



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **124366** (13) **C2**  
(51) МПК (2021.01)  
**B64C 13/16** (2006.01)  
**B64C 29/00**

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ  
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО  
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ  
ВЛАСНОСТІ"

**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

<p>(21) Номер заявки: <b>а 2019 12084</b></p> <p>(22) Дата подання заявки: <b>20.12.2019</b></p> <p>(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: <b>02.09.2021</b></p> <p>(41) Публікація відомостей про заяву: <b>23.06.2021, Бюл.№ 25</b></p> <p>(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: <b>01.09.2021, Бюл.№ 35</b></p>	<p>(72) Винахідник(и): <b>Хорошайло Юрій Євгенович (UA), Семенов Сергій Геннадійович (UA), Лимаренко Вячеслав Володимирович (UA), Волошин Денис Геннадійович (UA), Єфименко Сергій Андрійович (UA), Хавіна Інна Петрівна (UA)</b></p> <p>(73) Володілець (володільці): <b>ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНИКИ</b>, пр. Науки, 14, м. Харків, 61166 (UA)</p> <p>(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA 137228 U, 10.10.2019 UA 58103 U, 25.03.2011 UA 55410 U, 10.12.2010 UA 67704 U, 12.03.2012 Navrotskyi D. Cryptographic system of protection UAVs communication channels against illegal intrusion // Ukrainian Scientific Journal Information Security. - 2014. - Vol. 20. - Issue 3. - P. 248-252. WO 2017053522 A1, 30.03.2017 RU 60913 U1, 10.02.2007 US 2019031338 A1, 31.01.2019 Ковалев І. В. Модели герт-сетей для различных способов применения методологии мультиверсий / И. В. Ковалев, П. В. Зеленков, М. В. Сарамуд [и др.] // Вестник СибГАУ. - 2013. - № 1(47). - С. 41-47.</p>
--	--

**(54) СПОСІБ НАВІГАЦІЇ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА З ЗАХИСТОМ ВІД ПЕРЕХОПЛЕННЯ КЕРУВАННЯ І СИСТЕМА ДЛЯ ЙОГО ЗДІЙСНЕННЯ**

**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі систем управління безпілотними літальними апаратами і може використовуватись у системах їх керування.  
Спосіб полягає в тому, що здійснюють виявлення зовнішніх кібератак на рухомий об'єкт та його автоматичне повернення в зону старту. Для цього використовують математичний апарат GERT-мережі, який дає можливість використати результати аналітичної оцінки достовірності сигналів із записом карти місцевості і просторових координат БПЛА, а також виконання польоту в режимі пошуку пеленга сигналу джерела зовнішніх кібератак за допомогою блока автоматичного визначення спроб кібератак, обмін вагами генерації з наземним комплексом управління в режимі ближньої передачі даних. При виявленні спроб кібератак відключають штатні системи

UA 124366 C2

керування за допомогою пристрою керування і активізують блок автоматичного повернення до зони старту.

Система для здійснення способу містить блок автоматичного визначення спроб кібератак, що своїм першим виходом підключений до шостого входу пристрою управління, а входом - до другого виходу пристрою управління, блок автоматичного повернення до зони старту, що підключений до сьомого виходу пристрою управління та другого виходу блока автоматичного визначення спроб кібератак і другим входом підключений до виходу блока синтезу карти місцевості, що своїм входом підключений до третього виходу пристрою управління.

Використання запропонованого винаходу дозволяє забезпечити покращення захисту БПЛА від спроб кібератак.



Фіг. 1

Винахід належить до галузі систем управління безпілотними літальними апаратами і може використовуватись в системах компенсації помилок безплатформної інерціальної навігаційної системи (БІНС) у системах керування рухомими об'єктами, наприклад безпілотними літальними апаратами (БПЛА), а також у навігаційних системах для поліпшення точності результатів розрахунку координат об'єкта і для забезпечення захисту БПЛА від кібератак.

