

АЕРОКОСМІЧНІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ

0580.30
УДК 621.396

управление воздушным движением
обслуживание аэронавигационное,
характеристика сложной системы
система технологическая

В.П. Харченко, д-р техн. наук, проф.
(Національний авіаційний університет)
В.Г. Мелкумян, канд. техн. наук, доц.
(Національний авіаційний університет)

УЗАГАЛЬНЕНА ХАРАКТЕРИСТИКА СКЛАДНОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ АЕРОНАВІГАЦІЙНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОВІТРЯНОГО РУХУ

Розглянуто узагальнену модель складної технологічної системи аеронавігаційного обслуговування повітряного руху, яка може служити базовою при дослідженні структури і характеристик її елементів та алгоритмів їхньої взаємодії в процесі формування і надання "вихідної продукції" системи.

Система аеронавігаційного обслуговування (АНО) повітряного руху (АТS) є основною системою інформаційного забезпечення льотної діяльності та складною поліергатичною багатопараметричною системою [1].

Під обслуговуванням згідно з трактуванням ІСАО розуміють визначення функціональних обов'язків або обслуговування [2].

Структура системи АТS включає підсистеми (рис. 1):

- диспетчерського обслуговування повітряного руху (АТC) із рахуванням польотно-інформаційного обслуговування (FIS);
- метеорологічного обслуговування (MET);
- обслуговування аварійних та пошуково-рятувальних робіт;
- обслуговування системи аеронавігаційної інформації (SAI);
- інформаційно-технічного обслуговування;
- організаційного і ресурсного забезпечення.

Елементи системи АТS за структурою та характеристикою є технологічними системами (ТС), а сама система – складною технологічною системою (СТC) як система ієрархічно пов'язаних ТС, цілеспрямована взаємодія яких забезпечує досягнення основної мети створення (функціонування) складної системи.

Під терміном "технологічна система", трактування якого характерне для робіт в області дослідження виробничих структур, будемо розуміти сукупність функціонально взаємозалежних структур (елементів), що забезпечують цілеспрямовану взаємодію основних і допоміжних ресурсів та персоналу в рамках заданих (регламентованих) технологічних процесів, необхідних для досягнення основної мети функціонування (створення) системи.

Основною метою функціонування системи АТS як складної сервісної системи є забезпечення споживачів сукупністю визначених послуг з необхідними характеристиками. Тому така система відноситься до класу СТC сервісного типу [3]. Узагальнену структурну схему моделі СТC АТS наведено на рис. 2.

"Вихідною продукцією" системи АНО є послуги інформаційного забезпечення повітряного руху (ПР), вимоги до характеристик яких зазвичай визначаються заявками споживачів.

Вектор вимог заявок споживачів послуг $L(v)$ до характеристик послуги СТC АНО в загальному випадку можна подати у вигляді складеного функціонала:

$$L_{СТC}(v) = \{L(v(x,t), L(v(s,t)), L(v(t))\},$$

де $L(v(x,t), L(v(s,t)), L(v(t))$ – функціонали, які описують специфічні вимоги до груп характеристик послуги, формованої СТC АНО в рамках заявки v .

