

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ В ОБЛАСТИ ТРИТИЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

А.В. Куракин, Ю.И. Виноградов (РФЯЦ — Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной физики, Саров)

Рассмотрены требования к современным автоматизированным системам контроля и управления (АСКУ) для научных исследований и особые требования к АСКУ для исследовательских установок, использующих тритиевые технологии. Описан программный пакет CRW-DAQ, созданный для автоматизации таких установок, дана характеристика его возможностей. Приведены примеры использования пакета для автоматизации экспериментальных установок «Тритон», «Акулина» и «Прометей».

THE SOFTWARE FOR AUTOMATED MEASUREMENT SYSTEMS IN THE FIELD OF TRITIUM TECHNOLOGIES. A.V. KURYAKIN, Yu.I. VINOGRADOV. There are discussed the requirements to modern automated data acquisition (DAQ) and control systems applied to scientific research along with specific requirements to DAQ systems with regard to research facilities using tritium technologies. There is described the CWR-DAQ programming package developed for automation of experimental facilities named «Triton», «Aculina» and «Prometheus».

ВВЕДЕНИЕ

Создание автоматизированных контрольно-измерительных систем — актуальный вопрос для исследований в области тритиевых технологий, так как без автоматизации измерений и управления физическими установками в реальном масштабе времени обеспечить эффективную и безопасную работу с тритием практически невозможно. Высокая производительность, надежность и доступность современной вычислительной техники привели к тому, что системы автоматизации строятся в основном на базе компьютеров в различных исполнениях: персональный или промышленный компьютер, контроллер и т.д.

В это же время значительно возросла важность вопросов разработки программного обеспечения. Современные операционные системы и программные технологии настолько усложнились, что возникла необходимость в специализированных программных инструментах для разработки автоматизированных измерительных систем, которые позволяют скрыть от разработчика прикладных программ сложность системного программирования, предоставив ему простой программный интерфейс для создания прикладных алгоритмов управления измерительными установками.

По указанной причине для автоматизации тритиевых исследовательских установок был разработан программный пакет CRW-DAQ [1, 2], учитывающий особенности работ с тритием и содержащий в себе полный набор инструментов для создания контрольно-измерительных систем, а также первичной обработки измеряемых данных. Несмотря на наличие на рынке коммерческих пакетов для автоматизации измерений, разработка собственного пакета оказалась вполне оправданной. Полный контроль над развитием программы, наличие исходного кода и опыта его создания сделали программное обеспечение надежным, а его поведение полностью предсказуемым.

Использование коммерческих пакетов затруднено также тем, что они являются закрытыми. В исследовательских же установках, как правило, присутствует специально разработанное уникальное оборудование, а также оборудование различных фирм, для которого в коммерческом пакете может не быть готовых драйверов. Открытая программная среда CRW-DAQ облегчает разработку драйверов и интеграцию разнообразных измерительных устройств в одну систему. Характерной особенностью исследовательских установок является их частая модернизация, и открытая программная среда позволяет быстро адаптировать программное обеспечение установки к новым условиям.

Контрольно-измерительные системы для научных исследований в области тритиевых технологий должны удовлетворять ряду требований. Необходимо обеспечить многоканальный сбор данных (обычно десятки и сотни каналов) с частотой порядка несколько герц на канал, а также управление установкой в реальном масштабе времени, например, управление температурой нагревателей, клапанами, насосами и т.д. Полученные данные и сигналы управления нужно архивировать, т.е. сохранять в файлах на жестком диске. Для последующей обработки измеренные данные требуется передавать в стандартные пакеты (Excel, Matlab и т.д.), для чего нужны функции экспорта данных. Необходима также простая и удобная система визуализации, т.е. раз-

витые средства для отображения измеряемых величин в текстовом и графическом виде в реальном времени. Графический пользовательский интерфейс для управления установкой должен быть интуитивно понятен.

При работе с тритием АСКУ должна обеспечивать высоконадежный и непрерывный режим управления установкой в течение длительного времени, контролировать радиационную обстановку в зоне проведения эксперимента, осуществлять звуковое и световое оповещение обслуживающего персонала в случае возникновения опасной ситуации. Необходимым является дублирование управления, а также система блокировок, обеспечивающая автоматический перевод установки в безопасное состояние в случае возникновения «нештатных» ситуаций.

Для исключения возможности аварий по вине посторонних лиц нужна система авторизации пользователей, а также ограничения прав доступа к средствам управления установкой. Должна присутствовать возможность дистанционного наблюдения и управления, позволяющая исключить постоянное присутствие персонала в опасной зоне.

Пакет CRW-DAQ создавался с учетом всех перечисленных требований. Он успешно использовался для автоматизации ряда экспериментальных исследовательских установок, использующих тритиевые технологии [3—6].

СТРУКТУРА И ВОЗМОЖНОСТИ ПАКЕТА CRW-DAQ

Программный пакет CRW-DAQ развивается с 1996 г. Его название, сокращение от CuRves in Windows for Data AcQuisition, отразило идею проекта, состоящую в создании графически ориентированной среды для физиков-экспериментаторов, в которой работа происходит в основном с графиками данных (кривыми в окнах), а не с таблицами или массивами, как в других программных пакетах.

Первая версия пакета, названная CRW16, была создана в 1996 г. и работала в 16-битном защищенном режиме под DOS/DPMI или Windows-95/98, что соответствовало уровню развития компьютеров и программ того времени. Начиная с 2002 г. развивается 32-битная версия CRW32 пакета CRW-DAQ для Windows-NT/2000/XP/Vista32. Программный код пакета написан на языке Object Pascal.

В настоящее время большинство разработанных с использованием пакета CRW-DAQ систем контроля и управления работает в версии CRW32, что связано с более высокой надежностью и защищенностью Windows-NT/2000/XP по сравнению с Windows-95/98.

Пакет прост в установке, имеет сравнительно небольшой объем ~20 Мб и невысокие аппаратные требования. Для работы простых систем достаточен компьютер Pentium 200 МГц с ОЗУ 32 Мб под Windows-95/98, для более надежных и высокозащищенных систем рекомендуется компьютер не ниже 1 ГГц с ОЗУ 256 Мб под Windows-NT/2000/XP.

