

Budashko Vitalii

National University "Odessa Maritime Academy"

NU "OMA"

Odessa, Ukraine

Shevchenko Valerii

National University "Odessa Maritime Academy"

NU "OMA"

Odessa, Ukraine

ВДОСКОНАЛЕННЯ СТРАТЕГІЇ УПРАВЛІННЯ БАГАТОМАСОВОЮ ЕЛЕКТРОМЕХАНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ

Анотація. На основі теоретичних та практичних досліджень багатоваріантної електромеханічної системи вирішується науково-технічна проблема вдосконалення системи управління електромеханічною системою під час впливу багатовекторних збурень на неї. Результатом дослідження є поєднання рівнянь у системі диференціальних рівнянь з коефіцієнтами, залежними від коливань об'єкта управління. У теоретичній частині була синтезована математична модель електромеханічної системи, що дозволило дослідити шляхи мінімізації кутів відхилення та часових інтервалів, необхідних для стабілізації руху електромеханічної системи, що дозволило опосередковано реалізувати сигнал, пов'язаний зі стохастичним характером моменту коливання об'єкта управління на площині координат. Також удосконалено та досліджено метод параметричної оптимізації математичної моделі електромеханічної системи у функції відхилення кута. На основі визначення структури та алгоритмів роботи ефективність системи управління електромеханічною системою підвищується в плані скорочення часу стабілізації об'єкта управління.

Ключові слова - багатомасовий електричний транспортний засіб, система управління, математичне моделювання, удосконалення, адаптованість, стабілізація

ВСТУП

Для вдосконалення конструкції систем управління багатомасовими електромеханічними системами (БМЕМС) застосовуються методи імітаційного проектування [1]. Основною перевагою імітаційного моделювання є його універсальність та можливість забезпечити високу адекватність моделі реальної досліджуваної системи. Це досягається завдяки глибокій деталізації алгоритмічного опису, що неможливо при дослідженні аналітичними методами, які пов'язані зі спрощенням процесів та жорсткими обмеженнями умов використання моделі.

Наприклад, спроба врахування впливу випадкових факторів у моделі ММЕМС призводить до значних труднощів в аналітичному дослідженні систем, які не завжди можна подолати. Симуляційне моделювання при вивченні систем в умовах випадкових впливів не є складним і на даний момент є найбільш ефективним, а іноді і єдиним практично доступним засобом отримання інформації про поведінку системи, особливо на стадії її проектування [2].

Випадковий характер прийому запитів від декількох пристроїв БМЕМС необхідний при визначенні необхідної продуктивності процесорів керуючого комплексу. Випадкові значення, виміряні в процесі керування значеннями, є причиною невизначеної кількості операцій, що виконуються процесором при реалізації алгоритмів управління [3].

БМЕМС складається з великої кількості різних пристроїв і систем і характеризується численними зовнішніми і внутрішніми випадковими впливами. Інцидентні збурення - це порушення навколишнього середовища, зміни характеристик системи, пов'язані з зносом елементів,

виникненням їх відмов, що потребують локалізації несправностей для запобігання розвитку надзвичайних ситуацій та ін. У зв'язку з цим необхідність вирішення окремих проблем з обробкою інформації та час на їх вирішення також є випадковими [4].

Хоча багато завдань з обробки інформації, пов'язаних з керуванням та керуванням багатомасовою електромеханічною системою (БМЕМС), мають циклічний характер, випадкові впливи на об'єкт управління викликають доступ до пристроїв, що виконують різні функції. контроль і управління, взагалі, не є регулярним [5]. Випадкове значення - це також час, витрачений процесором на обробку інформації в процесі управління, оскільки алгоритми вирішення задач мають розгалуження, що містять цикли. Кількість операцій процесора, що виконуються при реалізації таких алгоритмів, залежить від випадкових значень вимірюваних значень [6].

Все це зумовлює необхідність використання ймовірнісних моделей у дизайні (БМЕМС). Такі моделі потрібні як при описі процесів виконання окремих алгоритмів завдань, так і в описі систем, які виконують певний набір завдань управління та управління [7].