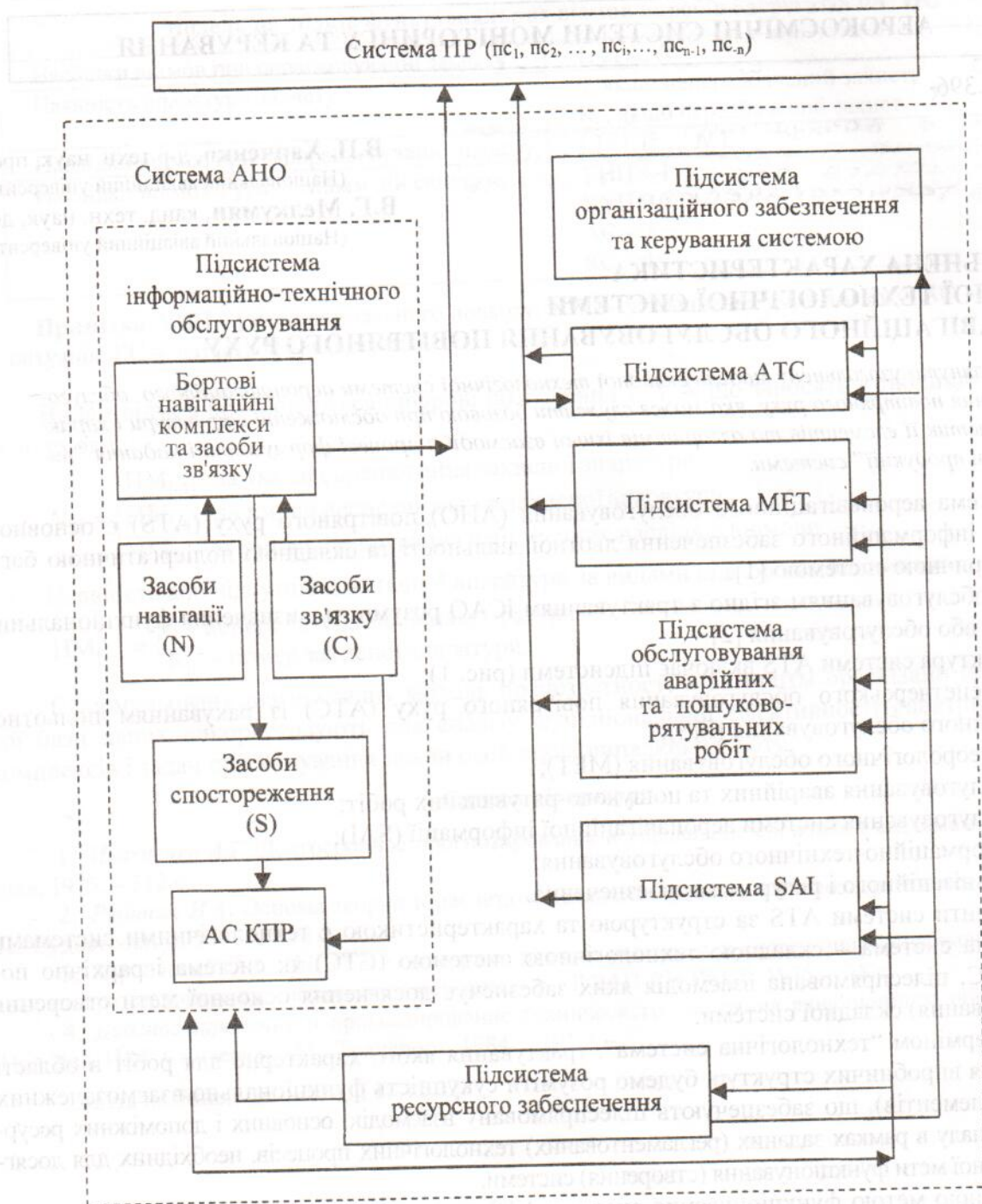


Рис. 1. Структура системи АТС

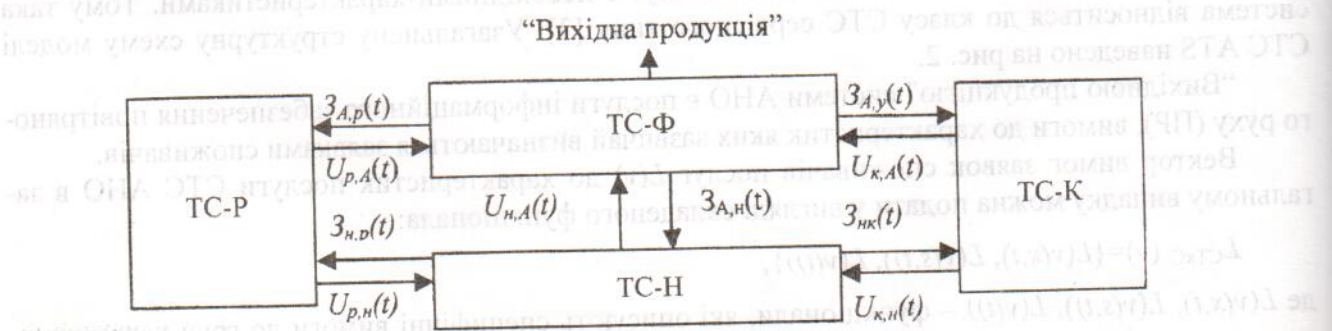


Рис. 2. Узагальнена структурна схема моделі CTC АТС

Під $L(v(x,t))$ можна припускати комплексні вимоги до кількісних і якісних характеристик послуги, під $L(v(s,t))$ – до характеристик координат місця надання послуги, під $L(v(t))$ – до часових характеристик тощо. Заявку вважають задоволеною, якщо виконується умова:

$$\begin{aligned} U(L_{CTXC}(v)) &\in D(v(x,s,t)); \\ D(v(x,s,t)) &= U(L(v(x,t))) \in D(v(x,t)); \\ L(v(s,t)) &\in D(v(s,t)); \quad L(v(t)) \in D(v(t)), \end{aligned}$$

де $U(\cdot)$ – характеристика наданих послуг; $D(\cdot)$ – фазовий простір допустимих значень характеристик заявленої послуги.