Программное обеспечение измерительных систем, разработанное в пакете CRW-DAQ, четко разделяется на два класса: базовое и прикладное (рис. 1). Базовое программное обеспечение — собственно пакет CRW-DAQ — обеспечивает единую для всех измерительных систем совме-

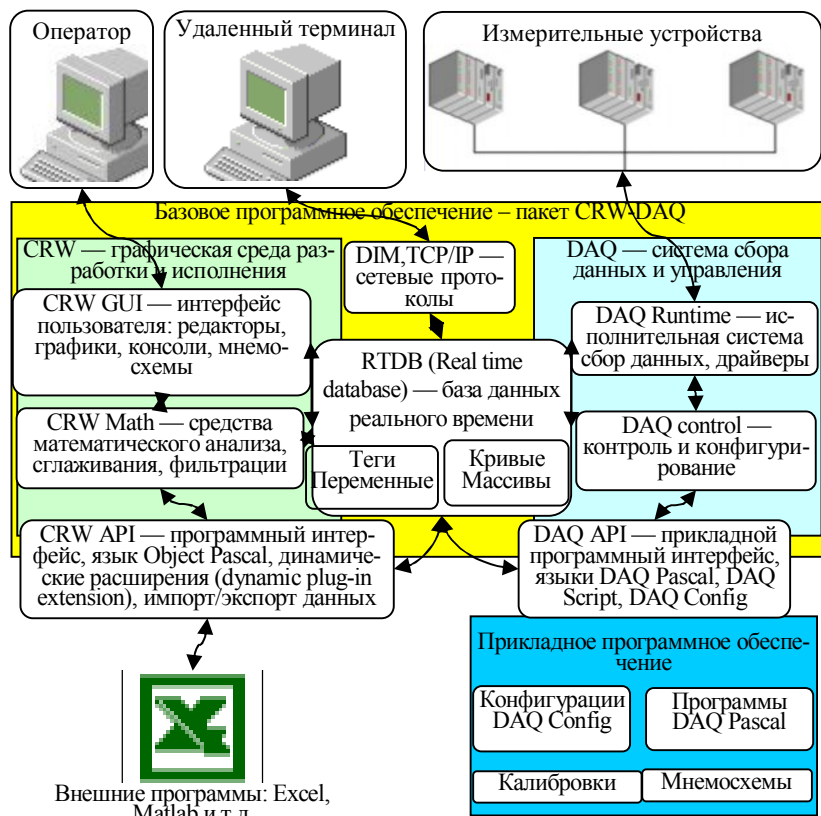


Рис. 1. Общая структура пакета CRW-DAQ

ценную графическую среду разработки и исполнения, а также единый программный интерфейс и встроенные языки программирования. Оно одинаково для всех измерительных систем, что облегчает их разработку, поддержку и обучение персонала. Прикладное программное обеспечение реализует специфику конкретной измерительной системы, состоит из конфигурационных файлов, задающих параметры и структуры данных, а также прикладных программ, задающих алгоритмы управления и написанных обычно на встроенных в пакет языках программирования.

Пакет CRW-DAQ имеет развитый многооконный графический интерфейс пользователя (рис. 2). Мощная система визуализации позволяет отображать в реальном масштабе времени состояние измеряемых величин в виде двумерных или трехмерных графиков, гистограмм, консольных сообщений, таблиц, мнемосхем. Окна с графиками кривых удобны в работе, они позволяют наблюдать и обрабатывать измеренные данные прямо в окне, поскольку все функции обработки данных привязаны именно к окнам. Можно, например, выделить мышью фрагмент кривой в окне и тут же выполнить сглаживание этого фрагмента или посчитать интеграл кривой на выделенном интервале. Работа непосредственно с графиками данных выглядит для экспериментатора более естественной и понятной, чем работа с таблицами, принятая во многих других программных пакетах.

