

М.В. Коробчинський, Воєнно-дипломатична академія імені Є.Березняка, Київ

## РОЗРОБКА МЕТОДУ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ КОМПОНЕНТАМИ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

**Abstract.** The article proposes a new method of informational support for the functioning of the control system for components of moving objects. Unmanned aerial vehicles are selected as the basic components of this system. Formulated conditions that must satisfy the processes of managing the components of this system. Within the framework of the general structure, three main components are allocated (on-board system, ground system, communication system), each of them was formulated separate requirements. The assertion, which defines the conditions for correct control in the case of a hierarchical structure of management of the process of solving an applied problem, is proved.

**Keywords:** graphic model, control system, moving objects, controlling influence.

**Анотація.** У статті пропонується новий метод інформаційного забезпечення функціонування системи управління компонентами рухомих об'єктів. У якості базових компонентів цієї системи обрано безпілотні літальні апарати воєнного призначення. Сформульовані умови, які повинні задовольняти процеси управління компонентами цієї системи. В рамках загальної структури виділено три основні компоненти (бортова система, наземна система, система зв'язку), до кожної було сформульовано окремі вимоги. Доведено твердження, яке визначає умови коректного управління у випадку ієрархічної структури управління процесом вирішення прикладної задачі.

**Ключові слова:** графічна модель, система управління, рухомі об'єкти, управляючий вплив.

**Вступ.** Використання рухомого об'єкту (РО) у режимі безпосереднього управління істотно гальмує його можливості. Особливо це відчувається під час виконання бойових задач, де оперативність прийняття рішення і своєчасність доведення добутої інформації іноді стають головними. Тому, необхідно більш детально розглянути необхідні засоби, які можуть знадобитися для здійснення процесу застосування РО для вирішення конкретної задачі або класу задач та сформулювати структуру системи управління ними, яка містить такі засоби. При цьому, необхідно враховувати специфіку РО як базового технічного засобу, за допомогою якого передбачається вирішувати задачу. В якості базових засобів цієї системи обрано безпілотні літальні апарати воєнного призначення.

Формування та аналіз структури інформаційного забезпечення будемо здійснювати шляхом поступового розвитку неї, і яка буде ґрунтуватись на розширенні своїх функціональних можливостей [1].

**Виклад основного матеріалу.** Першим етапом формування структури інформаційної системи (*IS*) є поділ її на бортову інформаційну систему (*BIS*) і наземну інформаційну систему (*NIS*). Внаслідок такого поділу виникає третя компонента, яка представляє собою засоби зв'язку *BIS* з *NIS*. Таку компоненту будемо називати інформаційною системою зв'язку (*ISS*). Виділення *ISS* в рамках *IS* обумовлено тим, що в силу специфіки самого РО і особливостей задач, які він вирішує, недостатньо традиційного каналу зв'язку. Характерним недоліком для якого є обмеження функції передачі даних. Тому, необхідно забезпечити пропускну спроможність інформаційного каналу зв'язку між РО та центром управління на такому рівні, який би дозволив виконати розв'язувальну задачу в повному об'ємі. У загальному вигляді структура інформаційної системи має вигляд

$$IS = F[BIS, NIS, ISS].$$

Опишемо особливості кожної компоненти *IS*.

1. Особливості бортової інформаційної системи полягають у наступному:

- функціональне навантаження *BIS* в рамках всієї *IS* повинна бути мінімальна;
- функціональні можливості *BIS* повинні реалізовуватися, в першу чергу, на основі апаратних засобів;
- функції *BIS* повинні обмежуватися забезпеченням вирішення задач, які найбільш тісно пов'язані з самим РО (наприклад, забезпечення управління польотом РО).

2. Особливості інформаційної системи зв'язку полягають у наступному:

- система зв'язку повинна забезпечувати циркуляцію даних між нерухомими компонентами (стаціонарний центр управління, стаціонарний користувач) та рухомими компонентами системи (РО, мобільний користувач, рухомий пункт управління) за допомогою бездротового зв'язку;
- наділення певними функціональними можливостями *ISS*, які дозволять максимально розвантажити *BIS*;
- засоби *ISS*, апаратна та програмна частини, повинні забезпечувати певний рівень надійності, стійкості та безперервності функціонування;
- у разі використання *ISS* в рамках системи з РО, система зв'язку повинна бути асиметричною.

