



Секретариат



## **Подходы к созданию интегрированных систем противоаварийного управления на базе унифицированных программно-технических комплексов ПА**

**А.К. ЛАНДМАН, А.М. ПЕТРОВ, А.Э. ПЕТРОВ, О.О. САКАЕВ**  
**ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»**

**Россия**  
**iaes@iaes.ru**

### **КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

Противоаварийное управление, интегрированные системы ПА, унификация, модульность, масштабируемость, развиваемость, резервирование, взаимодействие, программно-технический комплекс.

### **1 ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время одним из основных и перспективных направлений развития систем противоаварийного управления в энергетике является интеграция устройств противоаварийной автоматики (ПА) различных уровней в единые системы ПА. В связи с этим, перед разработчиками устройств ПА встает задача создания универсального программно-технического комплекса, обеспечивающего, в зависимости от комплектации и настройки:

- возможность выполнения функций ПА любого уровня;
- возможность взаимодействия с другими устройствами ПА в рамках системы ПА;
- возможность построения интегрированной системы ПА на базе набора типовых устройств.

Разработка такого комплекса ПА должна основываться на принципах унификации, модульности, масштабируемости, развиваемости, резервирования.

Рассмотрим подходы к разработке и практические результаты разработки унифицированных программно-технических комплексов для решения задач противоаварийного управления различных уровней иерархии и сложности, с целью построения на их базе интегрированных систем ПА.

### **2 ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПА**

#### **2.1 Общие сведения**

В соответствии со стандартом [1], существует следующая классификация систем ПА с точки зрения их структуры:

Локальная ПА (ЛПА) – противоаварийная автоматика отдельного объекта энергетической системы (ЭС), имеющая собственную логику выбора УВ, использующая, как правило, местную информацию.

Децентрализованная ПА (ДПА) – совокупность устройств ПА, размещенных на разных объектах ЭС, объединенных единым принципом действия, взаимно скоординированными параметрами настройки, но без центрального устройства.

Централизованная ПА (ЦПА) – ПА, контролирующая совокупность схемно-режимных параметров района управления энергосистемы, с единым центром принятия решений,

реализующая управляющие воздействия на объектах энергетики, рассредоточенных в обслуживаемом районе и связанных каналами передачи информации с центром.

Интегрированная в ЦПА локальная ПА – включенная в состав ЦПА локальная ПА, осуществляющая в дополнение к собственному управлению передачу на верхние уровни ЦПА информации о своем состоянии и приоритетное исполнение команд ЦПА по вводу управляющих воздействий.

Централизованная координирующая ПА (ЦКПА) – ПА, осуществляющая согласование параметров срабатывания подсистемы ПА одного района управления с параметрами режима объектов управления и параметрами срабатывания подсистем ПА других районов управления.

Последние два вида систем ПА являются частными случаями иерархической ПА, принятие решений в которой распределено по нескольким уровням управления. Так, ЦКПА может действовать на уровне энергообъединения, ЦПА – на уровне района управления в пределах данного энергообъединения, ЛПА – на уровне конкретного объекта.

При реализации любой из вышеупомянутых структур, за исключением ДПА, возможно построение интегрированной системы ПА, т.е. системы, подразумевающей взаимодействие между устройствами ПА на уровне обмена информацией. С этой точки зрения, любая иерархическая система ПА по определению является интегрированной.

## *2.2 Организация интегрированной системы ПА на примере иерархической ПА ЕЭС России*

Стандарт [1] определяет следующие уровни структуры иерархической ПА ЕЭС России:

- централизованную координирующую ПА ЕЭС России (уровень ЕЭС);
- ЦПА и координирующие (ЦКПА) ПА объединенных энергосистем (уровень ОЭС);
- ЦПА районов управления (уровень региональных ЭС);
- локальные ПА объектного уровня (уровень управления одного или нескольких энергообъектов: станция, подстанция, энергоузел ЭС).

