

РОЗПОДІЛЕНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ АЕРОДИНАМІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

*Смирнов А.Д., Криворученко В.С.,
Шарий К.А.*
ЦАГІ, м. Жуковський, Росія.

Вже під час Великої Вітчизняної Війни швидкості винищувальної авіації стали околосвуковими, а в 1950 році було перейдено звуковий бар'єр. Подальший розвиток авіації спирався на проблеми аеродинамічних розрахунків.

Основна вага досліджень лягла на трубний аеродинамічний експеримент. У ЦАГІ (Центральний АероГідродинамічний Інститут ім. професора Жуковського) для цього будувалися дозвукові, навколосвукові та надзвукові аеродинамічні труби (АДТ). Трубний аеродинамічний експеримент полягав у тому, що модель літального апарату поміщалася на спеціальній підвісці, з'єднаній з аеродинамічними вагами (АВ), в робочу частину АДТ і обдувалася потоком повітря. При цьому вимірювалися сили та моменти, що діяли на модель. Або модель дрениувалася дрібними отворами, які з'єднувалися тонкими повітропроводами з реєструючими манометрами, які вимірювали тиск на поверхні моделі або її частин. Фіксація показу реєстраторів здійснювалася вручну.

Але творців авіаційної техніки цікавили не трубні показання, а сили, моменти та розподіл тиску на поверхні реального літального апарату при його польоті у вільній атмосфері на заданій висоті та при заданій швидкості. Вони виходили внаслідок складної обробки трубних вимірювань. Для проведення складних обчислень, необхідних для отримання "чистих" значень аеродинамічних коефіцієнтів, що задовольняють високим вимогам до надійності, достовірності та точності, у сорокових роках ХХ ст. створювалися Групи обчислювальних робіт (ГОР), "озброєні" спочатку логарифмічними лінійками та арифмометрами. Після Великої Вітчизняної війни ГОР стали оснащуватися клавішними рахунковими машинками типу "Рейнметал" та "Мерседес".

Подальша автоматизація науково-експериментальних робіт ставила за мету заміну ручної праці електронною технікою. При цьому потрібно:

- забезпечити автоматизовану фіксацію даних вимірювань та введення їх у обробну апаратуру без зниження точності, але зі значним виграшем у часі;

- забезпечити автоматизовану обробку даних вимірювань та оперативне отримання результатів у зручному для споживачів вигляді;
- вести автоматизацію та вдосконалення методик з максимальним використанням апаратури, що випускається серійно, без зупинки АДТ, паралельно існуючим технологіям з постійним контролем її ефективності.

Перші рішення

На початку 1950-х років було розроблено пристрій для введення результатів із вимірювальної апаратури з фіксацією результатів на стандартні 80-колонні перфокарти для подальшої обробки їх на програмованих лічильно-перфораційних машинах. Однак пристрій цей виявився надто громіздким і ненадійним, а його дуже обмежені обчислювальні можливості (мала кількість програмних кроків) посилювалися труднощами програмування на комутаційних дошках.

З появою до середини 1950-х перших серійних універсальних ЕОМ, була зроблена спроба створення спеціалізованої ЕОМ на базі електронних блоків універсальної ЕОМ "УРАЛ", що серійно випускалася, для введення даних експерименту та їх обробки безпосереднього в АДТ. Така ЕОМ, що отримала назву "СВМ-1" (Спеціалізована Обчислювальна Машина - 1), була створена та встановлена в одній із труб ЦАГІ (А.Д. Смирнов, А.А. Кузнецов, К.А. Шарій, В.С. Антонов, Т.Д. Сухова). Однак, практична експлуатація лампової "СВМ-1" у реальних умовах працюючої АДТ (сильні вібрації та електромагнітні випромінювання, значні коливання температури тощо) виявила недостатню надійність "СВМ-1". Але було отримано дорогоцінний досвід, і головні розробники системи поставили проблему автоматизації введення та обробки даних експерименту для всіх основних аеродинамічних труб Інституту загалом, у межах проекту створення першої Централізованої Обчислювальної Системи (ЦОС-1).