3. Особливості наземної інформаційної системи полягають у наступному:

- наземна система повинна являти собою центр управління не тільки польотом РО, а й управління процесом вирішення задачі;
- центр управління повинен нести максимальне функціональне навантаження щодо забезпечення вирішення поточної задачі;

- *NIS* повинна бути відкритою для інформаційного розширення та її функціональних можливостей, потреба в яких може виникнути в процесі вирішення задач;
- *NIS* може бути розподіленою системою.

Вимога до мінімальності функціонального навантаження є наслідком обмежень на корисний польотний вантаж, допустима величина якого визначається конструкцією РО, потужністю двигуна і цілим рядом аеродинамічних характеристик. Це визначає необхідність мінімізувати склад обладнання на борту. Окрім вимог щодо мінімізації корисного навантаження до бортової інформаційної системи пред'являють вимоги до апаратної реалізації алгоритмів. У першу чергу, це стосується алгоритмів керування польотом. Дана вимога обумовлена тим, що апаратна реалізація алгоритмів вважається найменш схильною до випадкових збоїв або дії завод [2].

Оскільки бортова апаратура, яка орієнтована на вирішення задач і обумовлюється ними, то остання повинна забезпечувати мінімальні обсяги аналізу реєстрованих даних. Тому, така апаратура, як правило, являє собою пріоритет інформації та пристрої її первинної обробки.

У рамках вимог з обмеження функціональних можливостей *BIS*, вона поділяється на підсистеми:

- навігаційного управління (*PNU*);
- аеродинамічного керування (*PAU*);
- реакції на нестандартні ситуації, які пов'язані з управлінням РО (*PNS*).

Підсистема навігаційного управління повинна забезпечити наступні вимоги та можливості:

- використання різних засобів навігаційного забезпечення (супутникові засоби, цифрові карти, орієнтири місцевості, наземні радіотехнічні засоби і т.д.);
- реагування системи управління польотом на подразнюючі фактори;
- в управлінні відмовама системи у *PNU*.

В рамках вирішення навігаційних задач *PNU*, можуть використовуватися різні методи і підходи, які визначаються умовами розв'язання прикладних задач. Наприклад, якщо більшість прикладних задач вимагає можливості виведення РО у певний район місцевість із заданою точністю при використанні як наземних засобів одного центру управління, тоді може виникнути необхідність використання систему навігації, яка ґрунтується на використанні супутникових засобів. Більш огляд та аналіз методів і систем навігації для РО відображений у [3].

Можливість підсистеми навігаційного управління на реагування системи управління польотом на подразнюючі фактори визначається автоматично. Система управління здійснює безпосередній впливає на керуючі органи РО, на основі отриманих даних від датчиків поточний стану РО в просторі. Такі

системи досить широко досліджені, тому більш детальний їх розгляд не доцільний [4].

Можливість в управлінні відмовами системи у *PNU* для РО є досить важливим, оскільки, в разі відмови цієї підсистеми літак стає “сліпим”, що може призвести до його падіння. Тому, підсистема навігаційного управління *BIS* повинна володіти наступними можливостями з протидії відмовам або несправностям:

1. використання методів гарячого резервування різних елементів системи управління;
2. використання методів аварійного або обмеженого управління польотом (наприклад, при виникненні відмов у ланцюгах управління елеронами, перехід до використання управління стримерами; у випадку несправності в компонентах управління керма поворотів, система використовує можливості управління елеронами і т.д.);
3. використання методів критичного управління передбачає переривання виконання задачі (наприклад, повернення РО до місця старту, спуск РО на парашуті та інші методи, які дозволяють припинення вирішення задачі).

Під інформаційною системою зв'язку *ISS* в рамках *IS* розуміємо не тільки фізичний канал передачі даних, який реалізується передавачем і приймачем радіосигналів, але і всі ті компоненти, які перетворюють вхідну інформацію *ISS* у форму, яка необхідна для радіопередавача з боку джерела даних. Пряме перетворення даних з датчиків, які сприймають інформацію навколишнього середовища, в радіоканали призведе до перевантажень *ISS*. Тому, дані з датчиків (наприклад, з відеокамери) необхідно попередньо перетворити. Таке перетворення має мінімізувати кількість сигналів, які необхідно передавати в центр управління, за рахунок виділення інформації, яка необхідна для вирішення задачі. Відповідна частина засобів перетворення становить бортову компоненту системи *ISS*. Аналогічно виділяється наземна частина або складова *ISS*. Асиметричність інформаційної системи зв'язку означає, що її бортова частина, яка здійснює попередню обробку даних є істотно меншою за розмірами та функціональними можливостями ніж наземна частини *ISS*.

