

УДК 004.3(045)

Антіпов А.О.,
Красовська Є.В.

АНАЛІЗ ПРОБЛЕМ ПРОДУКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ПРИ ПРОЕКТУВАННІ БОРТОВИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Національний авіаційний університет

Подано змістовний опис процесу функціонування бортових обчислювальних систем, проведено аналіз можливих варіантів їх організації і методів дослідження, визначено завдання етапів проектування, показники та критерії якості

Актуальність теми

Складність бортового обладнання літальних апаратів (ЛА) та необхідність удосконалення як якісних, так і кількісних характеристик авіаційної техніки, приводить до необхідності розробки відповідних засобів автоматизації проектування та дослідження структур бортових обчислювальних систем (БОС) і процесів їх функціонування.

Клас сучасних БОС пілотажно-навігаційних комплексів (ПНК) удосконалюється на основі використання обчислювальної техніки з метою поліпшення характеристик по швидкодії, надійності, функціонуванню, вазі, габаритам.

Формулювання мети

Метою є подальший розвиток методів проектування БОС, визначення ефективних варіантів їх організації з урахуванням показників якості, дослідження і розробка моделей, алгоритмів, що дозволяють істотно поліпшити характеристики авіаційних обчислювальних систем (ОС) на основі застосування аналітичних методів і імітаційного моделювання.

Постановка завдання

Для досягнення поставленої мети необхідне вирішення наступних завдань:

1. Вибір можливих варіантів організації процесу функціонування БОС.
2. Визначення основних системних рівнів моделювання і виявлення їх зв'язків з етапами і завданнями проектування.
3. Розробка методики формалізованого подання даних по структурі БОС, а також характеристикам обчислювальних процесів і їх параметрам.

4. Визначення системи показників якості обчислювальних процесів в БОС.

5. Розробка моделей дослідження процесу функціонування БОС для розглянутих груп показників якості.

6. Дослідження можливих варіантів організації БОС і визначення рекомендацій по їх практичному застосуванню.

Загальна структура і характер завдань, що вирішує БОС

Структура діючої БОС ПНК подана на рис. 1. Кожна ЕОМ, що входить до її складу може включати два процесори. Кожен процесор може знаходитися в одному з наступних станів: вільний, зайнятий обробкою операцій введення, зайнятий обробкою обчислювальної операції, зайнятий обробкою операції виведення, зайнятий обробкою програм операційної системи.

Алгоритм функціонування БОС носить циклічний характер. При цьому набір програм, що виконуються на різних циклах, може змінюватись, оскільки змінюються режими польоту, а також завдання і функції, що виконуються керуваними підсистемами в різні моменти системного часу. Загальною властивістю будь-якого циклу виконання програм є виділення чотирьох фаз:

- введення всієї необхідної інформації, потрібної для роботи системи;
- ухвалення рішення про те, які завдання виконуватимуться на даному циклі роботи системи;
- вирішення обчислювальних завдань управління;
- видача управляючих дій або результатів розрахунку зв'язаним системам.

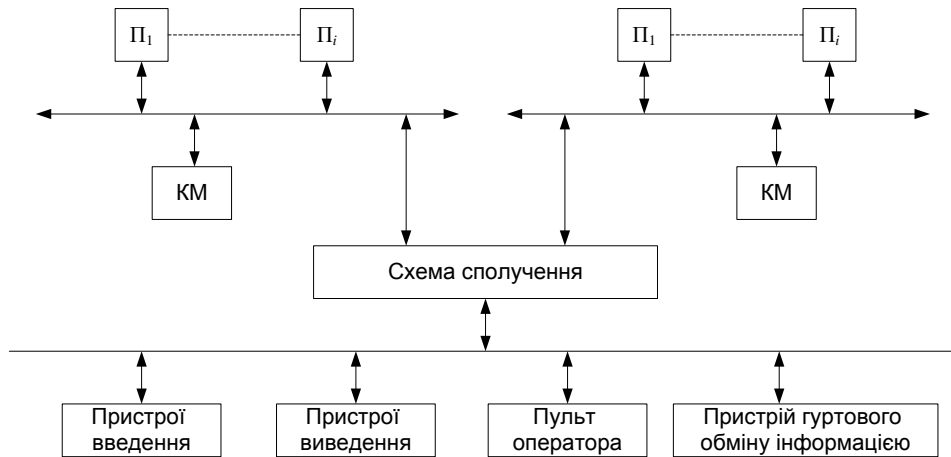


Рис. 1. Структура БОС: П – процесор, КМ – контролер магістралі

Є обмеження на час циклу вирішення завдань, яке визначається типом ЛА, фазою польоту, характеристиками точності літаководіння.

