of Hybrid Neuron-Like Units [Текст] / Popov S., Shkuro K. // Proc. 7th Int. Conf. Neural Networks and Artificial Intelligence (ICNNAI-2012). – Minsk, Belarus, 2012. – P. 32-35.
13. Попов, С. В. Метод параметрической оптимизации сети на базе гибридных нейроподобных элементов, основанный на методе Ψ -преобразования [Текст] / Попов С. В., Шкуро К. А. // Радиоелектронні і комп'ютерні системи. – 2013. – № 2(61). – С. 94-100.
14. Rashedi, E. GSA: A Gravitational Search Algorithm [Текст] / Rashedi E., Nezamabadi-pour H., Saryazdi S. // Information Sciences. – 2009. – Vol. 179, № 13. – P. 2232-2248.
15. Химмельблау, Д. Прикладное нелинейное программирование [Текст] / Химмельблау Д. – М.: Мир, 1975. – 536 с.

УДК 631.2:631.171:65.011.56

МОДЕЛЮВАННЯ ВПЛИВУ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ЕЛЕКТРОНАГРІВАЛЬНОЇ СТРУКТУРИ НА ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ЇЇ ПОВЕРХНІ

А. П. Слесаренко

Доктор фізико-математичних наук, професор
Лауреат Державної премії України
Ведучий науковий співробітник
Інститут проблем машинобудування
ім. А.М. Підгорного НАН України
вул. Дм. Пожарського, 2/10,
м. Харків, Україна, 61046

М. А. Романченко

Кандидат технічних наук, професор
Кафедра «Інтегровані електротехнології та процеси»
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. Петра Василенка
вул. Енгельса 19, м. Харків, Україна, 61012

Запропоновано математичну модель впливу теплопровідності багатопшарової структури електротеплоаккумуляційної системи опалення гріючою підлогою виробничих тваринницьких споруд різного функціонального призначення, яка дозволяє на стадії проектних розробок отримати дані щодо геометричних і енергетичних характеристик теплогенеруючих установок, які формують стандарти заданих теплових режимів на поверхні багатоярусної електрообігрівної підлоги

Ключові слова: електротехнології, мікроклімат, автоматизація, теплопровідність, фізична модель

Предложена математическая модель влияния теплопроводности многослойной структуры энерготеплоаккумуляционной системы отопления обогреваемым полом производственных животноводческих помещений разного функционального назначения, которая позволяет на стадии проектных разработок получить данные геометрических и энергетических характеристик теплогенерирующих установок, которые формируют стандарты заданных тепловых режимов на поверхности многоярусного электрообогреваемого пола

Ключевые слова: електротехнологии, микроклимат, автоматизация, теплопроводность, физическая модель

1. Вступ

Одним із енергоємних секторів народного господарства України являється агропромисловий комплекс, в якому для забезпечення технологічних процесів виробництва сільськогосподарської продукції споживається біля 20% енергоносіїв вітчизняного енергоринку.

Саме енерговитрати на формування стандартних значень теплового режиму мікроклімату виробничих споруд, як домінуючого по енергоємності та інтенсивності фізіологічного впливу на життєдіяльність біооб'єктів тваринництва є одним із найбільш вагомих

негативних факторів зниження рентабельності виробництва цієї продукції.

2. Постановка проблеми

Перспективним напрямом інтенсифікації виробництва конкурентоспроможної екологічно чистої продукції тваринництва є створення енергозберігаючих, автоматизованих електротехнологічних комплексів для надійного децентралізованого забезпечення в них якісних показників мікроклімату. Мова йде про застосування технологій електротеплоаккумуля-

ційного опалення виробничих тваринницьких споруд (ВТС) електрообігрівними підлогами, які працюють за концептуальною схемою теплозабезпечення «знизу вверх». Побудова таких комплексів пов'язана з проблемою визначення раціональних теплоаккумуляційних властивостей, геометричних параметрів, структури та енергоефективних режимів роботи теплогенеруючих силових установок, а також алгоритмів і програм функціонування їх систем керування енергопотокami живлення нагрівальних елементів, які б забезпечували термостабілізацію заданих рівнів впливу температури на об'єкти протягом виробничого циклу, оптимальне енергоакмулювання та енергозберігаючий режим роботи з урахуванням дії внутрішніх факторів і зовнішніх метеорологічних умов [1 – 5].

