

ОБЪЕДИНЕННЫЙ  
ИНСТИТУТ  
ЯДЕРНЫХ  
ИССЛЕДОВАНИЙ

Дубна

P10-2000-153

В.Г.Ермилов, В.В.Иванов, В.С.Королев,  
Ю.Н.Пепельшев, С.В.Семашко, А.Б.Тулаев

СИСТЕМА ДИАГНОСТИКИ И КОНТРОЛЯ  
СОСТОЯНИЯ ИМПУЛЬСНОГО РЕАКТОРА ИБР-2.  
НАКОПЛЕНИЕ И ХРАНЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Направлено в оргкомитет Международной конференции  
«DANEF-2000», 3–7 июня 2000 г., Дубна

2000

## 1. Введение

В ЛНФ ОИЯИ ведутся работы по созданию автоматизированной системы контроля состояния импульсного реактора ИБР-2. Система разрабатывается как распределенная система сбора, хранения, обработки и предоставления информации о состоянии реактора для обслуживающего персонала, пользователей нейтронных пучков и других групп пользователей. Частью создаваемой системы является подсистема накопления и хранения информации. Описываемая подсистема представляет собой сложный программно-аппаратный комплекс, состоящий из большого количества составляющих элементов и собственных подсистем, поэтому далее по тексту подсистема накопления и хранения информации определяется как самостоятельная система. В работе представлено описание системы с точки зрения организации информационных потоков, обработки и хранения данных, предоставления пользователям доступа к накопленной информации.

## 2. Краткое описание общей структуры системы

Система предназначена для выполнения следующих функций:

- измерения основных реакторных параметров,
- накопления информации и ведения базы данных,
- обработки и анализа информации,
- предоставления информации об актуальном состоянии реактора оперативному персоналу и удаленным пользователям.

В результате анализа требований к характеру выполняемых задач, составу оборудования, потокам данных, а также оценки предполагаемого сетевого трафика, был выбран вариант построения системы с выделенным сервером (рис.1). Принятая архитектура, а также некоторый запас по производительности, заложенный на этапе проектирования, позволяют обеспечить гибкость и масштабируемость системы, увеличивая при необходимости ее функциональные возможности.

В качестве центрального элемента используется выделенный сервер — *System Server*, работающий под управлением операционной системы Windows NT 4.0, который объединяет рабочие станции и измерительные подсистемы в единое целое. Сервер собран на платформе двухпроцессорного варианта Pentium-II/400. При этом для обеспечения максимального быстродействия и производительности разработанное программное обеспечение функционирует в мультипоточном режиме, используя возможности, предоставляемые операционной системой и многопроцессорным CPU сервера. Основной задачей сервера является диспетчеризация потоков данных, ведение баз данных системы — оперативной и основной, а также осуществление внешних коммуникаций для предоставления информации удаленным клиентам, включая компьютеры, обеспечивающие WWW-сервис системы. В локальной сети сервер группы является первичным контроллером домена.

Научно-техническая  
библиотека  
ОИЯИ

Рабочая станция основной измерительной подсистемы — *Main Measuring Workstation* обеспечивает сбор данных о состоянии реакторных параметров, накопление и передачу информации на сервер.