В ЦПА, ЦКПА, как правило, должно быть обеспечено выполнение следующих функций:

- расчет УВ в своем районе управления, передача в устройства АЗД результатов расчета УВ;
  - прием от системы сбора и передачи информации (ССПИ) доаварийной информации о схеме и режиме электрической сети;
  - прием от устройств нижнего уровня своего района (при необходимости) информации о располагаемых ресурсах управления, о готовности к функционированию;
  - прием от верхних уровней иерархии координирующей информации, необходимой для уточнения эквивалентов модели энергосистемы, для учета ограничений при выборе УВ, обработка и передача этой информации на устройства подчиненного уровня;
  - передача на верхний уровень (при необходимости) информации о располагаемых ресурсах противоаварийного управления, о готовности к функционированию, о подготовленной дозировке, о результатах работы ПА;
  - обмен с другими комплексами АПНУ одного уровня информацией о ресурсах управления, режиме примыкающей сети (при необходимости), готовности к функционированию, а также передача команд управления в смежный район управления и прием команд на реализацию УВ от смежных районов;
  - запоминание и выбор УВ при срабатывании пусковых органов (ПО);
  - передача команд на исполнительные органы (ИО).
- ЛПА должна обеспечивать:
- сбор и обработку доаварийной информации в пределах своей зоны управления;
  - прием от устройств верхних уровней иерархии координирующей информации;
  - прием от ЦПА дозировки УВ и выставление этой дозировки в качестве приоритетной для передачи на ИО при срабатывании соответствующих ПО (выполнение функций вынесенного АЗД);
  - передачу на верхний уровень информации о располагаемых ресурсах УВ, готовности к реализации УВ по командам устройства верхнего уровня, доаварийной информации о схеме и режиме своей зоны управления (при необходимости);
  - расчет и запоминание дозировки УВ для всех фиксируемых пусковыми устройствами аварийных возмущений (АВ);

- выдачу УВ на свои объекты, а при недостаточности объема УВ на своем объекте в смежные районы;

- настройку, при необходимости, параметров срабатывания пусковых устройств.

При наличии координирующей связи с верхними уровнями иерархии, устройство (ЛПА, ЦПА) должно запоминать УВ согласно настройке, принятой от устройства верхнего уровня (ЦКПА, ЦПА). При отсутствии такой связи, УВ определяются по собственной информации. Кроме того, устройства нижнего уровня могут, при необходимости, осуществлять выбор УВ на основании местной информации для тех АВ, которые по каким-либо причинам не могут быть обработаны устройствами верхнего уровня. Таким образом, осуществляется полное резервирование функций управления.

Исходя из вышеизложенного, для каждого иерархического уровня ПА предусматривается система обмена информацией с другими уровнями. Соответствующие каналы связи при этом должны обеспечивать:

- надежность и достоверность передачи доаварийной информации, настроек и статуса устройств между взаимодействующими комплексами путем тестирования с использованием соответствующих протоколов передачи;

- требуемую скорость передачи информации между комплексами.

Ввод доаварийной информации в устройства уровня ОЭС (ЦКПА), согласно стандарту [1], предполагается осуществлять от оперативно-измерительного комплекса (ОИК) соответствующего подразделения системного оператора (СО). Однако, в этом случае ОИК оказывается в контуре управления, к надежности его функционирования предъявляются те же требования, что и к устройствам ПА, что влечет за собой изменение регламента обслуживания как самого ОИК, так и сетевого оборудования, обеспечивающего связь между ЦКПА и ОИК. Кроме того, ССПИ ОИК не всегда в состоянии обеспечить детерминированное время доставки информации [1, п 7.1.29]. В связи с этим, существует компромиссный вариант организации ввода информации, с использованием доаварийной информации о текущем режиме, получаемой от устройств нижнего уровня, в качестве основного набора величин для расчетов в ЦКПА, и вводом недостающей информации из ОИК. В любом случае, необходима унификация централизованных ПА и ОИК в части информационного обмена.

### *2.3 Требования к унифицированному программно-техническому комплексу*

Исходя из вышеизложенных принципов, а также в соответствии с требованиями стандарта [1], к унифицированному программно-техническому комплексу ПА предъявляются следующие требования:

- стандартная структура комплекса технических средств (КТС);
- гибкость комплектации КТС, в зависимости от выполняемых функций;
- стандартная модульная структура комплекса программных средств;
- гибкость настройки технологической цепочки программных модулей;
- четко детерминированное время реакции на возмущения;
- поддержка стандартных интерфейсов взаимодействия с внешними устройствами.

