

ОЗБРОЄННЯ ТА ВІЙСЬКОВА ТЕХНІКА

УДК 681.51:007.52

УДК 681.51:007.52

В. В. Чепкій¹, к.т.н., доц.В. В. Скачков¹, д.т.н., проф.О. М. Єфимчиков¹, к.т.н., доц.В. К. Набок¹, к.військ.н., с.н.с.О.Д. Єльчанінов², к.т.н., доц.¹ Військова академія (м. Одеса), Україна² Національна академія Національної гвардії України, м. Харків

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧІ МІНІМІЗАЦІЇ ВПЛИВУ ДЕСТАБІЛІЗУЮЧИХ ФАКТОРІВ НА РОБОТУ РОЗПОДІЛЕНИХ СТРУКТУР НАЗЕМНОГО РОБОТОТЕХНІЧНОГО КОМПЛЕКСУ В ІНТЕГРАЛЬНОМУ ПРОЕКТІ «ОБ'ЄКТ-СИСТЕМА»

Досліджується наземний робототехнічний комплекс (РТК) як активна компонентна формація інтегрального проекту «об'єкт-система», що експлуатується в умовах проблемного середовища. Задача мінімізації впливу факторів дестабілізації на роботу наземного РТК вирішується на основі технологічного підходу. За такого підходу визначаються базові принципи розподіленого управління та реалізації їх в додатках мобільних структур наземного РТК. Квінтесенція останніх представлена технологією багатоантенних МІМО-систем, що дозволило визначити компроміси застосування класичних методів та схем передачі, прийому і обробки МІМО-сигналів в різносенсорних каналах інформаційно-керуючої системи (ІКС) та системи радіозв'язку. З врахуванням складності виконання заявлених завдань, запропоновані сукупності технологічних функцій зниження впливу фактору дестабілізації та прикладні варіації їх в алгоритмах отримання цільового результату.

Ключові слова: технологічний підхід, розподілена структура, інтегральний проект, робототехнічний комплекс, дестабілізуючі фактори, субсидіарна ієрархічна організація, технологія адаптивного управління, інформаційно-керуюча система, багатоантенна МІМО-система.

Постановка проблеми. Аналіз останніх досягнень і публікацій

Задача мінімізації впливу дестабілізуючих факторів на роботу розподілених структур мобільного РТК в інтегральному проекті «об'єкт-система» Ξ_{OC} вирішується в контексті дослідження загальнонаукової парадигми забезпечення гарантованого функціонування наземних об'єктів роботизації в неорганізованих середовищах і невизначених ситуаціях [1-5]. Концептуальні питання зазначеної парадигми в сфері теоретичної робототехніки та її додатків детально обговорювались в роботах [5-7]. Методологічну преамбулу для обраної концепції утворюють:

– результат обґрунтування інтегрального проекту «об'єкт-система» Ξ_{OC} , як багатопредметної, гетерогенної та полісистемної модельної конфігурації «наземний РТК – середовище експлуатації РТК – надсистема занурення РТК в структури оперативного рівня ієрархії» [6-8];

– ефект віднесення інтегрального проекту Ξ_{OC} до класу складних слабоформалізуємих багатокомпонентних технічних систем (ССБТС) та представлення її ієрархічною структурою з обмеженою множиною компонент $b_k \in B, k = \overline{1, m}$, яка функціонує в умовах невизначеності вихідних даних $x \in X$, неузгодженості локальних цілей $G_j, j = \overline{1, m}$ та порушення внутрішньої організації [9, 10].

Апріорі проект «об'єкт-система» Ξ_{oc} складають три фізичні компоненти: b_1 – «наземний РТК», b_2 – «середовище експлуатації» та b_3 – «надсистема за призначенням», які взаємодіють між собою;

– дескрипція дестабілізуючих факторів у вигляді сукупності зовнішніх і внутрішніх збуджень, характер впливу яких приводить до відхилення тактико-технічних показників системних структур РТК від номінальних значень і, навіть, до виходу з ладу окремих елементів комплексу. Працездатність наземного РТК в екстремальних умовах природного або штучного походження характеризується параметрами стійкості системних структур мобільного РТК, а саме надійністю і живучістю [3, 8, 11-13];

– гіпотетична в теорії військової робототехніки тенденція існування технологічних процесів, за якої технічне оформлення останніх може бути конструктивно спрощено. За класичного визначення «ідеальна робототехнічна система – це конструкція, вага, об'єм та площа якої потенційно прагнуть до нуля, хоча її здатність виконувати роботу (функціонувати) при цьому не зменшується» [5, 13, 14].

Оголошені аксіоматичні побудови та акценти, розставлені в контексті пошуку рішення заявленої задачі, викреслюють так звану релевантну проблему, коли рівень застосування механізмів мінімізації повинен відповідати рівню інтенсивності впливу дестабілізуючих чинників на функціонування мобільних структур наземного РТК в умовах поточної (реальної) ситуації. Зокрема:

– детермінанта дестабілізації, як первісна складова релевантної проблеми, пов'язана безпосередньо з невизначеністю (неорганізованістю) середовища експлуатації розподілених структур наземного РТК і опосередковано з інцидентом аналітичного опису слабоформалізованих компонент $\{b_k\}$ та оцінкою міри інтеграції їх в організаційно-технічний проект «об'єкт-система» Ξ_{oc} ;

– інструментальна складова релевантної проблеми в першу чергу пов'язана з технологіями зниження (мінімізації) впливу фактору дестабілізації. Даний підхід ґрунтується на постулаті сучасної теорії робототехніки стосовно первинності технологічних процедур і похідності технічних пристроїв, тобто потенційної можливості існування технологій і без технічних конструкцій [13, 14].

Задачі з таким ступенем релевантності за сприйняття технологічного підходу, як ракурсу дослідження інформаційних процесів та упорядкованих процедур досягнення цільового результату в галузі військової робототехніки, знайшли своє відображення у ряді відомих теоретичних та науково-практичних видань [1-3, 11, 15-18]. А саме: в одних [16-18] проаналізовано сучасні та перспективні технології в сфері теоретичної робототехніки; в інших публікаціях [4, 19] представлено розробки систем субсидіарного управління мобільними структурами наземного РТК; в статтях [9, 10] показано механізми організації зазначених формацій на основі положень теорії ССБТС, в деяких з них наведено способи представлення компонентних структур з властивостями синергетичного ефекту; в окремих роботах [14, 20] запропоновано варіанти впровадження інноваційних технологій і технічних рішень в областях інтелектуалізації та роботизації існуючого парку озброєння та військової техніки.

Незважаючи на високий рівень розробленості окресленої проблеми, питання інтегрування заходів протидії факторам дестабілізації та впливу їх на алгоритми функціонування наземного РТК носять несистемний характер. За такої реалії актуального значення набувають принципи технологічного об'єднання однорідних і комплексування різнорідних структур наземного робототехнічного комплексу. Технологічний підхід, як інструмент систематизації, дозволяє звести групи технологічних функцій до повної ієрархізованої єдності в функціональних цілях проекту «об'єкт-система» Ξ_{oc} , а отже, враховувати причинно-наслідкові та взаємодоповнюючі зв'язки мобільних структур РТК з зовнішнім середовищем.

Мета дослідження – адендум технологічного підходу до задачі мінімізації впливу дестабілізуючих факторів на процес функціонування розподілених структур мобільного робототехнічного комплексу наземного базування в інтегральному проекті «об'єкт-система».

