УДК 625.736
0671.50

Конін В. В. д-р техн. наук
Мелкумян В. Г. д-р техн. наук
Сушич О. П.

ОЦІНЮВАННЯ ДОСТУПНОСТІ СУПУТНИКОВИХ НАВІГАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Інститут інформаційно-діагностичних систем Національного авіаційного університету

Розглянуто метод оцінки доступності супутникових навігаційних систем із застосуванням агрегативної моделі навігаційного супутника як джерела аеронавігаційної інформації. Приведена узагальнена імовірнісна характеристика доступності сузір'я навігаційних супутників дозволяє враховувати ступінь впливу характеристик основних її елементів на якість функціонування, а також характеристики положення навігаційних супутників по відношенню апаратури споживача.

Постановка задачі

Пропоноване *ICAO* трактування терміна доступності, у документах ICAO має певну нечіткість [1, 2].

Під терміном *доступність* розуміється характеристика «*безпосередньо пов'язана з точністю, цілісністю, безперервністю обслуговування й експлуатаційною готовністю СНС, а також має на увазі наявність сигналу навігаційного супутника в зоні дії СНС, що відповідають заданим стандартам і характеристикам, включаючи прийом цього сигналу навігаційними апаратурами споживача*».

По суті, параметр *доступність* є найбільш узагальненою характеристикою якості функціонування СНС. Однак певна аморфність наведеного вище формулювання даного терміна багато в чому ускладнює розробку методів оцінки рівня доступності, як одиночного навігаційного супутника, так і сузір'ї супутників у цілому.

Мета статті

Опис одного з підходів оцінки доступності СНС із застосуванням її агрегативної моделі як джерела навігаційної інформації.

Виклад основного матеріалу

На першому етапі обмежимося оцінкою доступності космічного сегмента СНС, тобто сузір'я навігаційних супутників.

При цьому під *доступністю* будемо розуміти узагальнену характеристику, що *оцінює можливість використання СНС для рішення завдань навігації рухливих об'єктів з необхідною вірогідністю, у рамках заданих стандартів.*

Для одиночного навігаційного супутника дана характеристика визначає знаходження супутника в зоні «видимості» тобто в зоні дії апаратури споживача або поза зоною її «видимості».

Узагальнена агрегативна модель доступності одного супутника з космічного сегмента СНС (сузір'я навігаційних супутників), як джерела аеронавігаційної інформації, наведена на рис. 1.

В основу побудови структури моделі покладені наступні вихідні допущення.

Доступність i-того супутника із сузір'я СНС залежить як від його місця розташування (розташування в зоні «видимості» тобто в зоні дії апаратури споживача) так і від технічного стану навігаційних апаратури.

Оцінка поточного місця розташування i-того супутника S_{Ei} класифікується по двоальтернативному принципу – «видний» S^{V}_{Ei}, «невидний» S^{0}_{Ei}.

Сукупність функціональних елементів моделі навігаційної апаратури супутника включає моделі систем: формування й випромінювання радіосигналів (основний і резервний передавачі); формування

навігаційної інформації; контролю й сигналізації; керування (апаратури перемикання на резервний передавач при відмові основного).

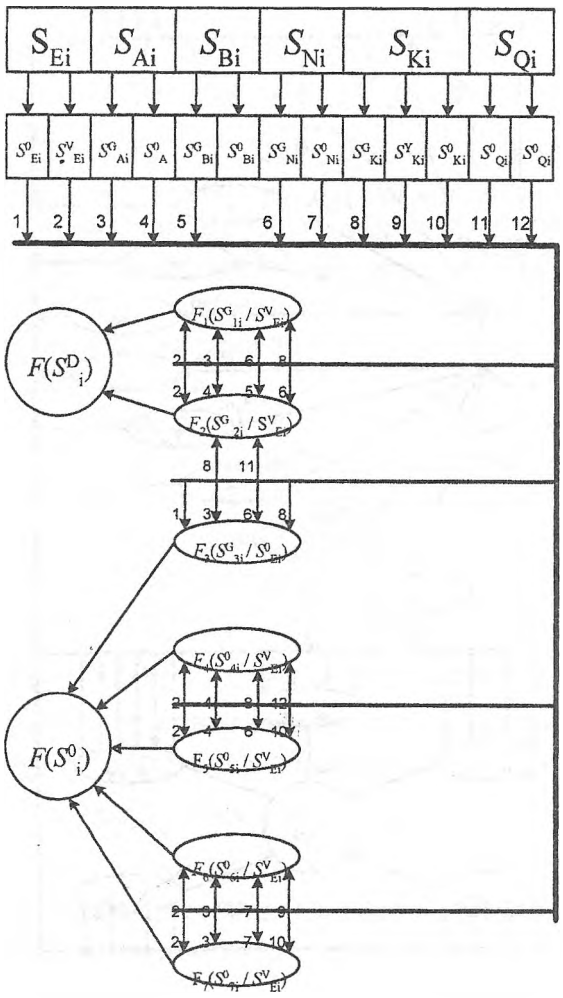

Рис. 1. Агрегативна модель доступності *i*-того навігаційного супутника

Оцінка технічного стану системи формування й випромінювання радіосигналів (основного S_{Ai} і резервного S_{Bi} передавача), проводиться по двоальтернативній класифікації відповідно: S^G_{Ai}, S^G_{Bi} – забезпечується необхідний рівень випромінювання радіосигналів; S^0_{Ai}, S^0_{Bi} – неприпустимий рівень випромінюваних радіосигналів або припинення випромінювання через відмову одного з вузлів апаратур.

