

В. М. Почерняєв<sup>1</sup>, В. В. Зайченко<sup>2</sup>, В. С. Повхліб<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Державний університет інтелектуальних технологій і зв'язку, Одеса, Україна

<sup>2</sup> Київський коледж зв'язку, Київ, Україна

## СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, КОНТРОЛЮ ТА ДІАГНОСТИКИ ДЛЯ КОМБІНОВАНОЇ РАДІОТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

**Анотація.** В статті розглянуто система управління, контролю та діагностики комбінованої радіотехнічної системи з позиції теорії складних систем. Наведено конкретні приклади комбінованих радіотехнічних систем для яких необхідна розробка єдиних систем управління, контролю та діагностики. Приведено структурну схему мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції, що відноситься до комбінованих радіотехнічних систем. Функціонування такої станції потребує урахування особливостей поширення радіохвиль у багатопроменовому тропосферному каналі з завмираннями. Тому, єдина система управління, контролю та діагностики повинна мати у своєму складі імітатор багатопроменового каналу з завмираннями. Така єдина система управління, контролю та діагностики сама по собі стає складною системою. Тому при її проектуванні запропоновано використовувати метод декомпозиції, що дозволяє виділити її окремі підсистеми. При цьому слід враховувати, що застосування імітатора багатопроменового каналу з завмираннями приводить до сильно розгалуженої структури. Так багатопроменовим каналом з завмираннями є тропосферний канал. Особливістю тропосферного каналу є наявність швидких завмирань сигналу, що потребує для обробки даних значного обчислювального ресурсу, а значить зменшення точок його розгалуження. Зменшення точок розгалуження обчислювального процесу такої складної структури також дозволяє підтримувати пропускну здатність службових каналів, каналів телеуправління та телесигналізації на рівні вимог до їх якості передавання. Наведено конкретний розрахунок зменшення точок розгалуження обчислювальної процедури шляхом застосування методу декомпозиції. В статті також показані напрями перспективних науково-технічних розробок в області створення комбінованих радіотехнічних систем.

**Ключові слова:** система управління; контролю та діагностики; комбінована радіотехнічна система; мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція; тропосферний канал; імітатор багатопроменового каналу з завмираннями; метод декомпозиції.

### Вступ

Створення комбінованих систем є одним з ключових завдань розвитку сучасних радіотехнічних систем. Комбінованою радіотехнічною системою будемо називати таку систему, яка складається з різних за функціонуванням частин, але яка має спільний (спільні) пристрої управління, контролю, формування, обробки тощо.

Наприклад, мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція (МЦТрРРС) складається з тропосферної компоненти ТК (фактично станції) та радіорелейної компоненти РРК (також фактично станції), але має єдину систему управління та спільний тракт формування частот [1, 2].

Іншим прикладом є система, на якій базується організація повітряного руху цивільної авіації, яка виконує задачу оцінки координат та параметрів руху об'єктів, що маневрують. Така задача в наш час розв'язується на основі суміщення функцій управління радіонавігаційними та радіолокаційними пристроями.

Автоматизація процесу рішення такої комплексної задачі висуває жорсткі вимоги до технічних характеристик засобів спостереження за об'єктами, що маневрують, точності навігаційних параметрів та якості траєкторної обробки. Ці вимоги в основному стосуються супроводу об'єктів, що маневрують, їх координат та вектора швидкості.

Можна виділити наступні комбіновані радіотехнічні системи для управління повітряним рухом:

- трасові засоби радіонавігації у вхідних та вихідних коридорах повітряних зон + трасові радіоло-

катори, що призначені для отримання інформації про коридори повітряних суден;

- радіонавігаційне обладнання для входу в район аеропорту (аеродрому) + аеродромний радіолокатор;

- радіонавігаційне обладнання для проведення маневру при здійсненні посадки повітряним судном + радіолокатор, що здійснює посадку.