Вимога до наземної інформаційної системи, що вона повинна вирішувати не тільки задачі управління РО, але і задачі управління вирішенням прикладної задачі, є природнім і не вимагає більш детального аналізу. У зв'язку з цим, центр управління несе основне функціональне навантаження як з управління польотом, так і за рішенням прикладної задачі. Розподіл і відкритість *NIS* є однією з вимог, яка характерна для більшості інформаційних систем [5]. У випадку використання *NIS* в якості центра управління, відповідна система, в залежності від типу розв'язуваної прикладної задачі, може вимагати додаткових обчислювальних ресурсів, зовнішніх баз даних і т.д. Таким чином, відкритість *NIS* означає сумісність

інтерфейсів з можливими зовнішніми інформаційними системами, а також здатність адаптуватися до відповідних систем.

Розподіл *NIS*, в рамках задач *IS*, який здійснює інформаційне забезпечення РО означає, що до її складу може входити кілька наземних систем, орієнтованих на виконання задачі управління польотом окремого РО або їх групи. Доцільність використання в рамках однієї *NIS* деякої кількості центрів управління, які розподілені в просторі, обумовлюється особливостями розв'язуваної прикладної задачі. Такі особливості призводять до необхідності використання групи РО, а також використання окремих центрів управління. Природно, що в рамках *NIS* всі центри управління пов'язані між собою відповідно до структури. Очевидно, що і всі інші підсистеми мають не тільки власну внутрішню структуру, але і зовнішню, яка описує зв'язки між компонентами окремих підсистем *NIS*, *BIS* і *ISS*.

Оскільки інформаційна система орієнтована на управління групою РО, то позначимо її як *ISL*. У рамках *ISL*, як правило, вирішується одна спільна задача. У зв'язку з цим, її загальна структура повинна відображати цей факт і тому вона має бути ієрархічною [6]. Формально, довільна ієрархічна система описується таким співвідношенням, яке є певним наближенням її опису:

$$Y = F(f_1, f_2, \dots, f_n(x_{n1}, \dots, x_{nm}) \dots), \quad (1)$$

де  $x_{nm}$  – елементи найнижчого рівня системи,  $f_n$  – функція, яка описує взаємозв'язок між елементами рівня  $n$  та елементами рівня. Формула (1) може бути представлена і іншими способами. Насамперед розглянемо особливості, які характеризують систему представлену у вигляді (1). У такій системі існує один елемент з найвищим рівнем ієрархії, який, для зручності, будемо називати пріоритетом і позначати символом  $R^1$ . Довільну кількість елементів наступного рівня ієрархії будемо позначати символами  $(R_{11}^2, R_{12}^2, \dots, R_{1m}^2)$  і т.д. Передостанній рівень елементів будемо позначати  $(R_{11}^{n-1}, R_{12}^{n-1}, \dots, R_{1k}^{n-1})$ . Останній рівень елементів будемо називати вхідними елементами  $(x_1, x_2, \dots, x_r)$ . Елементи  $x_i$  в ієрархічній структурі  $R$  можуть з'єднуватися з елементами  $R_j^i$ , де  $i$  довільний рівень ієрархії. В системі *ISL*, для ієрархічної системи введемо наступні розширення та умови їх функціонування:

- кожен елемент  $R_{jk}^i$  володіє функціональним алгоритмом аналізу фрагменту розв'язуваної задачі, яка відповідний елемент  $R_{jk}^i$  ідентифікує;
- між  $x_i$  і  $R_{jk}^i$  не існує зворотного зв'язку;
- напрямки стрілок, які ідентифікують передачу даних в *ISL* від елементів  $x_i$  до  $R_{jk}^i$  можна записати у вигляді співвідношення

- $x_{ij} \rightarrow R_{ij}^{n-1}$ ;
- між елементами різних ієрархічних рівнів існує напрямок передачі даних  $R_{jr}^i \rightarrow R_{ke}^m$ , де  $i$  та  $m$  – номери рівнів ієрархії, при чому  $i > m$ ;  $j$  – номер елемента в множині елементів рівня  $i$ ;  $k$  – номер елемента  $R$  в множині елементів рівня  $m$ ;
- в рамках структури *ISL* існують управляючі зв'язки між елементами  $R_i$  і  $R_j$ , які позначаються стрілками, напрямок яких описує управляючий вплив від елементів з вищим пріоритетом до елементів з низьким пріоритетом  $R_i^j \rightarrow R_k^m$ , де  $P(j) > P(m)$ ;  $i$  та  $m$  – номери рівнів ієрархії, значення яких пов'язані з номерами пріоритетів наступним чином:  $[P(i) > P(m)] \rightarrow (j < m)$ , де  $P(i)$  – номер пріоритету елемента  $R_j^i$ .