Оцінку результатів формування навігаційної інформації S_{Ni} незважаючи на складну структуру [1], у загальному випадку також можна привести до двоальтернативній класифікації: S^G_{Ni} – вся сформована навігаційна інформація в нормі; S^0_{Ni} – не в нормі вся сформована навігаційна інформація або окремі її складові (наприклад, наявність помилки непарності, формату *TLM/HOW*, помилки в підкадрах кодових комбінацій і ін.).

Стан системи контролю й сигналізації S_{Ki} оцінюється з урахуванням рівня вірогідності результатів контролю параметрів систем формування й випромінювання навігаційної інформації: S^G_{Ki} – система здійснює контроль і індикація стану навігаційної інформації а також технічного стану апаратури формування й випромінювання радіосигналів супутника з необхідним рівнем вірогідності; S^Y_{Ki} – перевищення припустимого рівня ймовірностей помилок контролю, що приводить до порушення рівня цілісності системи; S^0_{Ki} – відмова системи контролю.

Технічний стан S_{Qi} системи перемикання на резервний передавач оцінюється двоальтернативною класифікацією – «придатна» S^G_{Qi} і «відмова» S^0_{Qi}.

Підсумкову оцінку стану всієї системи з погляду доступності *i*-того супутника в загальному випадку можна привести до двоальтернативної класифікації: S^D_i – «доступний» і S^0_i – «недоступний».

В рамках наведеної моделі, логічний вираз прийняття рішень про стан доступності і-того «видимого» супутника можна представити в такий спосіб:

«Супутник доступний»:

$$F(S^D_i)=F_1(S^G_{1i}/S^V_{Ei})+F_2(S^G_{2i}/S^V_{Ei}), \quad (1)$$

де $F_1(S^G_{1i}/S^V_{Ei})$ – рішення, що сигнал, випромінюваний основним передавачем *i*-того «видимого» супутника в нормі;

$F_2(S^G_{2i}/S^V_{Ei})$ – рішення, що сигнал випромінюваний резервним передавачем *i*- того «видимого» супутника в нормі, у випадку відмови основного передавача;

$$F_1(S^G_{1i}/S^V_{Ei})=F_1(S^V_{Ei},S^G_{Ai},S^G_{Ni},S^G_{Ki});$$

$$F_2(S^G_{2i}/S^V_{Ei})=F_2(S^V_{Ei},S^0_{Ai},S^G_{Bi},S^G_{Ni},S^G_{Ki},S^G_{Qi})$$

«Супутник недоступний»

$$F(S^0{}_i)=F_3(S^G{}_{3i}/S^0{}_{Ei})+F_4(S^0{}_{4i}/S^V{}_{Ei})+$$
$$+F_5(S^0{}_{5i}/S^V{}_{Ei})+F_6(S^0{}_{6i}/S^V{}_{Ei})+$$
$$+F_7(S^0{}_{7i}/S^V{}_{Ei}), \qquad (2)$$

де $F_3(S^G{}_{3i}/S^0{}_{Ei})$ – рішення про знаходження справного супутника поза зоною «видимості»; $F_4(S^0{}_{4i}/S^V{}_{Ei})$ – рішення про несвоєчасне перемикання на справний резервний передавач, при відмові основного передавача «видимого» супутника; $F_5(S^0{}_{5i}/S^V{}_{Ei})$ – рішення про відмову системи контролю при несправному передавачі «видимого» супутника; $F_6(S^0{}_{7i}/S^V{}_{Ei})$, $F_7(S^0{}_{6i}/S^V{}_{Ei})$ – рішення про відмову системи контролю або перевищення припустимого рівня ймовірностей помилок контролю, що приводить до порушення рівня цілісності системи «видимого» супутника відповідно;

$F_3(S^G{}_{3i}/S^0{}_{Ei})=F_3(S^0{}_{Ei},S^G{}_{Ai},S^G{}_{Ni},S^G{}_{Ki})$;

$F_4(S^0{}_{4i}/S^V{}_{Ei})=F_4(S^V{}_{Ei},S^0{}_{Ai},S^G{}_{Bi},S^G{}_{Ni},S^G{}_{Ki},S^0{}_{Qi})$;

$F_5(S^0{}_{3i}/S^V{}_{Ei})=F_5(S^V{}_{Ei},S^0{}_{Ai},S^G{}_{Ni},S^0{}_{Ki})$;

$F_6(S^0{}_{6i}/S^V{}_{Ei})=F_6(S^V{}_{Ei},S^G{}_{Ai},S^0{}_{Ni},S^Y{}_{Ki})$;

$F_7(S^0{}_{7i}/S^V{}_{Ei})=F_7(S^V{}_{Ei},S^G{}_{Ai},S^0{}_{Ni},S^0{}_{Ki})$.

