

УДК 629.7.06 (082)

Д.Г. Васильєв<sup>1</sup>, О.В. Коломійцев<sup>2</sup>, М.К. Петерін<sup>1</sup>, С.В. Ратушний<sup>1</sup><sup>1</sup> Державний науково-випробувальний центр Збройних Сил України, Феодосія<sup>2</sup> Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків

## ПІДХОДИ ДО ПОБУДОВИ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЦИФРОВИХ АВІАЦІЙНИХ ТРЕНАЖЕРІВ

Сформульовано задачі, які повинні бути вирішені за допомогою прикладного (спеціального) програмного забезпечення. Розглянуто переваги модульного програмування, принципи розробки уніфікованих програмних модулів. Описано принципи побудови математичних моделей функціонування бортових комплексів та систем літального апарата, які відображають характерні особливості їх роботи в об'ємі, що необхідний для діяльності екіпажа в процесі навчання та тренування на цифрових авіаційних тренажерах.

**Ключові слова:** авіаційний тренажер, літальний апарат, прикладне (спеціальне) програмне забезпечення, моделювання, програмний модуль, алгоритм, бортова обчислювальна система.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Роль авіаційних тренажерів (АТ) в професійній підготовці екіпажів як за кордоном, так і в нашій країні безперервно зростає. За допомогою АТ можна відтворювати з певною точністю умови не лише нормального польоту, але й різних “нештатних ситуацій”. З'явилася можливість здійснювати навчання льотного складу в усьому діапазоні умов експлуатації літальних апаратів (ЛА). Навчання, що передбачає максимальне використання тренажерів, значно ефективніше, ніж те, яке спирається тільки на польоти реальних ЛА, що раніше було домінуючим засобом практичного навчання льотного складу.

Технічний рівень АТ, їх навчальні можливості, методична пристосованість визначаються не стільки апаратними, скільки програмними рішеннями. Основні трудовитрати при цьому випадають на розробку прикладного (спеціального) програмного забезпечення. Завдання розробки сучасних цифрових АТ висуває вимогу розробки методики раціональної побудови їх прикладного (спеціального) програмного забезпечення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Питання проектування тренажерних систем, особливості математичного забезпечення тренажерних систем були розглянуті в роботі [1]. У книзі [2] були викладені основи проектування АТ та математичного моделювання літакових систем, приведені математичні моделі ЛА і його бортових систем. У роботі [3] розглянута тенденція розвитку АТ, деякі питання моделювання комплексів бортового обладнання. Про необхідність створення уніфікованої структури АТ на основі використання в їх обчислювальних системах модульного принципу говорилося в [4]. Один з можливих розподілів завдань моделювання в обчислювальних системах АТ було розглянуто в

статті [5] на прикладі тренажера літака А-10, створеного фірмою Реддіфон. У [6] викладаються основи теорії створення АТ модульної архітектури як ланок єдиної системи. Освітлюються основи нового економічного відносно обчислювальних витрат математичного забезпечення перспективних модульних АТ та інших комп'ютерних засобів для професійного навчання. Довідкові дані по сучасних інтерактивних системах навчання для літаків МіГ, комплексному тренажеру льотчика літака Су-33, спеціалізованому тренажеру бойового застосування літака Як-130, тренажерам вертольотів Мі-8, Мі-24, Ка-27 приведені в енциклопедії [7]. Незважаючи на наявність певної вітчизняної та зарубіжної літератури, що присвячена АТ та їх математичному (програмному) забезпеченню, завдання досягнення необхідної міри відповідності цифрових АТ дійсному ЛА поки що розглянуто недостатньо.

**Мета статті** – запропонувати та науково обґрунтувати підходи до побудови прикладного (спеціального) програмного забезпечення сучасних цифрових авіаційних тренажерів.

### Основний матеріал

При створенні АТ однією з найважливіших проблем являється розробка прикладного (спеціального) програмного забезпечення – комплексу функціональних програм тренажерних каналів. На спеціальне програмне забезпечення (СПЗ) АТ покладається рішення наступних функціональних завдань:

- моделювання динаміки об'єкту управління;
- моделювання логіки роботи систем управління об'єкту в нормальних та аварійних режимах;
- управління засобами імітації візуальної обстановки в приладах спостереження;
- управління засобами імітації фізичних чинників робочого середовища;
- управління процесом навчання та тренування;

- контроль психофізіологічного стану навчасного в процесі тренування;
- контроль та об'єктивна оцінка діяльності навчасного в процесі навчання і тренування;
- відтворення процесу тренування на засобах відображення інформації пультів контролю та управління;
- моделювання телеметричної інформації (при необхідності імітації зв'язку об'єкту з пунктом управління).