У сервісних СТС можна виділити основну групу ТС, яка знаходиться на верхньому ієрархічному рівні структури системи, і ТС ієрархічно нижчого рівня, які є сервісними відносно до основної групи ТС.

Група інших ТС виконує роль допоміжних структур системи, які забезпечують надійне функціонування СТС.

У моделі сервісної СТС АТС (рис. 2) до першої групи належать ТС формування і надання послуг інформаційного забезпечення ПР (ТС-Ф). Технологічні системи нормативно-правового забезпечення (ТС-Н), організаційного забезпечення та керування процесами в системі (ТС-К), своєчасного забезпечення необхідними ресурсами функціонування системи (ТС-Р) є сервісними відносно до ТС АЕО.

Модель СТС АТС є сукупністю ієрархічно пов'язаних ТС із потоками заявок і відповідних послуг, які циркулюють поміж ними. Тому взаємодію ТС у рамках системи також можна зобразити у вигляді процесів формування заявок $Z(\cdot)$ і надання послуг $U(\cdot)$, де споживачем послуг є ТС, які знаходяться на більш високому ієрархічному рівні структури системи.

У обсязі прийнятої моделі у загальному вигляді опис процесів, які відбуваються в СТС АНО, можна подати такою спрощеною схемою: подія – рішення – дія.

Під подією розуміють появу різних збурень із детермінованими і (або) стохастичними характеристиками. У СТС АТС до подій можна віднести надходження заявок на послуги, виникнення чинників, дестабілізуючих роботу елементів ТС, виникнення необхідності поповнення ресурсів, упровадження ефективних технологій, раціональних технологічних процесів тощо.

Рішення передбачає вибір стратегій, методів і технологій для забезпечення необхідної якості функціонування СТС АТС за умови появи подій певного виду. Під дією розуміють реалізацію прийнятих рішень і процесів усунення дестабілізуючих чинників.

За стаціонарних умов функціонування СТС АНО характеристики процесів формування і надання послуг, як правило, регламентовано. Заявки певного класу існують у разі регламентованого процесу формування і надання заявлених послуг. У цьому випадку спрощену схему опису динаміки процесів у СТС АТС можна трансформувати й подати у вигляді схеми: стан – рішення – дія.

У цьому випадку під станом слід розуміти потенційну здатність системи виконувати покладені на неї функції. Залежно від стану системи під рішенням і дією слід розуміти процеси вибору і реалізації певного набору керуючих впливів на елементи системи, необхідні й достатні для підтримки і відновлення певного рівня якості її функціонування.

Стан системи в загальному випадку можна оцінити вектором параметрів, що визначають якість функціонування елементів СТС:

$$S(x,t) = \varphi(x_i,t), \quad i = \overline{1,n},$$

де $S(x,t)$ – вектор станів елементів системи в момент t ; x_i – сукупність параметрів i -го елемента, що визначає якість його функціонування; n – кількість елементів системи.

З погляду забезпечення необхідного рівня якості функціонування потенційна здатність СТС виконувати покладені на неї функції в момент часу t може бути оцінена за двохальтернативною класифікацією стану системи:

$$S(x,t) = \begin{cases} S_U(x,t), k(S) = 1; \\ S_{\bar{U}}(x,t), k(S) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

де $S_U(x,t)$ – вектор стану системи з потенційною можливістю формування і надання заявленої послуги; $S_V(x,t)$ – вектор стану системи, коли не виконується заявка на послуги або “вихідна продукція” СТС не відповідає вимогам до заявки; $k(S)$ – індикаторна функція типу:

$$k(S) = \begin{cases} 1, & x_i \in D(x_i), i = \overline{1, n}; \\ 0, & x_i \notin D(x_i), i = \overline{1, n}, \end{cases} \quad (2)$$

де $D(x_i)$ – область допустимих значень вектора параметрів i -го елемента СТС, в якій забезпечується необхідний рівень якості функціонування системи.