3. Літературний огляд

Ефективність систем опалення будівель і споруд характеризується цілою низкою факторів, які обумовлені ступенем теплоізоляції, що забезпечується огорожувальними конструкціями будівель, особливостями надходження тепла в приміщення, температурними розподілами в приміщеннях і конструкціях будівель та ін. В даний час у світовій будівельній індустрії підвищена увага приділяється питанням використання засобів акумулювання тепла в різних конструктивних елементах будівель. В іноземній будівельній практиці вирішення цих завдань дуже актуальне, що відображено в багатьох джерелах, наприклад, [6 – 8]. Дослідження в даному напрямку отримали помітний імпульс завдяки впровадженню в будівництві нових конструкційних матеріалів, зокрема, акумулюючих матеріалів з фазовим перетворенням [6, 7].

У роботах [8 – 10] представлені результати моделювання гріючої підлоги типу «плита на ґрунті» (одношарова конструкція) з різним ступенем деталей (рівень втрат в ґрунті, температурний розподіл в приміщенні та ін.). Практично важливим для ефективного використання енергії, споживаної системою опалення, являється використання багатоярусного підведення енергії в гріючу структуру підлоги. Це вимагає детального аналізу теплових режимів багатоярусних гріючих структур з підведенням енергії на різних рівнях глибини від поверхні підлоги.

Аналіз зарубіжної і вітчизняної науково-технічної літератури [9 – 15], свідчить про те, що в більшості наукових розробок, щодо електротеплоаккумуляційних опалювальних систем виробничих споруд дослідники шли шляхом розв'язання прямих задач теплопровідності з метою визначення теплотехнічних характеристик, режимів роботи електронагрівальних модулів та геометричних параметрів указаних систем. Застосування цього методу пов'язано з необхідністю перебирання варіантів з різним набором співвідношень конструктивних параметрів і енергокомпонент, які подаються до спеціальних електронагрівників цих структур. Такий шлях досліджень ускладнює або принципово унеможливує розв'язання задач чіткого дотримання стандартів на обігрів поверхні підлоги за умови раціонального і ефективного використання енергоресурсів. Це пояснюється тим, що в алгоритм, а відповідно і в програму розв'язання прямих задач

теплопровідності неможливо внести дискретну інформацію, яка відображає задані нормативи стандартів на обігрів поверхні підлоги [3, 4, 16].

4. Мета статті

Розробка математичного моделювання процесу впливу теплопровідності нагрівальної структури електрообігрівної підлоги на тепловий режим її поверхні.

5. Основні матеріали дослідження

Ефективне вирішення вищезгаданої проблеми можливе методом структурно-функціонального керування енергопотокami електротеплоаккумуляційної системи опалення на базі електрообігрівних підлог. На рис. 1, а, б представлена коректно спрощена фізична модель багатоярусної електрообігрівної підлоги розташованої нижче рівня підлоги, яка складається з N-однорідних шарів серед яких є пасивні і активні з підведенням електроенергії.