Багатофункціональні радіолокаційні станції (РЛС), що здатні виконувати функції виявлення, точного вимірювання координат, супроводу, уточнення траєкторій руху, розпізнання цілей також є прикладом комбінованих радіотехнічних систем.

**Постановка задачі.** В Україні в сфері телекомунікацій проводиться робота по створенню нової комбінованої МЦТрРРС. Науково-технічним завданням для такої радіотехнічної системи є необхідність розробки єдиної системи управління, контролю та діагностики (СУКД). Радіотехнічні системи спеціального призначення (зв'язок, радіолокація, радіонавігація) потребують діагностики траси поширення радіохвиль, а тому СУКД перетворюється в складну систему з обчислювальними процедурами високих порядків. Звідси випливає задача подальшого удосконалення методу декомпозиції на шляху зменшення точок розгалуження обчислювального процесу.

**Аналіз літератури.** Аналіз бібліографічних джерел про системи (пристрої) управління та контролю показав, що найбільш близькими за методом вирішення подібних завдань є наукові дослідження, які проведені в [3-8]. Огляд сучасних радіотехнічних систем різного призначення [9-17] показав, що на-

прямоком їх розвитку є створення комбінованих комплексів, актуальним завданням для яких є удосконалення СУКД. Серед розглянутих радіотехнічних систем можна виділити наступні:

- авіаційні комплекси і платформи з ретрансляцією інформації через безпілотні літальні апарати [9, 13];
- радіотехнічні системи, що об'єднують різні телематичні служби та інші види трафіку [10];
- телекомунікаційні системи та радіолокаційні системи пошуку і виявлення об'єктів [11, 12, 14];
- наземні транспортні засоби, що поєднують LIDAR, датчики ІК-випромінювання та лазерні пристрої [15].

Аналіз цих літературних джерел показує, що комбіновані радіотехнічні системи мають досить широке застосування.

Тому, розробка комбінованих радіотехнічних систем, як наприклад, МЦТрРРС є актуальною задачею. А створення єдиної СУКД для таких систем потребує наукового супроводу.

**Невирішені питання.** Ключовим завданням розробки єдиної СУКД для МЦТрРРС є створення пристрою контролю та діагностики радіоканалу з імітатором багатопроменевого каналу з замираннями.

Такий імітатор повинен бути невід'ємною частиною єдиної СУКД комбінованої радіотехнічної системи, сигнали якої поширюються по багатопроменевому каналу.

Це в свою чергу вимагає спрощення обчислювального процесу при контролі та діагностиці багатопроменевого тропосферного каналу з замираннями. Розв'язати таке завдання можна шляхом застосування методу декомпозиції для зменшення то-

чок розгалуження обчислювального процесу в єдиній СУКД. Під радіоканалом розуміється траса поширення радіохвиль, по якій функціонує комбінована радіотехнічна система з єдиною системою управління, контролю та діагностики.

**Мета статті.** Метою даної статті є формування науково-обґрунтованого підходу до створення єдиної системи управління, контролю та діагностики комбінованої радіотехнічної системи, що містить імітатор багатопроменевого каналу з замираннями, шляхом застосування методу декомпозиції, що передбачає реалізацію процедури зменшення точок розгалуження обчислювального процесу.

### Виклад основного матеріалу

**Загальний підхід до дослідження системи управління, контролю та діагностики мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції як комбінованої радіотехнічної системи.** Дослідження функціонування системи управління, контролю та діагностики мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції як комбінованої радіотехнічної системи здійснюється із застосуванням принципів і методів теорії складних систем [4]. На різних етапах дослідження багаторівневих систем вирішуються різного роду науково-технічні, вартісні або конструкторсько-технологічні завдання.

Для опису системи задаються взаємно-однозначні відповідності між носіями підсистем багаторівневої системи. Якщо не існує взаємно-однозначної відповідності між носіями, то така система вважається складною.

На рис. 1 показана спрощена структурна схема мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції [1].