Постановка задачі

Прийняття рішення на досягнення анонсованої мети передбачає дихотомічний розподіл етапу постановки загальної задачі. Зовнішня постановка задачі ув'язується з дефініцією фактору дестабілізації, а також з його впливом на роботу просторово розподілених структур наземного РТК і характеристики експлуатації останнього в умовах несприятливого середовища. Внутрішня постановка задачі пов'язана з компонентною формалізацією проекту «об'єкт-система» Ξ_{oc} в дескрипціях понятійного апарату ССБТС. При цьому обирається автономний режим функціонування мобільних структур наземного РТК за субсидіарної організації управління ними в заявленому проекті. В прив'язці до такої дихотомії цілісне формулювання оголошеної задачі припускає, що:

- проблема стійкості просторово розподілених структур наземного РТК до впливу зовнішніх і внутрішніх факторів дестабілізації зводиться до прийняття рішення на забезпечення живучості та надійності контурів управління наземного РТК, відповідно;

- процеси взаємодії та впливу багатоспектральних дестабілізуючих факторів на характеристики систем і механізмів контурів управління наземним РТК аналізуються в модельній конструкції, що відображена на рис. 1. Зокрема, критичній оцінці піддаються моделі ІКС з різносенсорними каналами автономного контуру управління (АКУ), а також каналу радіозв'язку з системою передачі даних та команд (СПДіК) контуру дистанційного управління (КДУ) наземним РТК;

- процеси взаємодії та впливу багатоспектральних дестабілізуючих факторів на характеристики систем і механізмів контурів управління наземним РТК аналізуються в модельній конструкції, що відображена на рис. 1. Зокрема, критичній оцінці піддаються моделі ІКС з різносенсорними каналами автономного контуру управління (АКУ), а також каналу радіозв'язку з системою передачі даних та команд (СПДіК) контуру дистанційного управління (КДУ) наземним РТК;

- втрати інформації на виході системних додатків, тобто зниження впливу невідомих артефактів на роботу наземного РТК визначається дисперсією σ_{η}^2 дестабілізуючих процесів зовнішнього середовища $\eta \in W_{\eta}$. Відповідно, технологія мінімізації невизначеності середовища експлуатації РТК призначена знизити значення дисперсії σ_{η}^2 процесів дестабілізації до значення дисперсії σ_0^2 внутрішніх шумів, тобто наблизити цільовий результат до нижньої межі інтервалу потенційних втрат [5, 20].

Виклад основного матеріалу дослідження

Змістовна частина даної роботи складається із завдань наступної спрямованості:

- формування цілей, механізмів структурної організації та особливості математичного опису інтегрального проекту «об'єкт-система» Ξ_{oc} в умовах дестабілізації, як концепту ССБТС;

- визначення принципів управління елементарними ланками компонентних структур інтегрального проекту «об'єкт-система» Ξ_{oc} в умовах проблемного середовища;

- комплексування технологічних функцій мінімізації впливу дестабілізуючих факторів на роботу розподілених структур мобільного РТК в інтегральному проекті «об'єкт-система» Ξ_{oc} .

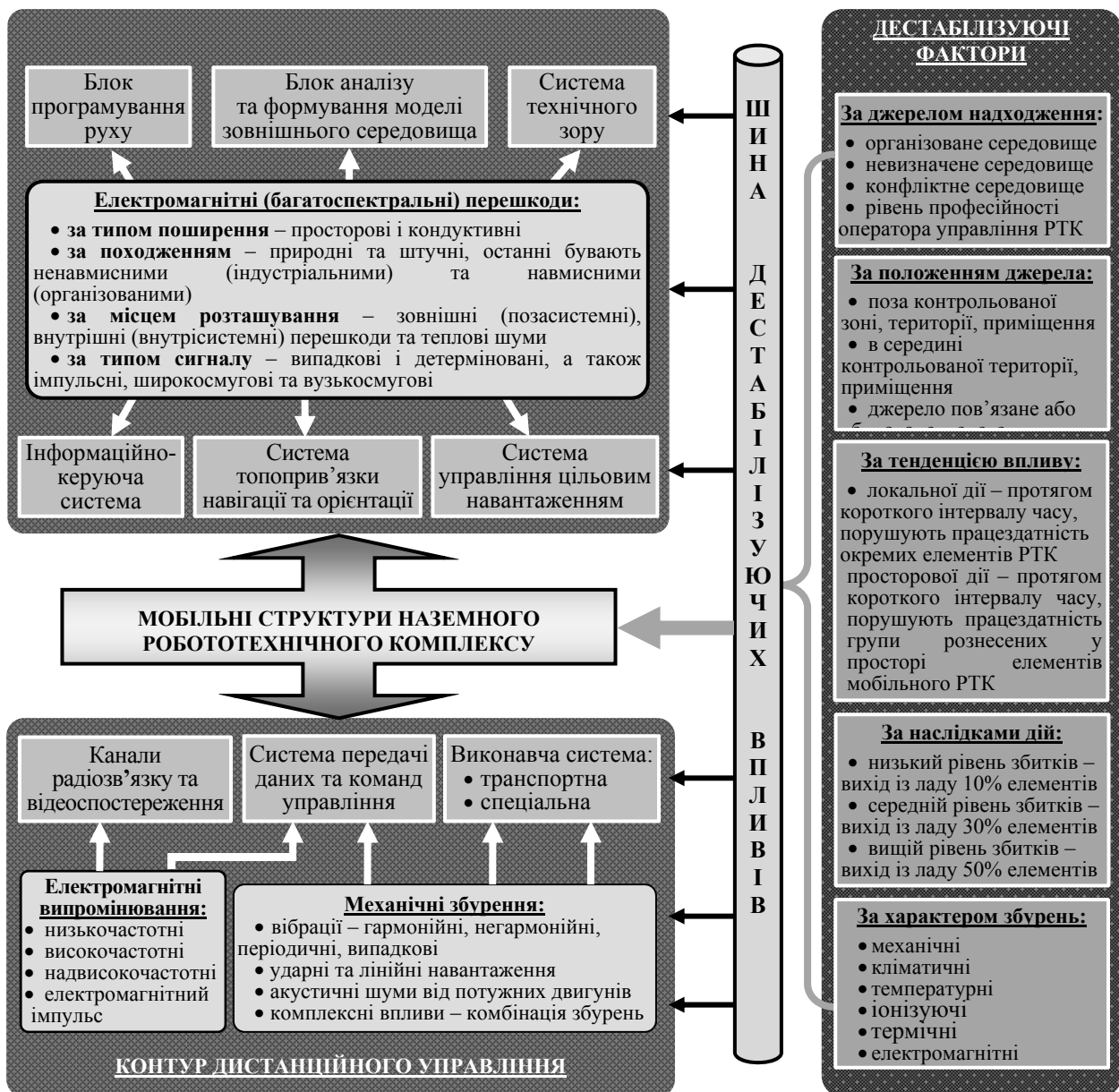


Рис.1. Взаємодія дестабілізуючих факторів та їх вплив на мобільні структури наземного РТК

1. Інтерпретація інтегрального проекту «об'єкт-система» в дескрипціях теорії ССБТС

Згідно теорії ССБТС [9, 10] в умовах проблемного середовища інтегральний проект «об'єкт-систему» Ξ_{OC} , як багатомірну, нелінійну, багатозв'язкову організаційно-технічну конфігурацію, можна інтерпретувати сукупністю компонент $b_k \in B$, $k = \overline{1, m}$ – «елементарних» складних формацій. За своїм складом компонента схожа на модифікований конструкт класичного аналізу з низкою характерних ознак [5, 9, 10], які в контексті заявленого проекту Ξ_{OC} дозволяють описати її наступним чином:

$$B = \{ X, Y, W, r_{ij}, \Pi_k, J_L, L, Q, Z \}, \quad (1)$$

де $x \in X$ – вхідні, $y \in Y$ – вихідні, $w \in W$ – внутрікомпонентні змінні; $r_{ij} \in R$ – взаємозв'язки між елементами $\mu_{ij} \in M$ в компоненті $b_k \in B$; Π_k – поведінкові функції; J_L – локальний критерій компоненти b_k ; L – рівень вкладеності (утворення елементарних компонент); Q – тип компоненти

b_k : формалізуєма (за допомогою регулярних методів), слабоформалізуєма (за допомогою методів штучного інтелекту), не формалізуєма (за причин, що не піддається опису з відомими методами); Z – тип невизначеності, в якій функціонує компонента.