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Вдосконалення стратегії управління багатомасовою електромеханічною системою шляхом підвищення адекватності моделі функціонування системи, призначеної для вирішення певного набору обчислювальних задач у процесі управління, використовуючи алгоритми черги на етапі проектування з подальшою їх реалізацією в системи підтримки прийняття рішень [8].

ЗМІСТ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Спочатку, для магістральної структури БМЕМС і організації розподілених обчислювальних процесів, при яких завдання поділяються на окремі етапи, що виконуються різними процесорами, необхідне подання моделі функціонування БМЕМС у вигляді взаємодіючих систем масового обслуговування (СМО) - стохастичною мережею. При цьому окремі системи, що входять в мережу, можуть бути одноканальними або багатоканальними СМО [9].

Завданням даного дослідження є оцінка характеристик і вибір параметрів, що забезпечують необхідну якість функціонування проектного комплексу БМЕМС. Такі дослідження проводяться на основі аналітичних моделей або шляхом імітаційного (програмного) моделювання [10].

Аналітичні моделі, засновані на застосуванні апарату теорії масового обслуговування [11], використовуються на початкових етапах проектування. Такі моделі дозволяють визначати орієнтовні параметри пристроїв і організацію робіт в БМЕМС для забезпечення необхідних характеристик функціонування [12].

Більш точні оцінки характеристик системи отримаємо шляхом імітаційного моделювання із залученням методу статистичних випробувань (методу Монте-Карло). Такі дослідження є складним трудомістким процесом, що вимагає розробки спеціальних програмних засобів моделювання. Імітаційне моделювання будемо

проводити при проектуванні БМЕМС, структура якої змінюється в межах експлуатаційного режиму з урахуванням ідентифікаційних чинників [13].

Функціонування будь-якої системи масового обслуговування характеризується рядом показників: середнім часом перебування заявки в системі; середнім числом заявок, що знаходяться в системі; середнім числом заявок, що знаходяться в черзі; середнім часом перебування заявок в черзі тощо. Значення цих показників залежать від організації БМЕМС, параметрів її пристроїв і параметрів потоків заявок.

Після подання моделі функціонування БМЕМС у вигляді взаємодіючих СМО встановлюють співвідношення, що зв'язують характеристики системи з основними її параметрами. Прийняття низки припущень про параметри вхідних потоків і характер їх обслуговування дозволяє побудувати таку модель СМО, які піддається аналітичному дослідженню. Це в першу чергу відноситься до марківських систем, що займають в теорії масового обслуговування таке ж місце, як лінійні системи в теорії автоматичного регулювання [14].

Припустимо про найпростіший (пуассонівський) характер потоків заявок і законів обслуговування в БМЕМС. Тоді, потік подій у БМЕМС повинен володіти трьома властивостями: ординарністю, відсутністю післядії і стаціонарністю та підпорядковуватися пуассонівському закону розподілу [15]:

$$P_n(\tau) = (\lambda\tau)^n \cdot e^{-\lambda\tau} / n!, \quad (1)$$

where: $P_n(\tau)$ – ймовірність появи n однорідних подій в інтервалі часу τ ;

λ – постійне позитивне число, що визначає середнє число подій в одиницю часу.

Інтервали часу між подіями у БМЕМС з урахуванням ймовірнісних експлуатаційних чинників розподілені по показовому експоненціальному закону [16]:

$$F(t) = P\{T \leq t\} = 1 - e^{-\lambda t} \quad (2)$$

з щільністю розподілу ймовірності виникнення певного експлуатаційного чинника

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda t} \quad (3)$$

Для БМЕМС множини типових ситуаційних чинників будуть мати перетини, тобто:

$$\bar{C}_{ik} \cap \bar{C}_{ij} = \emptyset, \quad k = 1, 2, \dots, L; \\ j = 1, 2, \dots, L; \quad k \neq j. \quad (4)$$

where: $\bar{C}_i$ – множина ситуаційних чинників експлуатаційного режиму;

L – підмножина $\bar{C}_i$, $k = 1, 2, \dots, L$, відповідних типовим ситуаційним чинникам. Всі поточні ситуації оцінюються на приналежність до певної

множини $\bar{C}_{kj}$, $k = 1, 2, \dots, L$, а завдання замінюється еквівалентно завданням для типової ситуації $\bar{C}_{kj}$.