У загальному випадку система *ISL* формально описується співвідношенням:

$$R_0 = F(R_1, x_1^1, x_2^1, \dots, x_k^1, R_2(R_{21}, R_{22}, x_1^2(R_{31}(x_1^3, \dots, x_m^3)))) \dots \quad (2)$$

У формулі (2) в деякому наближенні описуються співвідношення між компонентами, які беруть участь у процесі функціонування системи *ISL*, при розв'язанні прикладної задачі.

Розглянемо обмеження на спосіб організації структури інформаційної системи.

*Умова 1.* Управляючий вплив може передаватися тільки від елемента з вищим рівнем пріоритету до елемента з нижчим пріоритетом.

Передача управляючого впливу від елемента  $R_i$  до елемента  $R_j$ , позначимо  $R_i \rightarrow R_j$ . Передачу вхідних даних від  $x_{ij}$  до  $R_j$ , або передачу результатів функціонування  $R_i$  до  $R_j$  позначимо  $x_{ij} \Rightarrow R_j$  або  $R_i \Rightarrow R_j$ .

Формально, наведена умова описується співвідношенням:

$$[P(i) > P(j)] \rightarrow (R_i \rightarrow R_j).$$

Передача від  $R_i$  до  $R_j$  управляючого впливу ще не означає, що в елементі  $R_j$  такий вплив може активізуватися в процес функціонування. Розглянемо наступне твердження.

*Твердження 1.* Якщо передано управляючий вплив  $R_i \rightarrow R_j$ , то активізація елемента  $R_j$  відбудеться в тому випадку, якщо існує хоча б один зв'язок  $x_{ik} \Rightarrow R_j$  або  $R_{j+1} \Rightarrow R_j$ , за умови, що  $R_{j+1}$  була активізована на попередніх етапах функціонування *ISL*.

Перш ніж приводити доказ твердження, розглянемо таке визначення.

*Визначення 1.* Власний алгоритм  $A_i$  аналізу стану елемента  $R_i$  ініціюється в разі передачі до нього управляючого впливу або реалізації  $R_{i-1} \rightarrow R_i$ , що можна записати у вигляді співвідношення:  $(R_{i-1} \rightarrow R_i) \rightarrow A_i(R_i)$ .

Алгоритм  $A_i$  аналізує наступні аспекти, які стосуються елемента  $R_i$ :

- чи існують у елемента  $R_i$  власний потік даних від  $x_{ik}$ ;
- чи є актуальними дані за результатом функціонування  $R_{i-1}$ , що означає, чи може  $R_i$  для активізації функціонування використовувати дані, які отримані на виході  $R_{i-1}$  або припустимий зв'язок  $R_{i-1} \rightarrow R_i$ ;
- чи є дані на виході  $R_{i-1}$  результатом його функціонування, який активізувалося в поточному процесі роботи, або чи належать дані на виході  $R_{i-1}$  поточному ланцюгу функціонування процесу вирішення задачі.

Якщо в елементі  $R_i$  існують власні входи  $x_{ik}$ , то вхідні дані з них завжди актуальні, оскільки  $x_{ik}$  ідентифікують зовнішні джерела вхідних даних. Якщо у  $R_i$  не існує власних вхідних  $x_{ik}$ , то такі, в свою чергу, можуть бути тільки результатами функціонування елементів, рівень ієрархії яких нижче рівня ієрархії поточного елемента.

*Визначення 2.* Активізація процесу вирішення задачі в *ISL* здійснюється за етапами:

- ідентифікації ланцюга вирішення задачі;
- аналізу умов вирішення задачі;
- активізації процесу вирішення задачі.

Оскільки будь-яка задача може активізуватися цілю відповідного рішення, то така ціль ідентифікується результатом, який містяться в ній. Структуру *ISL* позначимо символами *RISL*. У ній може існувати одна або кілька ланцюгів, які описують деяку ціль. Для вирішення задачі вибирається один ланцюг на підставі перевірки наступних умов.

