

Литература

1. *Самойленко Ю.И. и др.* Управление быстропротекающими процессами в термоядерных установках. – Киев: Наукова думка, 1988. 379с.
2. *Ferron John* The DIII-D Plasma Control System. – General atomic. DIII-D news, April, 1996.
3. *Kimura T., Kurihara K.* JT-60U Plasma Control System // Fusion Technol. 1997. V.32. С. 404-414.
4. *Казахстанский* материаловедческий Токамак КТМ. Отчет о выполнении работ за период июль–декабрь 2000. – М.: ТРИНИТИ, 2001. 51с.
5. *Ясельский В.К., Байструков К.И., Павлов В.М. и др.* Техничко-экономическое обоснование реализации системы управления технологическими процессами (СУТП) термоядерной материаловедческой установки КТМ: Научно-технический отчет. Том I, № гос. рег. 01200010444, инв. № 02200005320. – Томск: ТПУ, 1999. 179с.
6. *Ясельский В.К., Байструков К.И., Павлов В.М. и др.* Техничко-экономическое обоснование реализации информационно-измерительной системы (ИИС) термоядерной материаловедческой установки КТМ: Научно-технический отчет. Том II, № гос. рег. 01200010444, инв. № 02200105291. – Томск: ТПУ, 2001. 203с.

УДК 621.039.62: 681.06

АДАПТАЦИЯ SCADA-СИСТЕМЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ТЕРМОЯДЕРНОЙ УСТАНОВКЕ КТМ

**В.К. Ясельский, К.И. Байструков, В.М. Павлов, А.В. Шарнин,
Е.А. Драпико, А.Ю. Холоша, Е.И. Громаков, А.А. Стороженко,
Л.Н. Тихомиров*, И.Л. Тажибаева*, В.В. Дзалбо***

*Томский политехнический университет,
Национальный ядерный центр РК

Рассмотрены проблемы проектирования программного обеспечения системы автоматизации экспериментов (САЭ) термоядерной материаловедческой установки - токамака КТМ. Представлена структурная схема САЭ токамака КТМ. Проанализированы варианты адаптации SCADA-системы TRACE MODE (произв-во AdAstra Research Group, Ltd, Россия) в структуре ПО САЭ. Разработана и описана архитектура программного комплекса САЭ. Рассмотрены функционирование САЭ и информационные потоки в системе в режиме подготовки к экспериментам и в процессе проведения плазменных разрядов. Приведены формы отображения информации на пульте управления токамака КТМ. Предложены алгоритмы выполнения программ экспериментов в автоматическом режиме и под управлением оператора САЭ.

Токамак представляет собой сложную электрофизическую установку, надежное и эффективное функционирование которой может быть обеспечено только с помощью современной системы автоматизации экспериментов (САЭ), проводимых на ней в соответствии с программами исследований. В данной статье рассмотрены вопросы использования современных информационных технологий, реализуемых в SCADA-системе Трейс Моуд, при проектировании программного обеспечения (ПО) САЭ термоядерной материаловедческой установки – токамака КТМ, создаваемого в настоящее время Республикой Казахстан в содружестве с российскими научными организациями с целью исследования кандидатных материалов для первого термоядерного энергетического реактора ITER.

Следует особо отметить актуальность рассматриваемого вопроса для систем автоматизации такого типа, поскольку программное обеспечение, наряду со структурными и техническими решениями, в наибольшей мере определяет уровень информационной эффективности и высокие эксплуатационные характеристики САЭ.

На структурном уровне САЭ установки КТМ представляет собой высокопроизводительную иерархическую распределенную систему, в которой функционально выделяются две части: система управления технологическими процессами (СУТП) и информационно-измерительная система (ИИС). Структурная схема САЭ приведена на рис. 1. СУТП интегрирует в единый комплекс технологические системы (ТС) КТМ, такие, как: электропитания (СЭП), высоковакуумной откачки (СВВО), подготовки рабочей камеры (СПРК), водяного охлаждения (СВО), управления подвижным диверторным и шлюзовым устройствами (СПДШУ), ВЧ-нагрева плазмы (СВЧ), газонапуска (ГНС), систему управления плазмой (СУП) и ряд вспомогательных систем (ВС) – систему вентиляции, освещения, пожаротушения, дозиметрического и газового контроля. ИИС предназначена для выполнения наиболее важных для исследования установки функций по сбору, регистрации и анализу информации о термоядерных процессах, получаемой с различного типа диагностик: электромагнитной диагностики, одноканального интерферометра, радар-рефлектометра и др. Подробно принципы построения САЭ КТМ, ее структура и режимы работы рассмотрены в [1].