СПЗ АТ є тією ланкою в тренувальному процесі, яка сполучає та управляє. Від правильності та ефективності рішення функціональних задач, що покладені на СПЗ, найбільшою мірою залежить правильність функціонування АТ і підготовка льотчиків в цілому. У ряді випадків АТ є єдиним технічним засобом для професійної підготовки, тому комплекс функціональних програм тренажерних каналів повинен мати високу надійність і забезпечувати велику міру адекватності моделей функціонування динамічного об'єкту та зовнішньої обстановки реальним.

Нині існують два підходи до створення прикладного (спеціального) програмного забезпечення АТ [1]. При створенні програм відносно невеликого об'єму переважає індивідуальний підхід до програми. При цьому основна мета розробників полягає в отриманні результатів при мінімальних власних витратах; також практично не вирішуються питання оптимізації програм за витратами технічних ресурсів цифрових обчислювальних машин (ЦОМ); програма, яка створена, в основному використовується самим розробником. Якщо до того ж детальний опис та документація на таку програму відсутні (як правило, програму супроводжує лише інструкція користувачеві), то вона практично недоступна для інших фахівців без безпосереднього спілкування з її розробником та може використовуватися тільки в тих обмежених умовах, для яких вона безпосередньо створювалася. Сполучення такої програми з іншими для вирішення нових комплексних завдань, а тим більше модернізація програми практично неможливі без особистої участі її розробників. Цей підхід до розробки програм має декілька різновидів, які відрізняються один від одного в основному способом і формою представлення початкових даних для роботи програми, але сама програма, як правило, розробляється монолітною. Застосування монолітного методу розробки програм спеціального програмного забезпечення АТ додатково до відмічених недоліків утрудняє планування витрат часу на розробку та відладку програм, не дозволяє скорочувати терміни розробки і відладки програм шляхом збільшення числа розробників, ускладнює процес відладки програм.

Інший підхід до розробки СПЗ базується на представленні програмних модулів як виробів (підпрограм) або складних систем (комплексів програм). Цей підхід припускає можливість застосування підпрограм, що створюються, у взаємодії з іншими підпрограмами в різних системах алгоритмів. Крім того,

чіткі формалізовані зв'язки підпрограм забезпечують можливість їх заміни без порушення зв'язків інших підпрограм в комплексі. Підпрограми як вироби та весь комплекс функціональних програм забезпечуються детальною документацією, що забезпечує не лише їх різноманітне застосування, але й аналіз іншими фахівцями для використання та модернізації в цілому або частками без безпосередньої участі первинних розробників. В цьому випадку комплекс функціональних програм може бути розчленований на безліч досить автономних підсистем – функціональні та стандартні підпрограми, що тісно взаємодіють в процесі рішення загальної задачі. Для забезпечення взаємодії підпрограм в єдиному комплексі широко використовується ієрархічна структура з декількома рівнями підлеглості підпрограм, при цьому підпрограма виконує своє цільове завдання.

Слід враховувати, що при використанні модульного програмування в окремих підпрограмах з'являються елементи сполучення та взаємодії блоків, які вимагають певних витрат оперативної пам'яті та часу.

Проте модульне програмування має й цілий ряд переваг перед монолітним програмуванням [8]:

- ієрархічна декомпозиція цілей і завдань, вирішуваних складним комплексом програм, дозволяє спростити зв'язки, опис підпрограми та впорядковано розподіляти зусилля розробників на рішення завдань відповідно до їх цільового призначення;

- контроль стану і ведення проектування достовірніший, оскільки окремі підпрограми мають невеликі розміри, їх зв'язки та правила побудови уніфіковані. Це дозволяє точніше оцінювати об'єм виконаної роботи по кількості завершених підпрограм, а також перерозподілити зусилля розробників, якщо якісь групи підпрограм затримують розробку системи в цілому;