Виходячи з (1), компоненту, як організаційну структуру, можна представити взаємодією сукупності формацій Ξ_j проекту Ξ_{OC} та механізму утворення зв'язків між ними Π_k :

$$B\Xi = \{(\Xi_1, \dots, \Xi_j), r_{ij}(\Xi_{ij}), \Pi_k(r_{ij})\}, \quad (2)$$

де r_{ij} – зв'язок між i -ю та j -ю підсистемами наземного РТК та надсистеми вищого рівня ієрархії.

Формування компонентної структури (2) в проекті Ξ_{OC} відбувається шляхом об'єднання окремих елементів $\mu_{ij} \in M$ однієї підсистеми Ξ_j в компоненту $B\{\mu_{ij}\}$, де $j = \text{const}$ – номер підсистеми, а i – індекс елемента в підсистемі Ξ_j , $i < \gamma$ (γ – потужність множини елементів підсистеми Ξ_j), а також – однорідних елементів підсистем Ξ_j в однотипну компоненту $B = \bigcup_j \{\mu_{ij}\}$, де $j = \text{var}$ – номер підсистеми Ξ_j , а i – номер елемента в Ξ_j , $i \leq m$ (m – число підсистем в проекті Ξ_{OC}). Зазначені процедури спрямовані на досягнення єдиної (глобальної) мети $G_0 = \sum_j^m G_j$, вимог інтегрального критерію J_G та агрегації елементів «об'єкта-системи» $\mu_{ij} \subset \Xi_{OC}$ за типом невизначеності. У разі зміни глобальної мети G_0 відбувається корекція локальних цілей G_j , що призводить до зміни структурної одиниці та утворення нових компонент $\{b_v\}$, $k \neq v$. Якщо на складові частини $\{b_v\}$ діють схожі за своєю природою невизначеності, то для їх усунення створюється структура із оновлених компонент $\bar{b}_1$ та $\bar{b}_v$, одна з яких ($\bar{b}_v$) не володіє властивістю ситуаційної невизначеності.

В умовах дестабілізації середовища експлуатації $\psi \in \Psi$ та наявності різних типів невизначеностей $\zeta \in Z$ стійкість інтегральної «об'єкт-системи» Ξ_{OC} розглядається як можливість діючої компонентної структури $B\Xi'$ перейти в іншу компонентну структуру $\overline{B\Xi}$, не порушуючи зв'язків і не породжуючи нових властивостей та відносин, за будь-якої зміни вхідних величин $x \in X$. Алгоритм перетворення компонентної структури має наступний вид:

$$\forall x \in X, \psi \in \Psi, \zeta \in Z \exists \omega \in \Omega : B\Xi' \xrightarrow{\omega} \overline{B\Xi} \rightarrow G_0, \quad (3)$$

де $\omega \in \Omega$ – множина процесів управління, які переводять «об'єкт-систему» Ξ_{OC} в цільовий стійкий стан та коригують її компонентну структуру $B\Xi' \xrightarrow{\omega} \overline{B\Xi}$ для досягнення глобальної мети G_0 .

Згідно аналітики (3) інваріантність показників «об'єкта-системи» Ξ_{OC} по відношенню до засилля дестабілізуючих чинників гарантує стійкість компонентних структур проекту за умови, що реальні впливи компенсуються діями блока управління [5, 7, 8]. Комунікаційні можливості між компонентами проекту Ξ_{OC} забезпечуються елементарною ланкою взаємозв'язку типу «компонента – компонента». Специфіка взаємного впливу цих компонент в конфігурації «об'єкт-система» Ξ_{OC} полягає в варіативності властивостей елементарних операцій взаємодії формацій $b_k \in B$, що призводить до виникнення синергетичного ефекту всередині інтегрального проекту. Останній, дозволяє кожну компоненту b_k проекту Ξ_{OC} віднести до класу активних або пасивних, враховуючи їх поведінкові характеристики детально викладені в [5, 9, 10]. В заявленому проекті «об'єкт-система» Ξ_{OC} атрибутів активної компоненти властива для наземного РТК, технічні структури якого володіють ознаками раціональної

(інтелектуальності) поведінки в умовах невизначеності (дестабілізації). В системотехнічному сенсі активна структурно-функціональна формація наземного РТК складається з системи управління і виконавчої системи [5, 6, 8]. Компоненти з відсутністю ознак раціональності відносяться до класу пасивних. В проекті «об'єкт-система» Ξ_{OC} групу пасивних компонент утворюють слабоформалізовані структури, зокрема: надсистема за спеціального призначення та технологічні процеси інформаційної взаємодії.

Введення поняття активної та пасивної компоненти всередині «об'єкт-системи» Ξ_{OC} дозволяє розглядати її різномірні формації з класичних позицій безперервного та дискретного представлення об'єкта в статичному або динамічному режимах, а також – з позицій інтелектуальних самоорганізуючих систем з визначеною поведінкою. Останнє положення забезпечує перехід до розгляду смислового і поведінкового аспектів складних технічних систем, що володіють раціональними ознаками, та виділити ключові властивості існування інтегрального проекту Ξ_{OC} в умовах різного типу невизначеностей $\zeta \in Z$. За смислового аспекту в будь-який момент часу існують незмінні структури – образи слабоформалізованих структур, які дають можливість спростити процедуру прийняття, формування та виконання управлінських рішень. Виділені образи, як організаційні інваріанти інтегрального проекту «об'єкт-система» Ξ_{OC} , утворюють наступні елементарні пари: слабоформалізовані активно-пасивні компоненти «наземний РТК – надсистема за призначення (інформаційно-технологічний процес)» та пасивні компоненти «надсистема за спеціального призначення – інформаційно-технологічний процес», а також активні компоненти «людина-оператор – наземний РТК».

За логікою поведінкового аспекту [5, 6, 8-10] в проекті «об'єкт-система» Ξ_{OC} можна виділити підкласи організаційної взаємодії складних слабоформалізованих систем. Зокрема:

- підклас «взаємодія безперервний процес – дискретний процес»;
- підклас «взаємодія дискретний процес – інтелектуальна система»;
- підклас «взаємодія інтелектуальних систем».

Виділеним парам елементарних структур та підкласам організаційної взаємодії слабоформалізованих систем характерні наступні цільові задачі: підвищення ефективності (результативності) функціонування наземного РТК інтегрованого в надсистеми вищого рівня ієрархії в неорганізованих середовищах; мінімізація впливу дестабілізуючих факторів на роботу мобільних структур та стабілізація динамічних параметрів контурів адаптивного управління наземним РТК в невизначених ситуаціях. Практичне осмислення окреслених цілей та їх реалізації в підкласах організаційної взаємодії показує:

– першому і другому підкласам організаційної взаємодії структурних формацій заявленого проекту притаманна вкрай низька узгодженість локальних цілей G_j . Присутність слабоформалізованої або неформалізованої компоненти в проекті «об'єкт-система» Ξ_{OC} посилює вплив невизначеності цілей;

– третьому підкласу організаційної взаємодії компонент $b_k \in B$ неможливо досягти глобальної мети G_0 в разі застосування децентралізованого управління розподіленими структурами (агентами-роботами) мобільного РТК [4, 12, 19]. Передача управління від одної агента-робота до іншого для динамічної організації взаємодії «ведучий-ведений» в групі мобільних роботів може привести до лавиноподібного зростання невизначеності в досягненні глобальної мети G_0 . Крім того, на даний аспект також впливає ефект самоорганізації, що вимагає додаткової корекції локальних цілей [6, 20].

