

АВТОМАТИЗАЦИЯ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ
Системы автоматизации научных исследований

УДК 681.31+65.011.56

**Ю. Е. НЕСТЕРИХИН, А. Н. ГИНЗБУРГ, Ю. Н. ЗОЛОТУХИН,
А. М. ИСКОЛЬДСКИЙ, З. А. ЛИВШИЦ, Ю. К. ПОСТОЕНКО**

(Новосибирск)

**ОРГАНИЗАЦИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ
НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ**
(проблемы, методы, перспективы)

1. Широкое использование средств автоматизации и, в первую очередь, вычислительной техники является одним из наиболее мощных факторов интенсификации научных исследований и разработок. Совершенно очевидно непосредственное влияние внедрения систем автоматизации научных исследований (АНИ): значительное сокращение сроков разработок, уменьшение доли рутинного, неквалифицированного труда, возможность применения качественно новых совершенных методик. Важным представляется и следующее обстоятельство: несмотря на ряд специфических различий, системы АНИ и автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) имеют значительное количество общих черт. С этой точки зрения передовые академические организации, занимающиеся созданием и внедрением систем АНИ, являются своеобразными полигонами для отработки принципиальных решений, которые затем могут широко использоваться в промышленности.

Значимость проблемы АНИ, необходимость проведения централизованной научно-технической и организационной политики в этой области подчеркнута рядом постановлений Президиума АН СССР и Президиума СО АН СССР.

В этой статье обсуждаются некоторые «узкие места», характерные для нынешнего состояния проблемы АНИ; высказываются соображения о возможных путях их преодоления; излагается программа деятельности ИАЭ и СКБ НП СО АН в области АНИ.

2. Анализ существующего положения (в частности, в СО АН) показывает, что основной источник трудностей, препятствующих по-настоящему массовому внедрению средств автоматизации,— это противоречие между разнородным характером потребностей учреждений, проводящих научные исследования, и необходимостью обеспечивать эти исследования промышленными методами. Указанное противоречие обусловлено объективными причинами: разнообразием и постоянно обновляющимся составом экспериментальных задач. По-видимому, единственным реалистичным в настоящее время способом его разрешения является проведение ряда унифицирующих мероприятий, которые создали бы условия для организации серийного выпуска систем АНИ и их компонентов на базе промышленной технологии. (Показательным, хотя и в известной мере частным примером полезности подобной унификации может служить широкое распростране-

ние стандарта САМАС [1—3], представляющего собой достаточно универсальную основу для организации систем сбора данных.)

Представляется перспективной технически и экономически эффективной ориентация на создание «типовых» комплексов, обеспечивающих автоматизацию исследований в масштабах Института, которые удовлетворяли бы следующим необходимым требованиям: структура таких комплексов в значительной степени инвариантна по отношению к конкретному типу обслуживаемых экспериментов (чтобы, в частности, гарантировать долговременную перспективу развития комплекса); основные компоненты подобных систем — устройства широкого назначения (серийный выпуск которых является оправданным).

Программа, направленная на разработку типовых комплексов АНИ, должна, по нашему мнению, предусматривать:

унификацию структуры и системного математического обеспечения комплексов;

унификацию набора средств вычислительной техники и внешних устройств ЭВМ;

унификацию разработок специализированного оборудования на основе стандарта САМАС.

В дальнейшем мы будем рассматривать в основном структурные вопросы построения систем АНИ; относительно же двух других направлений стандартизации ограничимся здесь краткими замечаниями.

По отношению к ЭВМ и их внешним устройствам унификацию следует понимать как преимущественное направление: хотя в настоящее время ЭВМ серий ЕС и АСВТ-М несомненно наиболее перспективные с точки зрения их использования для АНИ, это не означает, что имеющаяся в Институтах вычислительную технику уже не следует применять в этих целях; вообще программа унифицирующих мероприятий в данном направлении должна быть особенно динамичной и хорошо согласованной с интенсивным развитием этой отрасли техники.