Централізована Обчислювальна Система-1

Було вирішено сконцентрувати всю обробку в Обчислювальному Центрі, де для ЕОМ були необхідні умови для її нормальної експлуатації. Як ядро системи було обрано одну з нових управляючих електронних обчислювальних машин - УМШП-1, розроблену в Інституті кібернетики АН УРСР. До УМШП лініями зв'язку підключалися комплекти розробленої у ВОЦ ЦАГІ апаратури САПФІР (Система Автоматичної Перфорації та Реєстрації). Розташована безпосередньо в АДТ, апаратура САПФІР здійснювала перетворення даних, отриманих вимірювачами, в цифрову форму, автоматичну реєстрацію на перфострічці показань

багатокомпонентних аеродинамічних ваг і групових манометрів і передачу їх на Центральний Блок системи по лініях зв'язку. У комплект інтерфейсної апаратури САПФІР входив також і цифродрук, за допомогою якого прямо на пульті АДТ можна було оперативно роздрукувати вибірково дані для оперативного контролю та порівняння з раніше отриманими даними. Завдяки уніфікованому інтерфейсу та ряду інших програмно-апаратних системних рішень мережа ЦОС-1 була відкрита та легко розширювана. У процесі експлуатації ЦОС-1 до центрального блоку (ЦБ) було підключено понад десяток АДТ із комплектами апаратури САПФІР.

Для повного дублювання та резервування функцій у центрі було встановлено ще одну, тепер уже серійну УМШП, що отримала назву "ДНПРО-1". Було значно розширено оперативну пам'ять ЕОМ центрального блоку. Через розроблені програмно-апаратні засоби до ЕОМ були підключені додаткові зовнішні пристрої. Зокрема, накопичувачі на магнітній стрічці, АЦПУ, графопобудівники та ін. Великий внесок у створення апаратних засобів ЦОС-1 зробили О.М. Коршунов, В.М. Дорошак, А.С. Тітов, С.Ф. Мезенцева, І.А. Неаполітанський та ін.

Для ЦБ ЦОС-1 провідні програмісти ЦАГІ (О.Ф. Іванова, В.І. Суріна, Ю.М. Бушуєв, А.С. Осипчук та ін.) створювали алгоритми та програми обробки. Особливо слід відзначити впровадження на початку 1970-х засобів автоматизованого графобудування, яке значно скоротило повний час циклу обробки і подання даних.



Успішність реалізації системи ЦОС-1 підтверджується і майже 17-річним терміном експлуатації цієї системи, протягом якого вона забезпечувала проведення обробки даних аеродинамічного експерименту для всього Інституту. Коли, з часом, застарілі ЕОМ "ДНПРО-1" вже не змогли задовольняти зростаючі запити щодо реалізації складних алгоритмів обробки, вони були пов'язані в багатомашинний комплекс з ЕОМ "БЭСМ-3М" (згодом замінена на "БЭСМ-4").

З появою потужніших засобів ОТ почали сильно розвиватися чисельні методи розрахунку визначення аеродинамічних характеристик. Наприкінці 1970-х ЕОМ ЦБ ЦОС-1 було підключено до ЕОМ "БЭСМ-6". Цим було закладено апаратні основи злиття

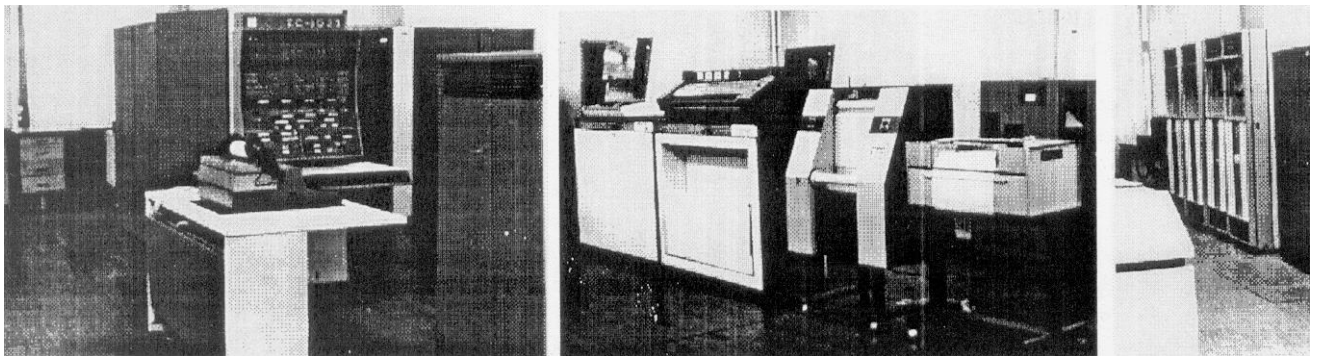
експериментальних та розрахункових методів обробки та аналізу даних для концепції, що набирала в ті роки силу Систем Автоматизованого Проектування літальних апаратів (генеральний конструктор Математичного Забезпечення САПР – Н.Г. Буньков).