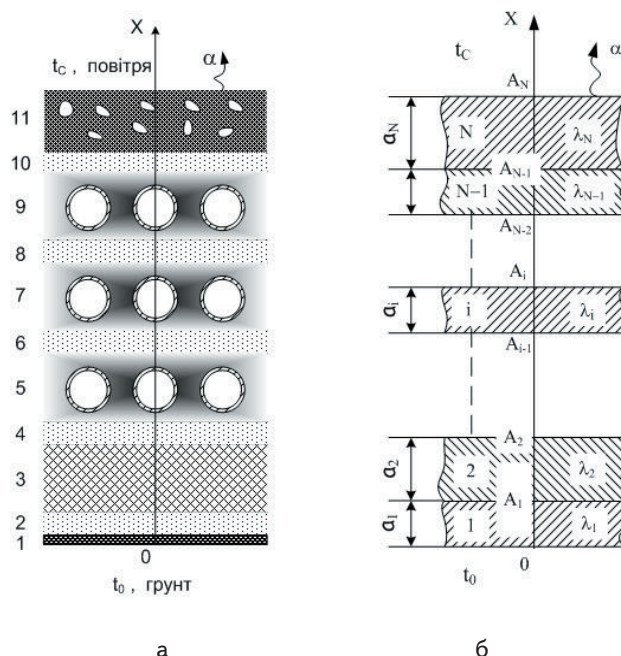


Рис. 1. Конструктивна і функціональна схема електрообігрівної підлоги: а- поперечний переріз багатоярусної електрообігрівної підлоги; б - схема структури гріючої підлоги

Центральним питанням при вирішенні згаданої проблеми є постановка і розв'язання відповідних зворотних задач теплопровідності по визначенню енергокомпонент що підводяться до блоків m-ярусів нагрівальних елементів обігрівних секцій. Саме зворотні задачі теплопровідності дозволяють внести в свою постановку задані стандарти на нагрів поверхні підлоги в якості даних теплофізичного експерименту і забезпечити керування підводом відповідних енергокомпонент з урахуванням метеорологічних умов, що впливають на тепловий режим мікроклімату виробничого приміщення. У поперечних напрямках (у площині шарів) система передбачається однорідною,

потоки тепла є градієнти температур і мають місце тільки в напрямку нормалі до представленої системи - уздовж осі ОХ.

Нехай t_n – температура поверхні підлоги – одна із шуканих величин (або параметр задачі), тоді при температурі повітря в приміщенні t_c , відмінній від t_n , на поверхні підлоги в площині $x=A$ буде мати місце конвективний теплообмін з повітряним середовищем приміщення [7 – 9]. Будемо вважати, що цей процес підкоряється закону Ньютона-Ріхмана: питомий потік тепла з поверхні нагрівальної системи (НС) пропорційний температурному напору (різниці температур поверхні підлоги й повітряного середовища):

$$q = \alpha \cdot (t_n - t_c), \quad (1)$$

де α – коефіцієнт теплообміну. У реальних умовах виробничих приміщень для утримання тварин при наявності вентиляції величина коефіцієнта тепловіддачі може приймати значення в досить широкому інтервалі 5 .. 15 Вт·м⁻²·К⁻¹ [6]. Нижня поверхня НС (це дно траншеї), що знаходиться в площині $x=0$ (на глибині А), термостатована глибинним теплом землі при фіксованій температурі $t_0 = \text{const}$. Величина цієї температури залежно від сезону й глибини траншеї лежить у межах 5 - 10°С [4, 6].

У кожному із шарів температурний розподіл (частковий розподіл) $u_i(x)$ повинен задовольняти рівнянню теплопровідності, що у розглянутому стаціонарному випадку для однорідної структури має вигляд:

$$\frac{d^2 u_i}{d\xi^2} = -w_i, \quad (2)$$

де $\xi = x$ – нормована координата, всі лінійні розміри пронормовані на величину $A=A_N$ – повну глибину (висоту) структури; кожен шар характеризується товщиною $d_i=x_i-x_{i-1}$, щільністю потужності розподілених джерел p_i , Вт/м³, коефіцієнтом теплопровідності λ_i , Вт·м⁻¹·К⁻¹; $w_i=p_i \cdot d_i / \lambda_i$ – нормована щільність потужності розподілених джерел і-го шару; термічні контактні опори на його границях r_i^* . Крім того, шукана функція повинна задовольняти крайовим умовам (при $x = 0$, $x = A$) і умовам сполучення на границях шарів ($x = A_i$, $i = 1 .. N-1$, A_i – координати границь шарів):

