

РАСПРЕДЕЛЕННЫЕ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

*Смирнов А.Д., Криворученко В.С.,
Шарий К.А.*
ЦАГИ, г.Жуковский, Россия.

Уже во время Великой Отечественной Войны скорости истребительной авиации стали околозвуковыми, а в 1950 году был перейден звуковой барьер. Дальнейшее развитие авиации упиралось в трудности аэродинамических расчетов.

Основная тяжесть исследований легла на трубный аэродинамический эксперимент. В ЦАГИ (Центральный АэроГидродинамический Институт им. профессора Жуковского) для этого строились дозвуковые, околозвуковые и сверхзвуковые аэродинамические трубы (АДТ). Трубный аэродинамический эксперимент заключался в том, что модель летательного аппарата помещалась на специальной подвеске, соединенной с аэродинамическими весами (АВ), в рабочую часть АДТ и обдувалась потоком воздуха. При этом измерялись силы и моменты, которые действовали на модель. Или модель дренировалась мелкими отверстиями, которые соединялись тонкими воздуховодами с регистрирующими манометрами, которые измеряли давление на поверхности модели или ее частей. Фиксация показания регистраторов осуществлялась вручную.

Но создателей авиационной техники интересовали не трубные показания, а силы, моменты и распределение давления на поверхности реального летательного аппарата при его полете в свободной атмосфере на заданной высоте и при заданной скорости. Они получались в результате сложной обработки трубных измерений. Для проведения сложных вычислений, требуемых для получения «чистых» значений аэродинамических коэффициентов, удовлетворяющих высоким требованиям к надежности, достоверности и точности, в сороковых годах создавались Группы Вычислительных Работ (ГВР), «вооруженные» вначале логарифмическими линейками и арифмометрами. После Великой Отечественной Войны ГВР стали оснащаться клавишными счетными машинками типа «Рейнметалл» и «Мерседес».

Последующая автоматизация научно-экспериментальных работ ставила своей целью замену ручного труда электронной техникой. При этом требовалось:

- обеспечить автоматизированную фиксацию данных измерений и ввод их в обрабатывающую аппаратуру без понижения точности, но со значительным выигрышем во времени;

- обеспечить автоматизированную обработку данных измерений и оперативное получение результатов в удобном для потребителей виде;
- вести автоматизацию и совершенствование методик с максимальным использованием серийно выпускаемой аппаратуры, без остановки АДТ, параллельно существующим технологиям с постоянным контролем ее эффективности.

Первые решения

В начале 50-х годов была разработано устройство для ввода результатов с измерительной аппаратуры с фиксацией результатов на стандартные 80-колоновые перфокарты для последующей обработки их на программируемых счетно-перфорационных машинах. Однако устройство это оказалось слишком громоздким и ненадежным, а его весьма ограниченные вычислительные возможности (малое число программных шагов) усугублялись трудностями программирования на коммутационных досках.

С появлением к середине 50-х первых серийных универсальных ЭВМ, была сделана попытка создания специализированной ЭВМ на базе электронных блоков серийно выпускавшейся универсальной ЭВМ «УРАЛ», для ввода данных эксперимента и их обработки непосредственного в АДТ. Такая ЭВМ, получившая название СВМ-1 (Специализированная Вычислительная Машина - 1), была создана и установлена в одной из труб ЦАГИ (А.Д.Смирнов, А.А.Кузнецов, К.А.Шарий, В.С.Антонов, Т.Д.Сухова). Однако, практическая эксплуатация ламповой СВМ-1 в реальных условиях работающей АДТ (сильные вибрации и электромагнитные излучения, значительные колебания температуры и т.д.) выявила недостаточную надежность СВМ-1. Но был получен драгоценный опыт, и главные разработчики системы поставили проблему автоматизации ввода и обработки данных эксперимента для всех основных аэродинамических труб Института в целом, в рамках проекта создания первой Централизованной Вычислительной Системы (ЦВС-1).