Для оцінки доступності можна використати граф переходів станів i-того супутника як джерела навігаційної інформації (рис. 2), складеного з обліком наведеного вище агрегативної моделі (рис. 1).

При цьому можна не враховувати стани системи у випадку відмови обох радіопередавачів внаслідок мізерно малої величини ймовірності подібної події.

Крім того, відсутність випромінювання сигналів, як правило, у достатньому ступені вірогідністю може бути виявлено наземним сегментом СНС і апаратурами споживача.

Імовірність того, що з урахуванням технічного стану i-й супутник із сузір'ї СНС буде доступний (рис. 2) можна представити у вигляді:

$$P(S^{GD}{}_i,t)=K_{Di}[P_{1i}(t)+P_{2i}(t)], \qquad (3)$$

де $K_{Di}=\begin{vmatrix}1, S_{Ei}=S^D_{Ei}\\ 0, S_{Ei}=S^0_{Ei}\end{vmatrix}$;

$P_{1i}(t)=P^G{}_{Ai}(t)P^G{}_{Ni}(t)P^G{}_{Ki}(t)$;

$P_{2i}(t)=P^0{}_{Ai}(t)P^G{}_{Ni}(t)P^G{}_{Ki}(t)P^0{}_{Qi}(t)$.

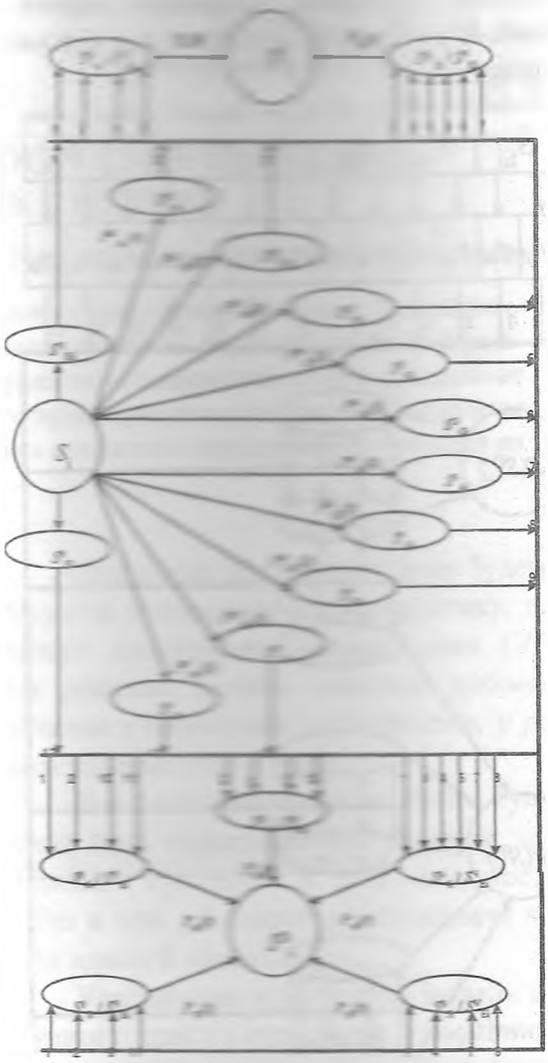

Рис. 2. Узагальнений граф станів i-того навігаційного супутника

Імовірність того, що з технічних причин i-й супутник із сузір'ї супутників СНС буде недоступний можна визначити вираз:

$$P(S^{0D}{}_i)=K_{Di}[P_{4i}(t)+P_{5i}(t)+P_{6i}(t)+P_{7i}(t)], \qquad (4)$$

де $P_{4i}(t)=P^0{}_{Ai}(t)P^G{}_{Ni}(t)P^G{}_{Ki}(t)P^0{}_{Qi}(t)$;

$P_{5i}(t)=P^0{}_{Ai}(t)P^G{}_{Ni}(t)P^0{}_{Ki}(t)$;

$P_{6i}(t)=P^G{}_{Ai}(t)P^0{}_{Ni}(t)P^G{}_{Ki}(t)$;

$P_{7i}(t)=P^G{}_{Ai}(t)P^0{}_{Ni}(t)P^0{}_{Ki}(t)$.

Складові виразів (3) (4) являють собою величини характеристик надійності елементів навігаційних апаратури i-того супутника (у цьому випадку $P^G{}_i(t)$ – «імовірність безвідмовної роботи» і $P^0{}_i(t)=1-P^G{}_i(t)$ – «імовірність відмови»). Тоді