- автоматизація та розпаралелювання процесів розробки і відладки окремих підпрограм, що входять в складний комплекс програм, дозволяє спрощувати компоненти, знижувати трудомісткість та прискорювати проектування усєї системи, а також більш рівномірно завантажувати розробників й обчислювальні засоби, які ними використовуються;

- багатократна застосовність підпрограм може істотно скоротити загальний об'єм програм, що розробляються, в порівнянні з монолітним програмуванням, коли компоненти програми з ідентичними функціями повинні повторюватися там, де вони використовуються;

- модернізуємість комплексу програм полегшується суворою формалізацією зв'язку між підпрограмами по управлінню та за інформацією, при якій включення підпрограм з новими характеристиками не вимагає зміни інших раніше відлагоджених та випробуваних програм;

- стійкість функціонування комплексу програм в реальному масштабі часу за наявності збоїв ЦОМ

та невиявлених помилок і програмно-алгоритмічна надійність системи можуть бути підвищені, якщо підпрограми при виявленні спотворення в результатах обчислень можна повторювати й повторювана ділянка невелика;

– можливість формалізованого контролю окремих підпрограм та комплексу програм на відповідність правилам структурної побудови по передачах управління і по використанню пам'яті знижує загальну кількість помилок в програмах та дозволяє деякі типи помилок виявляти автоматично;

– забезпечується розрахунок часових та інших характеристик реалізації комплексу програм в реальному масштабі часу і окремих сукупностей підпрограм при довільних й усереднених умовах функціонування шляхом автоматичного аналізу процесу виконання ієрархічно пов'язаних програм.

Аналіз вказаних переваг та особливостей АТ дозволяє зробити висновок про перспективність модульного принципу при побудові СПЗ АТ.

Складність об'єктів моделювання неминуче призводить до необхідності їх функціонально-структурної декомпозиції та представлення у вигляді системи досить простих елементів-модулів. До того ж сам реальний об'єкт функціонально і структурно представляє, як правило, досить складну систему, що складається з ієрархічно впорядкованих підсистем, пристроїв, блоків та елементів. Цілком природно поставити у відповідність окремим системам, підсистемам, пристроям реального об'єкту їх адекватні моделі – програмні модулі СПЗ. Якщо в різних об'єктах використовуються однакові пристрої або системи, то для їх моделювання можуть бути використані одні й ті ж модулі програм.

Відмітною особливістю створення СПЗ АТ є те, що програми, що виконують функції моделювання ЛА, візуальної обстановки в приладах спостереження ЛА та фізичних чинників робочого середовища, що викликають у навчасних відчуття, адекватно пов'язані з алгоритмами їх діяльності в реальних умовах, складають більше половини об'єму усього комплексу функціональних програм.

У програми управління засобами імітації візуальної обстановки зміни вносяться при доопрацюваннях приладів спостереження ЛА або при зміні їх розташування на ньому, а в програми управління засобами імітації фізичних чинників робочого середовища – при зміні динамічних параметрів ЛА.

Програми, що вирішують завдання управління процесом підготовки операторів на АТ, об'єктивного контролю психофізіологічного стану і роботи операторів в процесі навчання, в значно меншій мірі схильні до змін. У цю частину СПЗ зміни вносяться при розробці досконаліших й ефективніших методів управління та контролю. Отже, структура і принципи побудови СПЗ АТ повинні забезпечувати можливість його доопрацювання як на стадії створення систем, так і на стадії їх експлуатації.

При модульній побудові програм це завдання вирішується ефективно, оскільки при зміні, наприклад, окремих систем об'єкту повинні коригуватися лише ті модулі, які пов'язані з модернізованими елементами реального об'єкту. Модульне програмування забезпечує побудову складних програм на базі невеликих програмних блоків, кожен з яких виконує закінчену логічну функцію. Це дозволяє організувати паралельну роботу групи розробників та таким чином істотно прискорити терміни створення і випробувань СПЗ.

При розробці структури СПЗ АТ в першу чергу виділяються модулі основних функціональних систем ЛА та основних завдань по управлінню тренуванням; у модулях систем виділяються складові її підсистеми; далі з урахуванням структури реального об'єкту модулі підсистем представляються у вигляді сукупності пристроїв (операцій), пристрої – у вигляді сукупності блоків і так далі. Таким чином, структура моделі відбиває структуру реального об'єкту.