Аналіз механізмів формування інваріантних структур для підкласів організаційної взаємодії складних слабоформалізованих систем засвідчує, що:

– для підкласу «взаємодія безперервний процес–дискретний процес» прийнятним є послідовний механізм утворення структурної формації $B\Xi'$. Статичний вид структурної організації ускладнює модернізацію робототехнічного засобу, оскільки потребує повної зупинки циклу життєдіяльності конкретного зразка. Послідовний механізм структурної організації діє тільки на етапі проектування;

– для підкласу «взаємодія дискретний процес–інтелектуальна системи» типовим є адаптивний механізм формування структурної організації. Інтелектуальні системи РТК адаптується до мінливих умов функціонування дискретного процесу, зокрема, до кількості або якості виконання бойових (спеціальних) операцій. Варіюваність окремих ланцюжків дискретного процесу використовується в технологічному алгоритмі. Адаптивний механізм організації, будучи присутнім протягом усього життєвого циклу РТК, узгоджує його характеристик з вимогами надсистеми за призначенням;

– для підкласу «взаємодія інтелектуальних систем» невід’ємним є механізм самоорганізації структури. Виходячи з того, що в проекті «об’єкт-система» Ξ_{oc} наземний РТК функціонує в умовах детермінованого середовища, то в основу роботи такої системи покладено принцип структурної адаптації. Самоорганізація структури – головний механізм досягнення мети для даної групи ССБТС.

Виходячи з логіки інтерпретації внутрішнього змісту проекту «об’єкт-система» Ξ_{oc} , кожен підклас організаційної взаємодії володіє унікальними, притаманними тільки йому, особливостями, які дозволяють вибрати найбільш адекватні моделі систем управління з точки зору цілепокладання. Спосіб задання модельного варіанту інтегрального проекту обумовлений видом невизначеності, властивій ССБТС на двох стадіях життєвого циклу: етапі проектування і етапі функціонування [13, 15-17]. Отримані результати показують, що в проблемних середовищах експлуатації роботи наземного робототехнічного комплексу, інтегрованого в надсистему за призначенням, допустимо розглядати в трьох модельних варіантах:

- агрегований варіант – модель єдиної (монолітної) компонентної структури b_k проекту Ξ_{oc} ;
- ієрархічний варіант з елементами субсидіарності – модель складної багатоцентричної формації з розподіленою технологією управління мобільними структурами наземного РТК;
- технологічний варіант – модель об’єднання технологічних функцій мінімізації (зниження) впливу багатоспектральних факторів дестабілізації на роботу інформаційно-керуючої системи та системи радіозв’язку в контурах управління мобільними структурами наземного РТК.

2. Принципи управління мобільними структурами РТК в проблемних ситуаціях

Аносовані модельні варіанти набувають реального і конструктивного змісту за провадження наступних базових принципів управління мобільними структурами наземного РТК:

- принцип первинності технології в сенсі «застосування наукового знання для вирішення практичних завдань», згідно якого технологія розглядається, як «сукупності методів та інструментів для досягнення бажаного (цільового) результату в практичних додатках», тобто мінімізації впливу дестабілізуючих факторів середовища на характеристики наземного РТК [5, 13, 17];
- принцип субсидіарності в технології розподілення, за якої частина функцій інформаційного управління з головного центру делегується на периферію, тобто до пунктів групового управління. Реалізація технології здійснюється за багатоцентричними схемами ієрархічних систем управління [12];
- принцип самонавчання та адаптивного управління, за якого в ході вирішення поточних завдань накопичується досвід та відбувається пристосування системи управління до конкретних умов функціонування наземного РТК. Адаптивне управління здійснюється шляхом автоматичного підстроювання параметрів та/або структури контуру управління, реалізуючи загальну мету системи управління для класу заздалегідь невизначених характеристик середовища експлуатації наземного РТК. Властивості адаптивності та самонавчання компонентних структур в схемах розподіленого управління покликані збільшити швидкодію, зменшити рівень дестабілізації нормативних параметрів та підвищити якість управління додатками мобільних та монолітних структур наземного РТК [20];
- принцип структурно-функціональної декомпозиції, відповідно якого відбувається розподіл цільових і поведінкових функцій, розпаралелювання алгоритмів обробки інформації і процесів управління між окремими рівнями ієрархії та автономними формаціями (модулями, контурами) РТК. Ієрархічність управління призводить до зниження інформаційної невизначеності, однак може бути джерелом невизначеності цілей, як загального, так і локального рівнів управління [12, 14];

– принцип інтелектуальної складності, який зіставляє поведінку систем РТК з сукупністю дій простих в структурно-функціональному відношенні елементів штучного інтелекту. За елементарних обставин, коли розглядаються лише виконавчі механізми мобільного РТК, складність визначається числом ступенів свободи, тобто числом незалежних змінних, що описують поточний стан цих механізмів. В менш простих ситуаціях, коли дескрипції піддаються автономні системи РТК, інтелектуальна складність оцінюється у першому наближенні до числа ступенів свободи. Аналіз складних системних формацій з елементами штучного інтелекту потребує нових методів, моделей, технологій. Складність інтелектуальних структур наземного РТК в проекті «об'єкт-система» Ξ_{oc} визначається комплікацією цілеспрямованих дій, скоєних виконавчими механізмами, та обсягом поведінкових функцій. У цьому сенсі для виконання завдань в проблемних середовищах експлуатації мобільні структури наземного РТК повинні володіти високими рівнем складності та ступенем штучного інтелекту [18-21];

– принцип-МІМО, який складає ядро технології просторово-часового розділення сигналів на основі багатоантенних систем «множинний вхід – множинний вихід». Останні, завдяки своїм перевагам – великий інформаційний ємності та неохильності до інтерференцій від багатопроменевого поширення – мають перспективу для утворення технічної платформи реалізації базових компонент інтегрального проекту «об'єкт-система» Ξ_{oc} [22-24];

Об'єктивно-технологічна модальність окреслених принципів управління спостерігається в додатках мобільних структур наземного робототехнічного комплексу, що інтегровані в проект «об'єкт-система» Ξ_{oc} , зокрема:

- в системі передачі даних та команд контуру дистанційного управління [5, 8];
- в інтелектуальних структурах контуру автономного управління РТК, наприклад, в інформаційно-керуючій системі з багатоспектральними каналами приймання та обробки сигналів [5, 6];
- в системі радіозв'язку, що включає людино-машинний інтерфейс, комплект приймально-передавальної апаратури та оглядову систему зовнішнього відеоспостереження [3, 5];

Специфіка проектування заявлених додатків пов'язана з вимогами одночасного управління більшістю виходів, що потребує використання множини входів, відповідним чином організованих.

