

Объединенный институт ядерных исследований

На правах рукописи

Саламатин Кирилл Маркович

МЕТОДЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ
ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭКСПЕРИМЕНТОВ
В ОБЛАСТИ СПЕКТРОМЕТРИИ НЕЙТРОНОВ
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Специальность: 05.13.11 – математическое и программное
обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Дубна – 2015

Работа выполнена в Лаборатории нейтронной физики им. И.М. Франка
Объединенного института ядерных исследований

Научный руководитель Сеннер Александр Евгеньевич,
кандидат физико-математических наук,
кафедра САУ университета “Дубна”,
старший научный сотрудник.

Научный консультант Зрелов Петр Валентинович,
кандидат физико-математических наук,
Лаборатория информационных технологий
ОИЯИ,
начальник отдела.

*Официальные
оппоненты:* Игорь Борисович Бурдонов,
доктор физико-математических наук,
Институт системного программирования РАН,
ведущий научный сотрудник,
Крюков Александр Павлович,
кандидат физико-математических наук,
Отдел теоретической физики высоких энергий
НИИ ЯФ МГУ,
ведущий научный сотрудник.

Ведущая организация: Институт проблем передачи информации РАН.

Защита состоится « ____ » _____ 2015 г. в ____ часов на заседании
диссертационного совета Д 720.001.04 в Лаборатории информационных
технологий Объединенного института ядерных исследований, г. Дубна
Московской области.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОИЯИ.

Адрес сайта, на котором размещена диссертация/автореферат/...:
http://wwwinfo.jinr.ru/announce_disser.htm

Автореферат разослан « ____ » _____ 2015 г.

*Ученый секретарь диссертационного совета,
доктор физико-математических наук,
профессор*

Иванченко Иосиф Моисеевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Системы автоматизированного управления относятся к приоритетным направлениям науки и техники России. Технологии информационных и управляющих систем включены в Перечень критических технологий Российской Федерации, утвержденный Указом Президента РФ от 7 июля 2011 г. № 899, и развитие методов построения этих систем актуально.

Диссертация посвящена разработке методов построения программных систем автоматизации экспериментов (САЭ) в области спектрометрии нейтронов. Практическая работа автора связана с построением программных систем для автоматизации спектрометрии нейтронов на исследовательской ядерной установке ИБР-2 и ускорителе ИРЕН, поэтому разработка методов и программного обеспечения (ПО) САЭ иллюстрируются примерами из области спектрометрии. Однако решения носят общий характер и могут использоваться в других проблемных областях.

Современные спектрометры включают десятки программно-управляемых специализированных устройств, предназначенных для формирования условий, в которых будут регистрироваться данные.

Анализ регистрируемых в эксперименте спектров позволяет получить информацию о характере взаимодействия нейтронов с ядрами в зависимости от условий регистрации – температуры, толщины мишени, наличия или отсутствия поляризации нейтронов и ядер и др. Состав условий и способ регистрации экспериментальных данных составляют методику конкретного эксперимента.

САЭ разрабатываются в виде распределенных сетевых систем, в которых отдельные ЭВМ выполняют роль интеллектуальных контроллеров специального оборудования, как это показано на Рис. 1. Причинами этого являются: использование большого количества специальных устройств (десятки, сотни), проблемы согласования интерфейсов этих устройств с обновляющимися средствами вычислительной техники, различные платформенные зависимости компонентов системы, а также постоянное усложнение методологии экспериментов.

В составе ПО САЭ присутствуют компоненты, выполняющие основные операции (формирование условий, регистрация и сохранение данных) и вспомогательные (визуализация данных, их предварительная обработка, организация обратной связи и др.). Такие САЭ разрабатываются не для одиночных уникальных экспериментов, а для серии исследовательских работ в этой научной области.

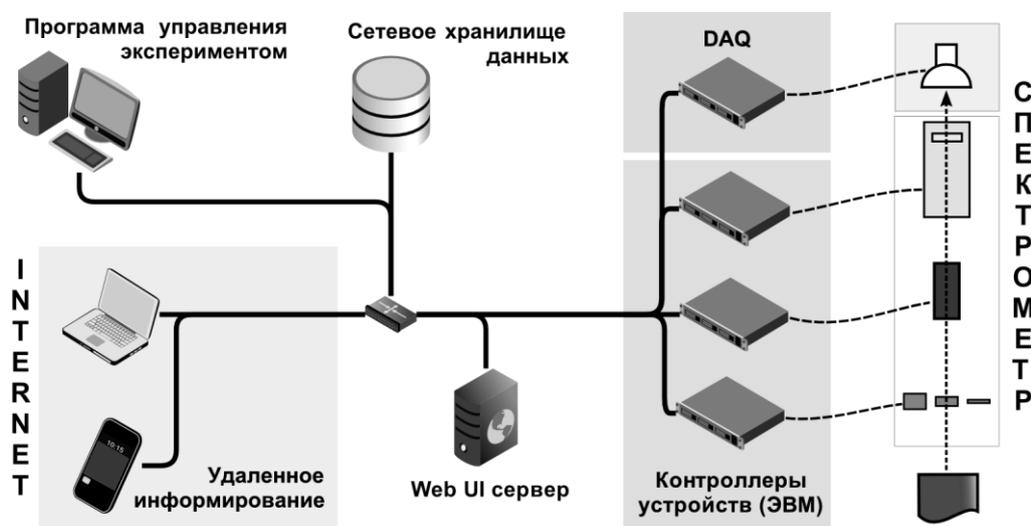


Рис. 1. Пример схемы распределенной САЭ

Исследовательская работа характеризуется систематическим изменением методики дальнейших работ, обусловленным полученными результатами. После завершения анализа данных эксперимента, как правило, возникает план новых исследований, что приводит к неоднократным изменениям методики экспериментов за время жизни САЭ. Если возможность формирования условий для очередной методики не предусмотрена заранее в конструкции экспериментальной установки, то появляется необходимость модифицировать состав аппаратного и программного обеспечения САЭ. При этом для исследовательских организаций чрезвычайно актуальной проблемой становятся сроки разработки ПО.

В специальной литературе отмечается, что на модификацию ПО САЭ зачастую тратится около 6 месяцев работы коллектива из нескольких программистов. Такие сроки приводят к простою дорогостоящего оборудования, задержкам и снижению эффективности исследований и не являются адекватными современному уровню развития инструментальных средств и технологии программирования.

Диссертация посвящена разработке методов, которые существенно снижают затраты времени на создание и модификацию ПО САЭ, повышают надежность и эффективность работы САЭ при выполнении экспериментальных исследований.