Найбільш близькою є система керування безпілотним літальним апаратом (патент UA № 58103, МПК В64С 21/00, публ. 25.03.2011, Бюл. № 6), що містить пристрій управління, електричний привід, з'єднаний з виходом пристрою управління, магнітний курс, висотомір, перший GPS-приймач, виходи яких підключені до першого, другого, третього входів пристрою управління відповідно, перший модуль бездротового зв'язку, вихід якого з'єднаний з четвертим входом пристрою управління, а вхід з'єднаний з другим виходом пристрою управління на об'єкті керування, безплатформну інерціальну навігаційну систему, вихід якої з'єднаний з п'ятим входом пристрою управління, другий модуль бездротового зв'язку, другий GPS-приймач, виходи яких підключені до першого та другого входів персонального комп'ютера відповідно, вихід персонального комп'ютера з'єднаний з першим входом другого модуля бездротового зв'язку.

А також за прототип взятий спосіб, що здійснює ця система і який полягає в наступному, - під час польоту показання датчиків БІНС інтегруються в пристрої управління, визначаючи поточні координати рухомого об'єкта. Відповідно з законом керування, пристрій управління формує на другому виході сигнал керування для електричного приводу, який, в свою чергу, впливає на об'єкт керування. Для площинної орієнтації використовують магнітний курс, з'єднаний з першим входом об'єкта керування. Висоту визначають висотоміром, який з'єднаний з другим входом об'єкта керування. Перший GPS-приймач у парі з другим GPS-приймачем працюють у диференціальному режимі. Інформація з другого GPS-приймача, яка містить значну похибку, подається на персональний комп'ютер, де, використовуючи точні координати наземного комплексу, розраховується величина похибки визначення координат першого GPS-приймача. Цей сигнал похибки передається на пристрій управління завдяки другому модулю бездротового зв'язку, під'єднаного до виходу персонального комп'ютера, та завдяки першому модулю бездротового зв'язку, під'єднаного до четвертого входу пристрою керування. Сигнал похибки використовують для уточнення координат, отриманих з GPS-приймача. Ці координати необхідні для компенсації похибки, яка з'являється в результаті програмного інтегрування показань БІНС. Для передачі показань польоту до наземного комплексу у систему включений зворотний канал зв'язку за допомогою першого модуля бездротового зв'язку, вхід якого під'єднаний до другого виходу пристрою керування, а вихід під'єднаний до другого виходу другого модуля бездротового зв'язку.

Недоліком цієї системи є обмежені функціональні можливості із-за відсутності функції автоматичного визначення спроб кібератак на БПЛА, що може призводити до втрати його керування з наступним захватом або знищенням апарата та неможливості повернення в зону старту, що знижує надійність роботи системи в цілому.

Технічною задачею запропонованого винаходу є розширення функціональних можливостей системи, покращення захисту БПЛА від спроб кібератак за рахунок їх автоматичного розпізнання на підґрунті аналітичних розрахунків та забезпечення повернення БПЛА в зону старту в автоматичному режимі за допомогою системи навігації безпілотного літального апарата з захистом від перехоплення керування, що підвищує надійність роботи системи.

Ця задача вирішена наступним чином. У способі навігації безпілотного літального апарата з захистом від перехоплення керування, в якому під час польоту показання датчиків БІНС інтегруються в пристрої управління, визначаючи поточні координати рухомого об'єкта, відповідно з законом керування, пристрій управління формує на другому виході сигнал керування для електричного приводу, який, в свою чергу, впливає на об'єкт керування, для площинної орієнтації використовують магнітний курс, з'єднаний з першим входом об'єкта керування, висоту визначають висотоміром, який з'єднаний з другим входом об'єкта керування, спосіб також включає визначення просторових координат літального апарата при польоті в умовах штатного режиму управління, здійснення визначення похибки просторових координат БПЛА, яка накопичується в результаті програмного інтегрування, використовуючи точні координати наземного комплексу управління, передачу показань польоту до наземного комплексу здійснюють через зворотний канал бездротового зв'язку, згідно з винаходом, здійснюють виявлення зовнішніх кібератак на рухомий об'єкт та його автоматичне повернення в зону старту, для цього використовують математичний апарат GERT-мережі, який в ході математичного моделювання дає можливість використати результати, що отримані в аналітичному вигляді для проведення порівняльного аналізу і досліджень кожного етапу виконання польотних завдань БПЛА, а саме в даній моделі враховано облік процесів на підставі