В процесі функціонування системи спостерігаються збої і відмови. В результаті кожен пристрій може знаходитися в одному з трьох станів: нормальне функціонування, відмова, функціонування за наявності збою.

Відмови та збої у свою чергу можуть бути виявленими і невиявленими. З метою виявлення відмов і збоїв в БОС введені засоби самоконтролю, серед яких можна виділити:

- апаратні, що забезпечують виявлення відмов і збоїв за допомогою вбудованих в пристрої апаратних засобів;
- програмні, що дозволяють провести виявлення збоїв і відмов за допомогою спеціальних підпрограм;
- системні, що дозволяють провести виявлення збоїв або відмов з використанням структурного резервування.

Враховуючи напрям на дослідження характеристик функціонування БОС за наявності відмов, кожен пристрій може бути охарактеризований за допомогою пари $(K_{\text{охоп}}, P_{\text{виявл}})$. Де $K_{\text{охоп}}$ – відношення інтенсивності відмов частини обладнання пристрою, охопленого контролем, до загальної інтенсивності відмов пристрою [1], $P_{\text{виявл}}$ – вірогідність виявлення відмови засобами апаратного контролю при-

строю. Тоді вірогідність виявлення відмови засобами апаратного контролю

$$P_v = K_{\text{охоп}} * P_{\text{виявл}}$$

Аналіз опису процесу функціонування БОС дозволяє зробити висновок про необхідність дослідження тимчасових показників функціонування БОС і надійності на різних етапах її проектування.

До завдань етапу математичного проектування БОС, основною метою якого є визначення технічного завдання (ТЗ), слід віднести:

1. Обґрунтування вибору структури, варіанту організації, архітектури БОС.
2. Обґрунтування вибору складу технічних засобів.
3. Дослідження варіантів організації БОС з урахуванням часових характеристик, надійності.
4. Обґрунтування вибору системи самоконтролю БОС.

До дослідницьких завдань етапу технічного проектування слід віднести:

1. Дослідження часових характеристик можливих варіантів конкретної технічної реалізації БОС.
2. Дослідження показників надійності можливих варіантів конкретної технічної реалізації БОС.
3. Дослідження впливу показників функціонування БОС на характеристики функціонування ПНК в цілому.

Вирішення завдань етапу технічного проектування може бути забезпечене з використанням спеціалізованих моделей і

комплексної моделі системи, що дозволяє провести дослідження з урахуванням вибраних технічних рішень.

В даний час можна виділити наступні основні особливості організації архітектури для класу відмовостійких ОС:

1. Резервування апаратних вузлів із застосуванням мажоритарної логіки для вибору правильно функціонуючих модулів. Класичним зразком системи даного класу є система *FTMP* (високонадійний відмовостійкий мультиплексор для керування літаком) [2].

2. Використання систем програмного забезпечення, стійких до збоїв і відмов. Характерним представником даного класу систем є система *SIFT* (програмне забезпечення (ПЗ), стійке до відмов) [3].

3. Використання архітектури, що стійка до однієї відмови будь-якого апаратного вузла, забезпечують можливість заміни вузла, що відмовив, в процесі функціонування ОС. Класичним прикладом системи з такою архітектурою є система *NONSTOP* [4, 5]. Вона забезпечує кращі характеристики за критерієм продуктивність/вартість по співвідношенню до інших варіантів організації відмовостійких систем. Тут третій вузол архітектури з резервуванням вузлів і мажоритарною логікою 2 з 3-х замінюється системою контролю двох вузлів, дублюючих роботу один одного.

4. Модульний ієрархічний підхід до організації системи. В цьому випадку виділяють рівні обробки інформації (збір даних, обробка стандартних сигналів, обробка стандартних видів даних, остаточна обробка даних, індикація та ін.). Для обробки функцій виділяють окремі модулі, забезпечені спеціальними засобами збільшення ефективності і надійності.