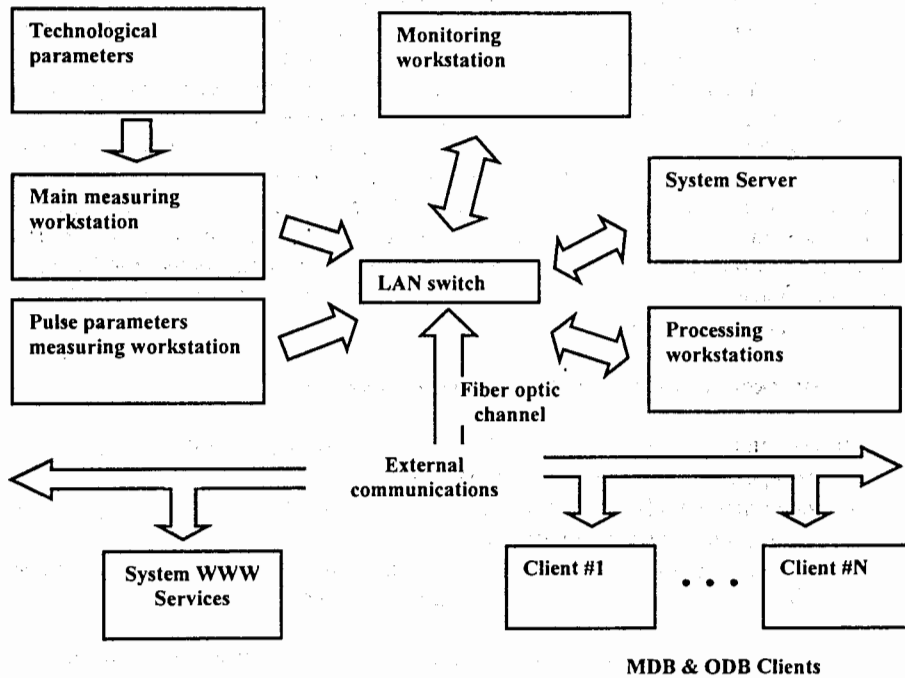


Рис. 1. Структура системы

Эта рабочая станция выполняет серию собственных измерений ряда реакторных параметров и одновременно является концентратором данных, поступающих из измерительных подсистем — *Technological parameters*, как штатных из состава СУЗ реактора, так и специализированных. Перечень измеряемых параметров приведен в табл. 1. Рабочая станция функционирует под управлением операционной системы DOS.

Рабочая станция мониторинга — *Monitoring Workstation* выполняет функции по оперативной обработке данных, визуализации текущего состояния реакторного цикла и записывает информацию в основную базу данных. К компьютеру станции мониторинга предъявляются повышенные требования по производительности графической подсистемы и, в связи с большим количеством вычислительных задач, к CPU рабочей станции. Поэтому в этом случае также выбран двухпроцессорный вариант. В локальной сети станция мониторинга выполняет функции вторичного контроллера домена.

Таблица 1

Основная измерительная подсистема (19 сигналов)	
Назначение:	Диагностическая подсистема. Выполняет локальное измерение энергии импульса мощности и состояния шиберов, сбор данных с технологических измерительных подсистем и передачу информации на системный сервер.
Платформа:	PC486, ISA DAQ-модули, DOS
Коммуникации:	С подсистемой "Технология" — RS-422, с сервером — LAN
Режим работы:	Постоянный, поток данных 2.6 Кб/с
Измеряемые параметры:	1. Энергия импульса мощности 2. Смещение вада подвижного отражателя 3. Состояние шиберов
Измерительная подсистема "Положение ПО", 16 сигналов	
Назначение:	Подсистема АСИ ИБР-2. Измеряет временные параметры подвижных отражателей — основного (ОПО) и дополнительного (ДПО), передает данные в технологическую систему
Платформа:	PC486 в промышленном исполнении, ISA DAQ-модули, DOS
Коммуникации:	RS-422
Режим работы:	Постоянный, поток данных 2.3 Кб/с
Измеряемые параметры:	1. Положения лопастей ОПО — период, смещение 2. Положения лопастей ДПО — период, смещение 3. Периоды стартов реактора 4. Фаза ОПО — ДПО
Измерительная подсистема "Технология", 41 сигнал	
Назначение:	Подсистема АСИ ИБР-2. Измеряет основные технологические параметры реактора, передает данные в основную измерительную подсистему
Платформа:	Группа PC486, ISA DAQ-модули, автономные промышленные измерители, DOS, WINDOWS -3.11
Коммуникации:	RS-422
Режим работы:	Постоянный, поток данных 2.4 Кб/с
Измеряемые параметры:	1. Положение органов регулирования и состояние концевиков. Амплитуда импульса мощности и средняя мощность реактора 2. Вибрации опор ПО 3. Температура, подогрев и расход натрия 4. Температура подвижного и стационарного отражателей

Таблица 1 (продолжение)