аналітичної оцінки достовірності сигналів із записом карти місцевості і просторових координат БПЛА, а також виконання польоту в режимі пошуку пеленга сигналу джерела зовнішніх кібератак за допомогою блока автоматичного визначення спроб кібератак, обмін вагами генерації з наземним комплексом управління в режимі ближньої передачі даних, при цьому при виявленні спроб кібератак відключають штатні системи керування за допомогою пристрою керування і активізують блок автоматичного повернення до зони старту, який на підставі автономної карти місцевості з блока синтезу карти місцевості та координат пеленга сигналу джерела зовнішніх кібератак будує маршрут повернення в зону старту за допомогою блока автоматичного повернення в зону старту і передає його в пристрій керування.

А також в системі керування безпілотним літальним апаратом, що містить пристрій управління, електричний привід, з'єднаний входом з першим виходом пристрою управління, а його вихід з'єднаний зі входом об'єкта керування, магнітний курс, висотомір, перший GPS-приймач, виходи яких підключені до першого, другого, третього входів пристрою управління відповідно, перший модуль бездротового зв'язку, вихід якого з'єднаний з четвертим входом пристрою управління, а його вхід з'єднаний з другим виходом пристрою управління на об'єкті керування, безплатформну інерціальну навігаційну систему, вихід якої з'єднаний з п'ятим входом пристрою управління, а вхід - з об'єктом керування, другий модуль бездротового зв'язку, другий GPS-приймач, виходи яких підключені до першого та другого входів персонального комп'ютера відповідно, вихід персонального комп'ютера з'єднаний з першим входом другого модуля бездротового зв'язку, згідно з винаходом, додатково введені блок автоматичного визначення спроб кібератак, що своїм першим виходом підключений до шостого входу пристрою управління, а входом - до другого виходу пристрою управління, блок автоматичного повернення до зони старту, що підключений до сьомого виходу пристрою управління та другого виходу блока автоматичного визначення спроб кібератак і другим входом підключений до виходу блока синтезу карти місцевості, що своїм входом підключений до третього виходу пристрою управління.

На фіг. 1 зображена схема реалізації запропонованої системи навігації безпілотного літального апарата з захистом від перехоплення керування.

На фіг. 2 представлена GERT-мережа процесу виконання завдання БПЛА.

У таблиці наведені характеристики гілок в GERT-моделі і параметри розподілу.

Система навігації безпілотного літального апарата з захистом від перехоплення керування (фіг. 1) складається з об'єкта керування - 1, пристрою управління - 2, електричного приводу - 3, причому вхід об'єкта керування 1 з'єднаний з виходом пристрою управління 2 через електричний привід 3, а його вихід - зі входом безплатформної інерціальної навігаційної системи, БІНС - 4, вихід якої з'єднаний з п'ятим входом пристрою управління 2, магнітного курсу - 5, висотоміра - 6, першого GPS-приймача - 7, виходи яких з'єднані з входами пристрою управління 2 (першим, другим і третім відповідно), першого модуля бездротового зв'язку - 8, персонального комп'ютера - 9, другого модуля бездротового зв'язку - 10, другого GPS-приймача - 11, блока автоматичного визначення спроб кібератак - 12, блока автоматичного повернення до зони старту - 13, блока синтезу карти місцевості - 14, причому перші вхід і вихід першого модуля бездротового зв'язку - 8 з'єднані з пристроєм управління 2 (вихід - з четвертим входом), а другі його вхід і вихід, в свою чергу, з'єднані з другим модулем бездротового зв'язку - 10, вхід і вихід якого підключені до персонального комп'ютера - 9, до другого входу котрого під'єднаний другий GPS-приймач - 11, крім того, перший вихід і вхід блока автоматичного визначення спроб кібератак - 12 під'єднані до пристрою управління 2 (вихід - до його 6 входу), а другий його вихід з'єднаний зі входом блока автоматичного повернення до зони старту - 13, вихід якого з'єднаний з сьомим входом пристрою управління 2, другий вихід якого з'єднаний зі входом блока синтезу карти місцевості - 14, вихід якого під'єднаний до другого входу блока автоматичного повернення до зони старту - 13, а входом підключений до третього виходу пристрою управління.