Централизованная Вычислительная Система -1

Было решено сконцентрировать всю обработку в Вычислительном Центре, где для ЭВМ имелись требуемые условия для ее нормальной эксплуатации. В качестве ядра системы была выбрана одна из новых управляющих электронных вычислительных машин - УМШН-1, разработанная в ИК АН УССР. К УМШН по линиям связи подключались комплекты разработанной в ВЦ ЦАГИ аппаратуры САПФИР (Система Автоматической Перфорации и Регистрации). Расположенная непосредственно в АДТ, аппаратура САПФИР осуществляла преобразование данных, полученных измерителями, в цифровую форму, автоматическую регистрацию на перфоленге показаний многокомпонентных аэродинамических весов и групповых манометров и передачу их на Центральный Блок системы по линиям связи. В комплект интерфейсной аппаратуры САПФИР входила также и цифровая печать, с помощью которой прямо на пульте АДТ можно было оперативно распечатать выборочно данные для оперативного контроля и сравнения с ранее

полученными данными. Благодаря унифицированному интерфейсу и ряду других программно-аппаратных системных решений сеть ЦВС-1 была открытая и легко расширяемая. В процессе эксплуатации ЦВС-1 к центральному блоку (ЦБ) было подключено более десятка АДТ с комплектами аппаратуры САПФИР.

Для полного дублирования и резервирования функций в центре была установлена еще одна, теперь уже серийная УМШН, получившая название ДНЕПР-1. Была значительно расширена оперативная память ЭВМ центрального блока. Через разработанные программно-аппаратные средства к ЭВМ были подключены дополнительные внешние устройства. В частности, накопители на магнитной ленте, АЦПУ, графопостроители и др. Большой вклад в создание аппаратных средств ЦВС-1 внесли О.Н.Коршунов, В.Н.Дорожак, А.С.Титов, С.Ф.Мезенцева, И.А.Неаполитанский и др.

Для ЦБ ЦВС-1 ведущие программисты ЦАГИ (О.Ф.Иванова,



В.И.Сурина, Ю.М.Бушуев, А.С.Осипчук и др.) создавали алгоритмы и программы обработки. Особо следует отметить внедрение в начале 70-х средств автоматизированного графопостроения, которое значительно сократило полное время цикла обработки и представления данных.

Удачность реализации системы ЦВС-1 подтверждается и почти

17-летним сроком эксплуатации этой системы, в течение которого она обеспечивала проведение обработки данных аэродинамического эксперимента для всего Института. Когда, с течением времени, устаревшие ЭВМ «ДНЕПР-1» уже не смогли удовлетворять растущие запросы по реализации сложных алгоритмов обработки, они были связаны в многомашинный комплекс с ЭВМ БЭСМ-3М (впоследствии заменена на БЭСМ-4).

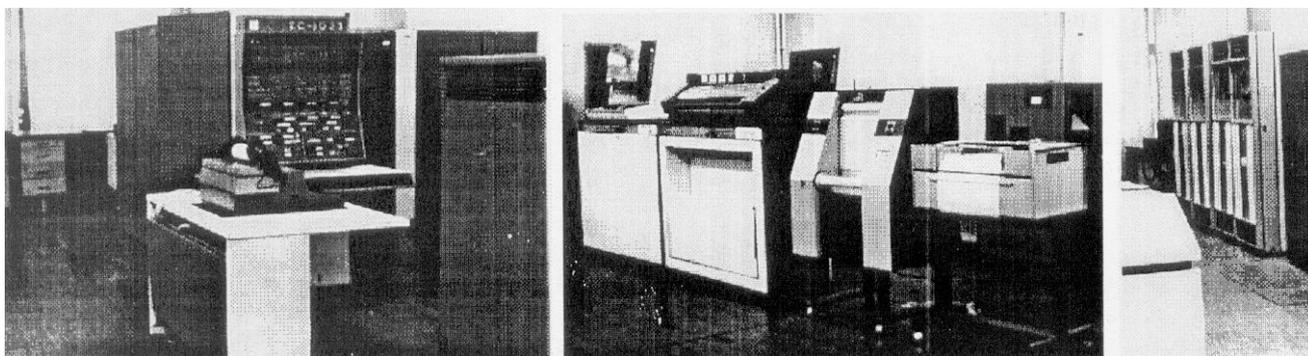
С появлением более мощных средств ВТ начали сильно развиваться численные методы расчета для определения аэродинамических характеристик. В конце 70-х ЭВМ ЦБ ЦВС-1 были подключены к ЭВМ БЭСМ-6. Этим были заложены аппаратные основы слияния экспериментальных и расчетных методов обработки и анализа данных для набирающей в те годы силу концепции Систем Автоматизированного Проектирования летательных аппаратов (генеральный конструктор Математического Обеспечения САПР - Н.Г.Буньков).