$$u_i = t_0 + \frac{r_0^* \lambda_1}{A} \frac{du_1}{d\xi}, \text{ при } \xi = 0, \quad (3)$$

$$t_c - u_N|_{\xi=A} = Bi^{-1} \frac{du_N}{d\xi}|_{\xi=A}, \text{ при } \xi = 1, \quad (4)$$

$$u_{i+1} - u_i = \frac{r_i^* \lambda_{i+1}}{A} \frac{du_{i+1}}{d\xi}|_{\xi=A_i}, \text{ при } \xi = \xi_i, \quad (5)$$

$$\lambda_i \frac{du_i}{d\xi}|_{\xi=0} = \lambda_{i+1} \frac{du_{i+1}}{d\xi}|_{\xi=0}, \text{ при } \xi = \xi_i, \quad (6)$$

де $Bi = \alpha A / \lambda_N$ – критерій Біо.

Математична модель теплопередачі багатшарової структури побудована, виходячи із прийнятої фізичної моделі – граничної задачі теплопровідності (2 – 6), і зведена до системи 2·N лінійних неоднорідних рівнянь. Її рішення (температура) являє собою кусочно-безперервну функцію координати x, товщин шарів

d_i , їх теплопровідностей і потужності джерел тепла. У межах кожного шару рішення рівняння теплопровідності знаходиться у аналітичному вигляді – профіль температури, який описується квадратичною функцією координати виду:

$$u_i(\xi) = -\frac{1}{2} w_i \xi^2 + C_i \xi + D_i, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (7)$$

де C_i, D_i – шукані коефіцієнти, які визначаються з рішення граничної задачі. Для пасивних шарів параметр w_j дорівнює нулю, і температурний профіль описується лінійною функцією координати.

Квазидіагональний вигляд системи рівнянь дозволив одержати вираз для коефіцієнтів C_i, D_i у замкнутому виді:

$$C_i = \hat{\delta}_i w_i + \frac{1}{\lambda_i} f_i; \quad i = 1, 2, \dots, N-1, \quad (8)$$

$$C_N = \frac{T_c - T_0 + \left(\frac{1}{2} + Bi^{-1}\right) \cdot w_N + \sum_{n=1}^{N-1} \left(\widehat{W}_n - w_n \sum_{j=1}^n R_j\right)}{Bi^{-1} + \lambda_N \sum_{j=1}^N R_j},$$

$$D_1 = T_0,$$

$$D_i = T_0 + \sum_{j=1}^{i-1} \left[\widehat{W}_j + \hat{\delta}_j \left(\frac{1}{\lambda_j} - \frac{1}{\lambda_{j+1}} \right) \cdot f_j \right]; \quad i = 2, 3, \dots, N-1,$$

$$D_N = T_c + \left(\frac{1}{2} + Bi^{-1}\right) \cdot w_N - (1 + Bi^{-1}) \cdot C_N,$$

де

$$R_i = \frac{\delta_i}{\lambda_i}; \quad \delta_i = \frac{a_i}{A}; \quad \widehat{\delta}_i = \sum_{j=1}^i \delta_j \equiv \xi_i, \quad (9)$$

$$\widehat{W}_i = \widehat{\delta}_i \cdot (\lambda_i \cdot w_i - \lambda_{i+1} \cdot w_{i+1}); \quad \widehat{W}_i = \frac{1}{2} \widehat{\delta}_i^2 \cdot (w_i - w_{i+1}), \quad (10)$$

$$f_j = \lambda_N \cdot (C_N - w_N) + \sum_{n=j+1}^N \lambda_n \delta_n w_n. \quad (11)$$