С учетом сложности и больших размеров САЭ была рассмотрена возможность использования современных подходов к разработке ПО, применяемых в настоящее время при создании автоматизированных систем, в частности базирующихся на применении SCADA-систем, которые сегодня широко используются в АСУ технологическими процессами. Здесь необходимо отметить, что непосредственное использование какой-либо SCADA-системы при создании САЭ КТМ, как, впрочем, и при создании любой другой АСНИ, затруднительно. Это связано с рядом причин: во-первых, процесс функционирования АСНИ, в отличие от АСУТП, обычно не подчиняется четко заданному технологическому регламенту, а определяется постоянно меняющейся программой экспериментов (или испытаний). Это требует реализации в составе ПО АСНИ специальных модулей подготовки и интерпретации программы испытаний, составленной на достаточно простом языке, понятном исследователю-неспециалисту в области вычислительной техники [2]. Во-вторых, потоки информации, циркулирующие в АСНИ, характеризуются более высокой интенсивностью и более неоднородны по сравнению с АСУТП. Это особенно характерно для исследований на физических установках, где постоянные времена процессов могут составлять единицы и доли микросекунд, в то время как для большинства автоматизируемых технологических процессов эта величина не бывает менее 1 мс. И еще одна причина, которую следует отметить, связана с повышенными требованиями, которые предъявляются в АСНИ к функциям визуализации экспериментальных данных как в режиме послеэкспериментальной обработки (off-line режим), так и в реальном масштабе времени проведения эксперимента (on-line режим). Многие параметры исследуемых процессов в АСНИ описываются достаточно сложными функциями, зависящими как от пространственных, так и временных координат. Графическое представление таких функций с хорошим пространственным и временным разрешением, с возможностью гибкого изменения величины разрешения является сложной технической задачей, решению которой в SCADA-системах уделяется обычно не так много внимания.

Все эти моменты, определяющие трудности применения SCADA-системы, в рассматриваемой системе автоматизации экспериментов особенно ярко выражены. В частности, эксперимент в данном случае состоит из серии рабочих циклов «разряд-пауза», при этом длительность плазменного разряда составляет 5 с, длительность межразрядной паузы – 10 мин. Каждому эксперименту предшествует длительная последовательность подготовительных операций (создание вакуума в рабочей камере; ее прогрев специальными электронагревателями; очистки поверхности камеры

тлеющим разрядом в среде инертного газа; напуск рабочих газов и т.д.), обеспечиваемых перечисленными выше технологическими системами. При этом сценарий каждого разряда, а также регламент проведения подготовительных операций, задается предварительно разрабатываемыми специальными программами.

Что касается потоков информации, то их величина и характер существенно различаются в составляющих САЭ частях – СУТП и ИИС. При выполнении подготовительных операций период опроса датчиков и различных аналитических приборов (газоанализаторов, мас-спектрометров) составляет от 1 до 0,1 с при общем количестве источников аналоговых и дискретных сигналов ~ 800 шт. Постоянные времени управляемых процессов на подготовительном этапе также составляют не менее 0,1 с. Информационные потоки в ИИС на этом этапе незначительны, поскольку измерений физических параметров на установке не проводится, а выполняются лишь операции калибровки диагностической аппаратуры, тестирование технических средств, отладка диагностических подсистем в автономном режиме. Отсюда следует, что информационные потоки в САЭ при выполнении подготовительных операций вполне могут быть обработаны средствами современной SCADA-системы.

Существенно меняется ситуация с информационными потоками при выполнении рабочих циклов. В течение 5 секундного разряда частота опроса примерно 100 датчиков в СУТП составляет от 0,1 до 1 МГц, наряду с сохраняющейся необходимостью контроля других технологических параметров КТМ, опрашиваемых с меньшим периодом. В это же время весьма интенсивным является поток управляющих воздействий, направленных на удержание термоядерной плазмы в объеме рабочей камеры и обеспечение ей определенной формы, плотности и энергосодержания. Цикл управления по 20 каналам при этом составляет от 1 до 0,1 мс. На интервале 10 минутной паузы интенсивность потоков данных в СУТП падает, но на время выведения установки КТМ из состояния разряда, примерно в течение 2–3 мин, остается еще достаточно высокой.