Одним из основных критериев оценки затрат в исследовательской организации являются сроки разработки и модификации ПО САЭ. Известный идеолог фирмы “Code Gear” Дэвид Интерсаймон отмечает, что причины длительных сроков разработки могут быть связаны с разобщенностью команд разработчиков и отсутствием адекватной стратегии повторного использования программ за пределами одного проекта, например, в ПО других САЭ. Повторное использование программ является основной методологией, которая применяется для сокращения затрат труда при разработке сложных систем. Известны различные варианты повторного использования – использование исходного текста программ, программных компонентов, разработка моделей, шаблонов и др. Цель применения методологии повторного использования – разработка линейки продуктов (product line engineering – PLE). PLE подразумевает определение функциональных возможностей программных систем, которые будут использоваться в разных системах. В дальнейшем программные компоненты, реализующие эти возможности, используются в конкретных вариантах систем так, чтобы в конечном итоге иметь один набор программных компонентов для нескольких вариантов систем.

Использование программных компонентов без изменения за пределами одного проекта практически затруднительно, если нет разработанной структуры ПО САЭ, правил построения программной системы и программного обеспечения, обслуживающего разработку и объединение компонентов в систему. Для распределенного ПО САЭ в обсуждаемой области эта задача была не решена.

В работе поставлена и решена задача построения распределенного ПО САЭ для спектрометрии нейтронов из программных компонентов в исполняемом формате, которые могут использоваться в различных экспериментах и системах без изменения остальных программных составляющих САЭ. Далее в тексте такие компоненты называются унифицированными.

Исследованы два основных источника, затрудняющие разработку унифицированных компонентов – связанность компонентов и изменение методики эксперимента. Проблемы унификации компонентов и использования их без изменения в различных экспериментах и ПО различных САЭ следующие:

1. Связанность определяет состав и объем информационных потоков между компонентами. Связывание компонентов может быть статическим и динамическим. При статическом связывании необходимая для связывания информация (например: сетевые адреса взаимодействующих компонентов, адреса программ, информация об интерфейсах) тем или иным способом фиксируются до начала работы САЭ. Статическое связывание обеспечивает наибольшую скорость выполнения

- взаимодействия, но при этом связь между компонентами системы становится жесткой. В этом случае сбой одного из компонентов в процессе эксплуатации САЭ с большей вероятностью приводит к потере работоспособности всей системы, и даже небольшие изменения могут потребовать привлечения программистов для модификации нескольких компонентов. При динамическом связывании необходимая для обеспечения взаимодействия компонентов информация вырабатывается в процессе исполнения, и именно этот вариант целесообразно использовать при построении ПО САЭ – систем с часто изменяемым составом выполняемых функций.
2. Изменение методики эксперимента. Если новая методика эксперимента требует применения оборудования, не предусмотренного заранее в архитектуре экспериментальной установки и программах, это приводит к изменению состава используемых компонентов и необходимости модифицировать часть ранее использовавшихся. При этом помимо модифицируемого компонента, необходимо также изменить компонент, управляющий последовательностью выполнения операций в эксперименте. Если объединение компонентов в систему выполнялось транслятором, то эту операцию придется выполнять заново. Чаше для упрощения процесса модификации ПО САЭ используется специальный язык. Интерпретатор языка включается в состав ПО САЭ. Состав и последовательность выполнения операций в эксперименте (скрипт) описываются на этом языке списком вызовов процедур и значений параметров. Оба эти варианта вводят статическую связанность компонентов. Для устранения этой проблемы разработан альтернативный вариант способа представления методики эксперимента и управления ее выполнением.

Концепция ПО САЭ, отвечающая поставленной в диссертации цели, выработана на основании анализа тенденций развития ПО САЭ по опубликованным материалам и включает следующие положения:

- распределенное ПО САЭ формируется из взаимодействующих унифицированных, функционально законченных компонентов в исполняемом формате. Доступ к процедурам, реализующим функциональность компонента, определяется их внешним интерфейсом;
- каждый компонент ПО САЭ инвариантен относительно изменений методики эксперимента;
- методика эксперимента (задание на эксперимент) описывается с помощью унифицированной диалоговой подсистемы. Подсистема описания методики не изменяется при изменении конфигурации спектрометра;
- компоненты автоматически объединяются в ПО САЭ в соответствии с заданием на эксперимент;
- перенос программных компонентов на другие ЭВМ в пределах локальной сети не разрушает систему, не приводит к изменению задания на эксперимент или перекомпиляции программных составляющих ПО САЭ;
- процессом выполнения основных операций во время эксперимента (методикой) управляет унифицированная управляющая программа, алгоритм которой инвариантен относительно изменений методики эксперимента;
- эксперимент выполняется в автоматическом режиме;
- сопровождение ПО САЭ не требует от экспериментаторов владения навыками программирования.

Указанные выше проблемы, обусловленные связанностью компонентов и изменчивостью методики эксперимента, взаимосвязаны, и для поиска путей устранения их влияния диссертантом выполнен совместный анализ ряда сетевых технологий построения распределенных программных систем с динамически изменяемым составом выполняемых

функций и особенностей работы компонентов в ПО САЭ. В первых двух главах диссертации приведены результаты этого анализа.

Цель диссертации состоит в сокращении сроков создания и модификации ПО САЭ, повышении эффективности процессов регистрации экспериментальных данных, что в итоге способствует повышению эффективности работы исследователей.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования являются распределенные программные системы автоматизации экспериментов в области спектрометрии нейтронов. Предметом исследования является: сетевые технологии построения таких систем из унифицированных компонентов; методы унификации программных компонентов САЭ; сетевые технологии обеспечения взаимодействия компонентов в распределенных системах; методы управления работой ПО САЭ, являющегося специализированным распределенным пакетом прикладных программ.

Направления исследований:

- анализ приемов и средств унификации программ и программных комплексов с целью сокращения сроков их разработки и повышения надежности функционирования;
- анализ известных способов объединения компонентов в распределенную сетевую систему и их динамического связывания с целью выбора оптимальной архитектуры ПО САЭ
- исследование способов описания методики получения экспериментальных данных с целью унификации программ управления работой устройств, формирующих условия регистрации данных;
- анализ сетевых технологий разработки распределенных программных систем с целью выбора вариантов для использования в ПО САЭ;
- анализ и классификация функционального состава и способов взаимодействия компонентов ПО САЭ с целью разработки методов их унификации, использования в различных экспериментах без изменения и оптимизации схемы их взаимодействия в ПО САЭ.