3. Технологічний підхід МІМО в додатках розподілених мобільних структур РТК

Реалізуючи базові принципи управління мобільними структурами РТК в проблемних середовищах експлуатації, додатки є самостійними задачами, кожна з яких потребує окремого вишукування. Виходячи з анонсованого цільового результату, дослідженню підлягають моделі ІКС з багатоспектральними каналами АКУ розподіленими структурами та каналу радіозв'язку з СПДІК контуру дистанційного управління структурами наземного РТК. Квінтесенція заявлених адендумів представлена технологією багатоантенних МІМО-систем, яка поєднує підходи до розподілу МІМО- сигналів, просторової селекції за напрямком приходу сигналу на приймальну антену та впровадження методів кутового «надрозділення» [5, 22]. Впровадження таких підходів дозволяє [5, 23, 24]:

- підвищити інформаційна ємність C_{SE} ІКС наземного РТК за рахунок декореляції фізично різних каналів (розділених просторово, шляхом ортогоналізації кодів, частот та поляризаційних мод);
- підвищити пропускну здатність, стійкість системи радіозв'язку в порівнянні з системою-SISO з однією передавальною T_r і однією прийомною R_{ec} антенами;
- підвищити перешкодостійкість додатків – зменшити ймовірність помилок в системах радіообміну без зниження швидкості передачі даних в умовах множинних перевипромінювань;
- зменшити номінальну потужність мультіелементного передавача.

Додаток перший. Фрагмент моделі просторово-розподіленої ІКС наземного РТК з елементами субсидіарності представлено на рис. 2. Візуально описується типовий варіант конструкції «мобільна частина та монолітна частина» ІКС наземного РТК. Мобільну частину ІКС наземного РТК складають:

- сукупність датчиків (сенсорів) каналів отримання однорідної (різнорідної) інформації $s_i \in S$, яка фізично може формуватися групою мобільних робототехнічних засобів (МРЗ), виходи яких утворюють

багатоелементну антену $Tr_i, i = \overline{1, N}$, а також мультіелементний приймач з багатоелементною антенною $Rec_i, i = \overline{1, N}$, процесором первинної обробки інформаційних даних $x_i \in X$, перетворювачем оцінки вектора сигналу $\hat{s}_i \in \hat{S}$ в послідовність інформаційно-керуючих процесів (потоків) X_{sk} , де k – індекс групи мобільних структур наземного робототехнічного комплексу. В прив'язці до схеми субсидіарного управління (рис. 2) зазначена конструкція функціонально відображує пункт групового управління (ПГУ);

– багатоелементні передавальна Tr і приймальна Rec антени утворюють МІМО-систему, яка дозволяє зосередити сумарну потужність P_s в напрямку окремого елемента шляхом адаптивного формування променя діаграми спрямованості. Крім того, багатоелементні антени можуть використовуватись для формування декількох паралельних потоків даних (режим просторового розподілення), що дозволяє знизити інформаційне навантаження на головний центр управління (ГЦУ) та в умовах дії електромагнітних перешкод (П) підвищити оперативність управління.

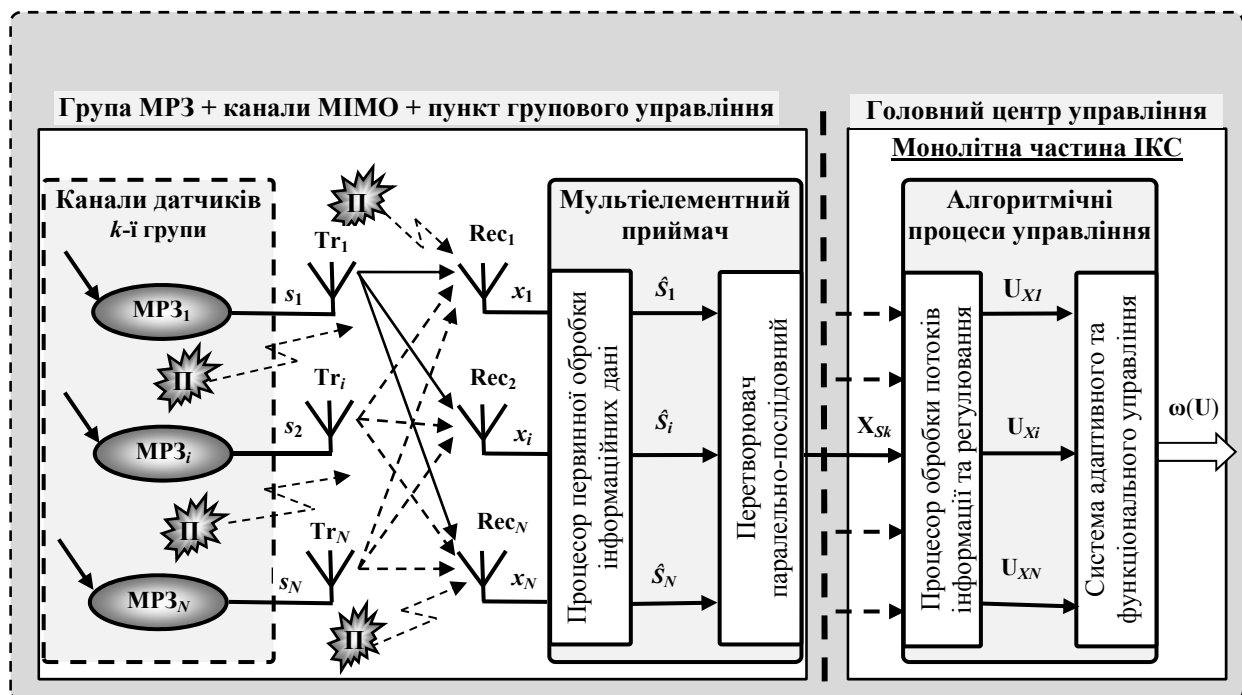


Рис. 2. Фрагмент моделі розподіленої інформаційно-керуючої системи наземного РТК

Монолітна частина ІКС конструктивно розміщена на базовому шасі наземного РТК і входить до програмно-апаратної платформи АКУ. В прив'язці до субсидіарної схеми (рис. 2) на неї покладено алгоритмічні функції ГЦУ – обробка інформаційних потоків, гармонізація і регулювання, операції адаптивного і функціонального управління. Як наслідок, здійснюється агрегування інформаційних даних X_{sk} від k -х пунктів групового управління, перетворення їх в оцінку вектора процесів спостереження U_X та формування процесів (сигналів) адаптивного і функціонального управління $\omega(U)$. При цьому просторове розподілення ІКС наземного РТК відбувається на основі дворівневої ієрархічної організації [4-6, 16]. Архітектура організації передбачає використання спеціального координатора в ланках прямого і зворотного зв'язку з МРЗ. Спеціальним координатором для мобільної частини ІКС служить ПГУ, а в монолітній частині – головний центр управління.

Додаток другий. Модель каналу радіозв'язку з багатоантенною МІМО-системою відображує розширені можливості СПДіК контуру дистанційного управління наземним РТК в умовах дестабілізації середовища. Зокрема: оптимізації показників перешкодостійкості, перешкодо-захищеності системи та швидкості передачі даних [5, 23, 24]; зниження впливу внутрісистемних

перешкод від суміжних каналів СПДіК завдяки впровадженню просторово-часових алгоритмів кодування/декодування [5, 24]; здатності одночасно передавати і приймати сигнали декількох каналів; застосовувати адаптивні антенні решітки для приймання і випромінювання радіотехнічних сигналів, а також усунення перехресних завади від сусідніх каналів та оптимізації процесу виділення послідовності інформаційних даних.

Фундаментальна проблема додатків наземного РТК з МІМО-структурами полягає в розробці правила розподілення інформаційних даних поміж передавальними антенами, а також алгоритмів формування, випромінювання, прийому та обробки сигналів. При цьому основна увага концентрується на вирішенні ряду задач локального характеру:

- забезпеченні високої швидкості передачі інформаційних даних;
- досягненні низької ймовірності помилки на біт без зниження швидкості передачі даних;
- технічної реалізації конкретного алгоритму за спрощеною конструкцією приймального пристрою або зниження потужності передавача.