При этом, программное обеспечение унифицированного комплекса ПА должно выполнять следующие стандартные технологические функции:

- ввод и достоверизация вводимой информации;
- контроль параметров текущего режима;
- контроль состояния элементов схемы района управления, на базе методов топологического анализа;
- выбор управляющих воздействий;
- выдача сигналов в цепи управления и сигнализации;
- протоколирование работы;
- обмен информацией с внешними устройствами.

## **3 ОПЫТ РАЗРАБОТКИ УНИФИЦИРОВАННОГО ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА**

На основании многолетнего опыта проектирования систем ПА, а также опыта разработки, внедрения и эксплуатации управляющих вычислительных комплексов (УВК) ПА, ЗАО ИАЭС

был разработан комплекс противоаварийной автоматики многофункциональный (КПА-М). Разработка КПА-М основывалась на принципах унификации, модульности, масштабируемости, развиваемости, резервирования, с тем, чтобы на базе универсального программно-технического комплекса можно было построить линейку типовых устройств для функционирования на всех уровнях иерархической ПА.

КПА-М предназначен для решения задач противоаварийной автоматики и противоаварийного управления различных уровней иерархии и сложности, и может выполнять, в зависимости от комплектации, следующие функции:

- Автоматика дозирования управляющих воздействий всех уровней (локальная АДВ, ЦПА, ЦКПА)

- Автоматика запоминания дозирования УВ (АЗД)
- Автоматика фиксации отключения линии или трансформатора (ФОЛ или ФОТ)
- Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР)
- Автоматика управления линейным реактором (АУЛР)
- Автоматика ограничения повышения напряжения (АОПН)
- Автоматика управления шинными реакторами (АУШР)
- Автоматика ограничения снижения напряжения (АОСН)
- Автоматика ограничения перегрузки оборудования (АОПО)
- Другие виды локальной и системной автоматики

### *3.1 Структура комплекса технических и программных средств КПА-М*

Решение задач локальной автоматики выдвигает к устройствам ввода-вывода информации следующие требования:

- необходимость универсального устройства ввода как стандартных аналоговых сигналов от измерительных преобразователей, так и сигналов непосредственно из измерительных цепей ТТ и ТН;

- необходимость одновременного ввода замеров по фазам (например, для устройств АЛАР);

- необходимости минимизации задержек при вводе и выводе информации.

В связи с этим, были разработаны стандартные платы ввода-вывода:

- плата ввода токовых сигналов (1 А или 5 А);
- плата ввода напряжений (100 В);
- плата ввода стандартных аналоговых сигналов (0-5 мА, 4-20 мА);
- плата ввода-вывода дискретных сигналов (16 входов или выходов).

Для работы с этими модулями был разработан блок функциональный (БФ), представляющий собой микропроцессорное устройство на базе одноплатного промышленного компьютера в конструктиве «Евромеханика», в котором размещаются платы ввода-вывода. Производство БФ и плат ввода-вывода информации было налажено на базе ЗАО «Модульные системы Торнадо».

Кроме стандартных комплектующих собственной разработки, в составе КПА-М используются следующие стандартные комплектующие в промышленном исполнении:

- Стандартный шкаф 19", глубиной 600 или 800 мм;
- Системные блоки;
- ЖК консоль;
- Сетевой коммутатор;
- Источник бесперебойного питания (ИБП).

Системный блок, в структуре КТС КПА-М называемый также блоком сервера (БС), представляют собой микропроцессорное устройство общего назначения в промышленном исполнении.

Компоненты КТС КПА-М выполняют следующие функции:

Блок функциональный (БФ) выполняет функции ввода-вывода информации, функции локальной автоматики (ФОЛ, ФОТ, АЛАР, АУЛР, АУШР, АОПН, АОСН, АОПО и т.п.), а также функции ПА нижнего уровня (локальной АДВ и АЗД).

Блок сервера (БС) выполняет функции ПА среднего и верхнего уровня (ЦПА, ЦКПА), внешнего контроля и протоколирования работы БФ, рабочего места оператора и т.п.