На защиту выносятся:

- Выводы и структура ПО САЭ, полученные на основании анализа и классификации функционального состава и способа взаимодействия компонентов в ПО различных САЭ. Эти результаты существенно упростили схему и алгоритмы взаимодействия компонентов.
- Метод автоматической компоновки распределенного ПО САЭ. Автоматизация компоновки позволила сократить сроки настройки ПО САЭ и выполнять эту работу без привлечения программистов.
- Метод динамического связывания, основанный на использовании идентификаторов компонентов, учете особенностей процесса управления экспериментом и использовании открытых сетевых технологий. Разработанный метод существенно упростил структуру и алгоритмы ПО САЭ и предоставил свободу в расширении состава компонентов, выполняющих основные и вспомогательные операции, без изменения существующих.
- Метод управления процессом получения экспериментальных данных, основанный на использовании описания методики эксперимента, формируемого специальной унифицированной подсистемой. Использование этой подсистемы не требует от экспериментатора навыков программирования.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1. Предложена новая структура ПО САЭ, включающая разные дисциплины выполнения основных и вспомогательных операций, основанная на результатах классификации по назначению и способу взаимодействия компонентов в ПО САЭ. Выводы, полученные на основании этой классификации, и предложенная структура ПО САЭ позволили существенно упростить алгоритмы и унифицировать средства межкомпонентного взаимодействия и прикладные компоненты.
2. Предложен метод автоматической компоновки распределенного ПО САЭ в соответствии с заданием на эксперимент в условиях изменения задания при переходе от одного эксперимента к другому. Метод основан на использовании сетевого протокола поиска компонентов и адресации на основе идентификаторов, вместо традиционного использования конфигурационных файлов с сетевыми адресами компонентов.
3. Предложен метод динамического связывания компонентов в распределенном сетевом ПО САЭ, использующий разные дисциплины связывания при выполнении основных и вспомогательных операций, и унифицированные средства обслуживания межкомпонентного взаимодействия, что предоставило свободу в развитии состава основных и вспомогательных операций ПО САЭ без изменения других компонентов и существенно упростило алгоритмы взаимодействия компонентов.
4. Предложен метод управления составом основных операций в эксперименте программой в соответствии с описанием методики получения экспериментальных данных списком условий их регистрации вместо традиционно используемого списка вызовов процедур. Этот метод позволил унифицировать программу управления экспериментом и средства межкомпонентного взаимодействия.

Практическая ценность. Основные положения, выводы и рекомендации доведены до практической реализации и выдержали проверку в эксплуатации. Результаты данной работы нашли практическое применение при разработке ПО нескольких систем автоматизации экспериментов на ускорителе ИРЕН и исследовательской ядерной установке ИБР-2, имеются заключения о внедрении.

Разработанные алгоритмы и программы применимы в других проблемных областях (например, биология, технологические процессы и др.). Результаты данной работы могут быть использованы в учебных курсах университета “Дубна”.

Работа выполнялась в соответствии с проблемно-тематическими планами ЛНФ ОИЯИ и протоколом о выполнении совместной научно-исследовательской работы ЛНФ ОИЯИ и университетом “Дубна”.

Реализация результатов. Разработанные диссертантом методы реализованы в программах и системах. Их проверка выполнена в экспериментах на источниках нейтронов ИБР-2 и ИРЕН в ОИЯИ.

Разработанные системы используются в исследованиях, проводимых в: ЛНФ ОИЯИ (для установок КОЛХИДА, АУРА, для снятия характеристик источников нейтронов ИБР-2 и ИРЕН), ЛЯП ОИЯИ (система для настройки детектора для эксперимента $\text{Mu}2e$ в Фермилаб), ИЯИ г. Троицк (система для исследования несохранения четности при дифракции нейтронов). С помощью этих систем получены важные физические результаты.

Апробация работы. Отдельные разделы работы представлены на международных конференциях “Ядро 2007” (Воронеж); “IEF’2011” (Ужгород, Украина); “ICANS XXI” (Мито, Ибараки, Япония); на международных семинарах “ISINN-17”, “ISINN-19”, “ISINN-21”, “ISINN-22” (Дубна). Основные результаты работы докладывались на научных семинарах ЛНФ ОИЯИ, ЛИТ ОИЯИ, ИППИ РАН, университета “Дубна”.

Публикации и личный вклад автора. По теме диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 4 статьи в рецензируемых научных журналах. Без соавторов опубликовано 5 работ.

Диссертантом разработаны методы построения распределенного ПО САЭ из унифицированных компонентов, выполнены реализация и проверка программ и предложенной концепции ПО САЭ на практике. Результаты, выносимые на защиту, получены лично автором.

Вклад соискателя является определяющим в работах, положенных в основу диссертации. В [8-10] диссертанту принадлежит разработка алгоритмов и их программная реализация.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав и заключения. Работа изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 17 рисунков, 4 таблицы, 3 приложения. Список литературы включает 82 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ВО ВВЕДЕНИИ представлена постановка задачи и обоснована ее актуальность. Описаны источники и причины, препятствующие унификации компонентов ПО САЭ. Сформулирована концепция ПО САЭ, реализация которой отвечает поставленной в диссертации цели.

ГЛАВА 1. Методы построения распределенных программных систем наиболее полно представлены в сетевых технологиях. В главе 1 приведен обзор и выполнен анализ популярных сетевых технологий разработки распределенных систем. На основании анализа, с учетом специфики задач автоматизации экспериментов, сделан выбор архитектуры ПО и вариантов технологий, использованных при построении ПО САЭ. Рассмотрены методы RPC, технологии RMI, CORBA, DCOM, Ice, средства разметки сообщений XML, JSON, SOAP, технологии поиска компонентов, концепция технологии, которая в специальной литературе известна под названием “сервис-ориентированная архитектура” (SOA), и др.

Указанные выше технологии имеют следующие свойства:

- для классического RPC (клиент/сервер) характерны синхронный вызов, способ взаимодействия “один к одному” и другие свойства, усложняющие реализацию систем реального времени;
- технология RMI имеет жесткую ориентацию на использование языка Java;
- технологию DCOM возможно использовать только в операционной системе Windows.

Эти свойства влияют на возможность использования рассмотренных технологий в ПО САЭ.

Технология CORBA более полно отвечает требованиям, соответствующим распределенным системам, у которых состав выполняемых функций изменяется динамически. CORBA обеспечивает практически полную свободу модификации приложения. Однако важнейшее необходимое свойство технологии CORBA – универсальный механизм динамического связывания для ПО САЭ избыточно сложный, так как:

- требует включения специальных элементов в средства обеспечения взаимодействия компонентов и в компоненты;
- его реализация относительно не простая и требует несколько сотен операторов, в то время как учет специфики ПО САЭ в области спектрометрии нейтронов позволяет сделать это с помощью 4–6 операторов;

- удаленный вызов процедур требует выполнения ряда операций взаимодействия компонентов для настройки вызова, что в итоге в 40 раз медленнее, чем при статическом связывании;
- реализуется схема взаимодействия “один с одним”.

В итоге, для такой работы требуется квалифицированный специалист.

На основании проведенного анализа принято решение разработать метод динамического связывания компонентов с учетом специфики решаемых задач.

Помимо механизма динамического связывания компонентов, для разработки распределенного ПО САЭ, соответствующего сформулированной концепции, потребовались открытые сетевые технологии передачи сообщений, разметки (форматирования), сериализации сообщений и поиска компонентов. При сравнении характеристик JSON-RPC, XML-RPC и SOAP, на основании проведенного в диссертации анализа, выбраны средства JSON-RPC. Для поддержки динамического объединения компонентов в ПО САЭ использован протокол поиска компонентов SLP – единственный, получивший статус RFC.