ИИС в течение 5 секундного разряда работает с СУТП синхронно и обеспечивает измерение порядка сотни параметров плазмы и конструктивных элементов камеры с различными пространственным, временным и спектральным разрешениями. В целом ИИС должна обеспечивать измерение около 1500 аналоговых сигналов с частотой временного квантования от 1 кГц до 10 МГц. Традиционно такие большие потоки данных буферизируются на нижних уровнях ИИС и передаются в ЭВМ уровня III ИИС (см. рис. 1) в течение межразрядной паузы. Важно также отметить, что часть диагностической информации, необходимая для реализации алгоритмов управления плазменными процессами, передается из ИИС в СУТП. Поток такой информации составляет до 200 кБт/с. Таким образом, информационные потоки в рабочем цикле КТМ очень неоднородны, имеют высокую интенсивность, и их обработка может быть обеспечена только с помощью специальных программных решений.

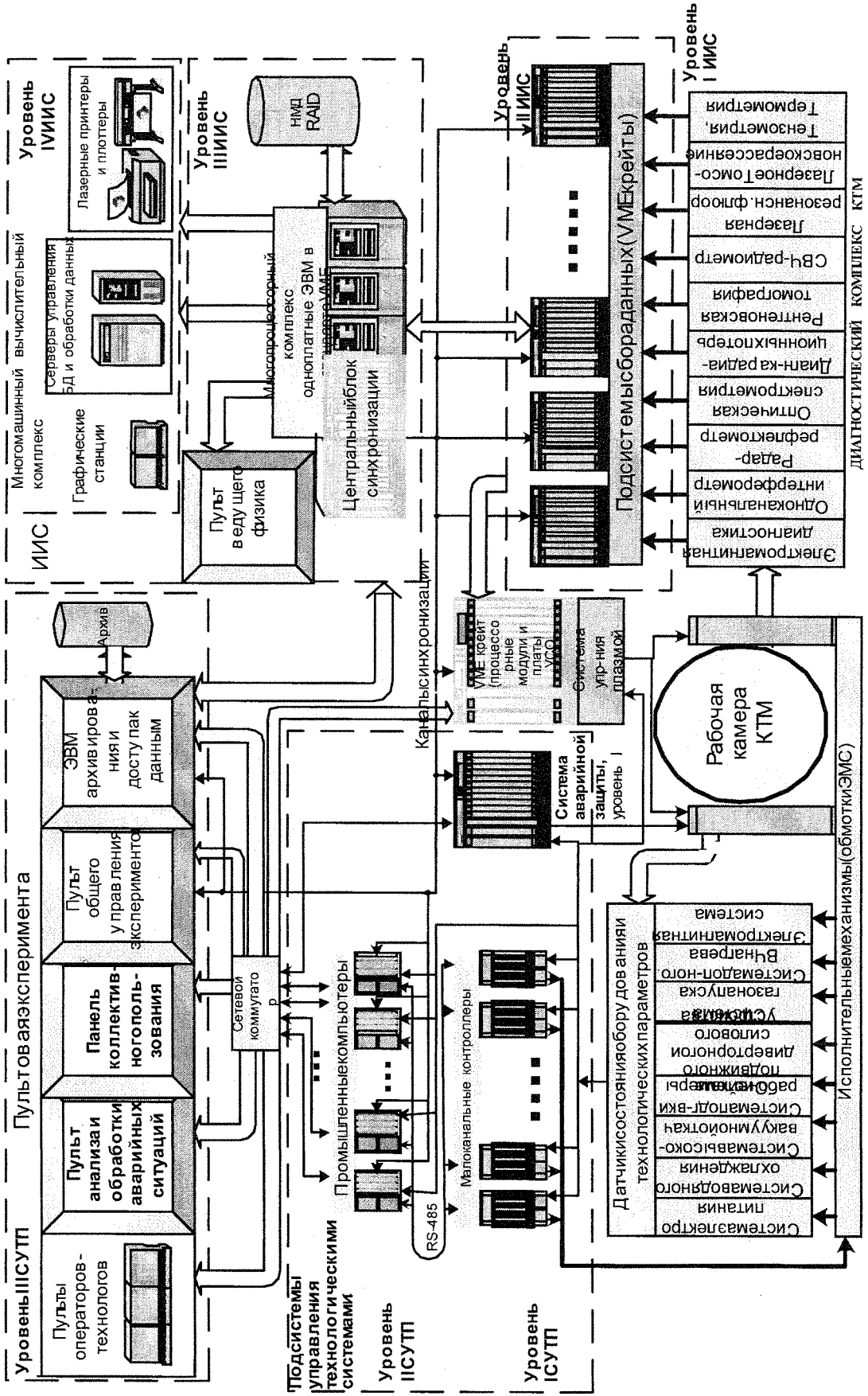


Рис. 1. Структурная схема САЭ установки КТМ

Требования по визуализации параметров плазменного процесса в САЭ КТМ также весьма жесткие. Существует ряд параметров, измеряемых системой, отображение которых целесообразно выполнять на экранах пульта ведущего физика КТМ и на пульте общего управления экспериментом в виде 3D-графиков практически в темпе проведения плазменных разрядов. В частности, к таким параметрам относятся: профиль потока полоидального магнитного поля в сечении камеры КТМ ($B_n(R,z)$); профиль плотности тока в сечении плазменного шнура ($J_n(R,z)$); профиль плотности плазмы ($n_e(R,z)$); профиль электронной ($T_e(R,z)$) и ионной ($T_i(R,z)$) температур; профиль полных радиационных потерь из плазмы ($Pr(R,z)$). Здесь R и z принятое обозначение координат в плоскости поперечного сечения токамака.

Исходя из отмеченных особенностей САЭ КТМ, авторы статьи были рассмотрели вариант адаптации отечественной SCADA-системы ТРЕЙС МОУД версии 5 (пр-во AdAstra Research Group, г. Москва) в составе программного обеспечения САЭ. Выбор этой SCADA-системы в данном случае был основан на имеющемся у авторов опыте по использованию ТРЕЙС МОУД в ряде проектов АСУТП, а также хорошем знании архитектуры системы, возможностей по ее интеграции с другими программами и нестандартными устройствами посредством внешних драйверов.