Можливий інший спосіб побудови структури імітаційної моделі ЛА, заснований на декомпозиції модулів, відповідних не системам ЛА, а режимам (чи етапам), його функціонування. Якщо реалізація режимів здійснюється на базі одних й тих же систем, такий спосіб структурної побудови СПЗ нерациональний. При цьому порушується однозначна відповідність між імітаційними модулями СПЗ та елементами ЛА, що менш зручно з точки зору стандартизації окремих моделей і їх коригування при модифікації систем ЛА.

В той же час змістовна частина алгоритму, відповідного невідомому модулю, що імітує поведінку якої-небудь системи ЛА, повинна відтворювати не технічну структуру, а функції об'єкту, які проявляються в зв'язках цієї системи з іншими системами ЛА, що модулюється. При цьому система може моделюватися у вигляді “чорного ящика” з відомою передавальною функцією, що визначає зв'язки вхідних та вихідних параметрів.

Моделювання певного режиму функціонування ЛА здійснюється за допомогою встановлення відповідних значень параметрів моделей та функціональних зв'язків між модулями в цьому режимі.

Зменшення об'єму програм для цифрових АТ, які знов розробляються, досягається шляхом побудови універсальних модулів – що є незмінними для класу ЛА. Так, для розробки уніфікованих модулів рішення задачі динаміки польоту математичну модель руху літака можна розбити на дві взаємозв'язані смислові групи (рис. 1).

До першої групи відносяться рівняння основних аеродинамічних сил і моментів, кінематичні та інші співвідношення, що є незмінною частиною математичної моделі. Невідомими членами в цій групі рівнянь є аеродинамічні коефіцієнти, а також параметри літаків. Аеродинамічні коефіцієнти є функціями параметрів руху, залежать від конструктивних особливостей конкретного літака та їх обчислення віднесемо

до другої групи, яка складає змінну частину математичної моделі. Програмні модулі обчислення аеродинамічних коефіцієнтів повинні використовувати ста-

ндартні програми вибірки з таблиць, при цьому перехід від одного модуля до іншого зводиться до заміни таблиць аеродинамічних коефіцієнтів.