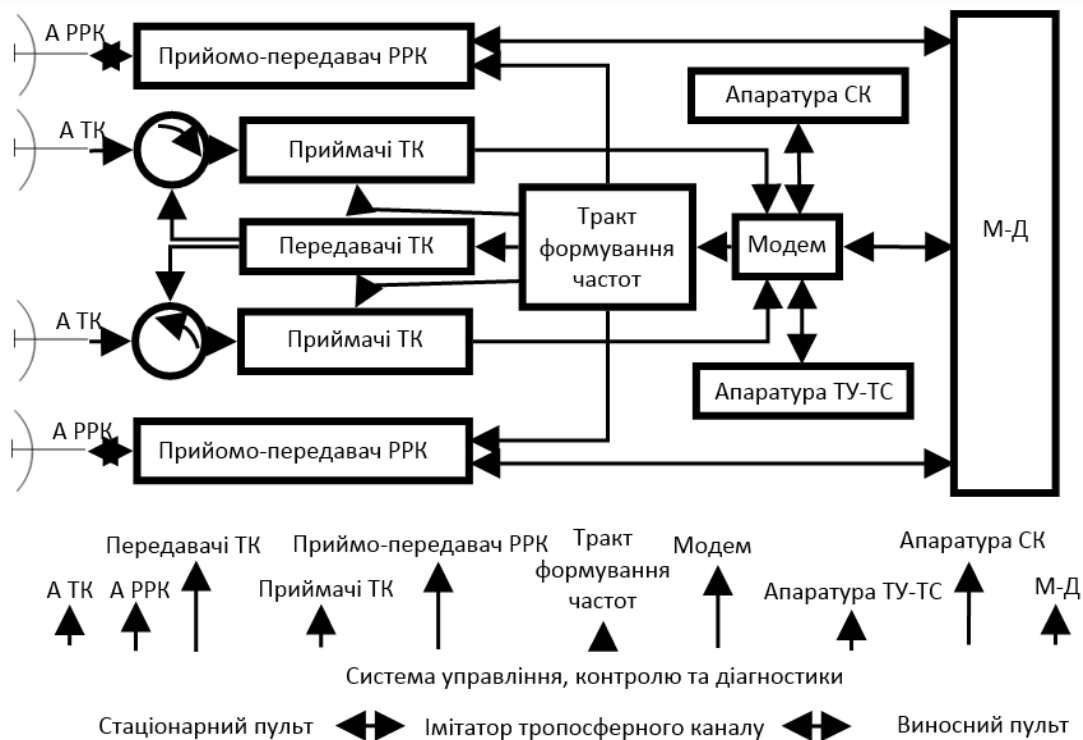


Рис. 1. Спрощена структурна схема мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції

На схемі рис. 1 позначено:

А ТК – антени тропосферної компоненти;

А РРК – антени радіорелейної компоненти;

апаратура СК – апаратура службових каналів;

апаратура ТУ-ТС – апаратура телеуправління-телесигналізації;

М-Д – мультиплексор-демультиплексор.

Як видно з рис. 1 мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція є комбінованою радіотехнічною системою з багаторівневою структурою і являє собою об'єкт теорії складних систем. Відповідно до теорії складних систем така станція включає цілий ряд підсистем різного призначення.

У даній роботі аналізу піддається система управління, контролю та діагностики, як одна із складових частин мобільної цифрової тропосферно-радіорелейної станції і як підсистема комбінованої радіотехнічної системи.

Новим науково-технічним фрагментом є те, що СУКД наземної радіотехнічної системи НВЧ діапазону включає імітатор багатопроменевого каналу із завмираннями як базовий пристрій контролю та діагностики радіоканалу. Такий пристрій в свою чергу взаємодіє з модемом станції, який представляє собою іншу підсистему комбінованої радіотехнічної системи.

Відмітимо, що моделювання процесів управління та контролю мобільних радіотехнічних систем розглядалось в [2].

На рис. 1 [2, с. 18] показано, що процес управління та контролю управління має розгалужену структуру.