Показники якості функціонування БОС ПНК

Для дослідження варіантів організації БОС ПНК множина показників якості може бути зведена до наступних класів [6]:

1. Часові.
2. Показники надійності.

3. Показники контролю функціонування і реконфігурації.

4. Економічні.

Основним часовим показником функціонування, який визначається ТЗ на БОС, є час циклу вирішення завдань управління системою (T_y). Обмеження на якийсь час циклу вирішення завдань визначаються типом ЛА. Для важких транспортних ЛА допустимий час приблизно дорівнює 0,5 с; для середніх – 0,1 с; для легких – 0,01 с. У системі *SIFT* обмеження на час циклу вирішення завдань визначаються також залежно від типу завдання (кожному типу відповідає своя частота рішення). Зменшення часу циклу вирішення завдань дозволяє збільшити точність функціонування БОС ПНК.

Для оцінки якості організації системи використовуються також характеристики різних типів завдань [1]: час, витрачений на виконання програм управління ($T_{упр}$); час, витрачений на виконання програм введення ($T_{вв}$); час, витрачений на виконання програм виведення ($T_{вив}$); час, витрачений на виконання програм диспетчеризації (T_d); час, витрачений на виконання програм самоконтролю ($T_{сам}$); час, витрачений на виконання програм реконфігурації ($T_{рек}$).

Важливе значення може мати також визначення вірогідності перебування системи в різних станах:

- обмеженого функціонування, коли система не здатна вирішувати сервісні завдання в результаті збоїв і відмов ($P_{обм}$);
- неприпустимого функціонування, коли не забезпечується вирішення основних завдань, а відмова або збій невиявлені (P_n);
- виявленої відмови, коли функціонування системи продовжується за умови виявлення відмови або збою ($P_{виявл}$);
- невиявленої відмови ($P_{нев}$).

Для аналізу причин збільшення часу обробки використовуються коефіцієнти завантаження пристроїв, часи очікування, транзитні часи перебування заявок на різних ділянках структурної схеми або гілок процесів.

Основними показниками надійності функціонування, що визначається ТЗ на БОС, є:

- середній час напрацювання на відмову у польоті ($T_{\text{відм}}$);

- вірогідність відмови за час перебування у польоті ($P_{\text{відм}}$).

Час перебування у польоті, як правило, визначається рівним 1 годині, 5 годинам, 10 годинам. Вибір середнього часу напрацювання на відмову визначається з урахуванням прийнятої системи обслуговування літака (з відновленням пристроїв, що відмовили, або підсистем, обслуговування по стану, робота до чергового капітального ремонту та ін.).

До показників контролю функціонування і реконфігурації відносяться;

- вірогідність виявлення відмови засобами самоконтролю ($P_{\text{виявл}}$);

- середній і максимальний час виявлення відмови ($T_{\text{виявл_сер}}$, $T_{\text{виявл_макс}}$);

- середній і максимальний час реконфігурації ($T_{\text{рек_сер}}$, $T_{\text{рек_макс}}$).

До основних економічних показників слід віднести: вартість БОС, вартість експлуатації, вартість розробки.

Слід враховувати можливість впливу одних показників на інші. Як критерій ухвалення рішення, використовується мінімум вартості БОС при виконанні обмежень за іншими показниками.

Методи дослідження показників якості

З метою дослідження показників якості слід виділити наступні рівні опису процесу функціонування ОС:

Рівень системи. В цьому випадку при описі апаратного забезпечення як елементи вибирають ЕОМ, засоби їх сполучення (наприклад, канали зв'язку), функціональні модулі, як які можуть бути вибрані багатопроекторні обчислювачі. А при описі ПЗ елементами є програми, підпрограми, мови програмування. На цьому рівні вирішуються завдання сполучення окремих ЕОМ в систему.

Рівень ЕОМ. Тут при описі апаратного забезпечення як елементи вибираються окремі пристрої ЕОМ. При описі

ПЗ як елементи вибирають програми, підпрограми, операції мов програмування, мікропрограми.