Розглянемо більш докладно роботу системи. Під час польоту показання датчиків БІНС 4 інтегруються в пристрої управління 2, визначаючи поточні координати рухомого об'єкта. Відповідно з законом керування, пристрій управління 2 формує на другому виході сигнал керування для електричного приводу 3, який, в свою чергу, впливає на об'єкт керування 1. Для площинної орієнтації використовують магнітний курс 5, з'єднаний з першим входом пристрою управління 2. Висоту визначають висотоміром 6, який з'єднаний з другим входом пристрою управління 2. Перший GPS-приймач 7 у парі з другим GPS-приймачем 11 працюють у диференціальному режимі. Інформація з другого GPS-приймача 11, яка містить значну похибку, подається на персональний комп'ютер 9, де, використовуючи точні координати наземного комплексу, розраховується величина похибки визначення координат першого GPS-приймача 7. Цей сигнал похибки передається на третій вхід пристрою управління 2 завдяки другому модулю

бездротового зв'язку 10, під'єднаному до виходу персонального комп'ютера 9, та завдяки першому модулю бездротового зв'язку 8, під'єднаному до четвертого входу пристрою керування 2. Сигнал похибки використовують для уточнення координат, отриманих з GPS-приймача 7. Ці координати необхідні для компенсації похибки, яка з'являється в результаті програмного інтегрування показань БІНС 4. Для передачі показань польоту до наземного комплексу у систему включений зворотний канал зв'язку за допомогою першого модуля бездротового зв'язку 8, вхід якого під'єднаний до другого виходу пристрою керування 2, а вихід під'єднаний до четвертого виходу другого модуля бездротового зв'язку 10. Також показання польоту передаються до блока автоматичного визначення спроб кібератак 12 для забезпечення його роботи, а також до блока синтезу карти місцевості 14, який по даних з GPS-приймачів 7 та 11 будує автономну карту місцевості для розрахунку маршруту автоматичного повернення в зону старту в блоці 13 в разі виявлення спроби кібератаки. При виявленні спроби кібератаки блок автоматичного визначення спроб кібератак 12 передає команду відключення штатних систем керування в пристрій керування 2 та активує блок автоматичного повернення до зони старту 13, який на під'єднанні автономної карти місцевості з блока синтезу карти місцевості 14 будує маршрут повернення в зону старту і передає його в пристрій керування 2. Після цього БПЛА в автономному режимі, ізольовано від штатних засобів навігації, виконує повернення в зону старту, де переходить в штатний режим керування, що дає можливість виконати приземлення БПЛА та запобігає його перехопленню або знищенню.

Розглянемо більш докладно роботу блока автоматичного визначення спроб кібератак 12. Політ БПЛА в ході виконання ним функціональних завдань можна розділити на множину етапів і режимів виконання польотного завдання. Основна їх частина може бути представлена наступним списком: обмін вагами генерації з пультом управління (режим ближньої передачі даних), політ в умовах нормального управління, автономний режим польоту.