Измерительная подсистема "Форма ИМ и спектры", 7 сигналов	
Назначение:	Исследовательская подсистема. Производит измерение параметров импульса мощности по специальным методикам.
Платформа:	Группа PC586, ISA DAQ-модули, DOS, WINODOWS-95
Коммуникации:	LAN
Режим работы:	Периодический (типовые циклы: до 1 часа, 24 часа), поток данных 0.01- 5 Кб/с
Измеряемые параметры:	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Временные спектры тепловых нейтронов</li> <li>2. Форма одиночной нейтронной вспышки</li> <li>3. Форма вспышки в счетном режиме</li> <li>4. Пусковые каналы в счетном режиме</li> </ol>

Остальные рабочие станции системы предназначены для обеспечения дополнительной функциональности: измерения формы импульса, анализа и обработки измеренных параметров реактора, WWW-сервиса и т.д.

Информация в системе хранится в базе данных, состоящей из двух взаимосвязанных частей — оперативной и основной. Оперативная база данных предназначена для временного хранения полного блока измерительной информации в течение заданного интервала времени и является основой для *on-line* обработки и оперативного анализа состояния реактора.

Основная база данных предназначена для хранения информации долговременного характера, позволяющей выполнять детальное исследование характеристик реактора как в *on-line*, так и в *off-line* режимах. Проектирование физической и логической структуры системы хранения данных базировалось на следующих принципах:

- распределенная обработка информации,
- обеспечение максимального быстродействия и надежности.

### 3. Информационные потоки в системе

Основной поток данных поступает от измерительной подсистемы — *Technological parameters* и составляет, в общей сложности, примерно 3.5Гб данных за один цикл работы реактора (в среднем за 12 дней непрерывной работы). Взаимодействие между сервером и измерительными станциями обеспечивается посредством обмена файлами через разделяемое дисковое пространство сервера (рис. 2).

Основная измерительная станция — *Main Measuring Workstation* один раз в секунду принимает от штатных систем управления и защиты информацию о текущем состоянии реактора: положении органов регулирования, подогреве натрия, вибрациях подвижного отражателя, температуре подвижного и стационарного отражателей, состоянии шибберов нейтронных каналов и т.д. Полученная информация сортируется и упаковывается в блоки данных по трем различным критериям. Первый тип данных — это информация, которая необходима в каждом цикле измерения. Второй тип — блок данных, в котором

накапливаются значения параметров в случае их изменения. И третий — значения параметров фиксируются, только если их изменение превысило определенную величину. Структурированные блоки данных пересылаются на диск сервера в виде файлов. При невозможности записи, например, в случае сбоя или нарушения работы сети, файлы сохраняются на локальном диске измерительной станции, и, при восстановлении связи, передача данных возобновляется. Взаимодействие между измерительной станцией — DOS и сервером — Windows NT производится по протоколу *NetBEUI (MSClient)*.

Сервер принимает информацию от измерительных станций и помещает ее в оперативную базу данных. Оперативная база данных — ODB реализована в виде кольцевого буфера с фиксированной длиной записи в разделяемой памяти — *shared memory block*. Такая организация позволяет обеспечить, с одной стороны, максимальное быстродействие за счет того, что данные постоянно находятся в оперативной памяти, а с другой, реализовать передачу данных между процессами, используя стандартные механизмы операционной системы. Оперативная база данных хранит всю информацию, полученную от измерительных станций, и рассчитана на 10800 записей (около 19Мб), что составляет примерно 3 часа истории развития технологического процесса.

Основная база данных — MDB построена на основе СУБД MSSQL-7.0, которая имеет большое количество разнообразных средств и возможностей по организации распределенной обработки данных и администрированию системы. В качестве источников данных используется оперативная база данных (средствами программного обеспечения сервера), станция мониторинга и станции измерения формы нейтронной вспышки и спектра тепловых нейтронов. В настоящее время основная база данных содержит следующую информацию:

- интегральные характеристики реактора,
- средние значения измеряемых параметров,
- полный набор данных значений мгновенной мощности, положения автоматического регулятора (АР) и расхода натрия в двух петлях первого контура,
- данные по вибрациям подвижного отражателя (ПО),
- баланс реактивности,
- данные по реакторным сбросам,
- изменение состояния шибберов нейтронных каналов,
- матрицы корреляций основных реакторных параметров с мощностью.