Необходимо отметить, что, поскольку функциональные возможности SCADA-системы более соответствуют задачам системы управления технологическими процессами токамака, было предложено использовать ТРЕЙС МОУД именно в этой части САЭ. Для разработки ПО информационно-измерительной системы, как показывает анализ систем автоматизации действующих токамаков, должны применяться специализированные средства и системы, ориентированные на решение задач сбора, регистрации, обработки и отображения диагностической информации. Примерами таких систем являются программные комплексы TRAMP и MDSplus, установленные на ряде исследовательских токамаков [3]. Учитывая этот факт, дальнейшее обсуждение проблем использования SCADA-системы для разработки ПО САЭ будем вести только для системы управления технологическими процессами КТМ.

На рис. 2 представлена архитектура программного комплекса АСУТП, в который интегрированы программные модули специального назначения с исполнительными компонентами системы ТРЕЙС МОУД: Монитором реального времени (МРВ), МикроМРВ, NetLinkМРВ. В соответствии с этой архитектурой предполагается программное обеспечение части подсистем управления (ПСУ) АСУТП, построенных на основе контроллеров и промышленных компьютеров с PC-архитектурой, полностью реализовать средствами ТРЕЙС МОУД. К таким подсистемам относятся: ПСУ СВО, СПРК, СЭП, СВВО, СПДШУ и ВС, т.е. подсистемы, регламент работы которых практически непрерывен в течение всей предполагаемой 3-месячной экспериментальной кампании КТМ. Отображение и регистрация технологической информации, а также ввод команд выполняется в этом случае под управлением МРВ на нескольких пультах операторов-технологов, расположенных на уровне III АСУТП. Конфигурация второго уровня ПСУ этой группы может быть различной и зависит от размеров и пространственной распределенности подсистем. На II уровне подсистем управления СВО, СЭП и ВС располагаются концентраторы данных, работающие под управлением NetLinkМРВ и взаимодействующие с множеством малоканальных контроллеров, установленных рядом с соответствующим технологическим оборудованием КТМ.