4. Модель технологічних функцій мінімізації впливу дестабілізуючих факторів

Відображуючи позитивні властивості МІМО-системи, окреслені локальні задачі не можуть бути реалізовані одночасно, оскільки збільшення швидкості передачі інформації призводить до збільшення ймовірності помилки або до збільшення випромінюваної потужності передавача. Відповідно, в ході практичної розробки додатку мобільної МІМО-структури наземного РТК потрібно знаходити компроміс щодо схем передачі інформаційних даних по МІМО-каналі, методів прийому сигналів та інтеграції технології МІМО з класичними техніками мультиплексування CDMA з поділом на основі методів OFDM та їхніми модифікаціями у вигляді OFDM-CDMA або MC-CDMA [5, 24].

Класичні схеми передавання інформаційних даних по МІМО-каналам мобільних структур наземного РТК володіють наступними властивостями та їх характеристиками [5, 23, 24]:

- просторово-часове кодування (STC-коди), яке введенням сигнальної надмірності дозволяє знизити ймовірність помилок, збільшити спектральну ефективність у порівнянні з SISO-системами, забезпечити прийнятну продуктивність роботи пристроїв кодування і декодування;
- просторове мультиплексування (SM) – визначає спосіб мультиплексування потоку даних і формування на його основі сигналів, після завершення якого відбувається незалежне і одночасне випромінювання їх протягом заданого інтервалу часу. Сигнальна надмірність відсутня.

Застосовується за потреби підвищення швидкості передачі інформації в ситуаціях незначного впливу шумів. Швидкість передачі інформації зростає пропорційно числу передавальних антен T_r ;

- адаптивне формування діаграми спрямованості (Beamforming) – передача інформаційних даних здійснюється в єдиному потоці. Потребує точного знання параметрів МІМО-каналу. Значне підвищення спектральної ефективності та зниження ймовірності помилки на біт в порівнянні з SISO.

Схеми просторово-часового кодування та просторового мультиплексування доцільно використовувати в ситуаціях невизначеності параметрів МІМО-каналу, в іншому випадку пропонується застосовувати метод адаптивного формування діаграми спрямованості.

У співвідношенні до базових схем передачі сигналів знаходяться три метода прийому:

- метод максимальної правдоподібності, який забезпечує мінімальну середню ймовірність помилок. Реалізація її потребує застосовування складного алгоритму обчислювання, за якого у відсутності шумів визначаються всі опорні сигнали в МІМО-системі, оцінюється евклідова відстань між опорним і прийнятим сигналами, за переданий приймається сигнал з найменшою евклідовою відстанню;

– метод обнуління в лінійних приймачах, що заснований на декореляції впливу інтерференції між сигналами, прийнятих від різних антен передавача, та на незалежному детектуванні по кожному МІМО-каналі. Завдяки цьому зменшується складність приймального пристрою. Продуктивність методу різко падає у випадку значного впливу фактору інтерференції на структуру сигналів;

– метод зворотного зв'язку за рішеннями, який покладено в основу реалізації алгоритму обнуління і скасування в квазіоптимальних приймачах BLAST. Продуктивність методу виявляється середньої між приймачами за критерієм максимальної правдоподібності та лінійними приймачами.

Впровадження МІМО технології в додатки мобільних структур проекту «об'єкт-система» Ξ_{OC} дозволяють збільшити швидкість передачі даних, підвищити ефективність використання радіочастотного спектру просторово-часового сигналу (спектральну ефективність системи C_{SE}), забезпечити потрібну перешкодостійкість систем за рахунок зниження впливу дестабілізуючих факторів на експлуатаційні параметри РТК. Саме складність вирішення заявлених завдань вимагає визначити технологічні функції отримання цільового результату у вигляді допустимих або мінімальних втрат інформації. В прив'язці до постановки задачі, що оголошена в заголовку, пропонується розглянути ряд технологічних функцій зниження впливу фактору дестабілізації. Визначена сукупність технологічних функцій (операцій) та їхні варіації в алгоритмі отримання цільового результату, наведено на рис. 3.

Функція комплексуювання технологій адаптації та МІМО – відображує результат поєднання двох технологій в межах виконання одного завдання. Зниження впливу дестабілізуючих факторів на роботу багатоспектральної інформаційно-керуючої системи досягається шляхом адаптивного формування паралельних каналів для передачі та прийому даних в МІМО-системі.

Функція комплексуювання методів адаптації та CDMA – відображує емергентність інформаційно-керуючої системи наземного РТК, як системного ефекту об'єднання параметричної адаптації та класичних технік стандарту CDMA з метою мінімізації ситуаційної невизначеності.

Ситуаційне угруповання технологічних функцій, що представлено на рис. 3, здійснюється за ознакою знятої невизначеності (дестабілізації), мірою якої вибрана середня кількість інформаційних втрат $I[f(U), f(V)]$ на виході ІКС наземного РТК. Пронумерувавши наслідки, можна бачити:

– результати 1–5 приводять до підсумкової події № 1, згідно якої величина інформаційних втрат знаходиться в межах нормативно допустимих значень дисперсії σ_n^2 . Цільовий результат в основному досягається послідовною реалізацією технологічних функцій: гетерогенні властивості системи → адаптивне управління параметрами → адаптивне управління структурою системи;

– результати 6–11 приводять до підсумкової події № 2, у відповідності до якої мають місце мінімальні втрати інформації, тобто значення дисперсії σ_n^2 фактору дестабілізації знижується до значення дисперсії σ_0^2 внутрішніх шумів. Цільовий результат досягається шляхом організації наступних функціональних операцій: штучної надлишковості системи → комплексуювання технологій адаптації та МІМО → комплексуювання методів адаптації та CDMA;

– виняток складають цільові результати 5 та 6, в яких величина інформаційних втрат визначається модифікованими операціями штучної надлишковості: сигнальною надлишковістю → інформаційною надлишковістю → структурною надлишковістю → алгоритмічною надлишковістю.