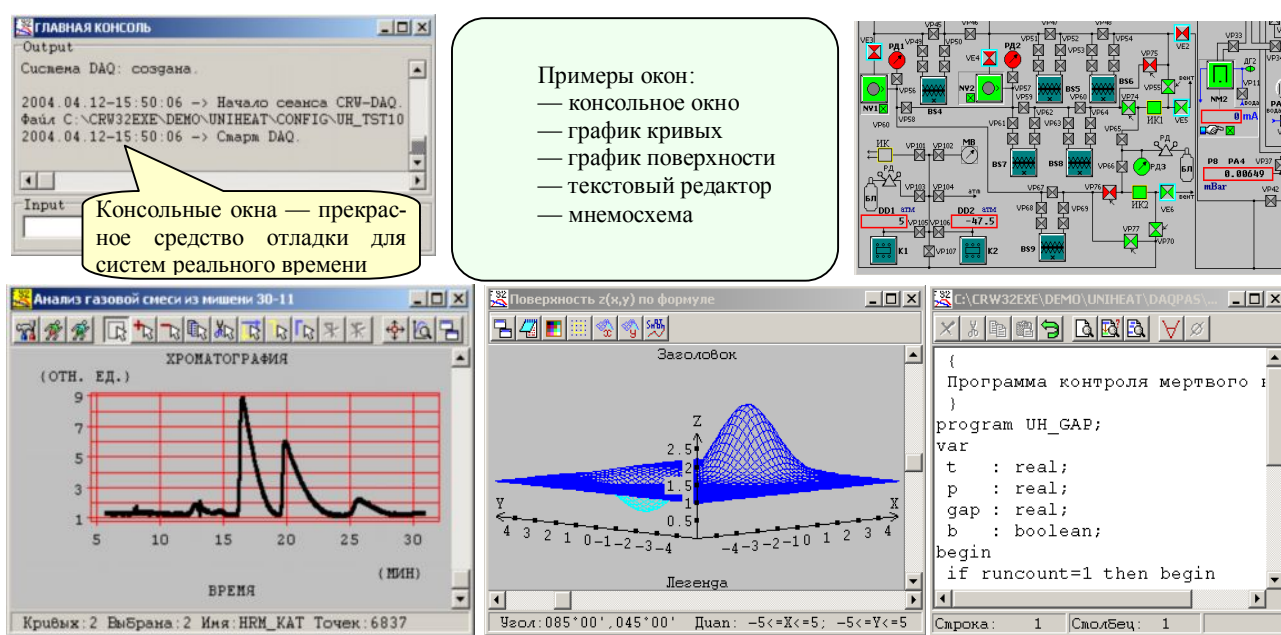


Рис. 2. Примеры графических окон пакета CRW-DAQ

Все графические средства пакета оптимизированы для отображения данных, поступающих в режиме реального времени, с учетом человеческих особенностей восприятия информации. При этом важно, что прорисовка идет в темпе, который задает сервер (устройство управления и сбора данных), а не клиент (система визуализации). Например, при отображении графиков в каждый квант времени на график добавляется несколько точек, измеренных в течение предыдущего кванта времени, а не обновление всего графика целиком. Поэтому объем прорисовок минимален, а обновление данных на экране происходит «мягко», без видимой задержки и резкой смены изображения, характерной для систем визуализации, обновляющих данные по клиентским запросам. Например, в системах визуализации на основе клиентских запросов (HTTP, SQL) обновляемой единицей, как правило, является экран или график целиком, а задержка обновления составляет несколько секунд. Это не приемлемо для систем управления, где оператор должен видеть динамику процесса и реагировать на нее без задержки. В то же время квант времени обновления данных на экране (около 50 мс) выбран с учетом того, что более частые обновления просто не нужны, человек их не увидит. Так достигается разумный компромисс между временем отклика и накладными расходами системы визуализации.

Важно также, что интерфейс пакета ориентирован в первую очередь не на презентацию или публикацию данных, а на автоматическое (без вмешательства оператора) обновление данных по мере их поступления. Так, координатная сетка и пределы графиков выбираются и корректируются системой визуализации автоматически, потому что в процессе измерений у оператора просто нет времени на подбор этих параметров вручную.

Для облегчения управления экспериментальными установками пакет содержит средства для создания предметно-ориентированного интерфейса (рис. 3), интуитивно понятного специалистам в данной предметной области и требующего минимальных усилий для изучения. Основой для этого служат мнемосхемы и диалоги. Обычно мнемосхемы изображают схему физической установки (например, схему газовых коммуникаций), на которой условно, в виде мнемонических изображений, показаны клапаны, вентили, нагреватели, насосы и другие физические устройства и их текущее состояние. При нажатии на мнемоническое изображение мышью можно управлять соответствующим устройством (например, открыть клапан). Диалоги служат для ввода управляющих параметров в виде полей ввода, списков, кнопок и т.д.

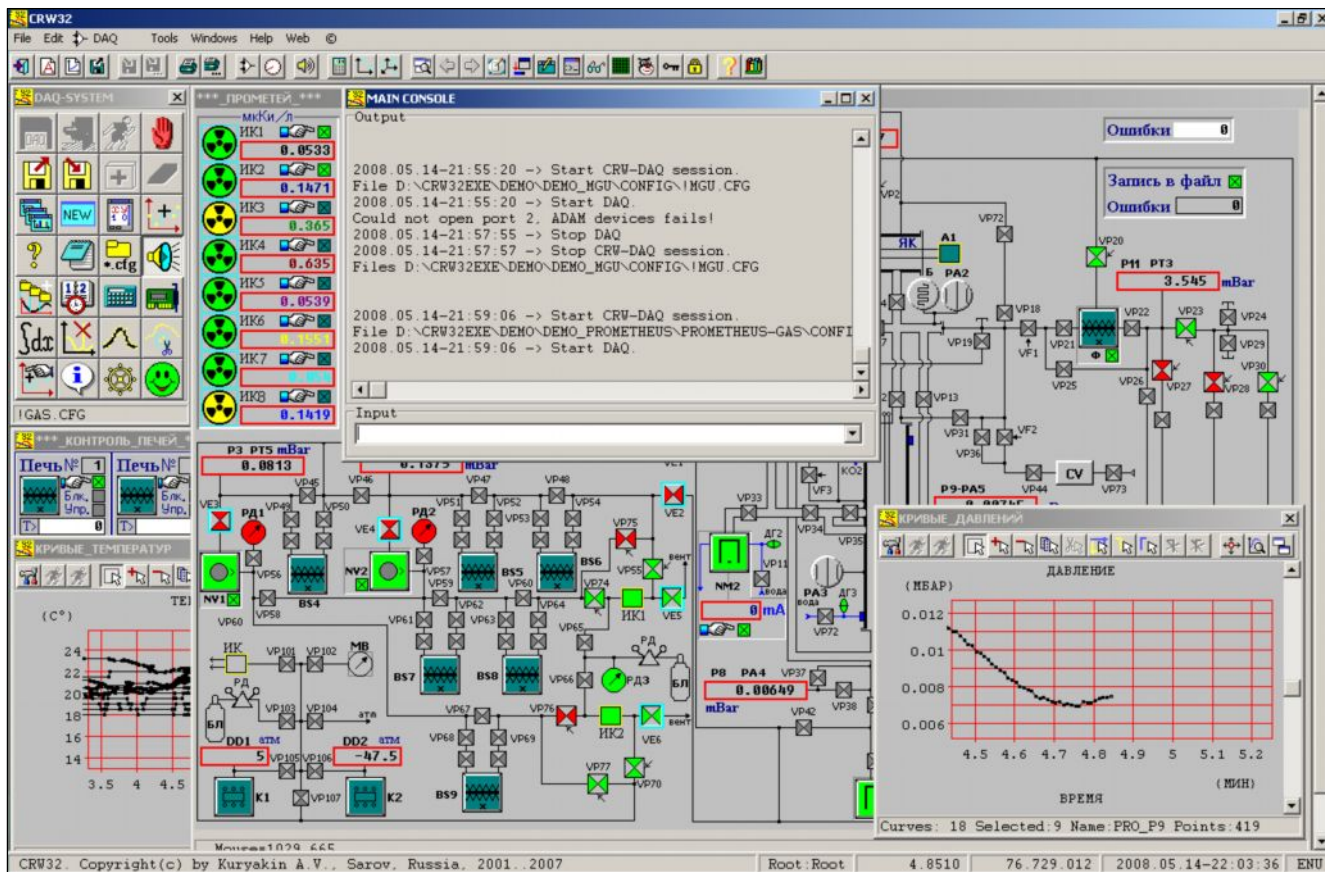
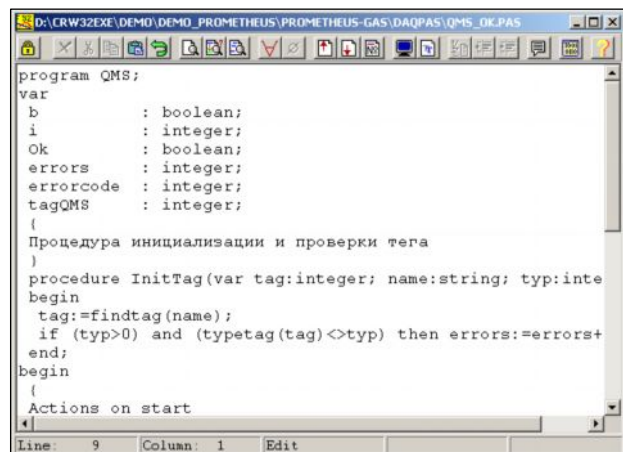
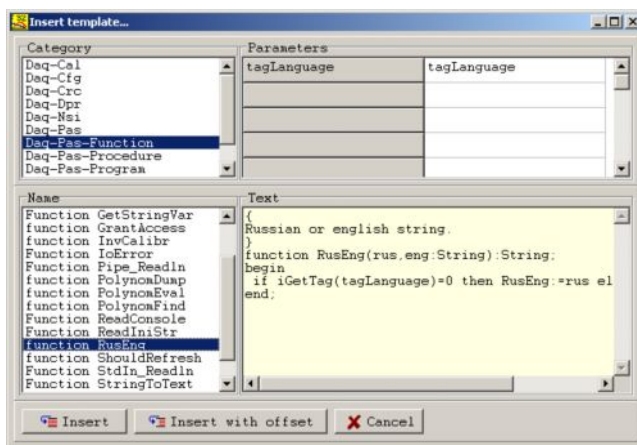