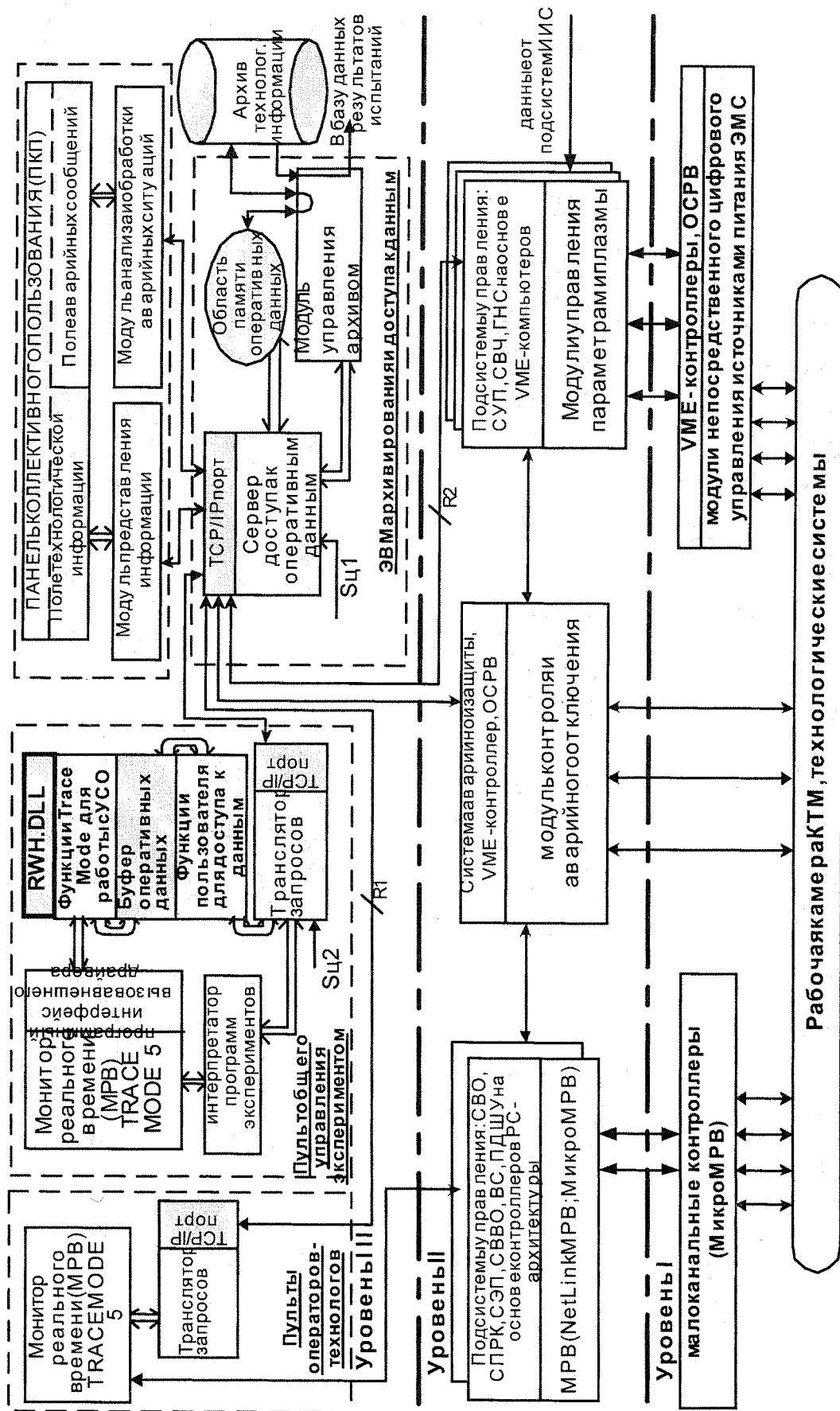


Рис. 2. Архитектура программного комплекса СУТП

Второй уровень подсистем управления СВВО, СПРК и ПДШУ реализован на основе одного или нескольких достаточно мощных промышленных контроллеров, которые непосредственно связаны с датчиками и исполнительными механизмами технологической системы (ТС), а также с аналитическими приборами и специальными приводами, используемыми в данных системах. Контроллеры этих ПСУ работают под управлением Мониторов Реального Времени, которые обеспечивают помимо выполнения функций сбора данных, контроля и общего управления ТС, поддержку локальных пультов, используемых в режимах автономной работы соответствующих систем.

Архитектура ПО СУТП, задействованного в рабочем цикле «разряд-пауза», существенно отличается от рассмотренного выше. Ключевым элементом здесь является сервер доступа к оперативным данным, который обеспечивает временное согласование потоков информации R_1 и R_2 . Работа сервера синхронизируется сигналом $S_{ц1}$, передаваемым центральным блоком синхронизации САЭ (см. рис.1) и задающим период обновления информации в памяти оперативных данных. При этом период обновления и количество сохраняемых в памяти временных срезов могут быть программно изменены. Данные, поступающие от подсистем, регистрируются по мере заполнения области памяти в архиве технологической информации с последующей его передачей в базу данных результатов испытаний токамака КТМ. Фактически сервер доступа к данным создает условия для реализации алгоритмов централизованного управления установкой, а также оперативного анализа и обработки аварийных и предаварийных ситуаций. Последнее особенно важно, поскольку проведение разрядов в условиях даже незначительного отклонения работы какой-либо из систем токамака от штатного режима может привести к тяжелым авариям. Задачи анализа и обработки аварийных ситуаций решает отдельный программный модуль, взаимодействующий с сервером доступа к данным и формирующий аварийные сообщения на панели коллективного пользования (ПКП) САЭ. В отдельное поле ПКП также выводится основная информация о ходе процесса испытаний, которая включает общие параметры технологических систем и плазмо-физических процессов, протекающих в камере токамака.