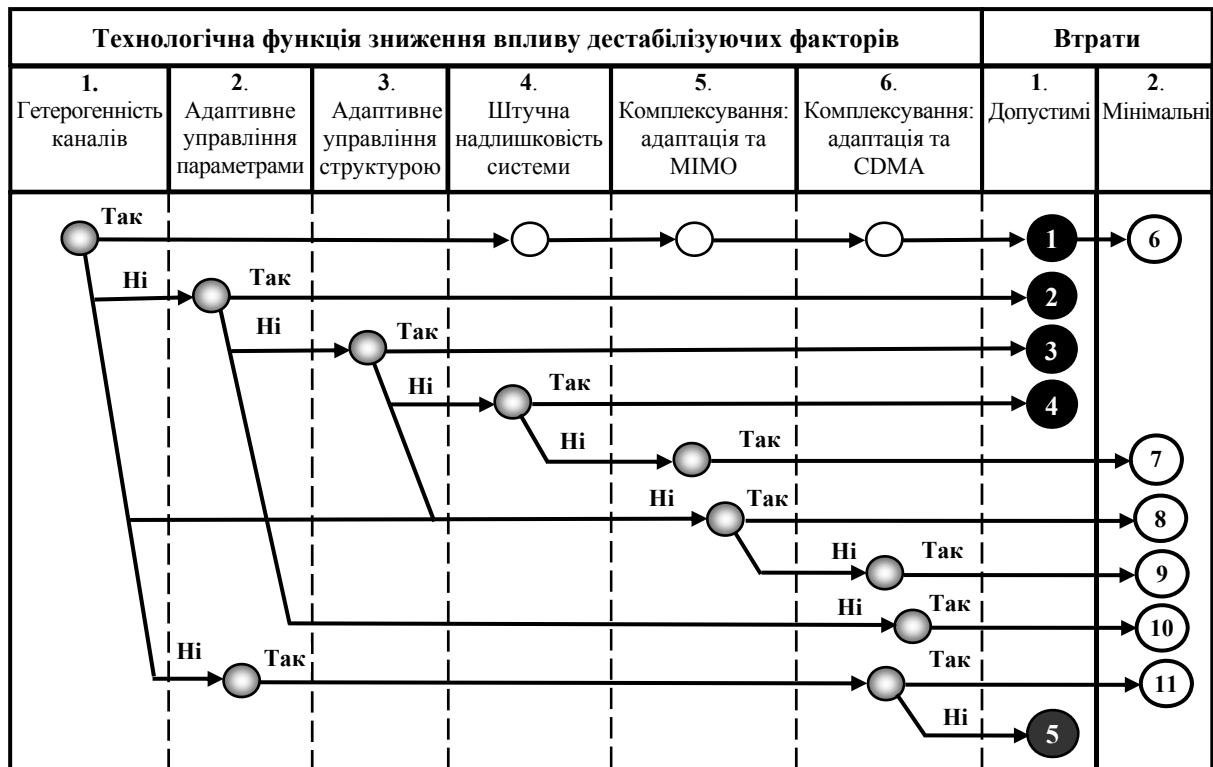


Рис. 3. Сукупність технологічних функцій та варіації їхнього використання в проекті

Результати інформаційно-ентропійного оцінювання ефективності застосування заявлених технологій [8, 20] підтверджують суттєве пониження рівня інформаційних втрат за рахунок впровадження контуру адаптивного управління параметрами та/або структурою системи, режим функціонування якого відповідає динаміці зовнішніх факторів дестабілізації. В умовах ситуаційної невизначеності середовища оптимізація показників стану (поведінки) ІКС наземного РТК в сенсі мінімізації втрат інформації безпосередньо пов'язана зі збільшенням розмірності системи N . Разом з тим, прийняття рішення на впровадження технологій штучної надлишковості системи ($N \gg m$) нерідко призводить до зростання дефекту кореляційної матриці спостережень.

Висновки

Представлений в статті матеріал порушує одне з концептуальних питань теорії та практики військової робототехніки – забезпечення гарантованого функціонування мобільних структур роботизованих об'єктів наземного базування в невизначених ситуаціях та неорганізованих середовищах експлуатації. В розвиток анонсованої концепції досліджена релевантна проблема зниження (мінімізації) впливу дестабілізуючих факторів на роботу інформаційно-керуючої системи та системи радіозв'язку наземного робототехнічного комплексу, інтегрованого в проєкті «об'єкт-система». В контексті інструменту подолання окресленої проблеми заявлено технологічний підхід, завдяки якому отримані результати наступного змісту:

- формалізовано інтегральну конфігурацію «об'єкт-система» Ξ_{OC} в дескрипціях понятійного апарату складної слабоформалізуємої багатокомпонентної технічної системи, що дозволило описати наземний РТК, як активну компоненту проєкту Ξ_{OC} з проблемним середовищем експлуатації, в трьох модельних варіантах: агрегований варіант – єдина (монолітна) організаційна структура; ієрархічний варіант – складна багатоструктурна формація з довільним ступенем деталізації; комплексний варіант – функціонально складне об'єднання МРЗ для виконання завдань тактичного рівня;

– інтерпретовано технологічні принципи управління мобільними структурами наземного РТК в неорганізованих ситуаціях, за концептуального аналізу яких визначено технічну платформу просторово-розподілених додатків у вигляді багатоантенної МІМО-організації для багатоспектральних каналів інтегрально-керуючої системи та радіозв'язку з системою передачі даних і команд. Зазначена платформа є технічним компромісом для схем передачі даних по МІМО-каналу, стратегій прийому та обробки сигналів, а також адаптивних алгоритмів комплексування технології МІМО з класичними техніками та їх модифікаціями на основі методів OFDM та CDMA;

– побудовано ситуаційну модель зниження (мінімізації) інформаційних втрат в мобільних структурах ІКС та радіозв'язку контурів розподіленого управління наземним робототехнічним комплексом в умовах впливу перешкод зовнішнього середовища. Цільовий результат досягається завдяки комплексному використанню методів структурної і параметричної адаптації, технологій МІМО, технік мультиплексування з кодовим поділом каналів CDMA та урахуванням факторів гетерогенності каналів інформаційного обміну і штучної надлишковості самої системи по відношенню до кількості джерел зовнішніх перешкод.

В перспективі запропонований технологічний підхід та побудована на його основі ситуаційна модель дозволяють організувати дослідження, визначити та оцінити технологічні функції підвищення ефективності різносенсорних каналів будь-яких просторово-розподілених структур наземного РТК в неорганізованих середовищах експлуатації методами математичного та імітаційного моделювання.

Список використаних джерел

1. Лопота А.В. Наземные робототехнические комплексы военного и специального назначения [Электронный ресурс] / А.В. Лопота, А.Б. Николаев. – СПб.: Гос. науч. центр РФ ЦНИИ робототехники и технической кибернетики, 2016. – 30с. – Режим доступа: [http://www.rtc.ru/images/docs/book/nazemnie .pdf](http://www.rtc.ru/images/docs/book/nazemnie.pdf).
2. Корчак В.Ю. Состояние и перспективы развития наземных робототехнических комплексов военного и специального назначения / В.Ю. Корчак, И.В. Рубцов, А.В. Рябов // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 3. – URL: <http://engjournal.ru/catalog/pribor/robot/628.html>.
3. Русinov В. Состояние и планы развития наземных робототехнических комплексов США / В. Русinov // Зарубежное военное обозрение. – 2013. – №3. – С. 44–56.
4. Андреев В.П. Сетевые технологии территориально-распределенного управления роботизированными системами / В.П. Андреев, К.Б. Кирсанов, Ю.В. Подураев // Робототехника и техническая кибернетика. – 2015. – № 2(7). – С. 70–75.
5. Аналіз та визначення основних напрямків забезпечення ефективності функціонування інформаційно-керуючої системи тилового наземного роботизованого комплексу в умовах дестабілізуючих впливів («Бар'єр»): звіт про НДР. (проміжний) / Військова академія (м. Одеса); керівн. Скачков В.В.; виконав. Чепкій В.В. [та ін.]. – Одеса, 2018. – 134 с. – Бібліогр.: С. 126–134.
6. Чепкій В.В. Концептуалізація інформаційно-технологічної взаємодії наземного робототехнічного комплексу з системою вищого порядку ієрархії в умовах проблемного середовища експлуатації / В.В. Чепкій, В.В. Скачков, О.М. Єфимчиков, О.Д. Єльчанінов // Спільні дії військових формувань і правоохоронних органів держави: проблеми та аспекти: зб. тез доповідей П'ятої Всеукраїнської науково-практичної конференції, 13-14 вересня 2018 р. – Одеса: ВА, 2018. – С. 197–199.
7. Мосиенко С.А. Концепция построения наземного робототехнического ударного комплекса / С.А. Мосиенко, В.И. Лохтин. – М.: ООО Самполиграфист, 2014. – 124 с.
8. Чепкій В.В. Концептуалізація предметної області моделі інтегральної конфігурації «наземний робототехнічний комплекс – надсистема – проблемне середовище експлуатації» / В.В. Чепкій, В.В. Скачков, О.М. Єфимчиков, О.Д. Єльчанінов, А.С. Дудуш // Збірник наукових праць Військової академії (м. Одеса). Технические науки. – 2018. – Вып. 2(10). – С. 5–17.