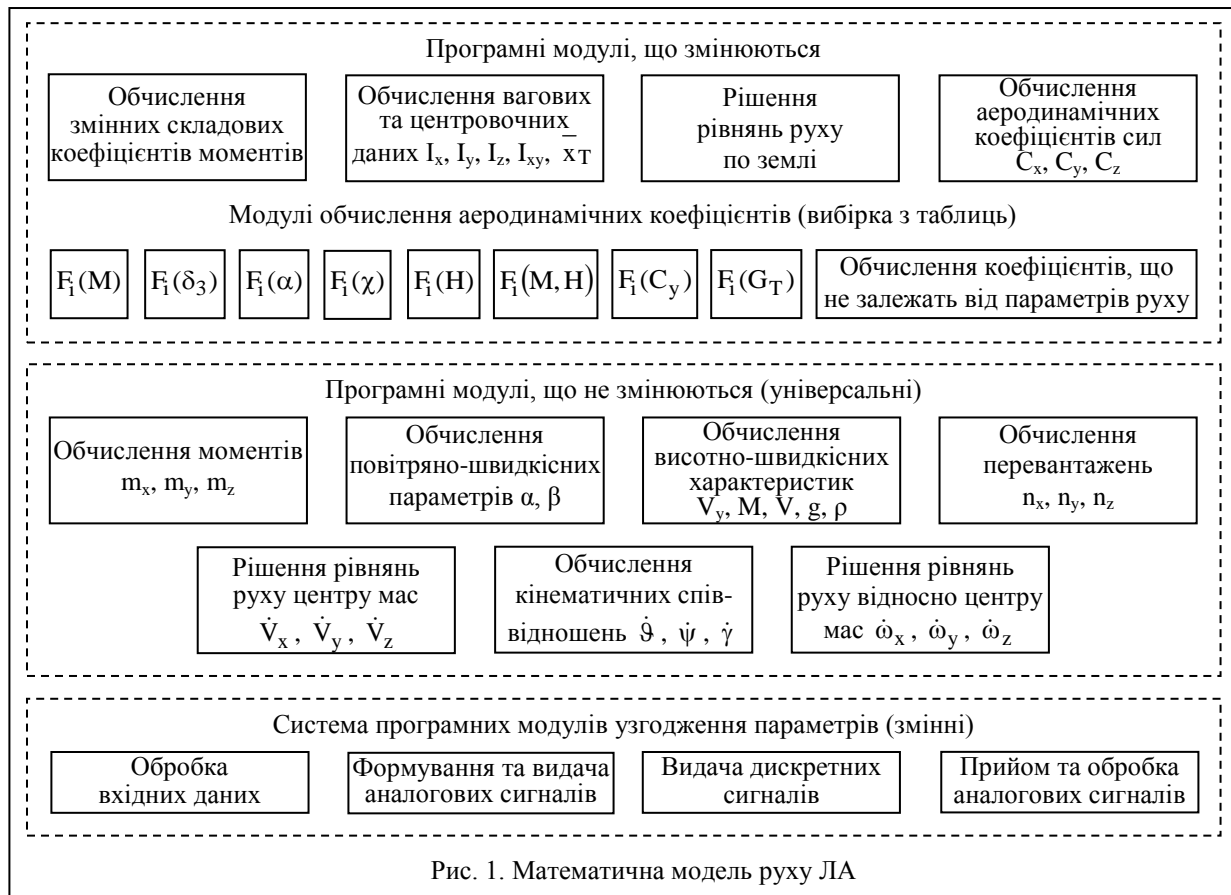


Рис. 1. Математична модель руху ЛА

Зв'язок моделі динаміки польоту з імітаторами бортових систем проводиться через систему модулів переходу, що виконують функцію узгодження параметрів. Ці модулі враховують характеристики приладів та систем при передачі на них параметрів з динаміки польоту. За допомогою цих модулів відтворюються статичні та динамічні похибки реальних приладів і досягається необхідна точність та подібність в моделюванні приладової інформації. Таке розбиття рівнянь динаміки польоту дозволяє створити модель з достатнім ступенем гнучкості та уніфікувати модулі.

Наявність ЦОМ в АТ дозволяє підійти до питань моделювання роботи бортових систем комплексно з єдиних методичних позицій. Аналіз завдань, що вирішуються бортовими системами, показав, що більшість алгоритмів можна уніфікувати, якщо представити їх у вигляді окремих програмних модулів.

Пілотажно-навігаційні комплекси (ПНК) ЛА мають в основному ідентичну структуру та вирішують аналогічні завдання. У тренажері пілотажні і навігаційні параметри, обчислені в блоці динаміки польоту, еквівалентні параметрам польоту літака, які вимірюються системами ПНК. Для забезпечення подібності інформацію про параметри динаміки польоту необхідно лише доповнити приростами, що імітують погрішності вимірювальних систем та приладів ПНК. Отже,

модель ПНК повинна складатися з програмних модулів функціонування систем в об'ємі, що необхідний для навчання та тренування, модулів імітації погрішностей датчиків, відтворення показань відповідних показників та імітації ефектів характерних відмов і несправностей. При такому підході принцип та структура побудови моделі ПНК залишаються незмінними, а залежно від типу устаткування літака змінюються алгоритми функціонування систем і табличні значення характеристик похибок, приладів та систем.

ПНК та системи управління озброєнням сучасних авіаційних комплексів об'єднуються в єдине ціле на базі бортової обчислювальної системи (БОС). У реальному польоті на БОС покладається цілий ряд завдань, відтворювати які в тренажері немає необхідності. Такими завданнями є завдання, які пов'язані з обробкою радіолокації інформації, управлінням комплексом оборони, зброєю, комплексом зв'язку та іншим, а також з диспетчеризацією ходу обчислювального процесу та тестовим контролем.

Аналіз алгоритмів, що вирішуються на борту сучасних ЛА, показав, що до 60 відсотків завдань, які вирішуються БОС, можуть не відтворюватися в тренажері або відтворюватися із значними спрощеннями без зниження навчальної ефективності. У цих умовах застосування реальних систем бортового устаткування

ня сумісне з БОС та сполученням їх з базовою БОС тренажера веде до постійного невиправданого ускладнення тренажера без поліпшення навчальних властивостей, а також веде до зниження його ефективності. У зв'язку з цим питання моделювання систем бортового устаткування та БОС вимагає для свого вирішення принципово нового підходу. Таким підходом є не тільки безумовне виключення реального устатку-

вання з тренажера, але й створення математичних моделей, що відображають не фізичну суть цих систем, а лише характерні особливості їх роботи в об'ємі, що необхідний для діяльності екіпажа в процесі навчання та тренування.