При выборе архитектуры ПО САЭ принята концепция SOA, принципы которой следующие: функциональная завершенность компонентов (сервисов), их крупноблочная структура, публикация (или фиксация) интерфейсов, слабая связанность компонентов. Оптимальность выбора данной концепции обусловлена тем, что в ней обязательным является следование одновременно всем перечисленным принципам, в отличие от рассмотренных технологий, использующих только часть из них.

Основные выводы в главе 1:

- архитектуру ПО САЭ следует принять в соответствии с принципами SOA, включая механизм передачи сообщений, функции формирования реестра компонентов, брокер сообщений, прикладные компоненты и некоторые специальные службы;
- целесообразно выполнить разработку метода динамического связывания компонентов, учитывающего особенности решаемых задач.

Результаты первой главы опубликованы в работе [5].

С целью получить дополнительную информацию для оптимизации разработки метода динамического связывания компонентов и для решения проблем унификации компонентов, связанных с изменением методики эксперимента, в следующей главе выполнен анализ особенностей работы компонентов в ПО САЭ.

В ГЛАВЕ 2 выполнены анализ и классификация функциональных составляющих ПО САЭ. В проанализированных опубликованных работах учет методики эксперимента осуществляется разными способами: в фрагментах программ системы, вводом параметров из файлов или в диалоге, интерпретируемыми скриптами и др. Эти варианты вносят “жесткую” связанность компонентов, а попытка реализовать не учтенную ранее методику эксперимента приводит к изменениям готовых программ, что затрудняет или исключает возможность унификации компонентов. В специальной литературе на эту тему не найдены способ управления экспериментом и средства описания новой (не учтенной при разработке ПО САЭ) методики, не требующие изменения компонентов, скриптов или других составных частей ПО САЭ.

ПО САЭ решает следующие задачи:

- управление условиями регистрации данных в соответствии с заданной методикой эксперимента;
- регистрацию, представление данных в формате, удобном для обработки, и сохранение потока данных от детекторов (подсистема DAQ);
- контроль корректности работы экспериментальной установки и достоверности регистрируемых данных.

Информация для разработки предложенного метода динамического связывания компонентов, способа управления экспериментом и подсистемы описания методики эксперимента с нужными свойствами получена на основе анализа состава и способа взаимодействия разных функциональных компонентов ПО САЭ. Анализ позволил сделать следующие выводы:

- любой компонент может выступать как в роли клиента, так и в роли сервера, выполняя функции управления, исполнения действий, публикации и обработки информации;
- основные функции эксперимента выполняются управляющими (интерфейсы пользователя и программа управления экспериментом) и исполняющими компонентами (управление окружением образца и подсистемы DAQ) с фиксированной схемой взаимодействия. Для этих функциональных групп характерно требование гарантированной доставки команды и подтверждения завершения работы;
- в составе ПО САЭ присутствуют другие функциональные пары – источники информации, вырабатываемой в процессе работы ПО САЭ, и потребители этой информации. Источник может публиковать информацию различного типа (адреса экспериментальных данных, информацию о состоянии узлов установки, диагностические сообщения и др.). Потребителю требуется информация определенного типа. Потребителей информации любого типа может быть несколько либо ни одного;
- в составе ПО САЭ присутствуют две группы компонентов:
 1. основные компоненты с детерминированным характером взаимодействия, выполняющие основные задачи эксперимента. Способ их взаимодействия – “один к одному”;
 2. вспомогательные компоненты (и некоторые процедуры основных компонентов), реализующие сервисные функции, обработку нештатных ситуаций и др., не влияющие (в штатных условиях) на выполнение основных задач. Способ их взаимодействия – “один ко многим”;
- в группе основных компонентов присутствует только два типа клиентов, в качестве результата удаленного вызова процедуры им требуется сигнал завершения работы вызванной процедуры для синхронизации работы. Это управляющие программы – интерфейсы пользователя и программа управления экспериментом, управление – однонаправленное. Реализация обратной связи относится к вспомогательным операциям;
- в группе основных компонентов присутствует только два типа компонентов, выполняющих основную работу, определяемую методикой эксперимента. Это подсистемы регистрации данных (DAQ) и компоненты управления устройствами, формирующими условия регистрации экспериментальных данных.

Основные выводы в главе 2:

- динамическое связывание компонентов для удаленного вызова процедур необходимо только при выполнении основных функций ПО САЭ;
- результат удаленного вызова процедур должен содержать два типа информации: 1) обязательный сигнал завершения работы, адресуемый вызывающей программе (программе управления экспериментом или интерфейсу пользователя), и 2) детализирующую информацию (список файлов зарегистрированных данных, описание состояния управляемого объекта, диагностическое сообщение и др.), адресуемую вспомогательным функциям;
- реализация вспомогательных функций требует специальной дисциплины связывания компонентов, учитывающей спонтанный характер возникновения запросов на такие

операции и независимость основных функций (в штатных условиях) от результатов выполнения вспомогательных операций.

Эти выводы положены в основу разработки специального метода динамического связывания компонентов и новой структуры ПО САЭ, в которой использованы разные механизмы взаимодействия компонентов для выполнения основных и вспомогательных функций.

Исследования, выполненные в главах 1 и 2, показывают, что для достижения поставленной в диссертации цели ключевыми являются решения следующих задач:

- разработка метода управления экспериментом;
- разработка универсальной подсистемы описания методики эксперимента;
- разработка специальных средств для выполнения поиска компонентов и их динамического связывания.

Результаты второй главы опубликованы в работе [1].

В ГЛАВЕ 3 рассмотрены известные способы управления экспериментом. Таких способов два:

- представление программы управления на языке программирования фиксированной группой процедур, которые реализуют определенные методики экспериментов, а значения параметров определяются в диалоге или данными из файла;
- использование в составе ПО САЭ интерпретатора, на языке которого составляется программа управления экспериментом (скрипт) в виде списка вызовов внешних процедур и значений параметров.

В обоих способах, по сути, в программу управления последовательностью операций в эксперименте включается описание методики списком вызовов процедур. В результате возникает жесткая связанность компонентов. В диссертации предложено исключить из программы управления экспериментом средства описания методики эксперимента, которые традиционно представлялись вызовами процедур. Предложенный альтернативный метод управления экспериментом заключается в следующем:

- программа управления экспериментом последовательно выполняет формирование условий эксперимента и регистрацию данных в этих условиях;
- конкретизация функционального наполнения этих процессов (состава используемых компонентов) выполняется динамически с использованием файла с описанием условий регистрации данных, создаваемого подсистемой описания методики эксперимента.