В дальнейшем, по мере развития программного обеспечения, в нее будет добавлена информация:

- форма нейтронной вспышки и спектр тепловых нейтронов,
- аномальные отклонения мощности,
- матрица корреляций ПО,
- спектры колебаний основных реакторных параметров.

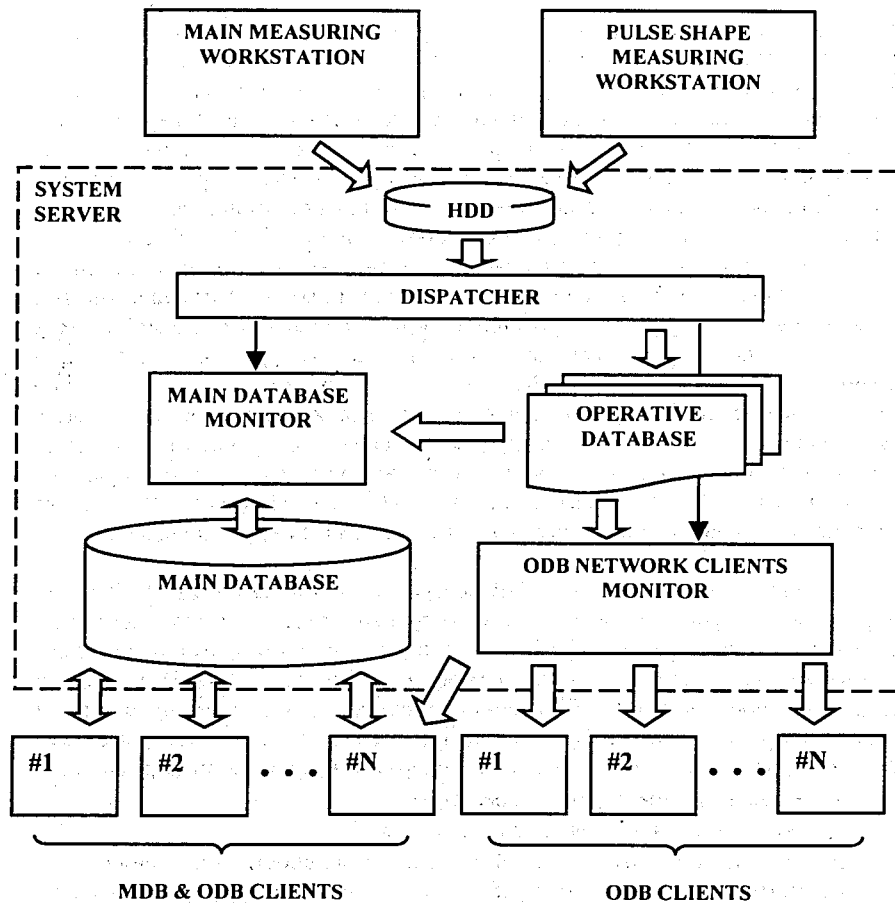


Рис.2. Распределение потоков данных в системе

С целью облегчения доступа к данным, MDB организована в виде набора отдельных связанных баз данных, содержащих информацию по конкретным циклам работы реактора, и главной БД, содержащей информацию общего назначения: таблицы интегральных характеристик, таблицу связей, таблицы коэффициентов и т.д. При этом логика работы с данными определяется главной БД, и все критичные операции, связанные с возможной потерей данных, реализованы в виде хранимых процедур и триггеров, выполняемых сервером. Такой вариант построения не ограничивает доступ клиентов «на чтение», которые для обращения к данным могут воспользоваться любыми доступными средствами. Размер базы данных отдельного цикла работы реактора составляет около 120Мб.

#### 4. Программное обеспечение

Программное обеспечение сервера разработано для работы в многозадачной среде операционной системы Windows NT 4.0 и использует возможности, предоставляемые ОС по распараллеливанию процессов обработки данных. Используются следующие объекты операционной системы: потоки, разделяемые блоки памяти, события, мьютексы и критические секции. Пакет программ состоит из трех независимых частей: диспетчер, монитор сетевых клиентов ODB и монитор основной базы данных (рис. 3).