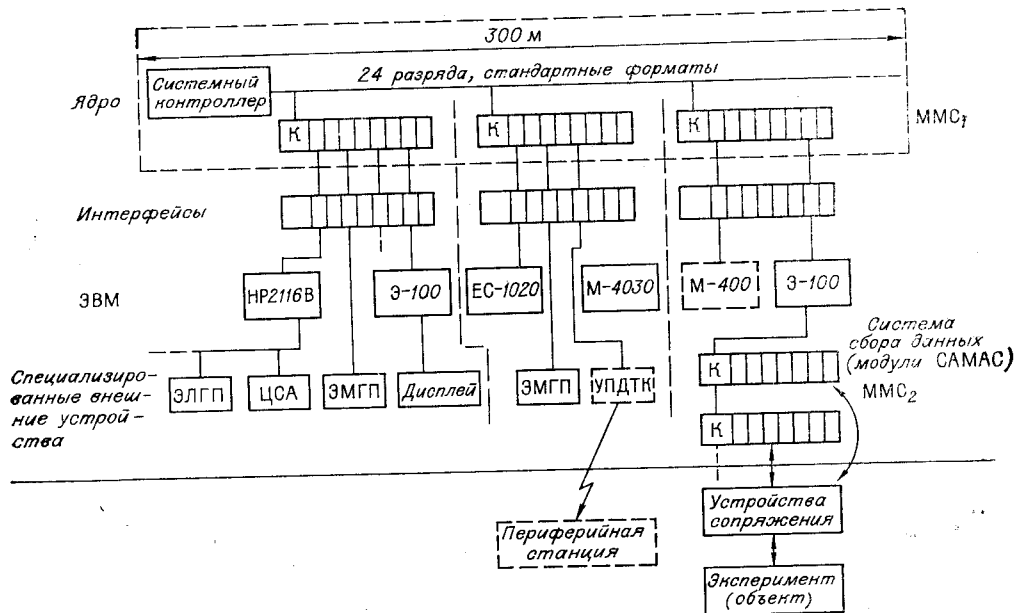
Необходимо подчеркнуть особую (и важную) роль, которую играют в системах АНИ средства графического ввода — вывода и графического диалога: именно с их помощью осуществляется наиболее эффективное взаимодействие человека (экспериментатора, обработчика), с комплексом. Кроме того, подобные средства имеют в некоторых случаях решающее значение в задачах математического моделирования.

Одной из насущных организационных задач становится налаживание массового выпуска конструктивов САМАС и решение вопросов, связанных с согласованием САМАС с отраслевыми стандартами.

Опыт ИАЭ и СКБ НП, где в течение двух лет создание систем САМАС велось в соответствии с разработанной «Инструкцией по унифицированному управлению модуля САМАС», показал эффективность такого рода внутренних нормалей, позволяющих в дополнение к стандарту унифицировать аппаратную и программную реализацию ряда общепотребительных алгоритмических процедур [4]. Кажется целесообразным широкое обсуждение этого документа. (Он будет опубликован в одном из ближайших номеров журнала.)

Система автоматизации эксперимента, способная удовлетворить потребности крупного института, представляет собой достаточно сложный «конгломерат». Обеспечение связи компонентов системы и их эффективного взаимодействия («интерфейсная проблема») является в данном случае особенно трудной задачей, если учесть, что комплексы АНИ должны допускать расширение и мобильную перестройку.

В 1973 г. в ИАЭ СО АН началась разработка общепитутского комплекса АНИ, структура которого, по нашему мнению, может рассматриваться как один из «конкурентноспособных» вариантов типовой. Предполагается в ближайшее время мультиплицировать эту структуру



для нужд других Институтов СО АН. В [5] описана первая очередь комплекса АНИ ИАЭ СО АН, организация которого показана на рисунке.

В основу обсуждаемого проекта положена концепция выделения стандартизованного внутрисистемного уровня — «ядра», инвариантного к составу комплекса и типу обслуживаемых экспериментов. Ядро представляет собой многокаркасную модульную систему (ММС), организованную по принципам САМАС и имеющую ряд стандартных форматов представления информации. Все «нормальные» модули, образующие систему (модули обмена), одинаковы; тоже относится к контроллерам каркасов.

По отношению к ядру остальные компоненты системы (или большинство из них): ЭВМ, специализированные внешние устройства, аппаратура сбора данных — являются «абонентами». Для связи абонента с ядром используется абонентский интерфейс, обеспечивающий сопряжение абонента с представляющим его в ядре модулем обмена. Таким образом, информационное взаимодействие между любыми двумя абонентами состоит из: а) взаимодействия между абонентами и соответствующими им модулями обмена; б) взаимодействия между модулями обмена, происходящего под управлением контроллера каркаса, в котором находятся эти модули (либо системного контроллера и контроллеров каркасов, если модули обмена принадлежат различным каркасам). Алгоритм обмена, функции и структура модуля обмена, функции и примеры контроллеров и абонентских интерфейсов, стандартные форматы, принятые в магистральном канале ядра, подробно описаны в [5], которую, видимо, целесообразно просмотреть прежде, чем дочитать данную статью.