Рівень пристроїв ЕОМ. На цьому рівні елементами є блоки: реєстри, тригери, контролери, компаратори і ін. Опис процесів функціонування окремих пристроїв визначається особливостями їх організації. Як засоби опису можуть бути використані позначення єдиної системи програмної документації (ЄСПД), апарат теорії кінцевих автоматів, логічні функції та ін.

Рівень блоків. Засоби опису функціонування в цьому випадку аналогічні засобам, перерахованим при описі попереднього рівня.

Серед основних принципів формалізації обчислювальних процесів на перших двох рівнях опису слід виділити наступні:

1. Використання ЄСПД.

2. Принципи формалізації, засновані на використанні теорії множин.

3. Принципи формалізації, засновані на використанні теорії графів [7, 8].

4. Використання агрегатів.

5. Використання табличних принципів опису обчислювальних процесів.

6. Використання універсальних мов моделювання (*GPSS*, *UML* та ін.).

7. Формалізація функціонування системи як реактивної.

8. Використання засобів і методів теорії штучного інтелекту (семантичні мережі, фреймові моделі та ін.).

Основними вимогами до вибору методу формалізації є:

- простота, оскільки терміни на збір інформації по системі, як правило, обмежені;

- використання природної мови, оскільки на етапі збору інформації бере участь велика кількість фахівців в різних областях знань;

- простота переходу від формалізованого опису до моделі;

- наочність.

Аналіз з використанням вказаних вимог розглянутих принципів опису обчислювальних процесів дозволяє вибрати

застосування схем міжпроцесорних зв'язків як основний засіб формалізації функціонування БОС.

На різних етапах проектування БОС для дослідження тимчасових характеристик можуть бути використані моделі наступних класів: моделі, що враховують особливості виконання різних видів операцій, комплексні імітаційні моделі.

Такі моделі використовуються, як правило, на ранніх етапах проектування. Вони враховують загальні особливості структури системи. Обчислювальні процеси представляються у вигляді послідовності фаз обробки інформації процесорами і роботи периферійного устаткування, що чергується. В більшості випадків для дослідження використовується апарат теорії масового обслуговування [9]. На підставі досліджень проводиться вибір параметрів структури, алгоритмів диспетчеризації, рівня мультипрограмування, типів ЕОМ і процесорів.

Розрахунок надійності БОС у польоті проводиться по методиці, прийнятій для непоновлювальних систем. Серед основних моделей дослідження надійності слід виділити: використання функцій алгебри логіки, використання перетворення Порецького, матричний метод, імітаційне моделювання.

При виборі методу дослідження слід враховувати, що БОС відноситься до класу структурно-складних систем. Складність завдання оцінки надійності швидко збільшується із зростанням розмірності. В результаті для даного класу систем дослідження виявляються утруднені для випадковий, коли до складу системи входить 20 елементів і більш. Тоді використовують припущення, які зрештою загрублюють результати досліджень.

Враховуючи швидке зростання продуктивності і потужності сучасних комп'ютерів, зростає значення імітаційного моделювання.

Забезпечення достовірності результатів є необхідною складовою частиною будь-якого дослідження.

Складові похибки моделювання:

1. Похибка початкових даних моделювання. Початкові дані моделювання можуть бути задані у вигляді детермінованих величин, що не мають погрешності або визначених із заданою точністю; величин, що є оцінками знизу або зверху; у вигляді законів розподілів або моментів законів розподілів; у вигляді коефіцієнтів (наприклад, коефіцієнтів відносної продуктивності, що визначаються різними комітетами, забезпечують оцінку продуктивності процесорів (*SPEC, Linpack* і ін.).

2. Агрегатна похибка. Повинно бути забезпечено взаємно однозначна відповідність станів, подій, ситуацій і реакцій реальної системи і моделі.

3. Інструментальна складова. Визначається величиною розрядної сітки ЕОМ і похибкою генерації випадкових чисел. В основному дана складова визначається похибкою генерації випадкових чисел. Як правило, генератор випадкових чисел повинен забезпечувати послідовність незалежних випадкових чисел, що не повторюються, із заданим законом розподілу [10]. Перевірка правильності роботи генераторів проводиться за допомогою спеціальної, такої, що враховує специфічні особливості експерименту, системи тестів.

4. Методична складова похибки, визначається похибкою використовуваних при моделюванні методів.