Одним з ефективних способів перетворення таких структур є метод декомпозиції.

Математичний опис моделі комбінованої радіотехнічної системи з взаємодією двох підсистем, у нашому випадку СУКД з імітатором та модема, можна представити у вигляді рівняння згортки:

$$y(t) = \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau)x(t-\tau)d\tau, \quad (1)$$

де  $h(\tau)$  – імпульсна характеристика багатопроменевого каналу, який реалізує вбудований в систему управління, контролю та діагностики імітатор. Рівняння (1) може бути представлено у вигляді:

$$y(t) = Px(t-\tau), \quad (2)$$

де  $P = [C, h(\tau)]$ ,  $C$  – алгебраїчне перетворення у вигляді згортки.

У застосуванні методу декомпозиції для досліджуваної комбінованої радіотехнічної системи обмежимося взаємодією двох підсистем – СУКД, що містить імітатор багатопроменевого каналу з завмираннями, і модему. Математично це з урахуванням виразу (2) можна записати в такий спосіб:

$$xPy \Leftrightarrow [(xP_1q) \cap (qP_2y)]. \quad (3)$$

У виразі (3) позначено:

$P_1$  – набір обчислювальних операцій, які здійснюються модемом,

$P_2$  – набір обчислювальних операцій, які здійснюються системою управління, контролю та діагностики.

Метод декомпозиції дозволяє уявити вихідну систему у вигляді добутку двох підсистем, заданих співвідношеннями  $P_1$  і  $P_2$ . При цьому вводиться нова множина  $Q$  – модулі СУКД, що складається з підмножин  $Q_1, \dots, Q_n$ .

При побудові структури декомпозиції процесу управління, контролю та діагностики вводимо наступні набори обчислювальних операцій:

$X_1$  – визначає операції імітатора;

$X_2$  – визначає операції апаратури СК;

$X_3$  – визначає операції апаратури ТУ-ТС;

$X_4$  – визначає операції пультів управління (функціонує або стаціонарний, або виносний).

Даний спосіб декомпозиції заснований на введенні добутку відношень.

Визначимо найменше число співмножників добутку відношень. Це число співмножників буде називатись порядком системи.

Тоді систему  $n$ -го порядку можна представити у вигляді  $(n-2)$ -систем 3-го порядку:

$$[P_1(Q_1, X_2, X_3)] \cap [P_2(X_1, Q_1, X_4, \dots, X_n)]. \quad (4)$$

Далі одна з підсистем (4) розбивається на добутки відношень до необхідного ієрархічного рівня. Підсистема, що задається підмножиною  $P_2$  розбивається з урахуванням представлення  $P_2$  у вигляді добутку відношень  $P_3$  та  $P_4$ . Тоді маємо:

$$[P_1(Q_1, X_2, X_3)] \cap [P_3(Q_2, Q_1, X_4)] \cap [P_4(Q_2, X_1, X_5, \dots, X_n)]. \quad (5)$$

На  $(k-1)$  кроці на базі виразу (5) отримаємо:

$$P_{2(k-1)} = P_{2(k-1)+1}P_{2(k-1)+2}, \quad k = 1, \dots, n-3.$$

Звідси отримуємо розкладання на добутки відношень систем третього порядку, загальне число яких складає  $(n-2)$ -систем:

$$[P_1(Q_1, X_2, X_3)] \cap [P_3(Q_2, Q_1, X_4)] \cap \dots \cap [P_{2(n-4)+1}(Q_{n-3}, Q_{n-4}, X_{n-2})] \cap [P_{2(n-4)+2}(Q_{n-3}, X_1, X_4)]. \quad (6)$$

З огляду на вираз (6) цей процес можна продовжити. Введення нових змінних необхідно для зв'язку між новоутвореними системами. Але для зв'язку між новоутвореними підсистемами введення нових змінних призводить до зростання числа точок розгалуження.