У випадку, якщо типові ситуації не будуть мати перетину, тобто:

$$d_i = 0; \quad a_{ij} = 0; \quad j = 0; \quad j = 1, 2, \dots, L; \\ \exists k = 1, 2, \dots, L; \quad p_{is} \in P_{ik}, \quad s = 1, 2, \dots, S \Rightarrow \\ \Rightarrow d_i = 1; \quad b_{ks} = 1; \quad a_{ik} = 1; \\ \bar{C}_{ik} \cup \bar{C}_{ij}, \quad j = 1, 2, \dots, L; \quad (5)$$

where: d_i , b_s i a_j – допоміжні індикаторні змінні ітераційного процесу;

p_{is} – s -та ознака ситуаційного чинника;

P_{ik} – множина характерних ознак k -того типового ситуаційного чинника для i -го ідентифікатору експлуатаційного режиму;

$\bar{C}_{kj}$, – множина змінних, що враховані у модифікованій задачі;

$\bar{C}_{ij}$, – пересічна множина типових ситуаційних чинників, для яких $a_{ij} \neq 0$, математичним очікуванням настання певного ситуаційного чинника, що призведе до виходу БМЕМС із сталого стану, буде:

$$M(t) = \int_0^\infty \frac{t^2 f(t) dt}{\lambda} = 1 \quad (6)$$

і дисперсією у часовій зоні ситуаційного чинника

$$D(t) = \int_0^\infty t^2 f(t) dt = 1/\lambda^2 \quad (7)$$

У приближенні до сталого експлуатаційного режиму без істотної зміни стану БМЕМС щодо енергоспоживання під час багатовекторних збурень, заявки на урахування тих чи інших

ситуаційних чинників мають тенденцію групуватися в областях коротких інтервалів часу, так як

$$P\{\tau < 1/\lambda\} = 1 - e^{-1} \approx 0.63 \quad (8)$$

тобто велика частина заявок щодо збурень слідують одна за одною з інтервалом, меншим за середнє значення $1/\lambda$.

Розглянемо випадок, коли на вхід системи надходять однорідні заявки викликів від датчиків, що фіксують певні збурення з інтенсивністю у межах похибки, час обслуговування яких

розподілено за експоненціальним законом з показником μ . Позначимо через S сталий стан системи, коли в ній знаходиться i заявок. В інтервалі $[t, t + dt]$ імовірності переходу БМЕМС до режиму компенсації збурюючого впливу j -того ситуаційного чинника визначаються матрицею:

$$P = \begin{matrix} & \begin{matrix} S_0 & S_1 & S_2 & S_3 & L & S_k \end{matrix} \\ \begin{matrix} S_0 \\ S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ \vdots \\ S_k \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1-\lambda dt & \lambda dt & 0 & 0 & L & 0 \\ \lambda dt & 1-(\lambda+\mu)dt & \lambda dt & 0 & L & 0 \\ 0 & \mu dt & 1-(\lambda+\mu)dt & \lambda dt & L & 0 \\ 0 & 0 & \mu dt & 1-(\lambda+\mu)dt & L & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & L & 1-\lambda dt \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (9)$$

При побудові матриці множини змінних $\bar{C}_{kj}$, (4) джерело заявок можна розглядати як деяку систему S_0 . Заявки, що виходять з i -ої системи

($i = 1, 2, \dots, j$), з постійною ймовірністю B_{ij} надходять в j -у систему ($j = 1, 2, \dots, L$) (5) або залишають мережу ($j=0$). В цьому випадку матриця передач має вигляд

$$B_{ij} = \begin{bmatrix} 0 & \beta_{01} & \beta_{02} & L & \beta_{0j} \\ \beta_{10} & \beta_{11} & \beta_{12} & L & \beta_{1j} \\ \beta_{20} & \beta_{21} & \beta_{22} & L & \beta_{2j} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \beta_{i0} & \beta_{i1} & \beta_{i2} & L & \beta_{ij} \end{bmatrix} \quad (10)$$