Диспетчер — *Dispatcher* является основой программного пакета и предназначен для организации взаимодействия процессов и синхронизации доступа к оперативной базе данных. Диспетчер выполняет следующие функции:

- принимает данные от измерительных станций и помещает их в ODB,
- следит за целостностью данных и размером ODB,
- запускает и управляет работой дочерних процессов, синхронизирует доступ к ODB, осуществляет блокировку доступа к данным во время их модификации,
- взаимодействует с ядром операционной системы и инициирует системные события для информирования дочерних процессов о появлении новой порции данных или управляющей информации,
- ведет системный журнал.

Для обеспечения максимального быстродействия, «диспетчер» реализован в виде трех потоков: основного, файлового и управляющего. Файловый поток предназначен для взаимодействия с измерительными станциями. При появлении нового файла данных файловый поток получает сообщение от операционной системы, «пробуждается», считывает данные и передает их основному потоку, после чего переходит в режим ожидания. Основной поток, получив новый блок данных, преобразовывает его, записывает в оперативную базу данных и возбуждает системное событие — *NewData Event*, которое информирует все процессы, работающие с ODB, о появлении новой записи. Далее цикл повторяется. Управляющий поток предназначен для передачи дополнительной управляющей информации дочерним процессам, например, при смене режима работы диспетчера.

Оба монитора — сетевых клиентов ODB и основной базы данных *MDB* — также реализованы как многопоточные приложения. При этом управляющие и информационные события обрабатываются различными потоками.

Монитор сетевых клиентов ODB — *ODB Network Clients Monitor* построен на базе идеологии «клиент-сервер» и предназначен для обеспечения доступа к данным ODB удаленных клиентов. Для обеспечения межплатформного взаимодействия сетевая часть монитора построена на основе библиотеки *Winsock* и протокола *TCP/IP*. Разработанный протокол взаимодействия с удаленными клиентами позволяет гибко управлять передачей необходимой информации. При этом клиент может получать блоки данных, как

по предварительному запросу, так и автоматически, по мере обновления информации в ODB.

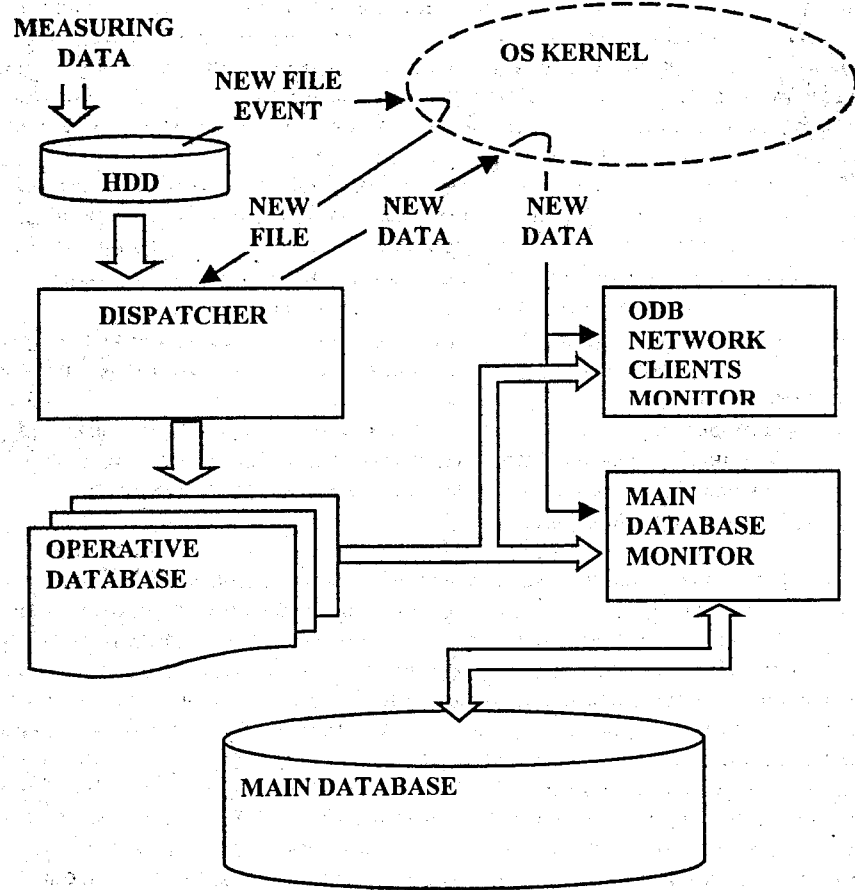


Рис. 3. Взаимодействие процессов в системе (с целью упрощения управляющий поток не показан)