Алгоритм централизованного управления экспериментом реализуется, как показано на рис. 2, на отдельном пульте (пульте общего управления экспериментом, в дальнейшем ПОУ) с использованием МРВ ТРЕЙС МОУД версии 5. МРВ обеспечивает выполнение всех функций операторского интерфейса, выполнение команд пуска и останова технологических систем КТМ в процессе проведения подготовительных операций и рабочих циклов, запуск на исполнение программ экспериментов в автоматическом режиме с отображением технологической информации о процессе испытаний с заданным временным шагом. Временной шаг определяется возможностями оператора СУТП по восприятию информации и напрямую связан со скоростью обновления информации в буфере оперативных данных пульта, которая задается сигналом $S_{ц2}$.

Взаимодействие МРВ с сервером доступа к данным выполняется посредством вызова внешнего драйвера RWH.DLL, написанного в соответствии со спецификациями системы ТРЕЙС МОУД. Вызов драйвера осуществляется каналами подтипа АНАЛОГ с дополнениями AI RWH и AO RWH и подтипа ДИСКРЕТ с дополнениями DI RWH и DO RWH. Драйвер содержит набор функций, которые МРВ вызывает при его запуске, остановке, инициализации обмена и непосредственно для обмена данными, а также функции пользователя для доступа к данным, вызываемые специальным модулем – транслятором запросов в процессе сетевого обмена с сервером

доступа к данным. Важно отметить, что транслятор может запрашивать данные как от сервера доступа к данным, так и напрямую от контроллеров второго уровня СУП. Во втором случае передача данных будет выполняться быстрее, но из-за большого количества источников и потребителей информации в сети САЭ нагрузка на сеть, при прямой передаче данных между узлами, может непредсказуемо возрасти. Поэтому централизация управления сетевым обменом, обеспечиваемая сервером доступа к данным, является в рассматриваемом случае обязательной.

Предлагаемая архитектура ПО должна обеспечить надежное и эффективное взаимодействие ПОУ с системами, непосредственно выполняющими рабочий цикл САЭ: системой управления плазмой (СУП), системой газонапуска (ГНС) и системой ВЧ-нагрева плазмы (СВЧ). Ввиду этого в процессе отработки САЭ в лабораторных условиях предполагается проанализировать вариант с объединением программного комплекса ПОУ и ЭВМ доступа к данным и архивирования на базе одной более мощной аппаратной платформы. Такое решение обеспечит непосредственный доступ Монитору Реального Времени к области памяти оперативных данных через внешний драйвер RWH.DLL, исключая необходимость сетевого обмена. Хотя нужно учитывать, что увеличение общей функциональной нагрузки на ПОУ может привести при выполнении программных модулей к появлению трудноучитываемых случайных задержек недопустимой величины. С этой же целью сетевое взаимодействие между транслятором запросов и сервером доступа к данным, а также сервером и контроллерами нижних уровней СУП в процессе рабочего цикла реализуется на основе TCP/IP протокола. А поскольку все узлы сети расположены в одном сетевом сегменте, в дальнейшем, чтобы увеличить скорость обмена, предполагается использовать функции низкоуровневого сетевого обмена на основе NDIS-драйверов.