Для визначення пропускнуої здатності мережі датчиків збурюючих чинників необхідно визначити інтенсивності заявок в кожній з підсистем БМЕМС. У зв'язку з тим, що в сталому режимі середнє число

заявок, які покидають систему, дорівнює середньому числу заявок, справедливо рівність. Тому, для λ (1) заявок від датчиків, враховуючи (5), маємо:

$$\lambda_i = \sum_{j=0}^L \lambda_i \beta_{ij}, j=0,1,2,\dots,L. \quad (11)$$

Для визначення архітектури та інтенсивності завантаження мережі датчиків БМЕМС необхідно

визначити коефіцієнти передачі та характеристики датчиків, які утворюють мережу з відповідними коефіцієнтами передачі.

Параметри окремих датчиків, розрахованих відповідно розраховані відповідно до (11), повинні відповідати наступним критеріям:

- швидкодія пристрою, що зумовлюється параметрами (8);
- число каналів, яке залежить від множини змінних, що враховані у модифікованій задачі C_{kj} ;
- трудомісткість етапу;
- середній час обслуговування (2);
- інтенсивність обслуговування (3);

- коефіцієнт передачі (7).

Тому, для системи величин коефіцієнтів швидкодії датчиків, що зумовлюються значеннями коефіцієнтів передачі $b_0, b_1, \dots, b_t$ з теоретичними середніми значеннями $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_t$ (10) складемо матрицю центральних моментів, визначаючи всі статистичні властивості коефіцієнтів B_{ij} , а отже, і рівняння регресії. Отримаємо матрицю дисперсій-коваріацій M_{ij} , по головній діагоналі якої розташовані оцінки дисперсій, а решта місць займають оцінки до варіацій коефіцієнтів рівняння регресії:

$$M_{ij} = \begin{bmatrix} s^2\{b_0\} & \text{cov}\{b_0b_1\} & \dots & \text{cov}\{b_0b_j\} \\ \text{cov}\{b_1b_0\} & s^2\{b_1\} & \dots & \text{cov}\{b_1b_m\} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \text{cov}\{b_ib_0\} & \text{cov}\{b_ib_1\} & \dots & s^2\{b_j\} \end{bmatrix} \quad (12)$$

Звідси отримуємо співвідношення для дисперсійної оцінки точності датчиків і коваріацій коефіцієнтів рівняння регресії $s^2\{b_i\} = c_{ij}^2\{y\}$; $\text{cov}\{b_ib_j\} = c_{ij}s^2\{y\}$.

Дисперсійна оцінка точності датчиків відтворюваності $s^2\{y\}$, з урахуванням (4), визначаємо за формулою

$$s^2\{y\} = \frac{\sum_{k=1}^N \sum_{q=1}^{m_k} (y_{kq} - \bar{y}_k)^2}{\sum_{k=1}^N (m_k - 1)},$$

де $\bar{y}_k$ – середнє значення величини y_k , визначається за даними M_{ij} повторюваних вимірів.

Величина $f_y = \sum_{k=1}^N (m_k - 1)$ є число ступенів свободи дисперсійної оцінки точності датчиків, яка

дозволяє визначити значимість коефіцієнтів, тобто уточнити структуру моделі БМЕМС.

Дисперсійна оцінка передбаченого значення відгуку датчика $s^2\{\hat{y}_k\}$ визначаємо на основі закону складання помилок

$$s^2\{\hat{y}_k\} \approx \sum_{i=0}^n \left(\frac{dy}{db_i} \right)_k^2 s^2\{b_i\} + \sum_{i=1}^t \sum_{j=0}^t \left(\frac{d^2y}{db_idb_j} \right) \text{cov}\{b_ib_j\}, \text{ або в матричній формі}$$

$s^2\{\hat{y}_k\} = X_k^T (X^T X)^{-1} s^2\{y_k\} X_k = X_k^T M^{-1} X_k$, де X_k – вектор координат k -ої точки експерименту. Оцінка дисперсії адекватності визначаємо виразом

$$s_{ad}^2 = \frac{1}{N-L} \sum_{k=1}^N (\bar{y}_k - \hat{y}_k)^2,$$

де L – число коефіцієнтів, що входять в рівняння регресії після відкидання незначущих коефіцієнтів. Величина $f_{ad} = N - L$ називається числом ступенів свободи дисперсії адекватності.