Подсистема описания методики эксперимента включает базу данных (БД) и две диалоговые программы:

- используемую программистами для составления паспортов компонентов, работающих с устройствами управления условиями регистрации данных;
- используемую экспериментаторами для подготовки задания PSJ (*Preparation of Single Job*).

3.1. ПО составления паспортов устройств создает и заносит в БД описание устройств в формате JSON. Описание содержит: название контроллера и список подключенных к нему устройств, тип компонента, работающего с контроллером, его уникальный идентификатор (GUID), используемый для адресации компонента, и описания параметров. Состав параметров (прикладной протокол) определяется разработчиком компонента.

3.2. ПО составления задания PSJ использует список доступных устройств (и компонентов) из БД. Из этого списка экспериментатор в диалоге выбирает нужные в данном эксперименте компоненты и составляет список устройств, которые в процессе эксперимента будут определять условия регистрации данных. Для каждого устройства из этого списка можно задать список последовательно используемых значений управляемого параметра. Результатом этой работы является PSJ–файл с табличным описанием конечного автомата, реализующего нужные в эксперименте состояния аппаратной системы. В каждом состоянии выполняется экспозиция данных. Структура файла задания показана на Рис. 2.

Отличие данного метода от используемых в других системах в том, что программа составления задания PSJ составляет список условий регистрации данных вместо описания действий списком вызовов процедур в скрипте или указания варианта запрограммированной процедуры. Программа управления экспериментом выполняет функции диспетчеризации используемых компонентов, а выбор и вызов процедур, реализующих нужные условия регистрации данных, выполняются в компонентах, управляющих оборудованием, на основании интерпретации переданных им описаний условий.

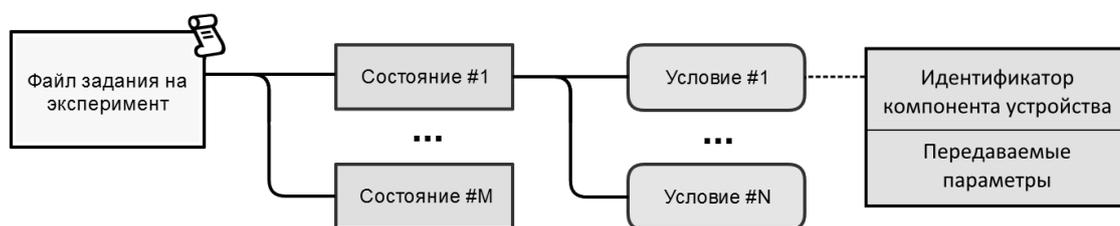


Рис. 2. Структура файла задания на эксперимент

Достоинством такого подхода является то, что при описании методики эксперимента экспериментатором используется только терминология его проблемной области: названия узлов спектрометра, угловые положения и др. Идентификатор (GUID) и тип, используемые при поиске компонента для передачи ему списка параметров, проносятся из паспорта устройства в файл задания автоматически.

3.3. Основные выводы в главе 3:

- Использование разработанной подсистемы описания методики эксперимента и метода управления экспериментом существенно сократило время настройки ПО САЭ для нового эксперимента благодаря возможности компоновки системы и составления задания без привлечения программистов.
- Использование этой подсистемы совместно с разработанными средствами межкомпонентного взаимодействия обеспечило возможность автоматически компоновать ПО САЭ в соответствии с заданием на эксперимент.
- Разработанный способ описания методики эксперимента и метод управления экспериментом исключили жесткую связанность компонентов, благодаря этому подсистема и программа управления экспериментом пригодны для использования без изменений в ПО различных САЭ.

Результаты третьей главы опубликованы в работах [2,4,11].

В ГЛАВЕ 4 описана сетевая технология межкомпонентного взаимодействия, реализуемая разработанным компонентом DiCME (*Distributed Components Messaging Environment*). Компонент разработан в соответствии со следующими требованиями:

- автоматический поиск и динамическое связывание компонентов;

- использование асинхронного механизма удаленного вызова процедур, т.к. при синхронном вызове увеличивается время обслуживания взаимодействия компонентов ПО САЭ, уменьшается пропускная способность САЭ;
- возможность передать информацию нескольким компонентам одновременно;
- обработка всех обменов сообщений в рамках ПО САЭ с использованием одного и того же средства межкомпонентного взаимодействия (т.к. гомогенную систему намного легче программировать и поддерживать);
- единый механизм взаимодействия компонентов друг с другом, не зависящий от их взаимного размещения в сети (на одной ЭВМ либо нескольких, в том числе разного типа);
- возможность свободного перемещения компонента с одной ЭВМ на другую, что облегчит устранение ряда нештатных ситуаций, возникающих в случае выхода ЭВМ из строя;
- автоматическая адаптация к используемой конфигурации, включая случаи её нарушения (сбой компонента, отключение ЭВМ или разрыв сетевой связи).

Компонент DiCME является связующим звеном для трех групп программ, выполняющих:

- основные операции во время эксперимента: формирование условий регистрации данных и регистрацию данных;
- управление последовательностью выполнения основных операций в эксперименте;
- вспомогательные функции ПО САЭ.

4.1. Компонент DiCME обеспечивает базовую технологическую поддержку работы ПО САЭ. Для этого в состав DiCME, помимо механизма передачи сообщений, включены функции формирования реестра компонентов, брокер сообщений и другие службы. Для обеспечения автоматического формирования реестра компонентов каждый компонент при запуске на этапе инициализации своего интерфейса к DiCME активирует функцию “Маяк”. “Маяк” периодически посредством multicast-сообщений информирует другие части ПО САЭ о доступности компонента – рассылает уникальный идентификатор (GUID) и тип компонента.

4.2. Одна из важных характеристик средств межкомпонентного взаимодействия – способ связывания компонентов. Для динамического связывания информацию дает файл задания, в который программа подготовки задания автоматически заносит идентификатор и тип компонента, определенные в паспорте. В диссертации способ использования идентификаторов компонентов для их динамического связывания и автоматического объединения в систему развит для распределенного ПО САЭ. Этот способ даёт указанные выше преимущества по сравнению с методами, используемыми в популярных технологиях: RMI, CORBA, DCOM, Ice.

Для выполнения основных и вспомогательных операций введены две дисциплины динамического связывания, что нашло отражение в структуре ПО.

На Рис. 3 показана схема взаимодействия программы управления экспериментом (ПУЭ) и компонента DiCME при выполнении основных операций ПО САЭ. На вход ПУЭ поступает файл задания. Эта программа выбирает описание очередного состояния системы (список условий регистрации данных) и передает описание каждого условия компоненту DiCME. Описание условия несет информацию о компоненте (GUID, тип), достаточную для его поиска и связывания с ним всегда одного и того же компонента – программы управления экспериментом, а также список параметров. DiCME находит нужный компонент и передает ему сообщение с описанием условия, содержащее список параметров.