Оцінювання операторів опису процесів формування рішення і їхніх реалізацій $F(S,t)$ і $R(F,t)$ з урахуванням виразу (1) можна здійснювати за системою

$$F(S,t) = \begin{cases} F_T(S,t), & S(x,t) = S_U(x,t); \\ F_B(S,t), & S(x,t) = S_V(x,t); \end{cases} \quad (3)$$

$$R(F,t) = \begin{cases} R_T(F,t), & F(S,t) = F_U(S,t); \\ R_B(F,t), & F(S,t) = F_V(S,t), \end{cases} \quad (4)$$

де $F_T(S,t)$, $R_T(F,t)$ – оператори, які описують процеси вибору і реалізації технології формування і надання заявленої послуги; $F_B(S,t)$, $R_B(F,t)$ – оператори опису процесів функціонування і реалізації керуючих впливів на елементи СТС з метою відновлення потенційної здатності системи виконувати покладені на неї функції.

Динаміка процесів СТС АНО з урахуванням виразів (2), (3) і (4) може бути описана в рамках процесів зміни поточних значень її узагальнених характеристик у фазових просторах взаємозалежних областей S_Ω , F_Ω і R_Ω . Для зручності зводимо ці області до тривимірної координатної системи з осями S , F , і R (рис. 3).

На площинах координатної системи S , F і R можна виділити області $D(S_\Omega)$, $D(F_\Omega)$ і $D(R_\Omega)$, де СТС забезпечує формування і надання заявлених послуг.

У тривимірному просторі завжди можна знайти точку $\eta(S, F, R)$, яка характеризує поточний стан динаміки процесів у СТС АТС, а також її відповідні проекції на площині S_Ω , F_Ω і R_Ω . При цьому кожній точці $\eta(S_i)$ в області $D(S_\Omega)$ повинні відповідати точки $\eta(F_i)$ і $\eta(R_i)$ в областях $D(F_\Omega)$ і $D(R_\Omega)$:

$$\eta_0(S, F, R, t) = \begin{cases} \eta_1(\eta(S) \in D(S_\Omega), \eta(F) \in D(F_\Omega), \eta(R) \in D(R_\Omega)), P_1(t); \\ \eta_2(\eta(S) \notin D(S_\Omega), \eta(F) \in D(F_\Omega), \eta(R) \in D(R_\Omega)), P_2(t); \\ \eta_3(\eta(S) \in D(S_\Omega), \eta(F) \notin D(F_\Omega), \eta(R) \in D(R_\Omega)), P_3(t); \\ \eta_4(\eta(S) \in D(S_\Omega), \eta(F) \in D(F_\Omega), \eta(R) \notin D(R_\Omega)), P_4(t); \\ \eta_5(\eta(S) \notin D(S_\Omega), \eta(F) \in \eta_\gamma(F_\Omega), \eta(R) \in \eta_\gamma(R_\Omega)), P_5(t); \\ \eta_6(\eta(S) \notin D(S_\Omega), \eta(F) \in \eta_B(F_\Omega), \eta(R) \in \eta_B(R_\Omega)), P_6(t). \end{cases}$$

На рис. 4 наведено граф динаміки (зміни) станів СТС АТС у прийнятій системі координат. Динамічний стан $\eta_1(\cdot)$ з імовірністю $P_1(t)$ забезпечує необхідну якість функціонування, коли характеристики наданої послуги $U(\cdot)$ відповідають вимогам, сформованими заявкою на послуги. Стани $\eta_2(\cdot)$ – $\eta_4(\cdot)$ призводять до виходу значень характеристик наданих послуг за допустимі границі внаслідок порушення необхідного рівня якості функціонування елементів системи $\eta(S)$, прийняття помилкових рішень $\eta(F)$ або порушення технології формування і (або) надання $\eta(R)$ заявленої послуги.

Наприклад, у процесі інформаційного забезпечення системи керування ПР (КПР) під станом $\eta_2(\cdot)$ можна розуміти помилкове виявлення цілі з імовірністю $P_2(t) = P_L(t)$, під $\eta_3(\cdot)$ – пропускання цілі з імовірністю $P_3(t) = P_C(t)$, під $\eta_4(\cdot)$ – порушення технології КПР диспетчером тощо. Стан $\eta_5(\cdot)$ характеризує процес відновлення необхідного рівня якості функціонування СТС формуванням і реалізацією відповідного набору керуючих впливів.