При обліку термічних контактних опорів між шарами співвідношення (8 – 11) будуть модифіковані. Так, наприклад, вираз для коефіцієнта C_N приймає вид:

$$C_N = \lambda_N^{-1} \left[\frac{t_c - t_0 - W}{R^* + R + (\lambda_N Bi)^{-1}} \right], \quad (12)$$

де $R^* = \sum_{i=1}^N r_i^*$, $R = \sum_{i=1}^N r_i$ – відповідно загальний термічний опір міжшарових контактів і загальний термічний опір всієї багатшарової структури; параметр W виражається через потужності джерел і термічні опори:

$$W = \frac{1}{2} P_N \left[\sum_{i=1}^{N-1} (r_{i-1}^* + r_i) + r_{N-1}^* - (\lambda_N Bi)^{-1} \right] + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-1} P_i \left[\sum_{j=1}^i (r_{j-1}^* + r_j) + r_{i-1}^* \right] + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{N-2} P_{i+1} \sum_{j=1}^i (r_{j-1}^* + r_j).$$

Інші коефіцієнти C_i і всі коефіцієнти D_i визначаються також за допомогою рекурентних формул. Таким чином, задача теплопровідності для багатшарової активної системи, що складається з довільного числа N шарів, серед яких може бути деяке число $K \leq N$ активних шарів, вирішена в замкнутому виді.

Розглянута фізична модель є лінійною, температурний профіль по перетину системи внаслідок теплопередачі має вигляд кусочно-безперервної залежності температури від координати, і її тепловий режим підкоряється принципу суперпозиції. При цьому температура поверхні підлоги t_n , що далі буде нас цікавити насамперед, очевидно визначається тепловими внесками всіх джерел, наявних у системі:

$$t_n = a_0 t_0 + a_c t_c + \sum_{i=1}^m k_i P_i, \tag{13}$$

де $m \leq N$ – кількість активних шарів N -шарової нагрівальної системи; P_i , Вт/м² – сумарна питома потужність джерел, розподілених в i -м шарі на одиниці площини; a_0, a_c, k_i – вагові коефіцієнти, обумовлені умовами теплообміну в системі й значеннями теплофізичних характеристик шарів. Співвідношення (13) може бути використано для визначення потужності джерел по заданих температурах навколишнього середовища t_c, t_0 і температурі поверхні підлоги t_n . На рис. 2 представлено профілі розподілу температури в нагрівачою масиві електрообігрівної підлоги при підведенні електроенергії або в 1-й (верхній ярус), або 2-й, або 3-й ярус (питома потужність в кожному випадку становить 90 Вт/м²).

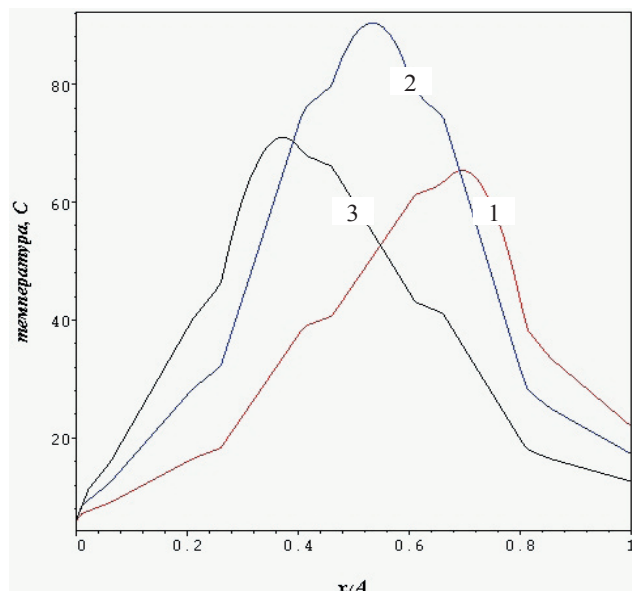


Рис. 2. Профілі температури в залежності від глибини траншеї в масиві нагрівальної структури електрообігрівної підлоги