На рис. 3 показан экран мнемосхемы СУП, отображаемый на ПОУ в реальном времени рабочего цикла КТМ. Мнемосхема реализована в SCADA-системе ТРЕЙС МОУД версии 5.07. Плазменный разряд инициируется путем нажатия кнопки «ПУСК» в левом нижнем углу экрана. Выполнение команды блокируется при наличии отклонений по уровню вакуума в рабочей камере; степени охлаждения камеры и обмоток ЭМС после прошедшего разряда; по готовности источников питания обмоток тороидального поля ТФ; омического нагрева ОН, полоидального поля РР; по готовности генераторов системы ВЧ-нагрева плазмы СВЧ; по готовности диагностических систем, системы синхронизации и системы аварийной защиты АЗ. На экран выводится текущее значение тока плазмы $I_{пл}$; величина тороидального магнитного поля B_T ; энергосодержание плазмы W_p ; величина отклонения плазмы по вертикали Z ; радиус плазменного шнура a , а также набор трендов наиболее важных для оператора параметров: профиля электронной плотности $n_e(r,z)$ или электронной температуры $Te(r,z)$ в сечении плазменного шнура; профиль плотности тока плазмы $J_p(r,z)$; изменение тока плазмы в течении разряда $I_{пл}(t)$; зависимости токов в обмотках ЭМС от времени $I_{тф}(t)$, $I_{он}(t)$, $I_{рп}(t)$; напряжение на обходе рабочей камеры $U_p(t)$. С экрана СУП переход на другие экраны мнемосхемы осуществляется через экран общего вида установки (в статье не приводится) путем выбора указателем манипулятора “мышь” (или с помощью клавиатуры) поля «EXIT».