Математичні моделі функціонування бортових систем розробляються як окремі програмні блоки, що складаються з програмних модулів (рис. 2).

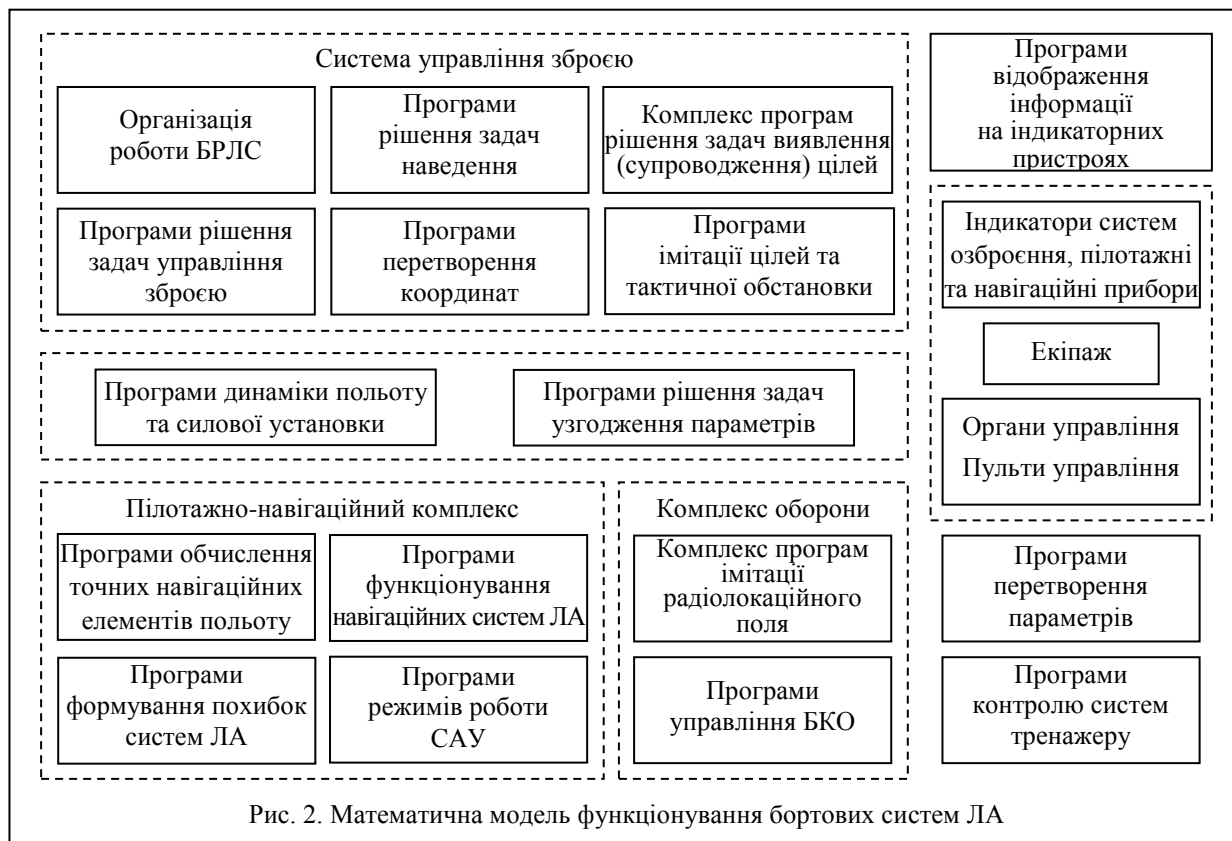


Рис. 2. Математична модель функціонування бортових систем ЛА

Частина цих модулів може бути уніфікована, оскільки бортові комплекси різних літаків вирішують аналогічні завдання. Залежно від завдань, що вирішуються, в роботу підключаються необхідні програмні модулі, при цьому кількість модулів виявляється менше кількості завдань, що вирішуються бортовим комплексом.