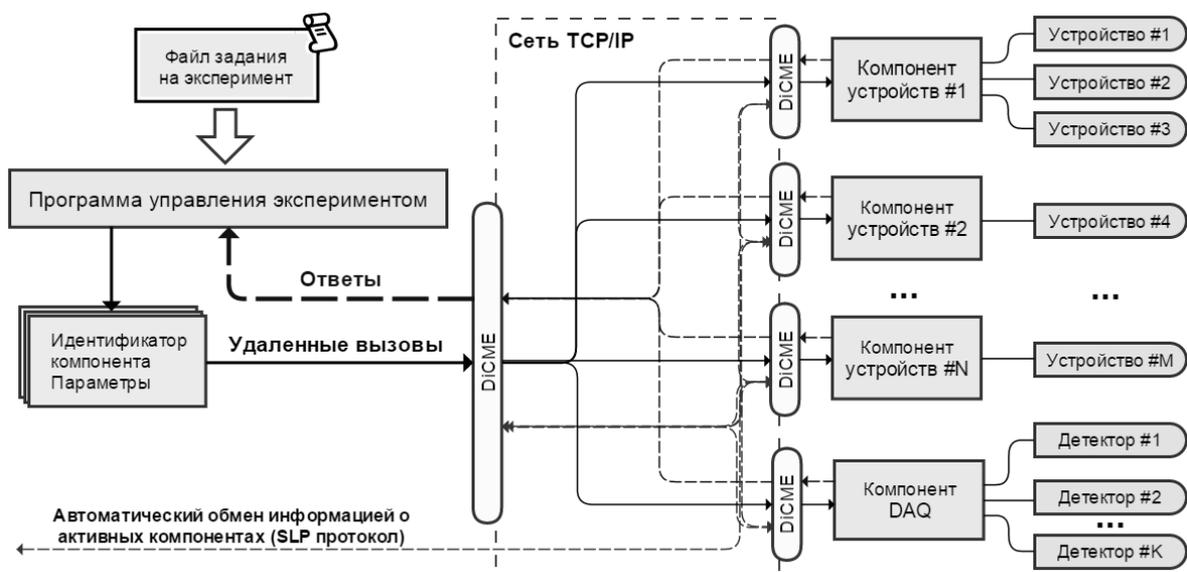


Рис. 3. Схема взаимодействия программы управления экспериментом и компонента DiCME при реализации основных задач ПО САЭ

Список параметров и их значения – часть сообщения, интерпретируемая процедурами компонента. Например, для управления положением поляризатора описание условия в формате JSON имеет следующий вид:

```
{device:"polarizer", parameter:"angle", value:"30 grad"}
```

Каждый компонент, которому ПУЭ передала сообщение, должен вернуть ПУЭ сигнал ("Done" / "Error") завершения работы. После получения сигналов от всех устройств, перечисленных в описании нужного состояния САЭ, ПУЭ включает регистрацию данных подсистемой DAQ. Сигнал завершения экспозиции данных разрешает ПУЭ перейти к обработке описания следующего состояния в файле задания.

В разработанном методе динамического связывания необходимая для связывания и параметризации действия информация вырабатывается средствами, внешними по отношению к ПУЭ, компонентам и средствам обеспечения межкомпонентного взаимодействия DiCME. В отличие от технологии CORBA и др., разработанный метод связывания устранил необходимость подготовительного диалога между компонентами для настройки удаленного выполнения процедуры и, благодаря автоматическому составлению в DiCME реестра компонентов, алгоритм связывания эквивалентен по скорости статическому связыванию. Данный метод связывания не ограничивает развитие методики эксперимента, и ее изменения не затрагивают ПУЭ и средства межкомпонентного взаимодействия DiCME, т.к. программа управления и DiCME прозрачны для списка параметров.

4.3. Наиболее существенные особенности, влияющие на способ выполнения вспомогательных функций, следующие:

- спонтанный характер возникновения информации о событиях и возможность отсрочить ее обработку;
- необходимость передавать информацию нескольким процессам, состав которых, в общем случае, источнику информации не известен и может изменяться в процессе работы ПО САЭ по инициативе пользователя системы.

Для связывания вспомогательных компонентов выбран вариант алгоритма "подписки", при котором компонент-потребитель однократно декларирует интерес к

информации определенного типа, после чего специальный компонент (менеджер событий) обслуживает всех “подписавшихся” потребителей при появлении этой информации. На Рис. 4 показана схема работы компонента DiCME при обслуживании вспомогательных операций ПО САЭ.

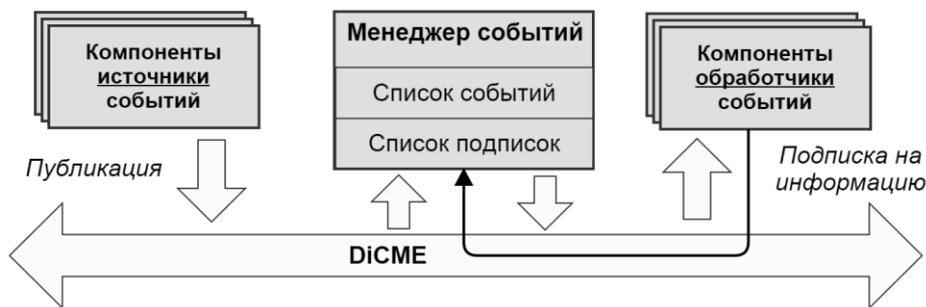


Рис. 4. Схема работы менеджера событий и компонента DiCME при обслуживании вспомогательных операций

В итоге реализация вспомогательных операций через DiCME с автоматическим поиском компонентов предоставляет возможность экспериментатору динамически компоновать систему с нужными вспомогательными функциями просто путем запуска нужного компонента на любой ЭВМ локальной сети.

4.4. В диссертации выполнена оценка занятости процессора на основании измерений времени взаимодействия компонентов на макете распределенной САЭ из 50 компонентов (что заведомо превышает размеры реального ПО САЭ) и вычислений по ее алгоритмической модели. На Рис. 5 показана суммарная загрузка, обусловленная работой подсистемы регистрации данных DAQ с использованием компонента DiCME во время работы САЭ в эксперименте (кривая DAQ), и вклад в загрузку центрального процессора (ЦП), вызванный использованием компонента DiCME. Потери времени на сетевые операции td вычислялись по формуле

$$td = (tc + 2 \cdot tl + 4 \cdot tw) \cdot n,$$

где

- tc – время установления TCP-соединения;
- tl – латентность сети (время, затраченное на передачу данных);
- tw – интервал опроса очереди сообщений;
- n – количество компонентов-исполнителей, участвующих в процессе.

Занятость процессора подсистемой DAQ на графике Рис. 5 вычислена для системы, описанной в работе, при интенсивности событий на входе системы $\sim 2,5$ МГц.