Рис. 3. Типичный вид предметно-ориентированного интерфейса на основе мнемосхем

Пакет имеет интегрированную среду разработки для прикладного программирования. Окна редактирования текстов конфигурационных файлов и программных кодов (рис. 4, а) имеют встроенные



а



б

Рис. 4. Среда разработки: окно компилятора DAQ Pascal и библиотеки шаблонов: а — окно редактирования компилятора DAQ Pascal; б — окно библиотеки шаблонов процедур и функций

команды компиляции, создания конфигураций и программ из библиотек шаблонов (рис. 4, б), контекстного поиска и справочную систему. Очень полезными на практике оказались консольные окна (см. рис. 2), позволяющие выполнять отладку многопоточных прикладных программ, работающих в реальном времени. Обычный пошаговый отладчик для приложений реального времени малопригоден, так как он приостанавливает работу потоков, вносит задержки и тем самым нарушает логику работы программы. Консольные окна за счет буферизации не вносят заметных задержек при выводе сообщений, что и позволяет выполнять отладку, не нарушая работу алгоритмов реального времени.

Пакет CRW-DAQ имеет несколько встроенных языков программирования, которые служат для решения различных задач. Благодаря наличию встроенных языков, средств редактирования и отладки пакет представляет собой полноценную среду разработки и исполнения для создания АСКУ, не требующую для своей работы установки дополнительных программных средств.

Встроенный компилятор языка DAQ Pascal, разработанный на основе классического компилятора Pascal-S Никлауса Вирта [7], используется для создания защищенных прикладных программ — «измерительных сценариев». Он генерирует промежуточный Р-код для виртуальной стековой машины, который затем исполняется встроенным интерпретатором. Подобный принцип используется в языке Java. Использование промежуточного Р-кода позволяет существенно повысить надежность прикладных программ, так как интерпретатор виртуальной машины хорошо защищен «изнутри». Поэтому неизбежные в процессе отладки ошибки в прикладных программах не приводят к сбою всей системы и обычно поддаются восстановлению. Правда, код виртуальной машины выполняется несколько медленнее, чем «натуральный» машинный код, но для подавляющего большинства прикладных задач его производительности хватает с избытком. Другими достоинствами языка являются простота и ясность его структуры, легкость в изучении и освоении. В то же время язык содержит достаточно обширный набор функций для программирования измерительных устройств. Поэтому основная часть кода прикладных программ создается на DAQ Pascal.

Встроенный С-подобный интерпретатор DAQ Script используется при необходимости формульных вычислений в интерактивном режиме, когда вычисляемые выражения на этапе компиляции неизвестны (например, вводятся пользователем в диалоге) и их требуется интерпретировать немедленно.

Интегрированный командный компилятор Object Pascal позволяет создавать динамически загружаемые драйверы в виде файлов *.DLL, а также исполняемые файлы *.EXE, обычно запускаемые как дочерние процессы из прикладной программы DAQ Pascal и взаимодействующие с ней по анонимному каналу. В отличие от DAQ Pascal он генерирует «натуральный» машинный код и применяется для создания драйверов высокоскоростных устройств, если не хватает скорости или функциональности DAQ Pascal.

Пакет поддерживает динамическое расширение функций (dynamic plug-in extension). Пользователь может создавать динамические библиотеки *.DLL на языке Object Pascal, которые сразу же можно загружать, запускать на выполнение, выгружать, редактировать, компилировать и запускать снова и т.д. Это превращает пакет CRW-DAQ в «трансформер» — программу, которая может менять свой собственный код. Достоинство этой технологии в том, что становится возможным добавлять в пакет новые функции без изменения уже существующего, отлаженного кода, что повышает стабильность работы программы. Основная часть алгоритмов offline обработки данных (сглаживание, фильтрация, математический анализ и т.д.) основана именно на применении динамических расширений.

Для пакета CRW-DAQ характерны высокая степень параллелизма, полное использование возможностей вытесняющей приоритетной многозадачности. Обычно вычислительные задачи имеют последовательную организацию (рис. 5, а): задача разбивается на ряд последовательно выполняемых действий (процедур). Для систем, работающих в реальном времени, этот подход не годится, так как время реакции при такой организации вычислений слишком велико. Поэтому измерительные системы CRW-DAQ имеют параллельную организацию (рис. 5, б): задача разбивается на ряд параллельно работающих служб (потоков), обменивающихся сообщениями.

Пакет построен как многопоточное приложение, в котором обычно работают 20—30 программных потоков. Каждый драйвер, системная служба или прикладная программа (виртуальная машина) на языке DAQ Pascal работает в отдельном программном потоке, частоту опроса и приоритет которого можно регулировать. Каждый из потоков решает свою простую и четко поставленную задачу (обслуживает физическое

устройство, обрабатывает данные), а также взаимодействует с другими потоками через сообщения и базу данных реального времени. За счет регулирования приоритета потоков и частоты их опроса можно добиться снижения влияния второстепенных потоков (например, визуализации) на критически важные потоки (например, сбора данных и управления). Многопоточный режим организуется естественным образом и не требует специальных усилий от прикладного программиста, так как библиотеки и функции пакета созданы именно для работы в многопоточном режиме.