Так вирішення завдань, що пов'язані з організацією режимів роботи бортової радіолокаційної станції (БРЛС) (виявлення, супроводження на проході цілей, супроводження цілей що атакуються, держрозпізнавання, контроль працездатності БРЛС), в АТ зводиться до організації створення цілей, при цьому вихідною інформацією модуля цілей є координати цілей, що супроводжуються, з ознаками держрозпізнавання. Програмні модулі відображення на індикаторах даних з ПНК, БРЛС, комплексу оборони, зв'язку та інших видають інформацію й вектор цілеуказання та разові команди при організації наведення і атаки. Модуль управління озброєнням здійснює лише індикацію наявності ракет на підвісках, готовність до пуску, послідовність зходу і ава-

рійне скидання, замість складного алгоритму функціонування реальної системи.

Окрім завдань, пов'язаних з моделюванням динаміки польоту і роботи бортових систем, в програмне забезпечення АТ включаються завдання контролю працездатності та пошуку несправностей систем АТ, модулі оцінки якості виконання вправ льотчиком, модулі управління ходом тренування, оперативної взаємодії інструктора з БОС та різні сервісними програмами.

Використання БОС в якості обчислювача АТ припускає послідовне виконання всіх алгоритмів у часі, а необхідна швидкодія БОС залежить від частоти їх використання.

Використання алгоритмів повинне здійснюватися з частотою, що забезпечує сприйняття льотчиком безперервності контрольованих параметрів, необхідну стійкість рішення та необхідну точність моделювання. Оскільки параметри ЛА можливо розділити на ті, які змінюються швидко та повільно, то їх обчислення можливо виконувати з різною частотою. При цьому обчислення параметрів, що зміню-

ються швидко, здійснюватиметься з максимальною частотою, а які повільно змінюються – через цикл чи декілька циклів залежно від характеру процесів, які описуються, що дозволить знизити потрібну швидкодію більш ніж в 2 рази.

Окрім програмних модулів, що призначені для періодичного виконання, існує група модулів разового виконання. Їх призначення полягає у встановленні початкових умов, попередній обробці інформації, оперативній взаємодії оператора та БОС.

Програмні модулі об'єднуються в певні послідовності з урахуванням дискретності їх використання управляючою програмою. Підключення модулів цією програмою, повинно здійснюватися двома способами:

– безпосередньо передачею на модуль з управляючої програми; модулі підключаються по мірі необхідності, яка встановлюється заздалегідь;

– організацією логічних шкал, які є початковою інформацією для виклику модулів через програму-диспетчер.

Система налагодження алгоритмів і програм повинна включати сукупність програмних засобів для автоматизації процесів встановлення факту правильного функціонування розроблених програм, виявлення, локалізації та усунення помилок в програмах. Розробка системи налагодження алгоритмів АТ в повному об'ємі може опинитися по трудомісткості сумірної з розробкою основної програми. В цьому випадку доцільно обмежитися використанням засобів “малої автоматизації” типу системи програм-відладчиків для перевірки окремих модулів, систем та іншого.

Наступним важливим компонентом математичного забезпечення є сукупність програм, призначених для організації обчислювального процесу в ЦОМ при її функціонуванні у складі АТ. Такими програмами є різні обслуговуючі програми, програми оперативної взаємодії людини з БОС для внесення змін і контролю моделювання.

Розширення круга завдань, що вирішуються сучасними АТ на базі БОС, збільшення складності тренажерів ставить завдання автоматизації процесу контролю працездатності та пошуку несправностей АТ. Завдяки тому, що в якості програмуючого та аналізуючого пристроїв використовується базовий цифровий обчислювач, в якості перетворювача – перетворювачі та комутатори БОС, тестова система контролю і пошуку несправностей дозволяє значно скоротити час контролю. Контроль систем АТ вимагає розробки програм контролю та включення цих програм в СПЗ тренажера. Такі програми забезпечують організацію і подачу на системи АТ сигналів, що імітують реальну роботу, вимірювання та аналіз контрольованих параметрів. Результати контролю видаються з БОС для індикації і документування.