Обсуждаемый здесь проект полностью согласуется с общепризнанной сейчас тенденцией стандартизации организации многомашинных систем на базе использования процессоров связи (см., например, [6]). В то же время предлагаемый вариант структуры комплекса АНИ имеет ряд особенностей, важнейшими из которых являются высокая степень «симметричности» системы и аппаратурная реализация коммуникационного процесса ядра в соответствии с САМАС.

Попытаемся проследить преимущества, которыми, по нашему мнению, обладает симметричный способ организации применительно к специфике АНИ в следующих основных направлениях: функциональные возможности, предоставляемые комплексом пользователям; аппаратурные вложения; архитектура системного математического обеспечения.

Важными отличительными чертами комплексов АНИ по сравнению, например, с вычислительными системами коллективного пользования являются больший удельный вес уникального оборудования и (отчасти, в связи с этим) большее количество необходимых внутрисистемных связей.

Перечислим наиболее типичные конфигурации, возможность которых должна обеспечиваться структурой комплекса АНИ.

Взаимодействие мини-ЭВМ, используемых для управления сбором экспериментальных данных и, возможно, для первичной обработки, с вычислительными средствами, ориентированными на «вторичную» обработку, — ЭВМ средней и высокой производительности. Здесь крайне желательна возможность любой конфигурации такого рода (связь любой мини-ЭВМ с любой ЭВМ более высокого класса) как для того, чтобы реализовать одновременную обработку результатов нескольких экспериментов, так и для лучшего использования конкретных ресурсов программного обеспечения.

«Коллективное» использование уникальных внешних устройств. Очевидно, что закрепление подобных устройств (примерами которых в настоящее время могут служить графические дисплеи, крупноформатные и прецизионные графопостроители) за фиксированными ЭВМ нецелесообразно, — гораздо выгоднее предусмотреть возможность использования их любой ЭВМ, входящей в комплекс. Это соображение, естественно, относится и к применению специализированных вычислителей.

Взаимодействие средств сбора данных с вычислительными. И здесь в ряде случаев предпочтительно не устанавливать жестких связей «измерительная аппаратура — ЭВМ»: во-первых, некоторые уникальные приборы могут быть эффективно использованы в нескольких экспериментальных работах, обслуживаемых различными ЭВМ; во-вторых, гибкая структура в данном случае повышает живучесть комплекса; в-третьих, в некоторых ситуациях для обеспечения режима «on line» имеется необходимость параллельной работы многоканальной системы сбора данных с несколькими ЭВМ.

Представляется, что симметричная организация комплекса, при которой все его компоненты потенциально равноправные (потенциально — потому что имеется возможность с помощью системы приоритетов отдать предпочтение наиболее важным в каждый конкретный момент связям), лучше приспособлена к решению задачи создания разнообразных временных конфигураций, нежели структуры нерархического типа с радиальным характером связей. В частности, возможность «прямого» взаимодействия абонентов по магистральному каналу позволяет в ряде случаев избежать нежелательной «перекачки» информации через память ЭВМ-посредника (примеры: связь мини-ЭВМ с графическим дисплеем, являющимся а) абонентом «ядра»; б) внешним устройством производительной ЭВМ).

Структура, основанная на концепции стандартизованного ядра, позволяет осуществить включение абонента в систему, т. е. обеспечить возможность прямого его взаимодействия со всеми остальными абонентами с помощью единственного интерфейсного устройства, в котором к тому же удастся выделить полностью унифицированную часть — модуль обмена.

Линейная зависимость объема интерфейсного оборудования от числа абонентов — важное обстоятельство, гарантирующее наряду с

другими факторами, которые будут обсуждены ниже, безболезненное и не требующее значительных затрат расширение комплекса.

В цели этой статьи не входит сколько-нибудь подробное описание возможных вариантов архитектуры системного математического обеспечения, соответствующих рассматриваемому принципу организации оборудования. Мы ограничимся лишь несколькими замечаниями.

Для ЭВМ-абонента вся остальная часть комплекса является жем, для примера, на одну из них — генерацию программного обеспечения для мини-ЭВМ на «хорошо оборудованной» ЭВМ («инструментальной машине»), которая может использоваться и для управления архивом программ.*

• Аппаратурная реализация ядра комплекса АНИ обусловлена стремлением повысить производительность информационного обмена. Сравнительно низкая пропускная способность каналов ввода—вывода современных ЭВМ, по-видимому, представляет собой одно из тех «узких мест», для преодоления которых целесообразно перекладывать часть программных функций на оборудование. «Шаг обмена», осуществляемый с помощью магистрального ядра (передача 24-разрядного слова из регистра данных одного модуля обмена в регистр данных другого), занимает три такта САМАС (чтение двух регистров запросов и операция двухад-ресного обмена) — 3 мкс для случая, когда оба модуля обмена входят в одном каркасе. Ясно, что в этом отношении коммуникационный процессор на базе мини-ЭВМ менее эффективен.