Начальник сектора ЦВС-1 и ЦВС-2 К. А. Шарий

Централизованная Вычислительная Система - 2

Базовые концепции второй версии Централизованной Вычислительной Системы автоматизации аэродинамического эксперимента - ЦВС-2 были сформулированы в конце 70-х годов под идеологическим влиянием академика В.М.Глушкова. По техническим характеристикам проекта и фактической реализации система ЦВС-2 в 80-х годах вполне соответствовала мировому уровню. В проектирование и разработку аппаратно-программных средств системы ЦВС-2 большой вклад внесли: А.А.Кузнецов, К.А.Шарий, А.В.Пилюгин, В.С.Криворученко, В.Е.Мордвинов и другие.



ЦВС-2

Логически ЦВС-2 представляла собой иерархическую звездообразную структуру, состоящую из двух уровней.

На 1-м уровне были установлены измерительно-вычислительные комплексы (ИВК), оснащенные Мини-ЭВМ типа СМ-4 и ЕС-1010, устройствами связи с измерительной и управляющей аппаратурой объекта (АДТ) и подключенные с помощью специально разработанной аппаратуры и линий связи к центральному блоку ЦВС-2. Разработка аппаратно-программных средств связи, объединяющих разнородные машины типа СМ, ЕС-1010 и ЕС ЭВМ в единую масштабируемую сеть, которая являлась на тот период



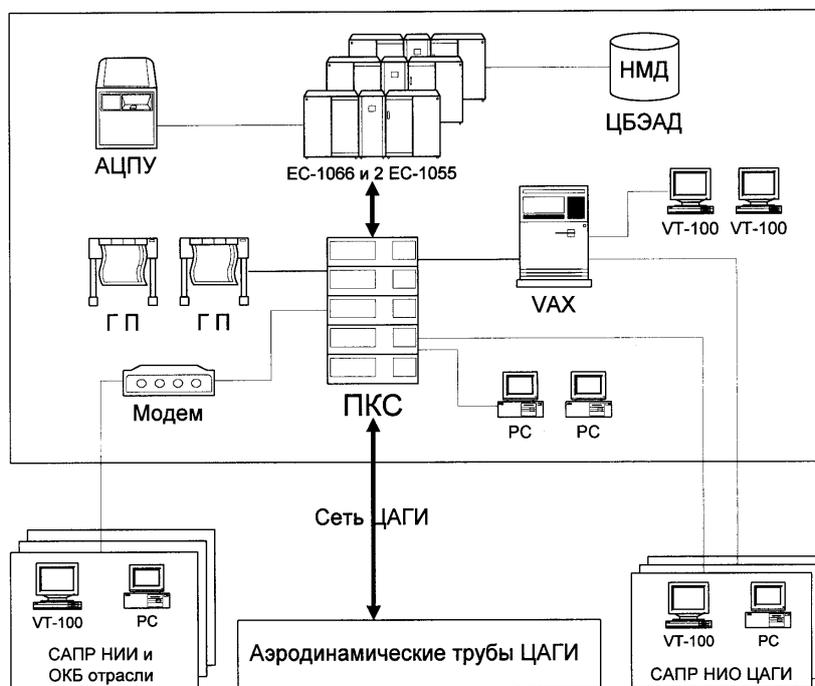
А. Д. Смирнов, В. С. Криворученко, А. В. Пилюгин, А. А. Кузнецов

уникальной и была защищена пятью авторскими свидетельствами (З.Г.Садонина, Э.М.Синицьша, Г.В.Степанова, В.Н.Змеев, А.П.Никитин, и др.). Основными задачами, возложенными на ИВК объекта, были управление механизмами трубы и положением исследуемых моделей, сбор и преобразование данных в цифровой вид, оперативная визуализация данных, обработка и представление результатов в виде таблиц и графиков. Задача получения корректно сопоставимых точностных характеристик измерительных систем была единообразным образом решена для всех ИВК системы путем создания единого метрологического обеспечения. Были разработаны и доведены до уровня стандарта единая концепция, алгоритмы и транспортабельное математическое обеспечение (Б.С.Дубов, Е.Д.Никитина и др.).