У той же час в умовах зовнішніх кібератак на БПЛА даний список доповнюється додатковими етапами і режимами польоту. Пропонується формалізувати процес виконання польотного завдання БПЛА у вигляді структурної схеми режимів виконання завдання, що складається з наступних етапів: 1 - БПЛА знаходиться на землі, режим очікування; 2 - обмін вагами генерації з пультом управління (режим ближньої передачі даних); 3 - режим нормального управління; 4 - перевірка справжності сигналу (режим "свій/чужий"); 5 - режим автономного польоту; 6 - режим запису карти місцевості і координат апарата; 7 - режим пошуку пеленга сигналу засобів глушіння; 8 - режим автономної посадки.

Дану структурну схему можна описати і математично формалізувати у вигляді GERT-мережі, в якій кожен вузол буде описувати стан БПЛА, а зв'язок між вузлами характеризуватися ймовірно-часовими характеристиками ( $W$ -функціями), при цьому кожна

$$W_{ij} = p_{ij} \times f(\lambda_k), \quad (1)$$

де  $p_{ij}$  - ймовірність переходу зі стану  $i$  в стан  $j$ ,  $f(\lambda_k)$  - функція моментів, що характеризується інтенсивністю  $\lambda_k$  переходів. Перехід системи зі стану в стан пов'язується з виконанням операції структурної схеми режимів виконання завдання (фіг. 2), що описується випадковою величиною, закон розподілу якої заздалегідь відомий.

Розглянемо детальніше представлену GERT-мережу процесу виконання завдання БПЛА, що використовує блок автоматичного визначення спроб кібератак 12. На фіг. 2 перехід (0,1) характеризує виліт БПЛА на виконання польотного завдання з виходом з режиму очікування в режим ближньої передачі даних; перехід (1, 2) описує процес виходу з ближньої зони управління в режим нормального стаціонарного управління БПЛА; перехід (2, 3) формалізує процес перевірки аутентичності сигналу управління (режим "свій/чужий"); зв'язки (3, 4) і (4, 2) описують процеси переходу в режим запису карти місцевості і координат апарата з поверненням до нормального стану відповідно; перехід (3, 5) фіксує вихід в режим автономного польоту БПЛА; перехід (5, 6) формалізує процес пошуку пеленга сигналу джерела зовнішніх кібератак, перехід (5, 7) описує процес виходу в режим автономної посадки.

В даній моделі враховано облік процесів інтелектуальної оцінки достовірності сигналів із записом карти місцевості і координат апарата, а також виконання польоту в режимі пошуку пеленга сигналу джерела зовнішніх кібератак.

Характеристики розглянутих в GERT-моделі гілок і параметри розподілу представлені в таблиці.

Відповідно до характеристик гілок GERT-мережі еквівалентну  $W$ -функцію часу виконання польотного завдання в умовах зовнішніх умисних дій можна подати як:

$$W_e = \frac{W_{01}W_{12}W_{23}W_{35}W_{57} + W_{01}W_{12}W_{23}W_{35}W_{56}W_{65}W_{57}}{1 - W_{01}W_{12}W_{23}W_{34}W_{42}} =$$

$$= \frac{p_1\lambda_1 \cdot p_1\lambda_2 \cdot p_2\lambda_3 \cdot p_4\lambda_6 \cdot p_6\lambda_8 \cdot ((\lambda_7 - S)^2 + p_5\lambda_7q_2\lambda_7)}{(\lambda_6 - S) \cdot (\lambda_8 - S) \cdot (\lambda_7 - S)^2} \cdot$$

$$\frac{(\lambda_4 - S) \cdot (\lambda_5 - S)}{(\lambda_1 - S) \cdot (\lambda_2 - S) \cdot (\lambda_3 - S) \cdot (\lambda_4 - S) \cdot ((\lambda_5 - S)^2 - p_1\lambda_1 \cdot p_2\lambda_3 \cdot p_3\lambda_4 \cdot q_1\lambda_5)}. \quad (2)$$

Характеристична функція знаходиться на основі топологічного рівняння Мейсона шляхом заміни в еквівалентній функції моментів  $W_E(s)$  змінної  $s$  на  $i\zeta$ , де  $\zeta$  - дійсна змінна.