*Умова 2.* Будь-який ланцюг  $\omega_i$  вирішення задачі, яка визначається цілю  $c_i$ , повинен ініціюватися елементом найвищого пріоритету або його початок має бути узгоджений з елементом найвищого пріоритету.

*Умова 3.* Активізований ланцюг  $\omega_i$  повинен мати власні кінцеві елементами  $(x_{j1}, x_{j2}, \dots, x_{jk})$ , або активізовані вхідні дані попереднього за рівнем пріоритету елементами.

*Умова 4.* Якщо в *RISL* існує кілька ланцюгів вирішення задачі з цілю  $c_i$ , то вибирається найбільш короткий ланцюг  $\omega_i$ , який володіє власними елементами  $x_{ik}$ .

Розглянемо доказ твердження, в якому формулюються умови активізації процесу вирішення задачі. Якщо у ланцюга  $\omega_i$  існує елемент  $R_i$  з власним входом  $x_{jk}$ , то вхідні дані для вирішення задачі з цілю  $C_i$  присутні й існує, як мінімум, один елемент  $R_i$ , який реалізує процес вирішення задачі. Це означає, що має місце співвідношення  $(x_{ik} \Rightarrow R_i) \& (R_{i-1} \rightarrow R_i)$ . Якщо  $R^{i-1} = R^0 \rightarrow c_i$ , то задача вирішена. Якщо  $R^i$  є елементом, для якого  $P(R^i) < 2$ , то існує  $R^{i-k}$ , для яких  $P(R^{i+k}) > P(R^i)$ . Нехай  $k > 1$ , тоді існує впорядкована за пріоритетами послідовність  $R^i \rightarrow R^{i-1} \rightarrow \dots \rightarrow R^0$ . Якщо для довільного  $R^{i-k}$  існує власний елемент  $x_{i-k}$  або актуалізований вихід  $R^{i-k-1}$ , який не рівний  $R_i$ , то  $R^{i-k}$  є припустимим і включається в ланцюг  $\omega_i$ . Оскільки власний алгоритм  $A(R_i)$  аналізує поточний стан  $R_i$ , то актуальність вихідних даних визначається для кожного елемента  $R_i$ , який володіє алгоритмом  $A(R_i)$ . Таким чином, всі умови твердження можуть бути задоволені і за результатами їх перевірки активізується ланцюг  $\omega_i(c_i)$  або в активізації цього ланцюга система відмовляє.

На рівні структурного опису системи управління необхідно ввести наступні умови, які відображають специфіку управління групою РО.

*Умова 5.* Управляючий вплив не може ініціюватися по відношенню до елемента  $R_i$ , якщо не ініціювати управляючий вплив для  $R_{i-1}$ , який відноситься до ланцюга  $\omega_i(c_i)$ .

На рівні інтерпретації ця умова означає. Якщо у ланцюга  $\omega_i$  існує фрагмент  $\{R_{i-1}, R_i, R_{i+1}\}$ , то не припустимою є реалізація процесу, який описується у вигляді  $R_{i-1} \rightarrow R_{i+1}$ .

*Умова 6.* Будь-який ланцюг, що активізується, повинен включати кінцевий елемент  $R_m$ , який володіє хоча б одним власним елементом  $x_{jk}$ .

Приклад фрагмента структури інформаційної системи управління наведено на рис. 1.

На рис.1. використовуються такі позначення:

$R_0$  – вершина ієрархічної системи, яка має найвищий пріоритет по відношенню до інших вершин графічної структури  $P(0)$ ;

$R_{11}, R_{12}$  – вершини, які мають пріоритет на одиницю нижче пріоритету вершини  $R_0$  і записується у вигляді  $P(1)$ ;

$x_1^{11}$  – власна вершина вершини  $R_{11}$ ;



$x_1^{12}, x_2^{12}, x_3^{12}$  – власні вершини вершини  $R_{12}$ ;

$R_{21}, R_{22}$  – вершини, які мають пріоритет P(2) по відношенню до вершини  $R_0$ ;

$x_1^{21}, x_2^{21}$  – власні вершини вершини  $R_{21}$ ;

$R_{31}$  – вершина, яка має пріоритет P(3) по відношенню до величини  $R_0$  і не має своїх вершин;

$R_{41}, R_{42}$  – вершини, які мають пріоритет P(4) по відношенню до вершини  $R_0$ ;

$x_1^{41}, x_2^{41}, x_3^{41}$  – власні вершини вершини  $R_{41}$ ;

$x_1^{42}, x_2^{42}$  – власні вершини вершини  $R_{42}$ .