**Начальник сектору
ЦОС-1 и ЦОС-2
К.А. Шарій**

Централізована Обчислювальна Система - 2

Базові концепції другої версії Централізованої Обчислювальної Системи автоматизації аеродинамічного експерименту - ЦОС-2 були сформульовані в кінці 1970-х років під ідеологічним впливом академіка В.М. Глушкова. За технічними харак-теристиками проекту та фактичною реалізацією система ЦОС-2 у 1980-х роках цілком відповідала світовому рівню. У проектування та розробку апаратно-програмних засобів системи ЦОС-2 великий внесок зробили: А.А. Кузнецов, К.А. Шарій, А.В. Пилюгін, В.С. Криворученко, В.Є. Мордвінов та інші.



ЦОС-2

Логічно ЦОС-2 представляла собою ієрархічну зіркоподібну структуру, що складається з двох рівнів.

На 1-му рівні були встановлені вимірювально-обчислювальні комплекси (ВОК), оснащені Міні-ЕОМ типу СМ-4 та ЄС-1010, пристроями зв'язку з вимірювальною та управляючою апаратурою об'єкта (АДТ) та підключені за допомогою спеціально розробленої апаратури та ліній зв'язку до центрального блоку ЦОС-2.

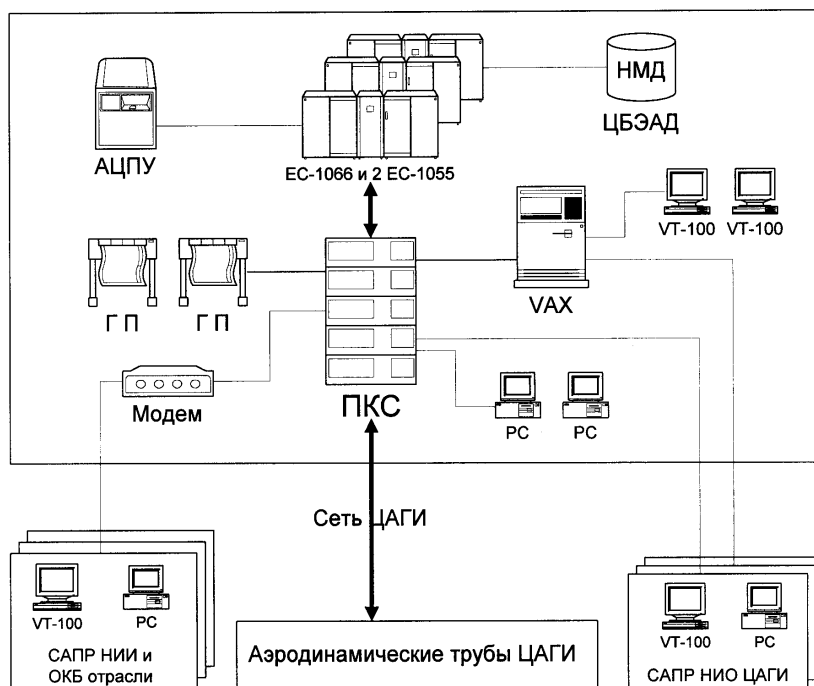


**А.Д. Смирнов, В.С. Криворученко, А.В. Пилюгін,
А.А. Кузнєцов**

Розробка апаратно-програмних засобів зв'язку, що поєднують різномірні машини типу СМ, ЄС-1010 та ЄС ЕОМ в єдину мережу, що масштабувалася, яка була на той період унікальною і була захищена п'ятьма авторськими свідоцтвами (З.Г. Садоніна, Е.М. Синицина, Г.В. Степанова, В.Н. Змеєв, А.П. Нікітін, та ін.). Основними задачами, покладеними на ІОК об'єкта, були управління механізмами труби та положенням досліджуваних моделей, збирання та перетворення даних у цифровий вигляд, оперативна візуалізація даних, обробка та подання результатів у вигляді таблиць та графіків. Задача отримання коректно порівнянних точнісних характеристик вимірювальних систем було однаково вирішено всім ІОК системи шляхом створення єдиного метрологічного забезпечення. Було розроблено та доведено до рівня стандарту єдину концепцію, алгоритми та транспортабельне математичне забезпечення (Б.С. Дубов, Е.Д. Нікітіна та ін.).