5. Статистична складова похибки. Визначається видом вироблюваних оцінок (інтервальні, точкові [11, 12]), Як правило, при дослідженні за допомогою імітаційних: моделей застосовують інтервальні оцінки. В цьому випадку оцінка достовірності включає дві складових; довірчий інтервал, в якому знаходиться значення випадкової величини; довірчу вірогідність, що визначає вірогідність попадання випадкової величини в довірчий інтервал

6. Похибку, що визначається допущеннями моделювання. Допущення залежать від мети дослідження (наприклад, оцінка на якнайгірший випадок, оцінка середнього, оцінка найбільш вірогідного

значення і ін.) або обмеженнями використуваних методів дослідження (наприклад, згладжування реальних законів розподілу спеціальними розподілами).

Висновки

1. Проведено аналіз можливих варіантів організації авіаційних відмовостійких ОС.

2. Визначена множина показників якості і критерій проектування БОС.

3. Проведений аналіз можливих методів формалізації обчислювальних процесів БОС.

4. Визначені основні завдання по дослідженню надійності БОС.

5. Визначена методика формалізації засобів контролю обчислювального процесу БОС.

Як основний метод дослідження слід вибрати метод імітаційного моделювання. Даний метод дозволяє на єдиній методологічній основі проводити дослідження для всіх розглянутих класів показників, враховує складну алгоритмічну складову обчислювальних процесів і відрізняється простотою формалізації.

Як математична основа опису обчислювальних процесів слід вибрати опис у вигляді кусочно-лінійного агрегату. Даний опис є достатньою формою для дослідження розглянутих класів показників. Він може бути використаний для обґрунтування агрегатної погрішності на всіх етапах створення і експлуатації моделі (формалізованому описі, її розробки, відладки, аналізі результатів).

Повинно бути забезпечене узгодження етапів формалізованого опису даних по системі і розробки моделі. Для цього в якнайкращому ступені підходить початковий опис даних по системі у вигляді схеми міжпроцесних зв'язків.

Список літератури

1. *Барбашов Е.Л.* Исследование вариантов самоконтроля многопроцессорного вычислительного комплекса / Е.Л. Барбашов, Л.В. Власов, Д.Н. Колесников // Вычислительные, измерительные и

управляющие системы. – 1985. – № 2. – С. 12–15.

2. *Хорошевский В.Г.* Инженерный анализ вычислительных машин и систем. / В.Г.Хорошевский. – М.: Радио и связь, 1986. – 255с.

3. *Ф. Харари.* Теория графов /Ф. Харари. – М.: Мир, 1973. – 341 с.

4. *Месарович М.* Общая теория систем. Математические основы / М.Месарович, Я.Такахара. – М.: "Мир", 1978. – 312 с.

5. *Халявка А.* OS-9 / А. Халявка // Современные технологии автоматизации. – 1997. – № 2. – С. 14–15.

6. *Журавлев Ю.П.* Надежность и контроль ЭВМ / Ю.П. Журавлев, Л.А. Котелюк, Н.И. Циклинский. – М.: Советское радио, 1978. – 415 с.

7. *Буч Г.* Объектно-ориентированный анализ и проектирование с примерами приложений на С++ / Г. Буч. – [2-е изд.]. – М.: Издательство Бинум, СПб: Невский диалект, 1998. – 560 с.

8. *Ч. Чень.* Математическая логика и автоматическое доказательство теорем / Ч. Чень, Р. Чи. – М.: Наука, 1983. – 516 с.

9. *Сабинин О. Ю.* Статистическое моделирование технических систем / О.Ю.Сабинин. – СПб.: Изд. ЭТУ, 1993. – 64 с.

10. *Советов Б.Я.* Моделирование систем / Б.Я. Советов, С.А. Яковлев – [2-е изд.]. – М.: Высшая школа, 1998. – 319 с.

11. *Оводенко А.А.* Бортовая радиоэлектронная аппаратура / А.А. Оводенко, Е.И. Култыев, А.Л. Шелета. – М.: Изд. МПИ, 1989. – 324 с.

12. *Смирнов Н.Н.* Техническая эксплуатация самолетов за рубежом / Н.Н. Смирнов, Ю.М. Чинючин. – М.: МИИГА, 1996. – 111 с.

Подано до редакції 24.12.2010