Важную роль в повышении производительности обмена играет аппаратурное преобразование форматов; эти функции возлагаются на абонентские интерфейсы, согласующие форматы абонентов со стандартными форматами представления информации в магистральном канале. Здесь нужно учесть, что состав абонентов комплексов АНИ, как правило, весьма разнороден, а программная «перепаковка» занимает значительное (по сравнению с циклом передачи) время.

Совершенно очевидно, что САМАС не является единственно возможным средством аппаратурной организации ядра. Однако, по нашему мнению, хорошо продуманные положения этого стандарта вполне достаточны для указанной цели. Об этом свидетельствует опыт ИАЭ СО АН, а также разработки последних лет, идеологически весьма близкие к обсуждаемому проекту (см., например, [7], где описан расширитель ввода — вывода на базе канала САМАС).

Кроме того, необходимо учитывать кадровые аспекты проблемы АНИ: сейчас происходит активное внедрение принципов САМАС, которые начинают осмысливаться все более широким кругом экспериментаторов. Поэтому распространение идеологии САМАС и на организацию системы в целом представляется естественным и перспективным.

В этом разделе мы сформулируем ряд вопросов, относящихся к обсуждаемому варианту структуры и являющихся, на наш взгляд, принципиальными. Они связаны с применением магистральных модульных систем в качестве ядра очень крупных комплексов АНИ, решающих задачи, требующие интенсивного информационного обмена и гибкого управления потоками информации. Представляется, что в настоящее время нет достаточного опыта для однозначного разрешения этих вопросов (и, по-видимому, необходимости в их срочном решении).

При определенном характере информационных связей внутри комп-

* Этим замечанием авторы обязаны Э. А. Талыкину.

лекса ветвь магистрали данных ядра или магистраль какого-либо каркаса (с точки зрения теории массового обслуживания однолинейная система) могут быть сильно загружены — предусмотрено разделение времени в канале (несколько пар абонентов могут вести обмен одновременно). Это, прежде всего, скажется на экспериментах, проводимых в режиме «on line». Возможно, что в некоторых случаях системы сбора данных и управления экспериментом целесообразно включать в комплекс не в качестве самостоятельного абонента, а через мини-ЭВМ. Положительные и отрицательные стороны обоих вариантов достаточно очевидны. Вполне вероятно, что в типовой структуре придется допустить обе возможности. Предполагается, что они будут практически апробированы в комплексе АНИ ИАЭ. (Заметим попутно, что решение задачи выбора способа подключения — аналитическое или с помощью машинного моделирования — существенно облегчается тем, что «времена обслуживания» на магистрали постоянны.)

Достаточно сложным вопросом представляется организация больших комплексов АНИ в случае, когда число абонентов и их удаленность друг от друга не позволяют использовать в качестве ядра ветвь САМАС с семью каркасами. Здесь возможно применение следующих методов: построение ядра как многоветвевой системы (при этом, однако, появляется необходимость расширения возможностей адресации); удлинение соединения между модулем обмена и абонентским интерфейсом (с использованием замкнутой системы синхронизации обмена информацией); введение в ядро последовательной ветви САМАС (см., например, [8]); включение в комплекс удаленных абонентов через аппаратуру связи по телефонным и телеграфным линиям (последний способ естественно использовать, в частности, для связи комплекса АНИ с внешним вычислительным центром).

Самым простым способом реализации возможностей управления комплексом, предоставляемых обсуждаемой структурой, служит следующее распределение управляющих функций: контроллер на основе анализа небольшого объема информации (содержимого регистров модулей обмена), устанавливает связь между абонентами и осуществляет процесс обмена; в остальном взаимодействующая пара абонентов «локализована по управлению» (главная «семантическая» нагрузка ложится на программное обеспечение ЭВМ-абонентов).

Для управления крупными комплексами АНИ такой метод организации может оказаться недостаточно гибким. В таких ситуациях, видимо, целесообразно в дополнение к аппаратурному коммуникационному процессору использовать ЭВМ, на которую можно возложить исполнение сложных функций: диспетчеризация, защита памяти, проведение контрольно-диагностических процедур и т. п. Сейчас не вполне ясно, каким образом следует включать такую ЭВМ в комплекс: как «обычного» абонента, либо через системный контроллер.