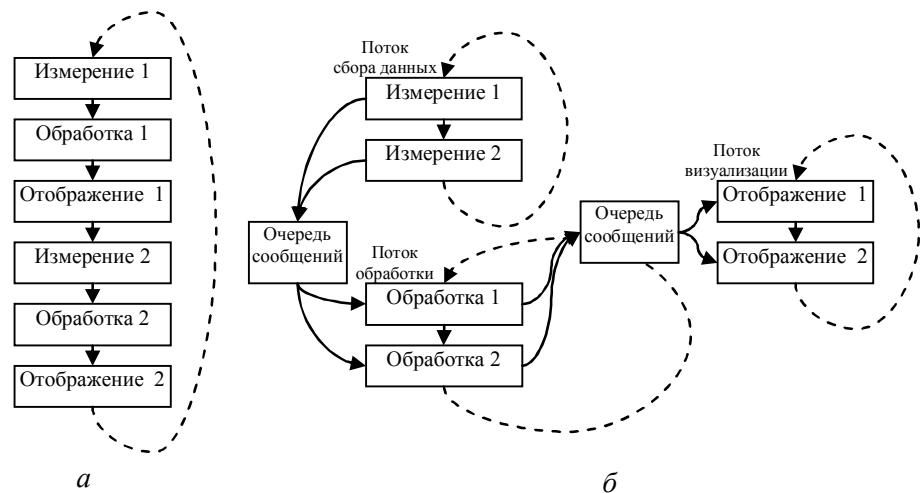


Рис. 5. Последовательная (а) организация вычислений и параллельная (б) организация вычислений

Кроме многопоточного режима, поддерживается также многопроцессный режим работы. Прикладные программы на языке DAQ Pascal могут выполнять запуск других автономных программ в виде дочерних процессов, взаимодействующих с прикладной программой по анонимному каналу. Обычно дочерние процессы реализуют какие-то общие службы или драйверы устройств. Выделение задач в отдельный процесс повышает надежность и живучесть (способность частично сохранять функциональность при выходе из строя отдельных элементов) системы, так как сбой дочернего процесса не приводит к остановке всей системы, а «повисшие» дочерние процессы могут быть легко перезапущены прикладной программой.

Появление доступных многоядерных процессоров сделало актуальной поддержку многопроцессорности. В многопроцессорной (многоядерной) системе каждый поток (т.е. прикладную программу DAQ Pascal) или дочерний процесс можно привязать к желаемому набору процессоров и добиться повышения стабильности частоты опроса критически важных потоков (процессов), что очень важно для систем управления реального времени.

В целях повышения надежности и предсказуемости работы пакет имеет функции самоконтроля. Это комплекс средств и служб, которые позволяют проверять корректность работы системы в реальном времени и выдавать диагностику при обнаружении неполадок. Так, в системе есть монитор ресурсов (рис. 6, а) — служба, которая позволяет контролировать использование основных ресурсов компьютера (память, процессор, диски), а также наблюдать частоту опроса потоков программы и загрузку процессора по каждому из потоков. Кроме того, по каждому из программных потоков постоянно набирается гистограмма периода (частоты) опроса (рис. 6, б), которая позволяет оценивать временные характеристики

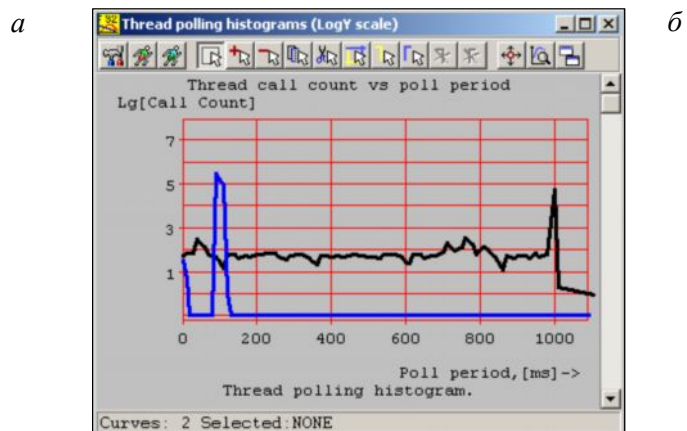
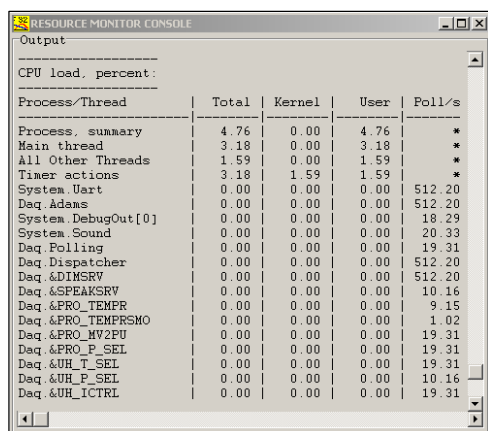


Рис. 6. Консоль монитора ресурсов: а — загрузка процессора и частота опроса потоков (в данном случае от 1 до 512 опросов в секунду); б — гистограммы частоты опроса потоков. Высокоприоритетные потоки имеют узкий пик, низкоприоритетные сильно «размазаны»

системы. Служба системного времени, используя наличие в компьютере нескольких независимых таймеров, следит за корректностью системных часов и выдает предупреждение, если системное время было изменено. Служба программного сторожевого таймера отслеживает частоту опроса потоков и выдает предупреждение, если какие-то потоки долго не отвечают, т.е., возможно, «повисли». Звуковая система оповещения выдает речевые сообщения в случае ошибок связи с измерительными модулями. Таким образом, при обнаружении отклонений поведения программы от нормы оператор получает звуковое (речевое) уведомление, что позволяет своевременно принять восстановительные меры.