В складних GERT-мережах з можливими циклами відсутні прості методи знаходження розв'язків функції  $\Phi_E(z)$  заміни дійсних змінних ( $z = -s = -i\zeta$ ). Пов'язано це з тим, що для знаходження розв'язків необхідно вирішувати нелінійні рівняння, і чим складніше структура GERT-мережі, тим складніше і вихідне рівняння. Тому в ході моделювання, виконуючи комплексне перетворення, отримуємо:

$$\Phi(z) = \frac{-z^4 + rz^3 - yz^2 + uz^2 + uz - k}{(-z^5 + az^4 - bz^3 + cz^2 - dz + g)(\lambda_6 + z)(\lambda_8 + z)(\lambda_7 + z)^2}, \quad (3)$$

де  $r = -(2\lambda_7 + \lambda_5\lambda_4)$ ;  
 $y = \lambda_7 + \lambda_4\lambda_5 + p_5q_2\lambda_7^2$ ;  
 $u = -(2\lambda_4\lambda_5\lambda_7 - \lambda_5\lambda_7 - \lambda_4\lambda_7 + p_5q_2\lambda_5\lambda_7^2 + p_5q_2\lambda_4\lambda_7^2)$ ;  
 $a = -(\lambda_5 - \lambda_1 - \lambda_2 - \lambda_3 - \lambda_4)$ ;  
 $b = -(\lambda_1\lambda_5 - \lambda_2\lambda_5 - \lambda_3\lambda_5 - \lambda_4\lambda_5 - \lambda_1\lambda_2 - \lambda_1\lambda_3 - \lambda_1\lambda_4 - \lambda_2\lambda_3 - \lambda_2\lambda_4 - \lambda_3\lambda_4)$ ;  
 $c = -(-\lambda_1\lambda_2\lambda_5 + \lambda_1\lambda_3\lambda_5 + \lambda_1\lambda_4\lambda_5 + \lambda_2\lambda_3\lambda_5 + \lambda_2\lambda_4\lambda_5 - \lambda_3\lambda_4\lambda_5 + \lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \lambda_1\lambda_2\lambda_4 + \lambda_1\lambda_3\lambda_4 + \lambda_2\lambda_3\lambda_4)$ ;  
 $d = (-\lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_5 - \lambda_1\lambda_2\lambda_4\lambda_5 - \lambda_1\lambda_3\lambda_4\lambda_5 - \lambda_1\lambda_3\lambda_4\lambda_5 - \lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_4)$ ;  
 $g = -(\lambda_1\lambda_2\lambda_3\lambda_4\lambda_5 - p_1^2p_2p_3q_1\lambda_1\lambda_3\lambda_4\lambda_5)$ .

Тоді щільність розподілу ймовірностей часу виконання польотного завдання

$$\phi(x) = \frac{1}{2\pi i} \int_{-i\infty}^{i\infty} e^{zx} \frac{-z^4 + rz^3 - yz^2 + uz - k}{(-z^5 + az^4 - bz^3 + cz^2 - dz + g)(\lambda_6 + z)(\lambda_8 + z)(\lambda_7 + z)^2} dz, \quad (4)$$

де інтегрування виконується по контуру Бромвіча.

Функція  $\Phi(z)$  крім простих полюсів, що визначаються корінням рівнянь  $(-z^5 + az^4 - bz^3 + cz^2 - dz + g) = 0$ , а так само  $(-z^5 + az^4 - bz^3 + cz^2 - dz + g) = 0$  може

мати і полюси другого-третього порядку. Це можливо в тих випадках, коли значення  $\lambda_6$ , чи  $\lambda_8$

збігаються між собою або дорівнюють значенням коренів  $z_8, z_9$ . У цих випадках щільність розподілу часу тестування програмного забезпечення  $\phi(x)$  знаходиться за формулою

