

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ КРИТЕРІЮ МЕХАТРОННОГО УПРАВЛІННЯ СТРУКТУРОЮ СКЛАДНИХ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕРОБСТВА**

**Сівак І.М., Човнюк Ю.В.**

*Національний університет біоресурсів і природокористування України*

*Запропонована вдосконалена методика розрахунку критерію мехатронного управління структурою складних технічних систем точного землеробства. В основу критерію покладено такі складові як: надійність обладнання, якість мехатронного управління, вартість ресурсів та ефективність обладнання точного землеробства.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Незважаючи на велику кількість досліджень та значні кошти, які залучаються для дослідження проблеми забезпечення необхідної надійності мехатронних систем управління (МСУ) машино – тракторними агрегатами, задіяними у точному землеробстві (у подальшому останні будемо визначати як складні технічні системи СТС), вказану проблему не можна вважати до кінця вирішеною у теоретичному плані. Ця думка підтверджується, перш за все, тим, що до теперішнього часу не розроблені науково – теоретичні основи адаптивного управління за допомогою МСУ технічним станом СТС, відсутні адекватні показники ефективності і методики їх оцінки. Внаслідок цього, вирішення проблеми забезпечення необхідної надійності і безпечності МСУ та самих СТС в умовах продовження термінів експлуатації вимагає пошуку і впровадження нових методів управління (нових МСУ).

Одним із шляхів забезпечення необхідного рівня безпеки СТС полягає у використанні принципу резервування, при цьому мета управління (за допомогою МСУ) може бути досягнена за рахунок різних структур системи точного землеробства (СТС). Сьогодні, для вирішення задачі МСУ структурою СТС використовуються самоорганізовані адаптивні системи управління. Але у зв'язку з відсутністю загальноприйнятих методик та критеріїв, котрими слід керуватись при розробці таких МСУ та СТС, виникає низка ускладнень щодо синтезу їх керуючих алгоритмів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Теоретичні проблеми забезпечення надійності складних технічних систем розглянуті у [1,2]. Самоорганізовані адаптивні системи управління структурою СТС досліджені у [3]. Автори [4,5] наводять методику розрахунку критерію управління структурою СТС для конкретних систем. Результати цитованих робіт [1–5] будуть використані у даному дослідженні.

Проте, МСУ, які використовуються у системах точного землеробства, змінюють їх внутрішню структуру у залежності від потреб і умов функціонування (сільськогосподарські машини – «трансформери»), вивчені ще недостатньо.

**Мета роботи** полягає у презентуванні методики розрахунку багатовимірного критерію МСУ систем точного землеробства СТС і обґрунтування наступних його (критерію) складових: надійність МСУ, якість управління за допомогою МСУ систем точного землеробства, вартість ресурсів та ефективність (космонавігаційного) обладнання.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** У даній роботі наведені результати досліджень, які спрямовані на створення комплексного критерію, що дозволяє, перш за все, керувати надійністю складних систем точного землеробства (СТС).

У роботі [4] на конкретному об'єкті дослідження – тепловій насосній станції, яка задіяна у системі опалення одноповерхового котеджу площею  $100 \text{ м}^2$ , проведена постановка задачі, згідно з якою комплексний критерій управління повинен включати в себе наступні складові: надійність системи  $R(t)$ , якість управління  $Q(t)$ , вартісний показник ресурсів  $S(t)$  і ефективність обладнання  $E(t)$ . (Звісно, що для МСУ точного землеробства ці складові зберігаються!).

У подальшому було запропоновано розглянути поточний стан МСУ СТС як вектор  $r$  у просторі  $(R(t), Q(t), S(t), E(t))$ . Після розробки відповідних математичних моделей для складових критерію, задача оптимального управління за допомогою МСУ СТС, може бути зведена до мінімізації довжини вектора  $r$ , тобто, до пошуку розв'язку для котрого:

$$K_{rit} = \left( \sqrt{R^2(t) + Q^2(t) + S^2(t) + E^2(t)} \right) \Rightarrow \min. \quad (1)$$

Оскільки надійність обладнання МСУ – імовірнісна величина і практично її визначити досить важко, апріорі приймаємо відомі функції надійності всього обладнання (МСУ). Для опису цих функцій, у зв'язку з його універсальністю, обраний закон Вейбула:

$$P(t) = \exp(-\lambda \cdot t^\alpha). \quad (2)$$

Підбираючи характери  $\lambda$  та  $\alpha$ , можна отримати широкий діапазон зміни функцій надійності. При визначенні надійності всієї МСУ в цілому необхідно пам'ятати, що при послідовному з'єднанні  $n$  компонентів надійність визначається як:

$$P_{nocл}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_n(t), \quad (3)$$