2-й рівень - центральний блок (ЦБ) був оснащений двомашинним комплексом ЕОМ ЄС-1033 (з 1986 року замінено на ЄС-1055М, а потім і ЄС-1066) із загальним полем пам'яті на

магнітних дисках (НМД) та магнітних стрічках (НМС), з АЦДП, імпортованими графопобудівниками та апаратурою зв'язку з ЕОМ 1-го рівня. На ЦБ покладалися задачі накопичення та архівації даних, отриманих з ЕОМ 1-го рівня, їх комплексної обробки, занурення в Централізований Банк Експериментальних Аеродинамічних Даних (ЦБЕАД) та подальшої передачі даних в ОКБ галузі. Вже через 3-4 роки основні принципи автоматизації аеродинамічного експерименту адаптували і застосовували в міцнісному і динамічному експериментах, які, однак, мали свої особливості. Таким чином, описана система була однією з перших інтегрованих систем в авіаційній промисловості.



Структура ЦОС-2

У середині 1980-х у локальній мережі різномірних ЕОМ було реалізовано технології файл-сервера та сервера додатків, які реалізуються зараз у локальних мережах ЕОМ. Апаратно-програмні засоби ЦОС-2 забезпечували взаємодію в рамках системи більше десятка об'єктових ЕОМ.

Розподілена автоматизована обчислювальна система, орієнтована на конкретний виріб.

У 1980-х роках на базі розроблених теоретичних, програмних та апаратних засобів було створено велику кількість проблемно-орієнтованих підсистем. Наведемо опис лише однієї з них.

Була розроблена розподілена система для проведення, обробки, аналізу та подання результатів аеродинамічного експерименту кінцевому замовнику за моделлю космічного літака у зв'язці з ракетою-носієм. Необхідна точність аеродинамічних характеристик такого складного компонування зумовила величезний обсяг експериментальних досліджень. Кількість каналів вимірів у цих експериментах значно перевищував звичайний рівень.

Крім того, результати випробувань мали у найкоротші терміни аналізуватись та передаватись на підприємства-виробники для проведення розрахунків та внесення змін до конструкції реальних виробів.

Загальна кількість кривих лише в одному експерименті перевищувала тисячу, а загальна кількість експериментів обчислювалася сотнями. Тому дані трубного рівня оперативно передавалися лініями зв'язку на ЦБ-ЦОС-2, де було реалізовано програми контролю.

Згодом роботи із забезпечення інформаційних потоків призвели до розробки галузевого стандарту (ОСТ 102636-87) та комплексів стандартних програмних засобів для основних типів ЕОМ (ЕС, БЕСМ-6, PDP-11, VAX-780, IBM PC) та операційних систем, що застосовуються у галузі. Програмні комплекси підтримки стандарту були здані в ГФАП (Галузевий Фонд Алгоритмів та Програм) та поширювалися на підприємствах галузі. Їх застосування дозволило різко скоротити (більш ніж на порядок) час отримання експериментальної аеродинамічної інформації на ЕОМ САПР підприємств галузі порівняно з ручним введенням з паперових носіїв.

Висновки

1. Створені в ЦАГІ розподілені системи автоматизації аеродинамічного експерименту постійно модифікувалися та розширювали свої можливості, оперативно відстежували поточні та перспективні потреби аерокосмічної індустрії держави та повністю їх забезпечували.
2. Розроблені в 1980-х роках теоретичні концепції та технології залишаються актуальними та використовуються при створенні систем автоматизації аеродинамічних досліджень нового покоління.
3. Створена система аеродинамічного експерименту входить складовою частиною в систему автоматизації проектування літального апарату.

1. A.D. Smirnov. "Data processing systems for physical experiments". Proceedings of IFIP 68 World Congress.
2. А.Д. Смирнов. "Розвиток обчислювальних систем ЦАГІ". ЦАГІ -основні етапи наукової діяльності. 1968-1993. Розділ III, стор. 439-447. Москва. Наука. 1996.