2-й уровень - центральный блок (ЦБ) был оснащен двухмашинным комплексом ЭВМ ЕС-1033 (с 1986 года заменены на ЕС-1055М, а затем и ЕС 1066) с общим полем памяти на магнитных дисках (НМД) и магнитных лентах (НМЛ), с АЦПУ, импортными графопостроителями и аппаратурой связи с ЭВМ 1-го уровня. На ЦБ возлагались задачи накопления и архивации данных, полученных с ЭВМ 1-го уровня, их комплексной обработки, погружения в Централизованный Банк Экспериментальных Аэродинамических Данных

(ЦБЭАД) и последующей передачи данных в ОКБ отрасли. Уже через 3-4 года основные принципы автоматизации аэродинамического эксперимента адаптировали и применяли в прочностном и динамическом экспериментах, которые, однако, имели свои особенности. Таким образом, описанная система была одной из первых интероперабельных систем в авиационной промышленности.

В середине 80-х в локальной сети разнородных ЭВМ были реализованы



Структура ЦВС-2

технологии файл-сервера и сервера приложений, которые реализуются сейчас в локальных сетях ЭВМ. Аппаратно-программные средства ЦВС-2 обеспечивали взаимодействие в рамках системы более десятка объектов ЭВМ.

Распределенная автоматизированная вычислительная система, ориентированная на конкретное изделие.

В 80-х годах на базе разработанных теоретических, программных и аппаратных средств было создано большое количество проблемно-ориентированных подсистем. Приведем описание лишь одной из них.

Была разработана распределенная система для проведения, обработки, анализа и представления результатов аэродинамического эксперимента конечному заказчику по модели космического самолета в связке с ракетой-носителем. Необходимая точность аэродинамических характеристик такой сложной компоновки обусловила огромный объем экспериментальных исследований. Количество каналов измерений в этих экспериментах на порядок превышало обычный уровень.

Кроме того, результаты испытаний должны были в кратчайшие сроки анализироваться и передаваться на предприятия-изготовители для проведения расчетов и внесения изменений в конструкции реальных изделий.

Общее количество кривых только в одном эксперименте превышало тысячу, а общее количество экспериментов исчислялось сотнями. Поэтому данные трубного уровня оперативно передавались по линиям связи на ЦБ-ЦВС-2, где были реализованы программы контроля.

Впоследствии работы по обеспечению информационных потоков привели к разработке отраслевого стандарта (ОСТ 102636-87) и комплексов стандартных программных средств для основных типов ЭВМ (ЕС, БЭСМ-6, PDP-11, VAX-780, IBM PC) и операционных систем, применяемых в отрасли. Программные комплексы поддержки стандарта были сданы в ОФАП (Отраслевой Фонд Алгоритмов и Программ) и распространялись на предприятиях отрасли. Их применение позволило резко сократить (более чем на порядок) время получения экспериментальной аэродинамической информации на ЭВМ САПР предприятий отрасли по сравнению с ручным вводом с бумажных носителей.

Выводы

1. Созданные в ЦАГИ распределенные системы автоматизации аэродинамического эксперимента постоянно модифицировались и расширяли свои возможности, оперативно отслеживали текущие и перспективные потребности аэрокосмической индустрии государства и полностью их обеспечивали.
2. Разработанные в 80-х годах теоретические концепции и технологии остаются актуальными и используются при создании систем автоматизации аэродинамических исследований нового поколения.
3. Созданная система аэродинамического эксперимента входит составной частью в систему автоматизации проектирования летательного аппарата.

1. A.D. Smirnov. «Data processing systems for physical experiments». Proceedings of IFIP 68 World Congress.
2. А.Д.Смирнов. «Развитие вычислительных систем ЦАГИ». ЦАГИ -основные этапы научной деятельности. 1968-1993. Раздел III, стр. 439-447. Москва. Наука. 1996.