а при паралельному:

$$P_{nocл}(t) = (1 - P_1(t)) \cdot (1 - P_2(t)) \cdot \dots \cdot (1 - P_n(t)). \quad (4)$$

Зрозуміло, що миттєве значення надійності нічого не свідчить про історію зміни даного параметру. Обладнання МСУ може відпрацювати свій ресурс на самому початку періоду часу, що розглядається і у такому стані простоювати до поточного моменту, або весь період знаходитися у резерві і витрачає свій ресурс тільки у кінці періоду, який аналізують. З точки зору надійності другий

варіант кращий. Тому у комплексний критерій повинна входити інтегральна оцінка надійності. А враховуючи те, що у цілому вирішується задача мінімізації, складова  $R(t)$  повинна визначатись виразом:

$$R(t) = \sum_{i=1}^N (1 - P_i(t)), \quad (5)$$

де  $N$  – кількість точок відліку на інтервалі, який аналізують.

Для оцінки якості  $Q(t)$  можна запропонувати використати середньоквадратичне відхилення регульованого МСУ параметру  $x(t)$  від заданого значення  $x_0$ :

$$Q(t) = \frac{\sum_{i=1}^N [x_i(t) - x_0]^2}{N}. \quad (6)$$

Вартісний показник ресурсів  $S(t)$  визначається виразом:

$$S(t) = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^k G_{ij} \dots S_j}{S_{\max}}, \quad (7)$$

де  $k$  – кількість первинних ресурсів, які використовуються;

$G_{ij}$  – витрати  $j$  – го ресурсу на  $i$  – й ітерації розрахунку;

$S_j$  – вартість  $j$  – го ресурсу;

$S_{\max}$  – вартість ресурсів, які витрачаються на функціонування системи при умові, що все обладнання МСУ працювало без зупинки (відключення), весь інтервал часу, що розглядається.

Ефективність обладнання МСУ  $E(t)$  запропоновано оцінювати за ККД.

Як і у випадку з надійністю, миттєві значення ККД несуть малу інформацію. А враховуючи, що дану складову необхідно мінімізувати, для визначення величини  $E(t)$  використаємо наступний вираз:

$$E(t) = \sum_{i=1}^N \frac{\sum_{j=1}^n (1 - \eta_{ij}(t))}{n}, \quad (8)$$

де  $\eta_{ij}(t)$  – ККД  $j$ -го елемента МСУ на  $i$  – й ітерації розрахунку.

Наступні дослідження показали, що у розрахунок критерію необхідно внести ряд доповнень.

Перш за все, оцінка надійності МСУ в цілому за виразом (5) у даному вантажу неприйнятна. Дійсно, якщо у системі хоча б одна одиниця обладнання (МСУ) знаходиться у резерві, тоді надійність системи дорівнює 1, і, відповідно,

відсутня можливість прослідкувати історію зміни надійності. Тому у подальшому було прийнято оцінювати надійність її обладнання:

$$R(t) = \sum_{i=1}^N \frac{\sum_{j=1}^n (1 - P_{ij}(t))}{n}, \quad (9)$$

де  $P_{ij}(t)$  – надійність  $j$  – ї одиниці обладнання на  $i$  – й ітерації розрахунку.

Дослідження також показали, що складові критерію необхідно нормувати у зв'язку з тим, що їх абсолютні значення можуть відрізнятись на порядки. Вартість ресурсів МСУ може досягати сотень і тисяч грн., у той час, як імовірність зламу може визначатись величинами порядку  $10^{-4}$ . Такий дисбаланс призводить до різного вагового внеску окремих складових.

Для визначення нормативного значення надійності приймаємо, що максимальне значення імовірності зламу одиниці МСУ – обладнання складає 0,05. Якщо ця імовірність стає вище, обладнання МСУ необхідно зупиняти й виводити у ремонт. Тому за норму для однієї одиниці обладнання МСУ була взята площа прямокутника зі сторонами  $N$  та 0,05. При цьому нормована величина  $R_n(t)$  із врахуванням (9) визначається як:

$$R_n(t) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\sum_{j=1}^n (1 - P_{ij}(t))}{n}}{0,05n \cdot N}. \quad (10)$$

За норму для складової ефективності була прийнята 1, що дозволило звести розрахунок нормативного значення величини  $E_n(t)$  до розрахунку середньої ефективності МСУ:

$$E_n(t) = \frac{\sum_{i=1}^N \frac{\sum_{j=1}^n (1 - \eta_{ij}(t))}{n}}{N}. \quad (11)$$

Також за 1 була прийнята норма складової вартісної оцінки ресурсів, задіяних у МСУ. При цьому нормоване значення величини  $S_n(t)$  можна розрахувати за виразом (7).