Наприклад, для оцінки значущості коефіцієнтів і адекватності отриманої моделі ММЕМС зробимо дисперсійну оцінку

відтворюваності за даними 14 замірів величин з датчиків збурюючих показників. Найбільша похибка складає 0,0308 від максимального значення сигналу. В даному випадку має місце рівномірне дублювання замірів $L_1=L_2=\dots=L=N$ і дисперсійна оцінка відтворюваності знаходиться в вигляді

$$s^2\{y\} = \frac{\sum_{k=1}^N \sum_{q=1}^{m_k} (y_{kq} - \bar{y}_k)^2}{N(m_k - 1)} = \frac{0,0308}{14(5 - 1)} = 1,0967 \cdot 10^{-3}.$$

ВИСНОВКИ

Запропонований підхід до удосконалення БМЕМС як складової процесу проектування, дозволяє передбачити загальну кількість збурюючих чинників із можливістю багаторазової зміни архітектури БМЕМС, навіть при наявності мінімальних даних про існуючий проект та може бути використаний практично для будь-якого типу БМЕМС з точки зору енергоживлення. Також такий

підхід дозволяє проводити модернізацію різноманітних типів БМЕМС для їхньої адаптації до експлуатаційного режиму (наприклад, динамічного позиціонування) та дає можливість синтезувати рекомендації розробникам БМЕМС, контролерів керування та систем живлення. Це досягається за рахунок того, що запропонований підхід засновано на когнітивному (у синергізмі з інженерним) науково-дослідницькому процесі

прийняття рішення, що включає в себе поетапне удосконалення даних, які надходять від дослідження конкретного експлуатаційного режиму роботи БМЕМС.

Збільшення статистики частоти значущих ідентифікаційних чинників характеристик процесів у БМЕМС під час ітераційних процедур пропорційно обсягу вибірки та не призводить до збільшення змінних та коефіцієнтів регресійної моделі. Випадкові значення змінних збурюючих впливів не корелюються, що є свідченням передумови застосування розроблених принципів композиції регресійних моделей за результатами експериментальних досліджень.