9. Щербатов И.А. Концепция системного анализа сложных слабоформализуемых многокомпонентных систем в условиях неопределенности / И.А. Щербатов // *Современные технологии. Системный анализ. Моделирование.* – 2013. – №2. – С. 28–35.
10. Карихманова А.С. Функционирование слабоформализуемой многокомпонентной системы в условиях неопределенности [Электронный ресурс] / А.С. Карихманова, И.А. Щербатов // *Современные проблемы науки и образования.* – 2013. – № 2. – Режим доступа до ресурсу: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=8935>.
11. Юревич Е.И. Сенсорные системы в робототехнике: учеб. пособие / Е.И. Юревич. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2013. – 100 с.
12. Михайлов Б.Б. Автономные мобильные роботы – навигация и управление / Б.Б. Михайлов, А.В. Назарова, А.С. Ющенко // *Известия ЮФУ. Технические науки.* – 2016. – 2 (175). – С 48–66.
13. Берталанфи Л. фон. Общая теория систем – критический обзор / Л. фон Берталанфи // *Исследования по общей теории систем: Сборник переводов / Общ. ред. В.Н. Садовского, Э.Г. Юдина.* – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82.
14. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза / А.А. Колесников. – М.: КомКнига, 2006. – 240 с.
15. Групповое управление подвижными объектами в неопределенных средах: Монография / [Д.А. Белоглазов, А.Р. Гайдук, Е.Ю. Косенко и др.]; под ред. В.Х. Пишхопова. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2015. – 305 с. – ISBN 978-5-9221-1674-9.
16. Каляев И.А. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян. – М.: Физматлит, 2009. – 280 с.
17. Тимофеев А.В. Мультиагентные робототехнические системы и нейросетевые технологии / А.В. Тимофеев // *Известия ЮФУ. Технические науки. Раздел I. Мультиагентные системы и технологии. Тематический выпуск.* – 2014. – С. 122–130.
18. Технологии интеллектуальной обработки информации для задач навигации и управления беспилотными летательными аппаратами / Ю.В. Визильтер, Б.В. Вишняков, О.В. Выголов и др. // *Труды СПИИРАН.* – 2016. – Вып. 2(45). – С. 26–43. ISSN 2078-9181.
19. Каляев И.А. Самоорганизация в мультиагентных системах / И.А. Каляев, А.Р. Гайдук, С.Г. Капустян. // *Известия ЮФУ. Технические науки. Раздел I. Мультиагентные системы и технологии. Тематический выпуск.* – 2014. – С. 14–20.
20. Скачков В.В. Энтропийный подход к исследованию информационных возможностей адаптивной радиотехнической системы при внутрисистемной неопределенности / В.В. Скачков, В.В. Чепкий, Г.Д. Братченко, А.Н. Ефимчиков // *Известия вузов. Радиоэлектроника.* – 2015. – т. 58, № 6. – С. 3–12.
21. Макаров И.М. Искусственный интеллект и интеллектуальные системы управления / И.М. Макаров, В.М. Лохин, С.В. Манько, М.П. Романов; [отв. ред. И.М. Макаров]; Отделение информ. технологий и вычисл. систем РАН. – М.: Наука, 2006. – 333 с. – ISBN 5-02-033782-X.
22. Борисов Е.Г. Комплексование измерительной информации в многоспектральной локационной системе / Е.Г. Борисов, Л.С. Турнецкий // *Перспективные системы и задачи управления: Материалы Восьмой Всероссийской научно-практической конференции.* – Таганрог: Изд-во ТТИ ЮФУ, 2013. – С. 173–178.
23. Бакулин М.Г. Технология ММО: принципы и алгоритмы / М.Г. Бакулин, Л.А. Варукина, В.Б. Крейнделин. – М.: Горячая линия - Телеком, 2014. – 242 с. ISBN 978-5-9912-0457-6.
24. Слюсар В.И. Системы ММО: принципы построения и обработка сигналов / В.И. Слюсар // *Электроника: наука, технология, бизнес.* – 2005. – № 8. – С. 52–58.

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ МИНИМИЗАЦИИ ВЛИЯНИЯ ДЕСТАБИЛИЗИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ НА РАБОТУ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ СТРУКТУР НАЗЕМНОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В ИНТЕГРАЛЬНОМ ПРОЕКТЕ «ОБЪЕКТ-СИСТЕМА»

В.В. Чепкий, В.В. Скачков, А.Н. Ефимчиков, В.К. Набок, А.Д. Ельчанинов

Исследуется наземный робототехнический комплекс (РТК), как активная компонентная формация интегрального проекта «объект-система», эксплуатируемая в условиях проблемной среды. Задача минимизации влияния факторов дестабилизации на работу наземного РТК решается на основе технологического подхода. Следуя этому подходу, определяются базовые принципы распределенного управления и реализуются их приложения в мобильных структурах наземного РТК. Квинтэссенция последних представлена технологией многоантенных ММО-систем, что позволило определить компромиссы применения классических методов и схем передачи, приема и обработки ММО-сигналов в разносенсорных каналах информационно-управляющей системы (ИУС) и системы радиосвязи. С учетом сложности выполнения заявленных задач предложены совокупности технологических функций снижения влияния дестабилизирующих факторов и их практические вариации в алгоритмах получения целевого результата.

Ключевые слова: технологический подход, распределенная структура, интегральный проект, робототехнический комплекс, дестабилизирующие факторы, субсидиарная иерархическая организация, технология адаптивного управления, информационно-управляющая система, многоантенная ММО-система.

TECHNOLOGICAL APPROACH TO SOLVING THE PROBLEM OF MINIMIZING THE INFLUENCE OF DESTABILIZING FACTORS ON THE WORK OF DISTRIBUTED STRUCTURES OF THE GROUND-ROCKOTECHNICAL COMPLEX IN AN INTEGRAL PROJECT «OBJECT-SYSTEM»

V. Chepkyi, V. Skachkov, O. Yefymchykov, V. Nabok, O. Yelchaninov

Mobile structures of the ground-based robotic complex (RTC) are investigated as an active component formation of an integrated project "object-system", which is operated in a destabilizing environment. The relevant problem of minimizing the influence of external destabilizing factors on the operation of mobile spatially-distributed structures of the ground-based RTC is stated in the descriptions of the conceptual apparatus of complex, poorly formalized multicomponent technical systems. Following the logic of this approach, the basic principles of distributed control are determined and their applications are implemented in the mobile structures of the ground-based RTC with elements of subsidiarity. The quintessence of the latter is represented by the technology of multi-antenna MIMO systems, which made it possible to determine the trade-offs of using classical transmission methods and strategies for receiving and processing MIMO signals in the multi-sensory channels of the information-control system (ICS) and radio communication with the data transmission system and commands. Given the complexity of performing the stated tasks, a set of technological functions of reducing the influence of destabilizing factors and their practical variations in the algorithms for obtaining the target result are proposed. A situational model of reducing (minimizing) information losses at the output of the information-control system of the ground-based robotic complex under destabilization has been built. Options have been proposed to achieve the target result: integration of structural and parametric adaptation methods, MIMO technologies, code division multiplexing techniques with CDMA channels, taking into account the heterogeneity factor of information exchange channels and the artificial redundancy of the system itself with respect to the number of external interference sources.

Keywords: technological approach, distributed structure, integral project, robotic complex, destabilizing factors, subsidiary hierarchical organization, adaptive control technology, information management system, multi-antenna MIMO system.