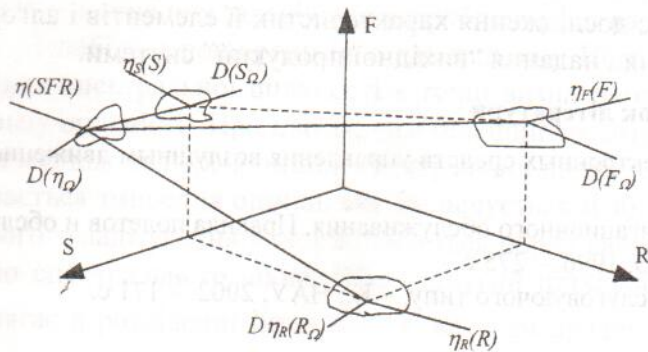


Рис. 3. Координатна система SFR

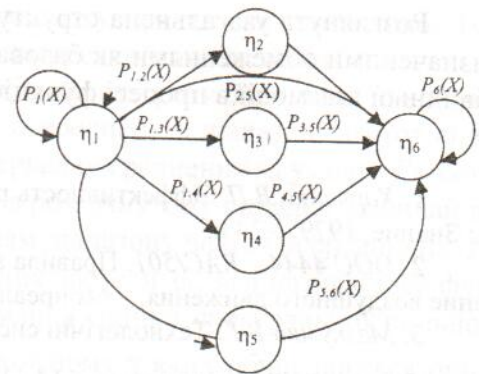


Рис. 4. Граф станів СТС

У випадку $\eta_6(\cdot)$, коли відновлення стану $\eta_1(\cdot)$ неможливе або недоцільне через необхідність корінної структурної реконструкції СТС, система припиняє своє подальше функціонування або перепрофілюється, тобто потрібна зміна координатної системи SFR.

Множини точок у фазовому просторі станів СТС $D(S_\Omega)$, $D(F_\Omega)$ і $D(R_\Omega)$ можуть розглядатися як області обмежень або допустимих значень характеристик алгоритмів оцінювання стану $S(x,t)$, прийняття рішень $F(S,t)$ і реалізації $R(F,t)$, необхідних і оптимальних з погляду ефективності керуючих впливів.

Задача сервісної системи полягає в забезпеченні умов для задоволення вимог потенційних споживачів до ознак запропонованих послуг із можливо найменшими додатковими витратами.

Характеристики заявки ТС-Ф на інформацію залежно від ділянки маршруту польоту і зони КПП, а також вимоги до складових опису інформації апріорно відомі. Їх визначають на основі технологій літаководіння й КПП і зазвичай фіксують у відповідній нормативній документації галузі. Тому ефективність функціонування СТС АТС визначають за оцінкою здатності її основної ланки – ТС-Ф – виконувати функції протягом визначеного проміжку часу, тобто за показниками надійності: коефіцієнтом готовності, коефіцієнтом оперативної готовності, середнім часом напрацювання системи на зрив виконання заявки, середнім часом відновлення працездатності системи тощо. При цьому має забезпечуватися необхідний рівень безпеки і регулярності польотів:

$$P_{AO}(t) = F(K_{AO}(t)),$$

де $P_{ao}(t)$, $K_{AO}(t)$ – показники безпеки ПР (у частині АО) і надійного функціонування системи відповідно.

Структура системи АТС у різних зонах КПП і на окремих етапах маршруту польоту повітряного судна (ПС) у загальному випадку має детермінований характер і визначається згідно з нормативною документацією галузі. Тому з урахуванням функціональної значущості елементів детермінованої конфігурації системи РТЗ на j -й ділянці маршруту польоту (або в зоні КПП) як узагальнений показник СТС АНО можна використовувати значення ймовірності виконання (у частині АНО) задачі забезпечення безпеки та регулярності ПР:

$$P_j^{AO}(t) = \int_{\Omega_i} \int_{\Omega_j} P_{ij}^{AEO}(t) dt, \quad i = \overline{1, L}, j = \overline{1, N},$$

де $P^{AO}(t)$ – ймовірність забезпечення безпеки та регулярності ПР системою АТС на j -й ділянці маршруту польоту ПС (або в зоні КПП); $P_{ij}^{AEO}(t)$ – характеристика надійного функціонування i -ї системи АТС на j -й ділянці маршруту польоту ПС (або зоні КПП); L – кількість систем АТС, використовуваних для інформаційного забезпечення ПР на j -й ділянці маршруту польотів ПС (або в зоні КПП); N – кількість ділянок маршруту польоту ПС (зон КПП).