Достовірність математичної моделі і її комп'ютерної версії підтверджена шляхом перевірки відповідності її закону збереження енергії: енергія, що витрачається на нагрівання НС, створює теплові потоки в ґрунт ($x < 0$) і повітряне середовище ($x > A$). При цьому, дійсно, повинна виконуватися рівність:

$$P = Q_1 + Q_{11}, \tag{14}$$

де P – потужність джерел у НС (Вт/м²); – відповідно потоки потужності в ґрунт із 1-го шару й у повітряне середовище з 11-го шару.

Таким чином виконано розробку комп'ютерної моделі теплопередачі в багатшаровій структурі, яка складається з довільної кількості плоских шарів з довільними теплофізичними характеристиками. Проведено її тестування, розрахунок і аналіз серій розподілів температури для різних режимів нагрівання. Ця модель дозволяє на стадії проектних розробок проводити числовий аналіз температурних розподілів теплових потоків в товщі електронагрівної структури, крім того дозволяє виконувати аналітичні перетворення які дають можливість визначати ефективне значення енергопотоків традиційних або нетрадиційних та відновлювальних джерел енергії для забезпечення заданих стандартів теплового режиму в тваринницькій споруді протягом виробничого циклу отримання продукції тваринництва з урахуванням метеорологічних умов.

6. Висновки

1. Комп'ютерна модель розглянутої теплофізичної моделі виконана в ряді процедур, які дозволяють проводити числовий аналіз температурних розподілів теплових потоків, а також визначити оптимальне підведення енергії для одержання заданих теплових режимів на поверхні системи.

2. Комп'ютерна версія моделі дозволяє виконувати аналітичні перетворення у тому числі одержувати необхідні при досліджуванні та проектуванні системи аналітичні і функціональні залежності для прямих і зворотних співвідношень параметрів задачі.

Література

1. Круковский, П. Г. Тепловые режимы полов различных конструкций с электрокабельными системами обогрева [Текст] / П. Г. Круковский, Н. П. Тимченко, О. Ю. Судак, Д. И. Розинский // Промышл. теплотехника. – 2002. – Т. 24, №1. – С. 10-16.
2. Лозинський, Д. Й. Електрична кабельна система опалення в тепло-акумуляційному режимі (ЕКСО-ТА) житлових сільськогосподарських будинків [Текст] / Д. Й. Лозинський // Будівництво України. – 2002. – №5. – С. 32-35.
3. Пат. 63667А UA, МКІ А 01 К 1/015. Установка для забезпечення теплового режиму виробничих приміщень і споруд [Текст] / Романченко М. А., Слесаренко А. П., Сорока О. С., Румянцев О. О. (UA). – №2003054650; Заявл. 22.05.2003; Опубл. 15.01.2004; Бюл. №1. – 2 с.
4. Романченко, М. А. Енергозберігаючі електротехнології забезпечення стандартів теплового режиму виробничих споруд АПК з електрообігрівними підлогами [Текст] / Романченко М. А., Мазоренко Д. І., Слесаренко А. П., Сорока О. С. // Електрифік. та автоматиз. сільського господарства. – 2006. – №2. – С. 82-92.