Тому, важливо знайти при такій декомпозиції спосіб зменшення точок розгалуження обчислювального процесу.

**Зменшення точок розгалуження обчислювальної процедури як спосіб удосконалення методу декомпозиції.** Важливим для подальшого розвитку методу декомпозиції є зменшення точок розгалуження обчислювальної процедури.

Припустимо, що  $I$  одиничне розгалуження, що належить множині розгалужень  $P$ , тобто  $I \in P$ . Тоді

математичне сподівання кількості розгалужень з множини  $P$  визначається величиною

$$\sum_{I \in P} \delta_I.$$

Оцінка зменшення ступеня розгалуження дається величиною [18]:

$$\delta_{розг} = \frac{1+|P|}{\sum_{I \in P} \delta_I}. \quad (7)$$

Трудомісткість побудови подальших операцій визначається найбільшою ступенню розгалуження  $N(m)$ , визначається наступним чином:

$$\begin{aligned} 1+|P| \leq N(m) &= 1 + C_m^{\lfloor m/2 \rfloor} = \\ &= 1 + m! (\lfloor m/2 \rfloor! (m - \lfloor m/2 \rfloor!)^{-1}), \end{aligned} \quad (8)$$

де  $C_m^{\lfloor m/2 \rfloor}$  – біноміальний коефіцієнт,  $m$  – число рівнів в багаторівневій системі.

Ступінь розгалуження  $N(m)$  по формулі (8) швидко зростає зі збільшенням числа  $m$ , що створює істотні обчислювальні труднощі при вирішенні задач з  $m \gg 1$ .

Чисельник в виразі (7) можна представити в такий спосіб:

$$1+|P| = 1 + C_m^{\lfloor m/2 \rfloor} = 1 + m! \left(\frac{m}{2}\right)!^{-2}. \quad (9)$$

Тоді у відповідності з (9) зменшення ступеня розгалуження визначається величиною:

$$\begin{aligned} \delta_{розг} &= \frac{1 + C_m^{\lfloor m/2 \rfloor}}{\sum_{I \in P} \delta_I} \geq \\ &\geq \frac{(1 + (m/2)^i)(1 + C_m^{\lfloor m/2 \rfloor})}{1 + (m/2)^i + \sum_{j=0}^{m/2} (1 + j^i) C_{\lfloor m/2 \rfloor}^j C_{\lfloor m/2 \rfloor}^{m/2-j}}. \end{aligned}$$

Якщо число  $m=8$ , а налаштувати або регулювати в СУКД необхідно один параметр ( $i=1$ ), то ступінь розгалуження скорочується більш ніж в 1,5 рази на кожному кроці обчислювального процесу:

$$\delta_{розг} \geq \frac{5(1 + C_8^4)}{5 + \sum_{j=0}^4 (1 + j) C_4^j C_4^{4-j}} > 1,6.$$

Ефективність запропонованого способу продемонстровано на прикладі  $m=8$ .

Відмітимо, що особливістю тропосферного каналу є наявність швидких завмирань сигналу, яка потребує для обробки даних значного обчислювального ресурсу, а значить зменшення точок його розгалуження.

Зменшення точок розгалуження обчислювального процесу, яке було отримано вище, для системи управління, контролю та діагностики дозволяє підтримувати пропускну здатність службових каналів, каналів телеуправління та телесигналізації на рівні вимог до їх якості передавання.

## Перспективи подальшого розвитку даного дослідження

Отриманий результат по зменшенню точок розгалуження обчислювального процесу можна поширити на ті комбіновані радіотехнічні системи, які функціонують по багатопроменевим каналам з завмираннями. Для таких систем також доцільно мати в складі системи управління, контролю та діагностики імітатор багатопроменевого каналу з завмираннями.

Тому, цей результат можна застосувати до таких перспективних науково-технічних розробок, як наприклад:

- комбінованих телекомунікаційних платформ, що поєднують різні типи зв'язку – радіорелейний та тропосферний, тропосферний та космічний;
- радіолокаційні станції виявлення цілей, їх розпізнання, супровід та наведення;
- комбіновані радіонавігаційно-радіолокаційні системи управління повітряним рухом.