Вершина  $R_{22}$  – тупикова вершина, вершина  $R_{31}$  – проміжна вершина.

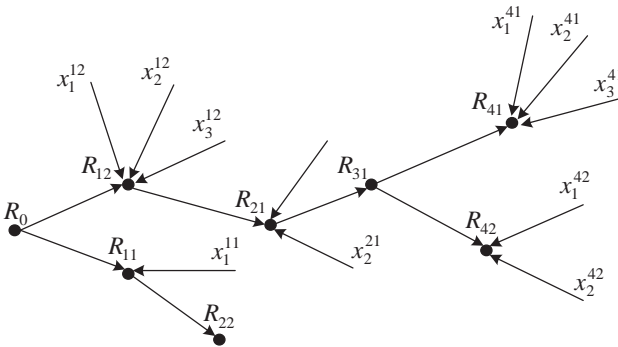


Рис. 1. Фрагмент графічної структури системи *RISL*

**Висновок.** Досліджено можливості формальних засобів опису складних функціонально різнопланових інформаційних управляючих систем, в якості базових засобів цієї системи обрано безпілотні літальні апарати воєнного призначення. Сформульовані умови, які повинні задовольняти процеси управління компонентами цієї системи. В рамках загальної структури виділено три основні компоненти (бортова система, наземна система, система зв'язку), до кожної було сформульовано окремі вимоги.

Доведено твердження, яке визначає умови коректного управління у випадку ієрархічної структури управління процесом вирішення прикладної задачі.

1. Коробчинський М.В. Проблемные вопросы организации управления групповым полетом беспилотных летательных аппаратов / М.В. Коробчинський // Зб. наук. праць Інституту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є.Пухова. – 2011. – №61. – С. 14-25.
2. Рябинин И.А. Надёжность и безопасность структурно-сложных систем / И.А. Рябинин. – СПб.: Политехника, 2000. – 247 с.

3. Farrell J.A. The global positioning system and inertial navigation / J.A. Farrell, M. Barth. – Mcrawill, New York, 1999. – 340 p.
4. Grewal M.S. Global Positioning Systems, inertial navigation and integration / M.S. Grewal, L.P. Weill, A.P. Andrews. – Wiley & Sons, New York, 2007. – 525 p.
5. Хакен Г. Инфомация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам / Г.Хакен. – М.: Дитоиал УСС, 2007. – 248 с.
6. Зыков А.А. Основы теории графов / А.А. Зыков. – М.: Наука, 1978. – 384 с.

*Поступила 15.01.2018р.*

УДК 004.051

Д.Д. Бондар, Львів  
М.В. Жук, Львів  
К.М. Обельовська, Львів  
Р.В. Сидоренко, Львів

## **ПОРІВНЯЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТИПІВ МАРШРУТИЗАЦІЇ НА ЧАСОВІ ПОКАЗНИКИ БЕЗПРОВІДНОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ**

**Abstract.** The analysis of wireless sensor networks time characteristics with various types of routing has been performed. Simulation shows that in many cases time characteristics significantly depend on the type of routing, and are better with Flood routing.

### **Вступ**

Безпроводні сенсорні мережі все активніше запроваджуються в різні галузі народного господарства, наукові дослідження, сфери людської діяльності, а в останні роки і в побут у вигляді Інтернету речей IoT (Internet of Things). За прогнозами провідних експертів у галузі телекомунікацій кількість безпроводних пристроїв у світі в 2018–2020 роках досягне 7 трильйонів, а сенсорні мережі, як складова IoT, у середньостроковій перспективі посядуть важливе місце серед мереж зв'язку [1]. Результатом робіт по стандартизації безпроводних сенсорних мереж стало семейство стандартів IEEE 802.15.4, яке регламентує фізичний і канальний рівні низькошвидкісних безпроводних мереж. Найбільш вживаним протоколом, що використовується на мережевому рівні в цих мережах, є протокол ZigBee, розроблений групою компаній ZigBee Alliance [2].

Сенсорні безпроводні мережі на сьогодні вивчені ще не достатньо. Дослідження, аналіз, вдосконалення та проектування безпроводних сенсорних мереж є актуальною задачею у всьому світі. Перед створенням та впровадженням безпроводної сенсорної мережі доцільно провести її моделювання в різних режимах роботи та оцінити основні параметри.