Пакет CRW-DAQ позволяет создавать распределенные системы управления. На практике большинство систем контроля для тритиевых установок носят распределенный характер, как функционально, так и пространственно. Распределенный характер управления повышает масштабируемость (способность к расширению), гибкость и надежность системы. Распределенные системы строятся двумя путями. Первый состоит в использовании модульной сетевой аппаратуры и контроллеров, например, серии ADAM-4000 фирмы Advantech или I-7000 фирмы ICP-DAS. В качестве сетевой среды используются помехоустойчивые промышленные сети RS-485, CAN. Второй путь заключается в использовании нескольких компьютеров, объединенных сетью Ethernet. Для межмашинной связи в пакете используется технология DIM (Distributed Information Manager) [8]. Эта основанная на протоколе TCP/IP технология была разработана в ЦЕРНе для проведения экспериментов на ускорителях, она реализует высокоуровневый сетевой механизм взаимодействия между процессами, ориентированный на системы управления реального времени.

Интересно сравнить подход в организации распределенных систем управления, принятый в пакете CRW-DAQ на основе DIM, с другими распределенными системами управления экспериментом, например, с ИВК Т-10 [9—11], а также MIDAS [12]. Все упомянутые системы имеют структуру клиент—сервер, однако способ взаимодействия клиента и сервера существенно различается.

Есть две диаметрально противоположные парадигмы организации систем клиент—сервер (рис. 7). Первая парадигма (рис. 7, а), называемая часто RPC (remote procedure call), предполагает, что сервер (владелец информационных ресурсов, например, база данных) является пассивным резервуаром, из которого клиенты (потребители информационных ресурсов) берут данные и куда кладут результаты. Взаимодействие происходит по принципу «запрос—ожидание—ответ» (Request\Waiting\Reply), причем активной стороной является клиент, посылающий запрос. Большинство баз данных и Internet-технологий основано на этой парадигме (SQL, HTTP).

Другая парадигма (рис. 7, б), реализованная, например, в технологиях OPC (OLE for process control) и DIM, основана на принципе «подписка—обновление» (Subscribe\Refresh). При этом клиент однократно (при подключении к серверу) делает подписку (Subscribe) на интересующий информационный ресурс, которым владеет сервер (например, на данные измерительной системы), и далее занимается своими делами (вычислениями на стороне клиента) без ожидания ответа от сервера. При поступлении новых данных сервер автоматически делает рассылки (Refresh) всем клиентам, которые подписались на обновляемые информационные ресурсы. Активной стороной при этом является сервер, а обновление данных на стороне клиента имеет принудительный и асинхронный характер. Использование принципа Subscribe\Refresh характерно для систем управления в реальном времени.

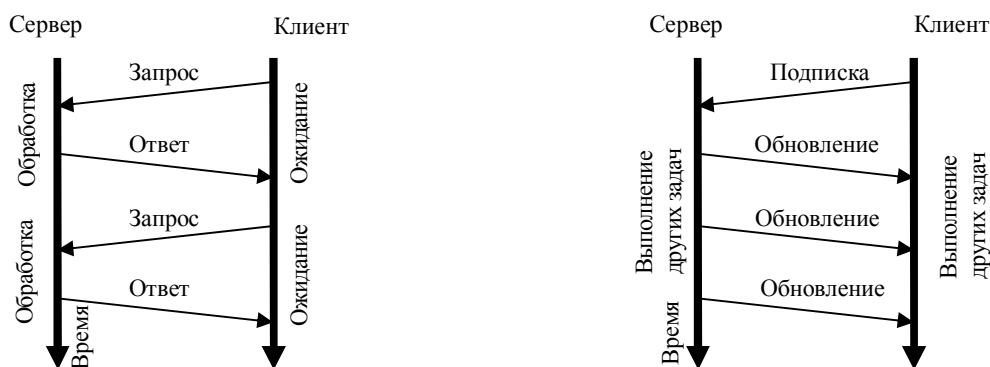


Рис. 7. Сравнение двух способов организации клиент-серверных информационных систем: а — запрос—ответ (парадигма HTTP, SQL...); б — подписка—обновление (парадигма DIM, OPC...)

Сравнивая две парадигмы взаимодействия клиента и сервера, надо в первую очередь понимать, что они ставят разные цели, и поэтому каждая из них оптимальна — для своего круга задач. Например, принцип RPC минимизирует трафик между клиентом и сервером. Этот принцип оптимален для большинства баз данных, когда есть обширное хранилище данных, а клиента интересует только малая часть этих данных. Клиент посылает запрос, описывая требуемый информационный ресурс (например, URL в случае HTTP или запрос SQL в случае баз данных). Сервер делает выборку и отправляет только то, что запросил клиент. Если система ориентирована на сбор и последующий анализ off-line большого объема данных, как системы ИВК T-10 или MIDAS, то принцип RPC уместен и основное внимание занимают механизмы хранения данных и удобного доступа к ним. В то же время в RPC всегда присутствует неопределенное по времени ожидание ответа на запрос. Кроме того, активной стороной RPC является клиент, поэтому если клиент по каким-то причинам не отправляет серверу запрос, он не будет своевременно уведомлен о состоянии объекта, даже если с ним случилась авария. Это не допустимо для систем управления, где, например, оповещение оператора о возникшей радиационной опасности должно быть незамедлительным и иметь принудительный характер.

Принцип Subscribe\Refresh ставит целью не минимальный трафик, а минимальное время отклика системы на события в объекте управления. Если клиент подписан на информационный ресурс, он принудительно получит уведомление об обновлении, даже если в данный момент это не представляет для него интерес, поэтому трафик заведомо не будет оптимальным. Однако в данной парадигме отсутствует ожидание как на стороне сервера, так и на стороне клиента. Кроме того, клиенты оповещаются о событиях в системе по инициативе сервера, причем немедленно и принудительно. Для систем управления потенциально опасными объектами в реальном времени сетевой трафик обычно относительно невелик, однако требования к своевременному оповещению и времени реакции системы управления очень высоки, поэтому именно данный принцип лежит в основе большинства систем SCADA (supervisory control and data acquisition). Этот принцип положен и в основу сетевых средств [8] пакета CRW-DAQ.