В настоящее время в ИАЭ идут работы по созданию комплекса АНИ, ориентированного главным образом на автоматизацию экспериментов импульсного типа. Первая очередь комплекса сдана в эксплуатацию; закончены НИР по стандартному модулю обмена и контроллерам — ОКР будет проведен в СКБ НП СО АН; в течение ближайшего года будут разработаны абонентские интерфейсы для включения в комплекс ЭВМ ЕС, М-4030, М-400, «Электроника-100», «Минск-32», а также ряда специализированных внешних устройств, созданных в ИАЭ и СКБ НП СО АН: электромеханических графопостроителей (ЭМГП) «Вектор 1302», «Планшет», графического дисплея «Дельта», графопостроителя на ЭЛТ ЭЛГП «Фотон», аппаратуры для передачи данных по телефонному каналу УПДК «Янтарь» и т. п. Предполагается серийный выпуск компонентов ядра и абонентских интерфейсов на опытном заводе СО АН.

ЛИТЕРАТУРА

1. EUR 4100e. CAMAC. A Modular Instrumentation System for Data Handling. Revised Description and Specification. ESONE Committee, 1972.
2. EUR 4600e. CAMAC. Organisation of Multi-Crate Systems. Specification of the Branch Highway and CAMAC Crate Controller Type A. ESONE Committee, 1972.
3. EUR 5100e. CAMAC. A Modular Instrumentation System for Data Handling. Specification of Amplitude Analogue Signals. ESONE Committee, 1972.
4. О. З. Гусев, Ю. Н. Золотухин, З. А. Лившиц, Ю. К. Постоечко, В. С. Якушев. Специфика управления в САМАС.— Автометрия, 1973, № 2.
5. В. Д. Бобко, Ю. Н. Золотухин, Ю. М. Крендель, З. А. Лившиц, А. П. Ян. Магистральная система обмена информацией.— Автометрия, 1974, № 4.
6. Ал. Е. Бреннер, Ю. В. Ступин. Децентрализованные и централизованные системы обработки в научных исследованиях США. Препринт ФИАН № 184, М., 1973 г.
7. L. Babiloni, E. de Agostino, B. Rispoli. CAMAC Data Transmission System for Computer — to — Computer Communication.— CAMAC Bulletin, 1973, № 7.
8. R. C. M. Vagnes. The CAMAC Serial Highway — A Preview.— CAMAC Bulletin, 1973, № 8.

Поступила в редакцию 8 апреля 1974 г.

УДК 681.323.+681.325.021

**В. Д. БОБКО, Ю. Н. ЗОЛОТУХИН, Ю. М. КРЕНДЕЛЬ,
З. А. ЛИВШИЦ, А. П. ЯН**
(Новосибирск)

МАГИСТРАЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБМЕНА ИНФОРМАЦИЕЙ

1. В [1] обсуждены принципы построения типовой структуры комплекса автоматизации научных исследований, базирующейся на концепции использования стандартизованного внутрисистемного уровня (ядра) для обмена информацией между различными компонентами комплекса (абонентами). В настоящей статье подробно описаны (в терминах структуры и функционирования) указанный стандартный уровень и техника взаимодействия между ядром и абонентами; отмечены особенности разработанной в 1973 г. в ИАЭ СО АН СССР магистральной системы обмена информацией, являющейся первой очередью общепромышленного комплекса автоматизации научных исследований.

2. Функции ядра в обсуждаемой типовой структуре выполняет магистральная модульная система, соответствующая принципам САМАС [2, 3]. Алгоритмы функционирования, рассматриваемые ниже, относятся к случаю однокорпусной системы; отличия, связанные с присутствием ветви магистрали данных, определяются в основном условиями САМАС [3] (см, также [1]).

Сопряжение абонента комплекса с ядром осуществляется с помощью интерфейса, подразделяющегося на две части: стандартный (не зависящий от типа абонента) модуль обмена и собственно абонентский интерфейс. Модули обмена вместе с управляющим блоком-контроллером и образуют ядро (рис. 1).

Описываемые ниже функциональная схема модуля обмена и алгоритмы его взаимодействия с контроллером и абонентским интерфейсом создаются унифицированными. Соблюдение связанных с этим ограничений обязательно для совместимости с предлагаемой ИАЭ типовой структурой.

Для контроллера **обязательным** является выполнение функций, возлагаемых на него в соответствии с алгоритмом, приведенным на рис. 2. Иных ограничений на его реализацию не накладывается.