Дополнительно в каждом пакете, передаваемом клиенту, содержится информация о текущем состоянии оперативной базы данных (число записей, номер первой и текущей записи и т.д.), что позволяет снизить количество передаваемых запросов и, соответственно, нагрузку на сеть.

Кроме этого монитор сетевых клиентов имеет следующие возможности:

- средства наблюдения за состоянием ODB,
- средства отслеживания текущего состояния присоединенного клиента (режим работы, число запросов, число ошибок и т.д.),

- возможность детальной трассировки событий для определения временных характеристик и выявления «узких» мест при передаче данных.

Монитор основной базы данных — *MDB Monitor* предназначен для предварительной *on-line* обработки информации, накопленной в оперативной базе данных и записи ее в основную.

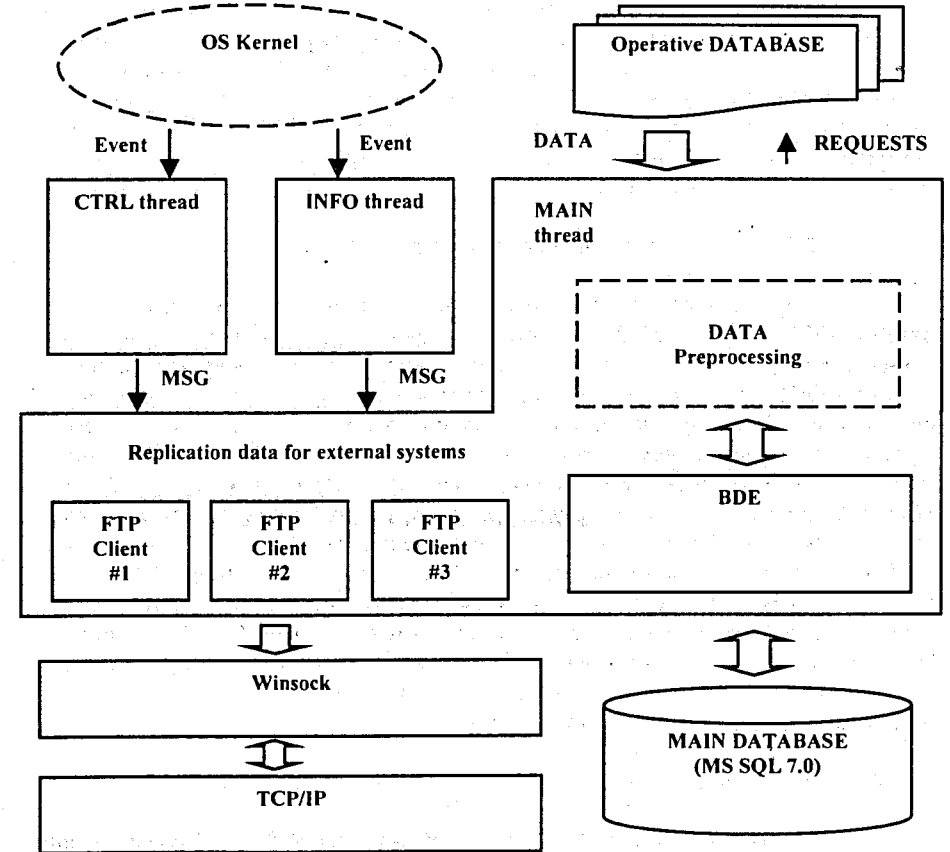


Рис. 4. Структура монитора основной базы данных

В настоящее время *MDB Monitor* выполняет следующие функции:

- управляет главной базой данных: ведет статистику и заносит информацию в таблицы реакторных циклов и интегральных характеристик реактора,
- ведет статистику и заносит информацию о состоянии шиберов,

- записывает в базу данных всю полученную информацию о значениях «мгновенной» мощности, положения АР, расходах натрия,
- с помощью встроенных FTP-клиентов обеспечивает взаимодействие с UNIX-машинами, отображающими информацию о состоянии реактора средствами WWW.