Актуальной проблемой для тритиевых установок и, особенно, распределенных сетевых систем является ограничение прав доступа к управлению. Это необходимо для предотвращения аварийных ситуаций из-за несанкционированных действий посторонних лиц. Служба защиты в пакете CRW-DAQ опирается на систему защиты Windows. Система конфигурируется так, что графическая оболочка работает с ограниченными правами пользователя, а измерительный пакет CRW-DAQ запускается с правами администратора (ему нужен доступ к аппаратуре). Для запуска программ с правами администратора из-под пользователя с ограниченными правами специально разработана программа AdmiLink, использующая зашифрованную учетную запись администратора. Файловая система гарантирует невозможность прямого изменения конфигурационных файлов пользователем, так как они созданы под администратором и защищены системой безопасности Windows. Конфигурацию можно изменить только из среды пакета CRW-DAQ, а в ней существует собственная служба безопасности, в которой предусмотрено четыре уровня доступа:

- Lock — компьютер заблокирован, запрещены все операции, кроме смены уровня доступа. Применяется для временной блокировки доступа от посторонних лиц;

- Guest — уровень гостя (неопытного пользователя), защищен паролем. Позволяет строить графики, наблюдать состояние параметров, но доступ к управлению системой закрыт;

- User — уровень (опытного) пользователя, защищен паролем. Позволяет управлять измерительной системой (запуск, остановка, завершение работы), однако редактирование прикладных программ или конфигураций запрещено. Это гарантирует целостность измерительной системы, предохраняет ее от несанкционированных изменений;

- Root — уровень администратора, защищен паролем. Администратору разрешены все операции, включая редактирование и компиляцию прикладных программ. Этот уровень предназначен для разработчиков и администраторов измерительных систем.

Обычно, если для данной установки требуется система защиты, вся рутинная работа происходит на уровне пользователя или гостя. Для выполнения критических действий оператор вводит пароль для временного повышения уровня доступа, а по их завершении возвращается на пониженный уровень доступа. Понижение уровня доступа выполняется одной кнопкой и не требует пароля, что позволяет быстро заблокировать компьютер.

**Российский федеральный ядерный центр — Всероссийский научно-исследовательский институт
экспериментальной физики, Саров, Нижегородская область**



Игорь Евгеньевич Бойцов,
нач. группы



Юрий Иванович Виноградов,
нач. лаборатории, д.т.н.



Алексей Валерьевич Курякин,
с.н.с.



Игорь Леонардович Малков,
с.н.с.



Рафаэль Камилевич Мусяев,
н.с.



Сергей Валентинович Фильчагин,
нач. группы



Борис Сергеевич Лебедев,
инженер



Алексей Вячеславович Бурчирин,
м.н.с.



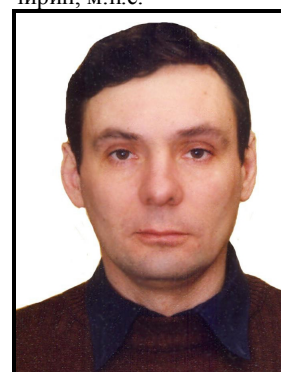
Сергей Кузьмич Гришечкин,
нач. лаборатории, к.т.н.



Аркадий Аркадьевич Юхин-чук,
нач. отдела, д.техн.н.



Павел Васильевич Ширнин,
нач. лаборатории



Сергей Владимирович Златоустовский,
инженер

ОП НПЦ «ИНТЕКО» ГП «Красная Звезда», Москва



Людмила Владимировна Селезнева,
н.с.



Борис Викторович Бушмин,
зам. директора



Юрий Владимирович Дубровский,
нач. лаборатории



Иулий Александрович Хазов,
директор

ПРАКТИЧЕСКОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАКЕТА CRW-DAQ

Развитие пакета CRW-DAQ шло «от потребностей предметной области», т.е. добавлялись в первую очередь те возможности и технологии, которые были необходимы для конкретных создаваемых измерительных систем. При этом наивысший приоритет отдавался обеспечению высокой надежности работы программы. Перечислим лишь несколько экспериментальных установок, автоматизированные системы контроля и управления которых разработаны с использованием пакета CRW-DAQ.

Начиная с 1997 г. в Лаборатории ядерных проблем ОИЯИ (г. Дубна) под управлением пакета CRW-DAQ эксплуатируется автоматизированная измерительная система комплекса подготовки газовой смеси для экспериментального исследования мюонного катализа ядерных реакций синтеза на установке «Тритон» [3]. Эта система обеспечивает контроль и управление параметрами тритиевой мишени, контроль состава газовой смеси, дозиметрический контроль, подготовку газовой смеси изотопов водорода H/D/T в диапазоне температур 20—800 К, при давлении до 160 МПа и активности трития в свободном состоянии до 10 кКи. Система имеет около 30 аналоговых и 100 цифровых каналов с периодом опроса порядка 100 мс на канал. Для измерения давления и температуры в ней используются модули удаленного сбора данных серии I-7000 фирмы ICP-DAS с интерфейсом RS-485. Для вакуумных измерений используются контроллеры TPG-256 с интерфейсом RS-232. Контроль состояния вентиля и управляемых клапанов выполнен на картах DIO-144 с интерфейсом ISA. Для контроля радиационной обстановки используются радиометры трития РГБ-06МА с интерфейсом RS-485. На установке «Тритон» с использованием автоматизированной системы контроля и управления был выполнен большой цикл исследований по изучению мюонного катализа dt -синтеза в широком диапазоне параметров D/T-смеси [13].

Начиная с 2000 г. в исследованиях свойств легких нейтронно-избыточных ядер на установке «Акулина» Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ используются комплекс для подачи изотопов водорода в ионный источник циклотрона и комплекс тритиевой мишени [4, 5]. Созданные автоматизированные комплексы обеспечивают стабильную подачу трития в ионный источник циклотрона, заполнение мишени тритием и поддержание ее температуры с высокой точностью, эвакуацию и утилизацию трития из мишени, контроль радиационной обстановки как в технологических коммуникациях, так и в рабочих помещениях. АСКУ комплексов реализованы в виде распределенных систем с удаленным управлением на базе модулей ввода/вывода серии I-7000, контроллеров TPG-256 и радиометров трития РТА-4 и РГБ06-4А. Программное обеспечение комплексов разработано в пакете CRW-DAQ под Windows/XP. С использованием этих комплексов на тритиевом пучке и дейтериевой и тритиевой мишени были получены ядра ${}^4\text{H}$ [14] и ${}^5\text{H}$ [15] и изучены их резонансные состояния.