За результатами попередніх досліджень, було вирішено, що вводити спеціальну нормуючу величину (нормування) складової якості недоцільно, оскільки її абсолютні значення знаходяться у діапазоні, що нас цікавить.

Для більшої гнучкості було запропоновано ввести вагові коефіцієнти  $W_r, W_q, W_s, W_e$  для всіх складових комплексного критерію. У остаточній формі комплексний критерій приймає вид:

$$Criteria = \sqrt{W_r \cdot R_n^2(t) + W_q \cdot Q_n^2(t) + W_s \cdot S_n^2(t) + W_e \cdot E_n^2(t)}, \quad (12)$$

де 
$$W_r + W_q + W_s + W_e = 1, \quad 0 < (W_r, W_q, W_s, W_e) < 1. \quad (13)$$

## Висновки

1. Дослідження показали потенційну можливість гнучкого управління за допомогою засобів мехатроніки системи точного землеробства. Змінюючи різні параметри, такі як ринкова вартість МСУ, ліміти електроенергії для їх експлуатації, обмеження на мінімально допустимий ресурс обладнання у задані моменти часу, вагові коефіцієнти складових критерію, можна отримувати принципово різні розв'язки щодо управління експлуатацією обладнання МСУ. Одні розв'язки відрізняються мінімумом витрачених ресурсів, інші - максимальною надійністю, треті – використанням найбільш ефективного обладнання МСУ.
2. Наступні (подаліші) дослідження повинні бути спрямовані на пошук методик використання запропонованого критерію для синтезу керуючих алгоритмів. Зрозуміло, що тут не обійтись без імітаційного моделювання, оскільки необхідно оцінювати поведінку МСУ у майбутньому, тобто здійснювати прогнозування.
3. Запропонована методика розрахунку комплексного критерію оцінки стану СТС таких, як системи точного землеробства. Критерій заснований на аналізі таких складових, як надійність системи, якість підтримання цільової функції, ефективність функціонування обладнання МСУ і сумарна вартість витрачених первинних енергоресурсів.

## Список використаних джерел

1. Северцев Н.А. Надежность сложных систем в эксплуатации и обработке/ Н.А. Северцев.- М.: Высшая школа, 1989.- 432 с.
2. Браун Дэвид Б. Анализ и разработка систем обеспечения техники безопасности: системный подход в технике безопасности.- М.: Машиностроение, 1979. – 360 с.
3. Чернявский Г.И. Адаптивное управление техническим состоянием и безопасностью эксплуатации сложных технических систем в условиях ресурсных ограничений / Г. И. Чернявский // Энергобезопасность в документах и фактах. – М., 2006. – Вып 2 (19). – С. 5-7.
4. Давыдов В.О. Имитационная модель объекта управления для систем управления надежностью / В.О. Давыдов, О.Б. Максимова // Труды Одесского политехнического университета. – Одесса, 2010. – Вып. 1(133). – 2(34). –С. 75-80.
5. Максимова О.Б. Методика расчета критерия управления структурой сложных технических систем / О.Б. Максимова, В.О. Давыдов, В.М. Тонконогий // Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки. – 2011. - №3. – С. 19-23.

## **Анотація**

### **СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА КРИТЕРИЯ МЕХАТРОННОГО УПРАВЛЕНИЯ СТРУКТУРОЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

Сивак И.М., Човнюк Ю.В.

*Предложена усовершенствованная методика расчета критерия мехатронного управления структурой сложных технических систем точного земледелия. В основу критерия положены такие составляющие как: надежность оборудования, качество мехатронного управления, стоимость ресурсов и эффективность оборудования точного земледелия.*

## **Abstract**

### **IMPROVEMENT METHODOLOGY DESIGN CRITERIA MECHATRONIC STRUCTURE MANAGEMENT OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEMS FOR PRECISION FARMING**

I. Sivak, Y. Chovniuk

*The method of improved calculation a multidimensional criterion management of complex technical systems (such as agriculture precise action) with heap of mechatronics is proposed. The criterion laid such components as: reliability, quality control, cost of resources and equipment efficiency. The questions of normalization components are considered.*