Сетевой коммутатор (СК) предназначен для организации межмашинного обмена в пределах КПА-М, а также связи с устройствами верхнего уровня АСУ ТП и ПА при помощи сетевого интерфейса Ethernet. По требованию заказчика, СК может быть оснащен выходом для подключения оптоволоконной линии.

Консоль ввода-вывода с жидкокристаллической панелью (ЖК) предназначена для обеспечения доступа эксплуатирующего персонала к БФ и БС с целью проведения работ по эксплуатационному обслуживанию (контроль, тестирование, конфигурирование).

Источник бесперебойного питания (ИБП) предназначен для организации бесперебойного питания БС, СК, ЖК.

Для выполнения функций устройств ПА было разработано стандартное программное обеспечение на базе операционной системы реального времени QNX.

Программные блоки КПА-М могут быть разделены по функциональности на следующие группы:

- системные блоки, организующие технологическую цепочку, протоколирование работы и контроль функционирования;
- блоки ввода-вывода и фиксации информации от подключенных к устройству датчиков, а также от устройств АСУ ТП, верхнего и нижнего уровней ПА и т.п.;
- технологические блоки, реализующие конкретные функции устройства ПА.

Таким образом, программное обеспечение конкретного устройства на базе КПА-М представляет собой набор программных блоков, объединенных в технологическую цепочку при помощи стандартных механизмов обмена данными, по сути — при помощи таблиц настройки (рис. 1). При этом, программные блоки, отвечающие за фиксацию и обработку дискретных сигналов (аварийные сигналы, сигналы состояния элементов схемы района управления) выполняют все необходимые операции в течение *четко детерминированного интервала времени* (стандартная величина - 1 мс).



**Рис. 1: Технологическая цепочка КПА-М**

Для реализации функций ПА в устройстве на базе КПА-М, как правило, нет необходимости в добавлении новых программных блоков, конкретный технологический алгоритм может быть реализован только за счет настройки.

Для обеспечения надежности функционирования на программном уровне предусмотрены средства синхронизации функционирования полуконфигурованных дублированных устройств ПА, средства само- и взаимодиагностики полуконфигурованных устройств, средства автоматического восстановления функционирования отдельных программных блоков и всего устройства в целом после сбоя.

Для обмена информацией с устройствами телемеханики, устройствами верхнего и нижнего уровней иерархии ПА, АСУ ТП, АСУ ТП реализованы стандартные протоколы обмена МЭК 870-5-104 и Modbus/TCP.

### 3.2 Примеры конфигураций устройств ПА ОЭС Сибири на базе КПА-М

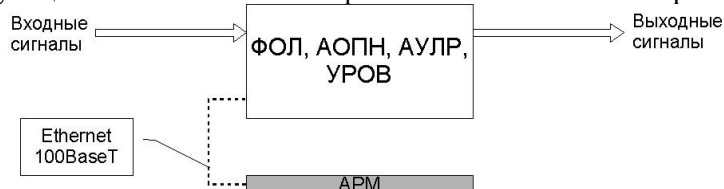
В настоящее время, несмотря на сложную экономическую ситуацию, проводятся работы по реконструкции устройств системы ПА ОЭС Сибири. Рассмотрим примеры конфигураций устройств ПА различных уровней на базе КПА-М, устанавливаемых на объектах ОЭС Сибири в рамках этих работ.

КПА-М в комплектации шкафа линейной автоматики выполняет следующие функции:

- Автоматика фиксации отключения линии (ФОЛ);
- Автоматика ограничения повышения напряжения (АОПН);
- Автоматика управления линейным реактором (АУЛР) с УРОВ.

Фактически, данная комплектация КПА-М является минимальной. В шкаф устанавливается один БФ, выполняющий функции вышеперечисленных автоматик. Ввод аналоговой информации в шкаф производится от измерительных цепей трансформаторов тока (1 или 5 А) и напряжения (100 В). Ввод дискретной информации производится сигналами типа «сухой контакт» от контактных устройств. Вывод дискретных сигналов осуществляется сигналами типа «сухой контакт». Свободное пространство шкафа занимают промежуточные реле ввода-вывода дискретных сигналов, кнопки, ключи, испытательные блоки. Для обслуживания устройства в комплект поставки входит автоматизированное рабочее место (АРМ) на базе ноутбука, подключаемого к разъему Ethernet непосредственно на БФ.