При получении системного события — *NewData Event* монитор MDB считывает запись из оперативной базы данных, разбирает ее, проводит предварительную обработку и записывает информацию в основную базу данных. Кроме этого, с помощью встроенных FTP-клиентов, один раз в 10 мин передает информацию о состоянии шиберов, значениях средней мощности, а также набор данных по интегральным характеристикам реактора, как по текущему циклу работы, так и суммарно по всем зарегистрированным циклам. Структура монитора основной базы данных приведена на рис. 4.

### 5. Результаты пробной эксплуатации

На первом этапе система была введена в пробную эксплуатацию с октября 1999 г. по май 2000 г. в составе следующих компонентов: сервер базы данных, измерительные станции, станция мониторинга, удаленные сетевые клиенты ODB (в одном из циклов одновременно работало 8 клиентов) и средства связи с компьютерами, обеспечивающими WWW-сервис системы. Система показала хорошую устойчивость и стабильность, сбоев, и серьезных нарушений работы системы не наблюдалось. В качестве иллюстрации можно привести пример, когда в результате ошибки при запуске «диспетчера» входной пиковый поток данных от измерительной станции составил более 150Кб/с. Система без видимых затруднений «пережила» нештатную ситуацию и вышла в нормальный режим. При этом вся информация без потерь была обработана и благополучно занесена в оперативную и основную базу данных. Эксплуатация системы показала, что архитектурные и технические решения, заложенные на этапе проектирования, оказались правильными и система, в основном, ведет себя так, как и ожидалось.

### 6. Развитие системы

На основе опыта работы с системой, полученного на первом этапе эксплуатации, предполагается провести модернизацию программного обеспечения с целью развития пользовательских средств доступа к данным и занесения информации о дополнительных параметрах, которые на данном этапе не регистрируются в БД. Такая модернизация позволит реализовать проектную функциональность системы с точки зрения хранения полного набора данных, характеризующих состояние реактора.

В заключение авторы считают своим долгом выразить благодарность реакторному персоналу, а также А.В.Виноградову, В.В.Башевому, В.Е.Жучко,

Ю.Н.Васильеву, Г.А.Сухомлинову, Е.И.Литвиненко и Ю.А.Астахову за полезные обсуждения и помощь, оказанную при выполнении данной работы.

Работа выполнена при поддержке гранта МНТЦ 682-97.

### Литература:

1. В.Д.Ананьев и др. — Определение эффекта реактивности, связанного с выгоранием топлива реактора ИБР-2. Препринт ОИЯИ РЗ-89-612, Дубна, 1989.
2. Yu.A.Astakhov et al. — The distributed information system for neutron reactor status presentation on the web. In: "International Workshop on Data Acquisition Systems for Neutron Experimental Facilities DANEF'97". Dubna, JINR, 1997, p.259-264.
3. Е.А.Бондарченко и др. — Модель импульсного реактора периодического действия ИБР-2 для исследования переходных процессов. Препринт ОИЯИ Р13-99-127, Дубна, 1999.
4. Microsoft Windows NT server networking guide, Microsoft Press, 1997.
5. Д.Рихтер — Windows для профессионалов: программирование для Windows95 и Windows NT на базе Win32 API. Пер. с англ. — М.: Издательский отдел «Русская редакция» ТОО «Channel Trading Ltd.», 1997.
6. Д.Артемов и др. — Microsoft SQL Server 7.0 для профессионалов: установка, управление, эксплуатация и оптимизация, — М.: Издательский отдел «Русская редакция» ТОО «Channel Trading Ltd.», 1999.
7. К.Хендерсон — Руководство разработчика баз данных — Киев: Диалектика, 1996.

Рукопись поступила в издательский отдел  
5 июля 2000 года.