## Висновки

Багатопроменевий тропосферний канал зв'язку з завмираннями вже сам по собі є складною системою. Це обумовлено умовами поширення радіохвиль, пов'язаними з розсіюванням і багатократним відбиттям їх від неоднорідностей тропосфери. Комбінована радіотехнічна система, яка функціонує по радіоканалам з такими умовами поширення радіохвиль, також, безумовно, є складною системою. Комбінована радіотехнічна система утворює особливий клас складних систем.

Однією з головних підсистем даної системи є система управління, контролю та діагностики. Таким комбінованим радіотехнічним системам, як наприклад приведеним у вступі даної статті, притаманний наступний ряд специфічних властивостей та якостей, що пов'язано з інформаційною взаємодією внутрішніх підсистем. Ускладнення задач та підвищення вимог до таких систем призвело до ускладнення їх структури та процесу функціонування при експлуатації.

Підвищення якості і надійності подібних радіоліній зумовлює необхідність побудови імітатора багатопроменевого каналу із завмираннями як елемента єдиної системи управління, контролю та діагностики. Це призводить в свою чергу до того, що єдина система управління, контролю та діагностики комбінованої радіотехнічної системи також стає складною.

З іншого боку застосування імітатора багатопроменевого каналу з завмираннями приводить до сильно розгалуженої структури. Визначено, що навіть при зміні одного параметру степінь розгалуження зменшується в 1,5 рази.

З результатів даної роботи випливає, що метод декомпозиції є ефективним методом застосування теорії складних систем при розробці єдиної системи управління, контролю та діагностики комбінованих радіотехнічних систем.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент № 120288 Україна, С2. Мобільна цифрова тропосферно-радіорелейна станція / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб, В.В. Зайченко; заявл. 29.08.2017; опубл. 11.11.2019. – Бюл. – № 21.
2. Почерняєв В.М. Модель пристрою управління та контролю мобільних радіотехнічних систем / В.М. Почерняєв, В.С. Повхліб // Вісник НТУУ КПІ. Радіотехніка. Радіобудування. – 2017. – № 71. – С. 17-22.
3. Моисеев Н.Н. Элементы теории оптимальных систем / Н.Н. Моисеев. – М.: Наука. – 1975. – 528 с.
4. Моисеев Н.Н. Современное состояние теории исследования операций / под ред. Н.Н. Моисеев. – М.: Наука. – 1979. – 464 с.
5. Dantzig G. Linear programming. Vol. 1. Introduction / G. Dantzig, M. Thapa. - N. Y.: Springer. - 1997. -- 474 p.
6. Dantzig G. Linear Programming. Vol. 2. Theory and extensions / G. Dantzig, M. Thapa. - N. Y.: Springer. - 2003. - 448 p.
7. Sayama H. Introduction to the Modeling and Analysis of Complex Systems / H. Sayama. - Open SUNY Textbooks. - 2015. - 498 p.
8. Mobus George E. Principles of systems science / George E. Mobus, Michael C. Kalton. - N. Y.: Springer. - 2015. - 792 p.
9. Ananda C. M. General aviation aircraft avionics: Integration & system tests / C.M. Ananda // IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine. - 2009. - Vol. 24, No. 5. - pp. 19-25.
10. Jattala Imran. Secure automotive telematics system (SATS) / Imran Jattala, Shakeel Durrani, Junaid Farooqi, Ghalib Junjua, Ambreen Shafique, Faisal Hussian, Hassan Mahmood, Nassar Ikram // Eighth International Conference on Digital Information Management (ICDIM 20 13), 10- 12 Sept. 2013, Islamabad, Pakistan.
11. Zou Lin. Development of an automatic test and control system for radar seeker / Lin Zou, Xue-gang Wang // Int. Conference on Automatic Control and Artistic Intelligence (ACAI 2012), March 3-5, 2012, Xiamen, China. - pp. 894-897.
12. I. Halim Bishoy. Smart frequency agility control system using compact microstrip CRLH-TL array structure for communication and radar applications / Bishoy I. Halim, Hassan M. Elkamchouchi, Yasser M. Madany // Antennas & Propagation Conference (LAPC), 14-15 Nov. 2016, Loughborough, UK. - pp. 1-4.
13. R. Blar zquez-Garcira. Smart Relay Architecture for Over-the-Horizon High Quality Communications With Unmanned Aerial Vehicles / Blazquez-Garcira R., Sun X., Burgos-Garcia M., Garcia-Tejero A., Vidal-Alegria J., Fernar ndez-Gonzar lez J.-M., Sierra-Casta ñer M. // IEEE Access. - 2019. - Volume: 7. - pp. 76317-76327.
14. Qiuyue Zhang. Waveform design for a dual-function radarcommunication system based on CE-OFDM-PM signal / Zhang Q., Zhou Y., Zhang L., Gu Y., Zhang J. // IET Radar, Sonar & Navigation. - 2019. -- Volume: 13, Issue: 4. - pp. 566-572.
15. Pallavi Ram Umare. Smart Solution for Traffic Control / Pallavi Ram Umare, Shraddha Ganeshlal Jayswal, Shraddha Rajendra Tambakhe, Prathamesh Dnyaneshwar Upadhye, Nilesh Dnyaneshwar Gulhane // 2019 IEEE 4th International Conference on Computer and Communication Systems (ICCCS), 23-25 Feb. 20 19, Singapore, Singapore.
16. Nechausov A., Mamusuç I., Kuchuk N. Synthesis of the air pollution level control system on the basis of hyperconvergent infrastructures. *Сучасні інформаційні системи*. 2017. Т. 1, № 2. С. 21 – 26. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2017.2.04>
17. Коваленко А. А., Кучук Г. А. Методи синтезу інформаційної та технічної структур системи управління об'єктом критичного застосування. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Т. 2, № 1. С. 22–27. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.1.04>
18. Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 383 с.