Ефективність роботи всієї системи, очевидно, залежатиме від якості функціонування й ефективності взаємодії окремих ТС.

В узагальненому вигляді ефективність системи можна визначити за виразом

$$E_C = f(z, t),$$

де $f(\cdot)$ – функція ефективності ланок системи; z – вектор вихідних характеристик ланок системи.

Розглянута узагальнена структурна схема моделі СТС АТС ПР може використовуватися з визначеними обмеженнями як базова під час дослідження характеристик її елементів і алгоритмів їхньої взаємодії в процесі функціонування і надання "вихідної продукції" системи.

Список літератури

1. Харченко В.П. Эффективность радиоэлектронных средств управления воздушным движением. – К.: Знание, 1979. – 24 с.
2. DOC 4444 – RAC/501. Правила аэронавигационного обслуживания. Правила полетов и обслуживание воздушного движения. – Монреаль: ИКАО, 1996. – 275 с.
3. Мелкумян В.Г. Технологічні системи обслуговуючого типу. – К.: НАУ, 2002. – 171 с.

Стаття надійшла до редакції 14.11.02.

052 - 082.022.1 + 052 - 015

УДК 629.735.015:681.3

уваження ЛА, деяке утворення
характеристика динамічна
полет ЛА

О.П. Кривоносенко, канд. техн. наук, доц.
(Національний авіаційний університет)
О.М. Савінов, канд. техн. наук, доц.
(Національний авіаційний університет)
О.А. Сущенко, канд. техн. наук, доц.
(Національний авіаційний університет)

МЕТОДОЛОГІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВИЗНАЧЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КУТОВОГО ЗБУРЕНОГО РУХУ ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА

Визначено методологію отримання динамічних характеристик кутОВОГО збуреного руху літального апарата в умовах реальної експлуатації. Наведено результати первинної обробки результатів льотного експерименту у вигляді графічних залежностей. Здійснено аналітичну апроксимацію та отримано моделі спектральних та взаємно-спектральних щільностей навігаційних сигналів.

На сучасному етапі розвитку авіаційного обладнання вимоги до точності вимірювання параметрів руху літальних апаратів значно зростають. Для розв'язання цієї проблеми потрібно створювати математичні моделі навігаційних сигналів, тобто визначати їхні динамічні характеристики, наприклад, у вигляді спектральних та взаємно-спектральних щільностей. Використання отриманих моделей дозволяє значно підвищити ефективність розв'язання задач комплексування, оптимальної фільтрації та структурної ідентифікації. Наявність динамічних характеристик реального кутОВОГО збуреного руху літального апарата гарантує розв'язання задачі синтезу багатовимірних систем управління, в тому числі систем стабілізації стійких стохастичних коливань літального апарата відносно центра мас, на найвищому рівні [1]. Отже, оцінювання спектральних та взаємно-спектральних щільностей є необхідною складовою досягнення високої якості проектування сучасних систем управління складними багатовимірними динамічними об'єктами.

Навігаційні сигнали, які характеризують кутове положення літального апарата в турбулентній атмосфері, є випадковими в загальному випадку і стаціонарними у стійких режимах польоту. Тому їх визначення може здійснюватися лише за умови статистичної обробки результатів вимірювань та достатньо тривалих у часі режимів польоту. Недотримання цих вимог може призвести до необхідності повторення льотного експерименту, що потребує значних фінансових витрат.

Визначення спектральної щільності є складною, але досить розробленою в цей час задачею. Складність розв'язання зазначеної задачі виникає внаслідок того, що спектральна щільність кутОВОГО руху літального апарата під час багаторазових випробувань визначається не тільки як певна осереднена в часі характеристика випадкового процесу, але й як осереднена функція частоти ω . Остання функція випадково змінюється біля свого математичного сподівання, тобто дисперсія в цьому випадку не є нульовою. Звідси виникає необхідність осереднення випадкового процесу, який аналізується, за множиною реалізацій.