С 2001 г. в РФЯЦ—ВНИИЭФ эксплуатируется исследовательский стенд «Прометей» [6], предназначенный для исследования явления сверхпроницаемости трития сквозь металлические мембраны, изучения проникновения и накопления трития конструкционными материалами, поиска и исследования защитных покрытий, повышающих безопасность использования тритийсодержащих газовых сред. Наряду с исследовательскими ячейками в состав стенда входят системы вакуумирования и подготовки газовой смеси, радиационного контроля, масс-спектрометрического анализа газовой смеси и т.д. Автоматизированная система контроля и управления стенда построена в виде распределенной сети, состоящей из трех компьютеров и набора сетевых модулей, связанных между собой по стандарту RS-232 и RS-485. Для сбора данных с датчиков и управления блоками регулирования используются модули удаленного ввода/вывода серии I-7000, карта дискретного ввода/вывода DIO-144 ISA, контроллеры датчиков вакуума TPG-256, масс-спектрометры QMS-200, радиометры трития РГБ06-4А и РТА-4.

Программное обеспечение стенда «Прометей» разработано в пакете CRW-DAQ под Windows-XP на всех трех управляющих компьютерах. Графический интерфейс для управления стендом реализован в виде активных мнемосхем. Система ограничения прав доступа защищает установку от несанкционированных действий посторонних лиц.

На стенде «Прометей» успешно ведутся работы по изучению явления сверхпроницаемости изотопов водорода через металлические мембраны [16] и его применения для откачки и рециркуляции топливной смеси в термоядерных реакторах [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетний опыт использования программного пакета CRW-DAQ для автоматизации исследовательских установок показал высокую надежность, гибкость и удобство создаваемого с его помощью программного обеспечения. Практика подтвердила правильность основных принципов, заложенных в пакет, таких, как поддержка многозадачности и распределенных систем, встроенные языки программирования, предметно-ориентированный интерфейс пользователя, графически-ориентированная система обработки данных. Изначально созданный для разработки систем автоматизации исследовательских установок, использующих тритиевые технологии, пакет CRW-DAQ нашел применение и в других областях. На его базе решена задача управления системой охлаждения и стабилизации температуры в матрицах кристаллов электромагнитного калориметра PHOS [18] в эксперименте ALICE по изучению кварк-глюонной плазмы на Большом адронном коллайдере LHC в ЦЕРНе. Пакет нашел также применение в металлургическом производстве при создании оптического измерителя плоскостности листового проката ИП-4 [19].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vinogradov Yu.I., Kuryakin A.V., Yukhimchuk A.A. Measurement and control systems of tritium facilities for scientific research. — *Fus. Sci. and Technol.*, 2005, vol. 48, № 1, p. 696—699.
2. Курякин А.В., Виноградов Ю.И. Программа для автоматизации физических измерений и экспериментальных установок (CRW-DAQ). Свидетельство РФ об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2006612848 от 10.08.2006 г.
3. Виноградов Ю.И., Курякин А.В. и др. Автоматизированная система контроля и управления комплексом подготовки газовой смеси для экспериментального исследования мюонного катализа ядерных реакций синтеза. — *Приборы и техника эксперимента*, 2004, № 1, с. 1—13.
4. Yukhimchuk A.A., Perevshchikov V.V., Apasov V.A. et al. Tritium target for research in exotic neutron-excess nuclei. — *Nucl. Instr. and Meth. A*, 2003, vol. 513, № 3, p. 439—447.
5. Rodin A.M., Stepanov S.V., Bogdanov D.D. et al. Status of ACCULINNA beam line. — *Nucl. Instr. and Meth. B*, 2003, vol. 204, p. 114—118.
6. Виноградов Ю.И., Курякин А.В., Ариуткин В.С. и др. Автоматизированная система контроля, управления и сбора данных стенда «Прометей». — *Материаловедение*, 2002, № 1, с. 46—50.
7. Wirth N. The programming language Pascal. — *Acta Informatica*, 1971, vol. 1, p. 35—63.
8. Gaspar C. et al. DIM, a portable, light weight package for information publishing, data transfer and inter-process communication. — In: Intern. Conf. on Computing in High Energy and Nuclear Physics. Padova, Italy, 1—11 February 2000.
9. Соколов М.М. Возможность применения измерительно-вычислительного комплекса Токамака-10 на других экспериментальных установках. — *ВАНТ. Сер. Термоядерный синтез*, 2003, вып. 4, с. 73—78.
10. Унифицированная программная среда для работы с экспериментальными данными УТС. <http://www.kiae.ru/nsi/islab.htm>.
11. Fusion software Home page. <http://www.fusion.ru>.
12. MIDAS Home page. <http://midas.psi.ch>.
13. Vom V.R., Demin A.M., Demin D.L. et al. Experimental investigation of muon-catalyzed *dt* fusion in wide ranges of D/T mixture conditions. — *ЖЭТФ*, 2005, т. 127, вып. 4, с. 1—28.
14. Оганесян Ю.Ц., Тер-Акопян Г.М., Богданов Д.Д. и др. Изучение структуры ультранейтронно-избыточных ядер водорода и гелия с использованием реакций радиоактивных пучков на тритиевой мишени. — *Известия Академии наук. Сер. физическая*, 2002, т. 66, № 5, с. 619—624.
15. Ter-Akopian G.M., Fomichov A.S., Golobkov M.S. et al. Evidence for resonance states ^5H . — *Phys. Lett. B*, 2003, vol. 556, p. 70—75.
16. Musyaev R.K., Lebedev B.S., Grishchkin S.K. et al. Tritium superpermeability: experimental investigation and simulation of tritium recirculation in «Prometheus» setup. — *Fus. Sci. Technol.*, 2005, vol. 48, p. 35.
17. Лившиц А.И., Алимов В.Н., Буснюк А.О. и др. Сверхпроницаемость водорода в металлах V группы — применение для откачки и рециркуляции топливной смеси в термоядерных реакторах. — *Материаловедение*, 2005, № 8, с. 40.
18. Manko V.I. et al. A high resolution electromagnetic calorimeter based on lead-tungstate crystals. — *Nucl. Instr. and Meth. A*, 2005, vol. 550, p. 169—184.
19. Агуреев В.А., Курякин А.В. и др. Опыт использования измерителя плоскостности полосы ИП-4-гп на стане горячей прокатки. — *Металлург*, 2004, № 1, с. 41—45.

Статья поступила в редакцию 24 марта 2008 г.
Вопросы атомной науки и техники.
Сер. Термоядерный синтез, 2008, вып. 2, с. 80—90.