Література

- [1] Babicheva, T.S. The Use of Queuing Theory at Research and Optimization of Traffic on the Signal-controlled Road Intersections [Text] / T.S. Babicheva // Procedia Computer Science. – 2015. – V. 55. – P. 469-478. ISSN 1877-0509. Doi: 10.1016/j.procs.2015.07.016.
- [2] Brailsford, S. C. Hybrid simulation modelling in operational research: A state-of-the-art review [Text] / S. C. Brailsford, T. Eldabi, M. Kunc, N. Mustafee, A. F. Osorio // European Journal of Operational Research. – 2019. – V. 278, I. 3. – P. 721-737. ISSN 0377-2217. Doi: 10.1016/j.ejor.2018.10.025.
- [3] Kühnel, N. Implementing an adaptive traffic signal control algorithm in an agent-based transport simulation [Text] / N. Kühnel, T. Thunig, K. Nagel // Procedia Computer Science. – 2018. – V. 130. – P. 894-899. ISSN 1877-0509. Doi: 10.1016/j.procs.2018.04.086.
- [4] Budashko, V. V. Design of the three-level multicriterial strategy of hybrid marine power plant control for a combined propulsion complex [Text] / V. V. Budashko // Electrical engineering & electromechanics. – 2017. – №2. – P. 62 – 72. Doi:10.20998/2074-272X.2017.2.10.
- [5] Budashko, V. Theoretical-applied aspects of the composition of regression models for combined propulsion complexes based on data of experimental research [Text] / V. Budashko, V. Golikov // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – V. 4. – № 3(88). – P. 11 – 20. Doi:10.15587/1729-4061.2017.107244.
- [6] Budashko, V. Formalization of design for physical model of the azimuth thruster with two degrees of freedom by computational fluid dynamics methods [Text] / V., Budashko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – V. 3. – № 7(87). – P. 40-49. Doi:10.15587/1729-4061.2017.101298.
- [7] Haseltalab, A. Model predictive maneuvering control and energy management for all-electric autonomous ships [Text] / A. Haseltalab, R. R. Negenborn // Applied Energy. – 2019. – V. 251. – Art. 113308. ISSN 0306-2619. Doi: 10.1016/j.apenergy.2019.113308.
- [8] Budashko, V. Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes [Text] / V. Budashko, V. Nikolskyi, O. Onishchenko, S. Khniunin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – V. 3. – № 8(81). – P. 10 – 21. Doi:10.15587/1729-4061.2016.72543.
- [9] Dudin, S. Retrial multi-server queuing system with PHF service time distribution as a model of a channel with unreliable transmission of information [Text] / S. Dudin, O. Dudina // Applied Mathematical Modelling. – 2019. – V. 65. – P. 676-695. ISSN 0307-904X. Doi: 10.1016/j.apm.2018.09.005.
- [10] Zubowicz, T. Marine autonomous surface ship - control system configuration [Text] / T. Zubowicz, K. Armiński, A. Witkowska, R. Śmierzchalski // IFAC-PapersOnLine. – 2019. – V. 52, I. 8. – P. 409-415. ISSN 2405-8963. Doi: 10.1016/j.ifacol.2019.08.100.
- [11] Budashko, V. V. Physical model of degradation effect by interaction azimuthal flow with hull of ship [Text] / V. V. Budashko, V. V. Nikolskyi, O. A. Onishchenko, S. N. Khniunin // Proceeding Book of International conference on engine room simulators (ICERS12). – Istanbul, Istanbul Technical University, Maritime Faculty, 2015. – P. 49-53. ISBN: 978-605-01-0782-1. Available at: \www/ URL: <http://www.maritime.itu.edu.tr/icers12/program.htm>.
- [12] Zhang, L.-P. Innovation design and optimization management of a new drive system for plug-in hybrid electric vehicles [Text] / L.-P. Zhang, W. Liu, B. Qi // Energy. – 2019. – V. 186. – Art. 115823. ISSN 0360-5442. Doi: 10.1016/j.energy.2019.07.153.
- [13] Nikolskyi, V. The monitoring system of the Coanda effect for the tension-leg platform's [Text] / V. Nikolskyi, V. Budashko, S. Khniunin // Proceeding Book of International conference on engine room simulators (ICERS12). – Istanbul, Istanbul Technical University, Maritime Faculty, 2015. – P. 45-49. ISBN: 978-605-01-0782-1. Available at: \www/ URL: <http://www.maritime.itu.edu.tr/icers12/program.htm>.
- [14] Budashko, V. Synthesis of the Management Strategy of the Ship Power Plant for the Combined Propulsion Complex [Text] / V. Budashko, V. Shevchenko // 2018 IEEE 5th International Conference on Methods and Systems of Navigation and Motion Control (MSNMC), Kyiv, 16-18 Oct. 2018, Ukraine: IEEE. P. 106-108. Doi: 10.1109/MSNMC.2018.8576266. Режим доступу: \WWW/ URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8576266>. – 5.1.2019 р. – Загол. з екрану.
- [15] Fu, J. Multi-level virtual prototyping of electromechanical actuation system for more electric aircraft [Text] / J. Fu, J.-C. Mare, L. Yu, Y. Fu // Chinese Journal of Aeronautics. – 2018. – V. 31, I. 5. – P. 892-913. ISSN 1000-9361. Doi: 10.1016/j.cja.2017.12.009.
- [16] Abdallah, I. Event driven Hybrid Bond Graph for Hybrid Renewable Energy Systems part I: Modelling and operating mode management [Text] / I. Abdallah, A.-L. Gehin, B. O. Bouamama // International Journal of Hydrogen Energy. – 2018. – V.