## Висновки

Створення СПЗ цифрових АТ – важлива область, в якій вирішення завдань уніфікації програм та стандартизації методів їх створення надасть істотний вплив на скорочення термінів розробки тренажерів. СПЗ повинне володіти достатнім ступенем гнучкості й універсальності та зводити до мінімуму трудовитрати на зміну програм при переході від моделювання одного типу ЛА до іншого. Цим вимогам задовольнятиме СПЗ, що побудоване за модульним принципом, коли математична модель динаміки польоту ЛА та роботи його бортових систем представлена у вигляді окремих програмних модулів.

Моделювання бортових систем ЛА по запропонованих принципах призведе до виключення зі складу цифрових АТ більшості дорогих імітаторів, створених на базі реальної бортової апаратури та заміні їх на математичні моделі. При цьому розширюються методичні можливості цифрового АТ, підвищується його надійність, відпадає необхідність експлуатації різнотипної обчислювальної техніки, складного радіоелектронного устаткування.

## Список літератури

1. Тренажерные системы / В.Е. Шукинунов, Ю.А. Бакулов, В.Н. Григоренко и др. – М.: Машиностроение, 1981. – 256 с.
2. Боднер В.А. Авиационные тренажеры / В.А. Боднер, Р.А. Закиров, И.И. Смирнова. – М.: Машиностроение, 1978. – 192 с.
3. Меерович Г.Ш. Авиационные тренажеры и безопасность полетов: Под ред. Г.Ш. Мееровича / Г.Ш. Меерович, А.И. Годунов, О.К. Ермолов. – М.: Воздушный транспорт, 1990. – 343 с.
4. Forrstrom K.S. Distributed processing for real time simulation – an overview / K.S. Forrstrom // AIAA – 84 – 0554. – 6 p.
5. Seidensticker S. Modular simulators, their feasibility, design and procurement / S. Seidensticker // AIAA – 85 – 0312. – 8 p.
6. Красовский А.А. Основы теории авиационных тренажеров / А.А. Красовский. – М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.
7. Оружие и технологии России. Энциклопедия. XXI век. Том 10. Авиационное вооружение и авионика. – М.: Издательский дом “Оружие и технологии”, 2005. – 784 с.
8. Липаев В.В. Принципы и правила модульного построения сложных комплексов программ АСУ / В.В. Липаев, В.В. Филиппович // Управляющие системы и машины. – 1975. – № 1. – С. 17-23.
9. Макаров Р.Н. Теория и практика конструирования целевых моделей операторов особо сложных систем управления / Р.Н. Макаров, Л.В. Герасименко. – М.: МАКЧАК, 1997. – 530 с.
10. Макаров Р.Н. Авиация XX века. Рождение авиации, лётное обучение и тренажеры / Р.Н. Макаров, В.М. Зарецкий, В.И. Федоришин. – М.: МАКЧАК, 2003. – 524 с.

Надійшла до редколегії 25.10.2012

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.В. Бараннік, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

**ПОДХОДЫ К ПОСТРОЕНИЮ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ  
ЦИФРОВЫХ АВИАЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ**

Д.Г. Васильев, А.В. Коломийцев, Н.К. Петерин, С.В. Ратушный

*Сформулированы задачи, которые должны быть решены с помощью прикладного (специального) программного обеспечения авиационных тренажеров. Рассмотрены преимущества модульного программирования, принципы разработки унифицированных программных модулей. Описаны принципы построения математических моделей функционирования бортовых комплексов и систем летательного аппарата, которые отображают характерные особенности их работы в объеме необходимом для деятельности экипажа в процессе учебы и тренировки на цифровых авиационных тренажерах.*

**Ключевые слова:** авиационный тренажер, летательный аппарат, прикладное (специальное) программное обеспечение, моделирование, программный модуль, алгоритм, бортовая вычислительная система.

**THE APPROACH TO CONSTRUCTION OF APPLICATION SOFTWARE  
OF DIGITAL AVIATION SIMULATORS**

D.G. Vasiliev, O.V. Kolomitsev, N.K. Peterin, S.V. Ratushny

*Tasks which must be decided by means of application (special) software of aviation simulators are formulated. Advantages of modular programming, principles of unification program modules development are considered. Principles of mathematical models of functioning airborne complexes and aircraft systems construction which represent characteristic features of their work in a volume which is needed for crew activity in process of studies and training on digital aviation simulators are described.*

**Keywords:** aviation simulators, aircraft, application (special) software, design, programmatic module, algorithm, airborne computer system.