знаходження відрахувань  $\gamma_{-1}$  від полюсів  $z_n$  порядку  $m$

$$\gamma_{-1} = \frac{1}{(m-1)!} \lim_{z \rightarrow z_n} \frac{d^{m-1} \left[ (z - z_n)^m e^{zx} \Phi(z) \right]}{dz^{m-1}}. \quad (5)$$

Вираз (4) можна надати як дрібно-раціональну функцію щодо  $z$  зі ступенем знаменника, більшим, ніж ступінь чисельника, тому для нього виконуються умови леми Жордана. Функція

$\Phi(z)$  має полюси в точках  $z_8 = -\lambda_6$ ,  $z_9 = -\lambda_8$ . Багаточлен  $(\lambda_7 + z)^2$  породжує два полюси, багаточлен  $(-z^5 + az^4 - bz^3 + cz^2 - dz + g)$  породжує ще п'ять полюсів. Вирішення рівняння

$$-z^5 + az^4 - bz^3 + cz^2 - dz + g = 0 \quad (6)$$

може бути знайдено будь-яким чисельним методом. Тоді отримуємо ще п'ять розв'язків  $z_1 - z_5$ .

5 Запропонована математична модель враховує у процесі математичної формалізації GERT-мережі основні етапи виконання польотного завдання в умовах можливих зовнішніх кібератак. Застосування GERT-мереж в ході математичного моделювання дає можливість використання результатів, отриманих в аналітичному вигляді для проведення порівняльного аналізу і досліджень окремих етапів виконання польотних завдань БПЛА, що дає можливість виявлення зовнішніх кібератак.

10 Таким чином, авторами винаходу досягнуто розширення функціональних можливостей системи та підвищення надійності її роботи за рахунок покращення захисту БПЛА від спроб кібератак за допомогою їх автоматичного розпізнання на підґрунті аналітичних розрахунків та забезпечення повернення БПЛА в зону старту в автоматичному режимі.

Таблиця

Характеристики гілок в GERT-моделі і параметри розподілу

$W$ -функція	Ймовірність	Похідна функція моментів
$W_{01}$	$p_1$	$\frac{\lambda_1}{\lambda_1 - S}$
$W_{12}$	$p_1$	$\frac{\lambda_2}{\lambda_2 - S}$
$W_{23}$	$p_2$	$\frac{\lambda_3}{\lambda_3 - S}$
$W_{34}$	$p_3$	$\frac{\lambda_4}{\lambda_4 - S}$
$W_{42}$	$1 - p_2 = q_2$	$\frac{\lambda_5}{\lambda_5 - S}$
$W_{35}$	$p_4$	$\frac{\lambda_6}{\lambda_6 - S}$
$W_{56}$	$p_6$	$\frac{\lambda_7}{\lambda_7 - S}$
$W_{65}$	$1 - p_5 = q_2$	$\frac{\lambda_7}{\lambda_7 - S}$
$W_{57}$	$p_6$	$\frac{\lambda_8}{\lambda_8 - S}$

15

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

20 1. Спосіб навігації безпілотної літальної апарату (БПЛА) з захистом від перехоплення керування, в якому під час польоту показання датчиків безплатформної інерціальної навігаційної системи (БІНС) інтегруються в пристрої управління, визначаючи поточні координати рухомого об'єкта, відповідно з законом керування, пристрій управління формує на другому виході сигнал керування для електричного приводу, який, в свою чергу, впливає на об'єкт керування, для площинної орієнтації використовують магнітний курс, з'єднаний з першим входом об'єкта керування, висоту визначають висотоміром, який з'єднаний з другим входом об'єкта керування, спосіб також включає визначення просторових координат літального апарату при польоті в умовах штатного режиму управління, здійснення визначення похибки просторових