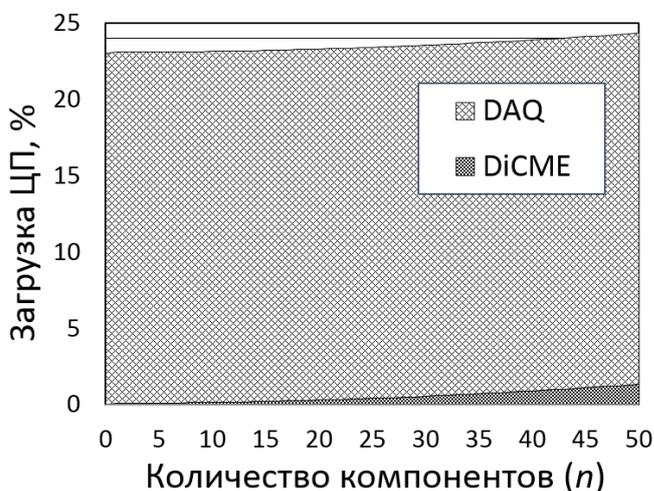


Рис. 5. Влияние использования компонента DiCME на загрузку ЦП

Видно, что: 1) суммарная загрузка процессора составляет ~23%, т.е. на вспомогательные операции остается достаточно времени; 2) потери на использование DiCME по крайней мере на порядок меньше суммарного времени выполнения процедур управления условиями регистрации и интервала опроса очереди сообщений и вносят пренебрежимо малый вклад в загрузку процессора.

4.5. Основные выводы в главе 4. Предложен метод динамического связывания компонентов для удаленного выполнения процедур в распределенном ПО САЭ и унифицированные средства обслуживания межкомпонентного взаимодействия. В отличие от методов динамического связывания компонентов, используемых в технологиях DCOM, CORBA, Ice и др., в разработанном методе введены две дисциплины динамического связывания: связывание компонентов с обязательной доставкой сообщений при выполнении основных функций и связывание по “подписке” – для вспомогательных функций, когда допустимо отсутствие компонента-получателя. Разработанный метод динамического связывания предоставил свободу в развитии состава основных и вспомогательных операций ПО САЭ без изменения других компонентов и существенно упростил алгоритмы взаимодействия компонентов благодаря исключению диалога между компонентами, используемого в технологиях CORBA и др. для настройки удаленного вызова процедур.

Использование в структуре ПО САЭ разных дисциплин выполнения основных и вспомогательных операций и разработанных средств обеспечения взаимодействия компонентов:

- снимает ограничения на расширение состава выполняемых во время эксперимента операций без дополнительного программирования;
- позволяет динамически изменять состав и размещение в сети основных и вспомогательных компонентов, что облегчает восстановление работоспособности системы при отказах.

Численные оценки, выполненные на модели ПО САЭ с использованием DiCME, показывают: 1) в синхронном и асинхронном режимах управления устройствами сетевые задержки по крайней мере на порядок меньше времени работы исполняющих устройств; 2) загрузка процессора обслуживанием межкомпонентного взаимодействия незначительна, и трафик, вызванный взаимодействием компонентов, не ухудшает пропускную способность сети.

Разработанные средства обслуживания взаимодействия компонентов инвариантны относительно:

- изменения состава основных операций ПО САЭ;
- добавления к ПО САЭ источников сообщений нового типа;
- добавления к ПО САЭ новых обработчиков событий.

Результаты главы 4 опубликованы в работе [3].

В ГЛАВЕ 5 представлено краткое описание структуры и алгоритмов компонентов, выполняющих основные задачи ПО САЭ. Каждый компонент ПО САЭ содержит:

- группу команд (4 – 6 операторов) подключения к средствам обеспечения межкомпонентного взаимодействия DiCME при запуске компонента;
- интерпретатор команд, если компонент содержит несколько процедур, используемых другими компонентами;
- процедуры, реализующие предусмотренную функциональность.

5.1. Web-интерфейс пользователя. Предложенные методы разработки ПО САЭ учтены при разработке Web-интерфейса. В настоящее время в окне интерфейса присутствуют две страницы, которые выполняют:

- взаимодействие с программой управления экспериментом – передачу команд “Start”, “Pause”, “Continue”, “End” (страница “Control”);
- визуализацию управляющих файлов, информации, регистрируемой менеджером событий (события, ошибки) и др.; поиск, обеспечение доступа и визуализацию персонализированных данных из центрального хранилища (страница “File Viewer”).

Эти возможности интерфейс обеспечивает любой системе, ПО которой построено в соответствии с разработанными в диссертации методами.

На Рис. 6 представлен вид Web-интерфейса в режимах визуализации информации от Менеджера событий и текущего измеренного файла данных.

В ПО САЭ может присутствовать несколько интерфейсов пользователя одновременно, но раздел управления экспериментом (первый раздел) всегда будет активным только у одного.