Структура функциональных связей шкафа линейной автоматики приведена на рис. 2.



**Рис. 2:** Структура функциональных связей шкафа линейной автоматики КПА-М в минимальной комплектации

В [2-5] предложена концепция развития системы ПА ОЭС Сибири, целью которой является построение иерархической системы автоматики предотвращения нарушения статической устойчивости. Разработка КПА-М была, в том числе, одним из результатов работ в данном направлении, поэтому конфигурации КПА-М, предназначенные для функционирования в рамках иерархической АПНУ, представляют большой интерес.

КПА-М в комплектации шкафа ЦПА выполняет следующие функции:

- Районная автоматика дозирования УВ (РАДВ);
- Автоматика запоминания дозирования УВ (АЗД).

Для выполнения данных функций в шкафу установлено следующее оборудование:

- два БФ, выполняющие функции АДВ и АЗД;
- 1 БС, выполняющий функции внешнего контроля и протоколирования работы БФ;
- 1 ЖК консоль;
- 1 СК для организации межмашинного обмена в пределах КПА-М, а также связи с верхним уровнем;
- 1 ИБП для обеспечения бесперебойного питания БС, СК и ЖК.

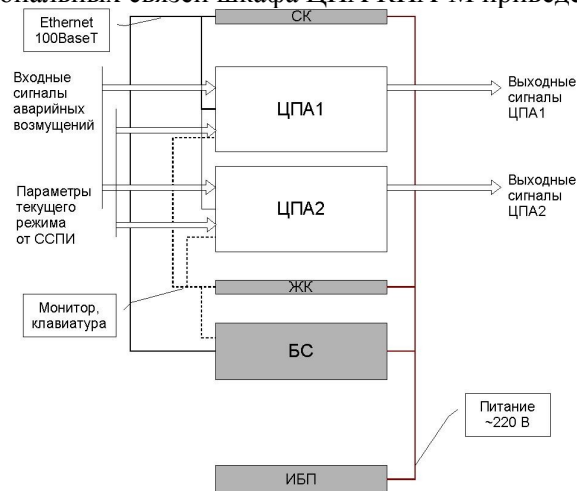
В соответствии с требованиями стандарта [1], с целью резервирования устройства, применяется двухшкафное исполнение с общим кроссовым шкафом для организации дискретного ввода-вывода. При этом один шкаф ЦПА находится в эксплуатации, второй (подменный) — в горячем резерве.

Ввод аналоговой и дискретной доаварийной информации производится от устройств телемеханики при помощи сетевого интерфейса Ethernet по протоколам МЭК 870-5-104 или Modbus/TCP. Ввод-вывод дискретной информации производится сигналами типа «сухой контакт». Связь с устройствами верхнего уровня осуществляется при помощи сетевого интерфейса Ethernet по протоколу МЭК 870-5-104.

В рамках иерархической системы АПНУ, ЦПА способен работать в режиме удаленного АЗД, выставляя дозировку УВ, выбранную ЦКПА, в качестве приоритетной. В случае потери связи с устройством верхнего уровня, ЦПА автоматически переходит в режим выставления

собственной дозировки УВ. Выбор дозировки может производиться по способам I-ДО или II-ДО.

Структура функциональных связей шкафа ЦПА КПА-М приведена на рис 3.



**Рис. 3:** Структура функциональных связей шкафа ЦПА КПА-М

КПА-М в комплектации шкафа ЦКПА выполняет следующие функции:

- Координирующая автоматика дозировки УВ (КАДВ);
- Прочие функции ЦКПА, определенные стандартом [1];

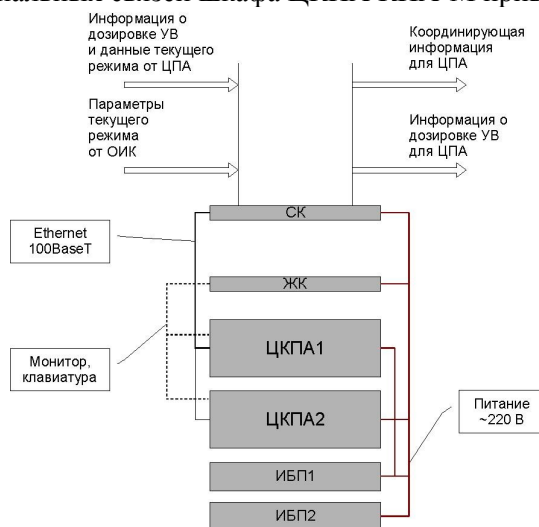
Для выполнения данных функций в шкафу установлено следующее оборудование:

- 2 БС, выполняющий функции ЦКПА;
- 1 ЖК консоль;
- 1 СК для организации межмашинного обмена в пределах КПА-М, а также связи с внешними устройствами;
- 1 ИБП для обеспечения бесперебойного питания БС, СК и ЖК.

Ввод доаварийной информации производится от ЦПА нижнего уровня, а также от ОИК при помощи сетевого интерфейса Ethernet по протоколу МЭК 870-5-104. Передача дозирок УВ и координирующей информации на нижний уровень также производится по протоколу МЭК 870-5-104.

Выбор дозировки УВ ЦКПА производит по способу I-ДО, дозировка и координирующая информация для ЦПА нижнего уровня выбирается согласно математической модели ОЭС.

Структура функциональных связей шкафа ЦКПА КПА-М приведена на рис 4.



**Рис. 4:** Структура функциональных связей шкафа ЦКПА КПА-М

#### **4 ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Устройства ПА на базе унифицированного программно-технического комплекса КПА-М, разработанного ЗАО «ИАЭС», могут, в зависимости от комплектации и настройки:

- выполнять функции ПА любого уровня;
- взаимодействовать с другими устройствами ПА в рамках интегрированной системы ПА;
- служить основой для построения интегрированной системы ПА на базе набора типовых устройств.

В настоящее время устройства ЦПА на базе КПА-М в двухшкафном исполнении установлены на ПС 1150 кВ Алтай и ПС 500 кВ Таврическая. В рамках развития системы ПА ОЭС Сибири ведется разработка устройств АДВ на базе КПА-М для установки на ПС Рубцовская, ПС Камала, ПС Озерная, Богучанской ГЭС, Саяно-Шушенской ГЭС, на стадии внедрения находится координирующая система противоаварийной автоматики (КСПА), выполняющая функции ЦКПА ОЭС Сибири, с центром в ОДУ Сибири. Ведутся работы по внедрению устройств ЦПА в ЕЭС Казахстана. Кроме того, значительное количество локальных устройств ПА установлено и продолжает внедряться в Читинской, Томской, Омской, Иркутской, Красноярской и других энергосистемах.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- [1] СТО 59012820.29.240.008-2008. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования. М., 2008.
- [2] Разработка схемы развития системы противоаварийного управления ОЭС Сибири. Этап 1. Анализ текущего состояния системы противоаварийного управления (ПАУ) ОЭС Сибири, оценка эффективности, общий подход к развитию и совершенствованию, режимы работы, устойчивоспособность и управляемость. Инв № 01-ОЭС/03-16-т1. Новосибирск, ЗАО «ИАЭС», 2003.
- [3] Разработка схемы развития системы противоаварийного управления ОЭС Сибири. Этап 2. Разработка рекомендаций по выбору модели управления для определения управляющих воздействий (УВ) ПАУ, структуры системы ПАУ на перспективу. Инв № 01-ОЭС/03-16-т2. Новосибирск, ЗАО «ИАЭС», 2003.
- [4] Разработка схемы развития системы противоаварийного управления ОЭС Сибири. Этап 3. Анализ номенклатуры микропроцессорных устройств общего назначения в промышленном исполнении, перспективных решений в части системного и технологического программного обеспечения и разработка рекомендаций по применению в системе ПАУ. Инв № 01-ОЭС/03-16-т3. Новосибирск, ЗАО «ИАЭС», 2003.
- [5] Разработка схемы развития системы противоаварийного управления ОЭС Сибири. Этап 4. Анализ возможных вариантов и разработка рекомендаций по организации системы сбора и передачи информации в системе ПАУ. Инв № 01-ОЭС/03-16-т4. Новосибирск, ЗАО «ИАЭС», 2003.