Received (Надійшла) 04.03.2021

Accepted for publication (Прийнята до друку) 12.05.2021

**System of management, control and diagnostic for the combined radio engineering system**

V. Pochernyaev, V. Zaichenko, V. Povhlib

**Abstract.** The article considers the monitoring and diagnostic system of a combined radio engineering system from the perspective of the theory of complex systems. Concrete examples of combined radio systems are given, which require the development of unified monitoring and diagnostic systems. The functioning of such the combined radio engineering system as a mobile digital troposcatter-radiorelay station requires taking into account the features of the multipath troposcatter channel with fading. Therefore, the unified monitoring and diagnostic system should include an simulator of a multipath channel with fading. Such the unified system of monitoring and diagnostics itself becomes complex system. From the other side, the use of a fading multipath channel simulator leads to a highly branched structure. Reducing the branch points of the computational process of such a complex structure allows using a simulator that is built into the monitoring and diagnostic system without compromising the quality of information transfer. Also, the construction of a unified monitoring and diagnostic system should take into account control over resource efficiency. The decomposition method is compared with the Bayesian approach in solving the problem of the calculation procedure. It is noted that the Bayesian approach is possible with a sufficient amount of a priori information. A specific calculation of reducing the branch points of a computational procedure by applying the decomposition method is presented. When changing one parameter, the degree of branching decreases by 1.5 times. The article shows the directions of perspective scientific and technical developments, such as: combined telecommunication platforms combining various types of communications - radio relay and troposcatter, troposcatter and space; radar detection of targets, their recognition, tracking and guidance; combined radio-navigation and radar air traffic control systems.

**Keywords:** system of management; control and diagnostics; combined radio engineering system; mobile digital troposcatter-radiorelay station; troposcatter channel; multi-channel dummy simulator with fading; decomposition method.