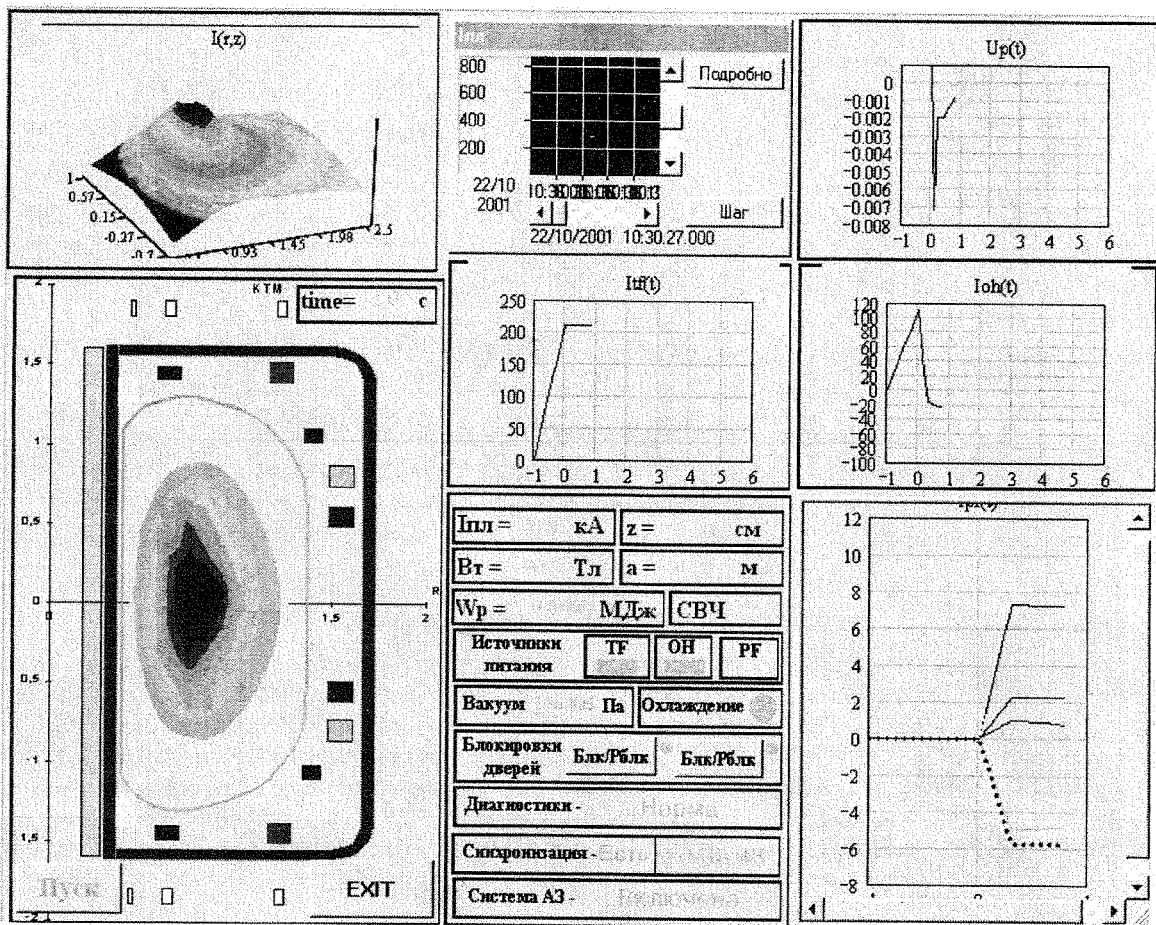


Рис. 3. Экран мнемосхемы СУП

Для выполнения программы эксперимента в автоматическом режиме в структуру программного обеспечения ПОУ введен модуль – интерпретатор программ экспериментов, который выступает по отношению к Монитору Реального Времени DDE-сервером. Возможны два варианта обработки программы эксперимента. Первый вариант реализуется, когда программа эксперимента состоит из последовательности таблиц уставок на управление, соответствующих каждому разряду эксперимента и сохраненных в файле текстового формата. Таблицы загружаются по инициативе МРВ в специально отведенную для этих целей группу каналов с подтипом DDE последовательно перед очередным разрядом. В этом случае логика управления экспериментом полностью реализуется встроенными средствами МРВ, включая языки FBD и TechnoIL.

Во втором варианте программа эксперимента для каждого разряда помимо таблицы уставок содержит последовательность команд (условных операторов), выполняющихся по изменению временных или технологических параметров. Монитор Реального Времени в этом случае также вызывает интерпретатор перед каждым разрядом, загружает в свои внутренние каналы подтипа DDE очередные уставки и синхронно с интерпретатором начинает обрабатывать логику управления разрядом. При этом необходимые для выполнения алгоритма управления данные запрашиваются интерпретатором из буфера оперативных данных. Запуск эксперимента в автоматическом режиме осуществляется оператором путем подачи команды «ПУСК» с аргументом «АВТОМАТ».

Наличие вариантов по обработке программ экспериментов, а также возможность их коррекции в интервалах между разрядами дает достаточную гибкость и

удобство в процессе текущей эксплуатации и развития исследований на термоядерной установке.

Литература

1. Тихомиров Л.Н., Ясельский В.К., Байструков К.И. и др. Система автоматизации экспериментов термоядерной материаловедческой установки КТМ // Изв. вузов. физика. –2000. №4. С. 53-61.
2. Тимонин В.В., Фяхретдинов А.И. Организация вычислительного процесса в системах автоматизации экспериментов на физических установках. – М.: 1983. 15с / Препринт ИАЭ –3777/15.
3. Stillerman J.A., Fredian T.W., et al. MDSplus Data Acquisition System // 11th Top. Conf. On High-Temp. Plasma Diag., Monterey, CA, 1996.

ADAPTATION OF SCADA-SYSTEM IN PROGRAM STRUCTURE OF AUTOMATION SYSTEM OF EXPERIMENTS ON KTM FUSION DEVICE

L.N. Tikchomirov*, V.K. Jaselskij, K.I. Bajstrukov, V.M. Pavlov,
I.L. Tazhibaeva*, A.V. Sharnin, E.A. Drapiko, E.I. Gromakov, V.V. Dzalbo*,
A.Y. Holosha, A.A. Storojenko

*Tomsk Polytechnical University,
National Nuclear Center of RK

Design problems of software of the automation system of experiments (ASE) on the fusion device-tokamak KTM are considered. Structural chart of ASE are represented. Variants of adaptation of TRACE MODE SCADA-system, produced by AdAstra Research Group, Ltd. (Russia), in the structure of ASE software are analyzed. Architecture of ASE software is developed and described. Functioning of ASE and flows of information in the system on stage preparation for experiments and in process of discharges are reviewed. Information representation forms on the control panel of the ASE are showed. Algorithms of performance of the experimental programs in automatic mode and within operator control panel are suggested.

УДК 661.879.1: 681.5

АСУТП ПРОИЗВОДСТВ ГЕКСАФТОРИДА УРАНА

Н.П. Курин, Г.Г. Андреев, В.Ф. Дядик, С.Н. Ливенцов,
А.А. Маслов, А.Н. Онищук

Томский политехнический университет

В соответствии с отраслевой программой на сублиматных заводах Сибирского Химического Комбината и Ангарского Электролизного Химического Комбината разработаны и внедрены в постоянную эксплуатацию АСУ ТП производствами гексафторида урана. В их создании принимал активное участие творческий коллектив сотрудников кафедр 24 и 43 ФТФ ТПУ под руководством профессора Курина Н.П.

Создание и функционирование АСУ ТП производства гексафторида урана (ПГУ) направлено на получение вполне определенных технико-экономических результатов:

- увеличение прямого извлечения урана из исходного сырья и повышения степени использования фтора;
- сокращение энергозатрат на единицу готовой продукции;
- увеличение межремонтного пробега технологического оборудования, сокращение эксплуатационных расходов;
- увеличение производительности труда.