25

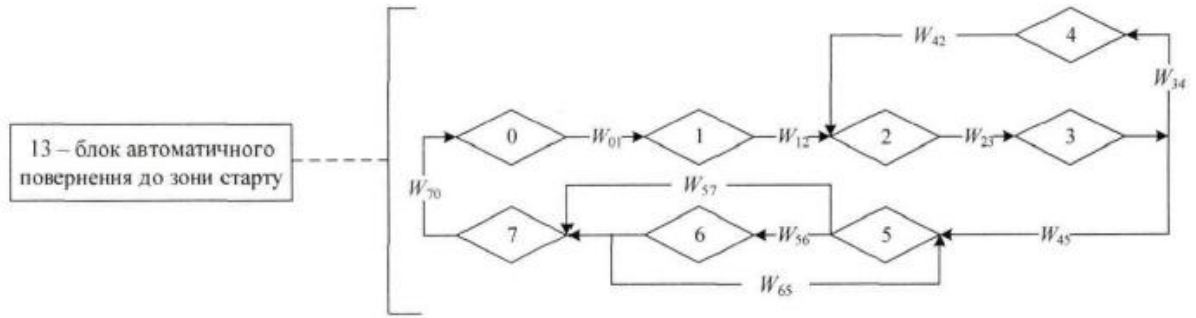
координат БПЛА, яка накопичується в результаті програмного інтегрування, використовуючи точні координати наземного комплексу управління, передачу показань польоту до наземного комплексу здійснюють через зворотний канал бездротового зв'язку, який **відрізняється** тим, що здійснюють виявлення зовнішніх кібератак на рухомий об'єкт та його автоматичне повернення в зону старту, для цього використовують математичний апарат GERT-мережі, який в ході математичного моделювання дає можливість використати результати, що отримані в аналітичному вигляді для проведення порівняльного аналізу і досліджень кожного етапу виконання польотних завдань БПЛА, а саме в даній моделі враховано облік процесів на підставі аналітичної оцінки достовірності сигналів із записом карти місцевості і просторових координат БПЛА, а також виконання польоту в режимі пошуку пеленга сигналу джерела зовнішніх кібератак за допомогою блока автоматичного визначення спроб кібератак, обмін вагами генерації з наземним комплексом управління в режимі ближньої передачі даних, при цьому при виявленні спроб кібератак відключають штатні системи керування за допомогою пристрою керування і активізують блок автоматичного повернення до зони старту, який на підставі автономної карти місцевості з блока синтезу карти місцевості та координат пеленга сигналу джерела зовнішніх кібератак будує маршрут повернення в зону старту за допомогою блока автоматичного повернення в зону старту і передає його в пристрій керування.

2. Система керування безпілотним літальним апаратом, що містить пристрій управління, електричний привід, з'єднаний входом з першим виходом пристрою управління, а його вихід з'єднаний зі входом об'єкта керування, магнітний курс, висотомір, перший GPS-приймач, виходи яких підключені до першого, другого, третього входів пристрою управління відповідно, перший модуль бездротового зв'язку, вихід якого з'єднаний з четвертим входом пристрою управління, а його вхід з'єднаний з другим виходом пристрою управління на об'єкті керування, безплатформну інерціальну навігаційну систему, вихід якої з'єднаний з п'ятим входом пристрою управління, а вхід - з об'єктом керування, другий модуль бездротового зв'язку, другий GPS-приймач, виходи яких підключені до першого та другого входів персонального комп'ютера відповідно, вихід персонального комп'ютера з'єднаний з першим входом другого модуля бездротового зв'язку, яка **відрізняється** тим, що додатково введені блок автоматичного визначення спроб кібератак, що своїм першим виходом підключений до шостого входу пристрою управління, а входом - до другого виходу пристрою управління, блок автоматичного повернення до зони старту, що підключений до сьомого виходу пристрою управління та другого виходу блока автоматичного визначення спроб кібератак і другим входом підключений до виходу блока синтезу карти місцевості, що своїм входом підключений до третього виходу пристрою управління.



Фіг. 1





Фиг. 2