5. Табунщиков, Ю. А. Энергоэффективные здания: мировой и отечественный опыт [Текст] / Ю. А. Табунщиков // Энергия. – 2004. – №10. – С. 20-28.
6. Dincer, I. Thermal energy storage. Systems and Applications [Текст] / I. Dincer, M. A. Rosen. – Chichester (England): John Wiley & Sons. – 2002.
7. Hasnain, S. M. Review on sustainable thermal energy storage technologies, part I: Heat storage materials and techniques [Текст] / S. M. Hasnain // Energy Conversion and Management. – 1998. – Vol. 39. – С. 1127-1138.
8. Hasnain, S. M. Review on sustainable thermal energy storage technologies, part II: Cool Thermal Storage [Текст] / S. M. Hasnain // Energy Conversion and Management. – 1998. – Vol. 39. – С. 1139-1153.
9. Kuznik, F. Experimental assessment of a phase change material for wall building use [Текст] / F. Kuznik, J. Virgone // Applied Energy. – 2009. – vol. 86. – С. 2038-2046.
10. Sharma, A. Review on thermal energy storage with phase change materials and applications [Текст] / A. Sharma, V. V. Tyagi, C. R. Chen, D. Buddhi // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2009. – Vol. 13. – С. 318-345.
11. Anderson, B. R. Calculation of the Steady-State Heat Transfer through a Slab-on-Ground Floor [Текст] / B. R. Anderson // Building and Environment. – 1991. – Vol. 26, No. 4. – С. 405-415.
12. Weitzmann, P. Numerical Investigation of Floor Heating Systems in Low Energy Houses [Текст] / P. Weitzmann, J. Kragh, C. F. Jensen // Proc. of the Sixth Symposium on Building Physics in the Nordic Countries. – 2002. – С. 905-912.
13. Weitzmann, P. Modelling Floor Heating Systems Using a Validated Two-Dimensional Ground Coupled Numerical Model [Текст] / P. Weitzmann, J. Kragh, P. Roots, S. Svendsen // Buildings and Environment. – 2005. – Vol. 40/2. – С. 153-163.
14. Мотес, Э. Микроклимат животноводческих помещений [Текст] / Э. Мотес. – М.: Колос, 1976. – 190 с.
15. Маляренко, В. А. Основы теплофизики будівель та енергозбереження [Текст] / В. А. Маляренко. – Х. : «Видавництво САГА», 2009. – 484 с.
16. Марчук, Г. И. Методы вычислительной математики [Текст] / Г. И. Марчук. – М.: Наука, 1977. – 456 с.

У статті представлений огляд парадигм імітаційного моделювання та проблем, що виникають при побудові імітаційних моделей для складних систем з паралелізмом, які потребують використання елементів парадигм з неперервним і дискретним описом властивостей

Ключові слова: імітаційне моделювання, дискретно-подієве моделювання, системна динаміка, агентне моделювання

В статтє представлен обзор парадигм имитационного моделирования и проблем, которые возникают при построении имитационных моделей для сложных систем с параллелизмом, которые требуют использования элементов парадигм с непрерывным и дискретным описанием свойств

Ключевые слова: имитационное моделирование, дискретно-событийное моделирование, системная динамика, агентное моделирование

УДК 519.876:004.94

ПАРАДИГМИ ІМІТАЦІЙНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ПРИ ДОСЛІДЖЕННІ СКЛАДНИХ СИСТЕМ З ПАРАЛЕЛІЗМОМ

О. О. Супруненко

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра програмного забезпечення
автоматизованих систем
Черкаський національний університет
ім. Богдана Хмельницького
бул. Шевченка, 81, м. Черкаси, Україна, 18031

1. Вступ

У сучасних умовах інформаційного суспільства, що швидко розвивається, все більшої ваги набувають задачі підвищення ефективності технологій отримання, обробки, розповсюдження та використання інформації [1, 2]. Вирішувати дані задачі дозволяють технології моделювання та дослідження цільових об'єктів.

В актуальних прикладних задачах з паралелізмом об'єкти моделювання мають велику складність [1, 3 – 6],

що проявляється у структурній складності, складності функціонування та розвитку. Для вивчення конкретних цільових об'єктів з врахуванням впливу зовнішнього середовища та внутрішніх динамічно змінюваних чинників приходится будувати кілька моделей [2]. Для подальших досліджень потрібно обрати найбільш вдалі варіанти моделей з метою забезпечення ефективності моделювання, які враховують структуру, варіанти функціонування моделі, механізми адаптації до умов зовнішнього середовища [1, 3]. Технологіями моделювання, що