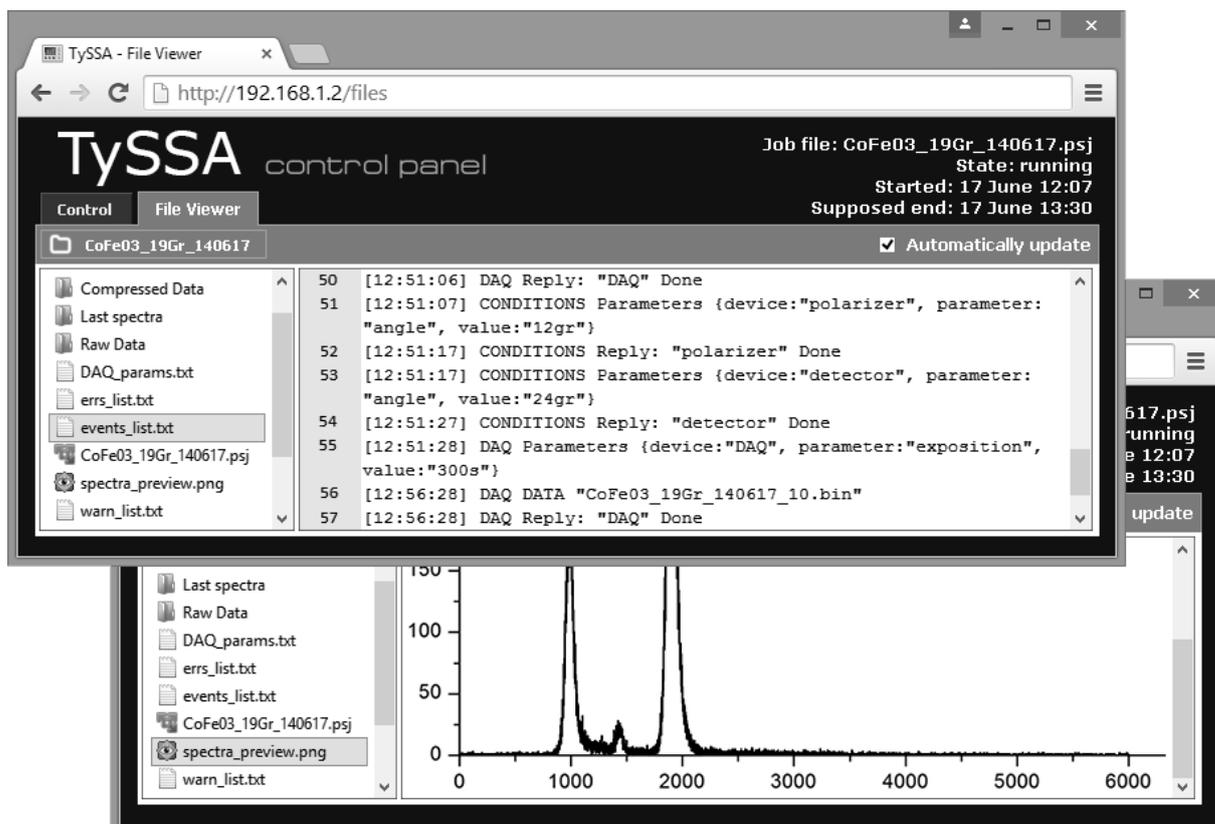


Рис. 6. Окно Web-интерфейса в режимах визуализации информации Менеджера событий и последнего измеренного спектра

Помимо перечисленного выше функционала, Web-интерфейс может быть расширен дополнительными модулями в соответствии с пожеланиями экспериментаторов.

Дальнейшее развитие Web-интерфейса ведется диссертантом с использованием DiCME в направлении, не нарушающем его универсальность.

Во время длительных экспериментов оператор, как правило, покидает экспериментальный зал. Для быстрого информирования о событиях, препятствующих нормальному прохождению эксперимента, введен упрощенный интерфейс пользователя для мобильных устройств (смартфоны и планшеты), который позволяет дистанционно получить актуальную информацию о ходе эксперимента. Помимо этого, экспериментатору предоставлена возможность заказать передачу SMS-сообщения на телефон при возникновении критических событий, перечисленных в настраиваемом списке.

5.2. Программа управления выполнением эксперимента. Метод построения унифицированной программы управления экспериментом и сценарий выполнения задания на эксперимент подробно описаны выше (глава 3 и глава 4, раздел 4.2). Практика прецизионных экспериментов требует некоторых добавлений. На Рис. 7 представлена схема работы программы управления в прецизионных экспериментах. На схеме показано, что многочасовая экспозиция в каждом состоянии экспериментальной установки (цикл по состояниям) разбивается на несколько (обычно одинаковых) более коротких измерений (цикл по проходам), результаты которых могут быть просуммированы. Благодаря этому, сравнивая при экспресс-анализе данные в отдельных файлах, полученных при одинаковых условиях, можно обнаружить возможный дрейф фона, эффективности детекторов и другие эффекты и отфильтровать некорректные данные.



Рис. 7. Схема работы программы управления экспериментом

Данная программа протоколирует работу: запоминает последнюю команду оператора, номер последнего завершенного состояния системы (выполненной строки задания) и некоторые другие данные – и использует их для автоматического формирования названий файлов. Благодаря этому при сбоях возможно перезапустить систему и продолжить работу с последнего незавершенного состояния. Локальное меню программы предоставляет ряд отладочных режимов работы.

В диссертации выполнена численная оценка эффективности работы ПО САЭ. Стоимость времени работы источников нейтронов высока (для реактора ИБР-2 – ~1200 р./час для каждого из ~10 спектрометров). В таких условиях оценку эффективности ПО САЭ дает коэффициент использования времени базовой установки K_e :

$$K_e = \frac{tr}{tr + ts},$$

где

- tr – продолжительность регистрации данных;
- ts – время подготовки условий регистрации данных;

$$ts = tk \cdot n + \sum_{i=1}^n td_i,$$

где

- tk – среднее время выполнения компонентом основной функции;
- td – потери времени на сетевые операции.

На Рис. 8 показаны результаты расчетов эффективности K_e по формуле

$$K_e = \frac{tr}{tr + n \cdot tk + \sum_{i=1}^n td_i}$$

Точками проведена кривая эффективности K_e без учета сетевых задержек. Пунктирная кривая, вычисленная с учетом сетевых задержек, сливается с кривой без сетевых задержек. Сплошной линией показана кривая эффективности, вычисленная с завышенными сетевыми задержками для иллюстрации характера зависимости вклада сетевых задержек в K_e от количества компонентов. Видно, что использование унифицированного механизма сетевого межкомпонентного взаимодействия, реализуемого в DiCME, вместо прямого вызова процедур, в реальных условиях оказывает пренебрежимое влияние на эффективность работы ПО САЭ.

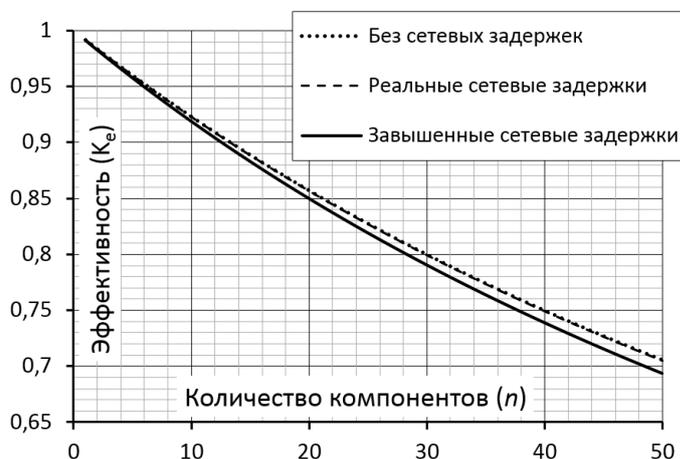


Рис. 8. Оценка влияния использования компонента DiCME на эффективность работы САЭ

5.3. Структура компонента управления окружением образца. Протокол управления устройством (состав команд и параметров) определяется разработчиком компонента и описывается в паспорте устройства (в БД). Реализация обязательна только основной процедуры компонента, выполняющей перевод устройства в заказанное состояние, состав остальных процедур определяется конструкцией оборудования. После выполнения команды компонент шлет (асинхронно) вызывающей программе подтверждение или сообщение об ошибке.

В компоненты данного типа удобно поместить процедуры мониторинга состояния управляемого объекта и удержания заданного командой значения параметра.

Как указано выше, компонент DiCME и программа управления экспериментом прозрачны для команд управления устройством, их интерпретация выполняется в компоненте.

5.4. Основные выводы в главе 5.

- Использование центрального хранилища данных и файлов менеджера событий обеспечило универсальность Web-интерфейсу управления ПО САЭ. Возможна реализация интерфейса по специальному техническому заданию.
- Разработанный метод описания методики эксперимента позволил исключить специальные требования к декларациям процедур в компонентах управления условиями регистрации данных. Эти декларации определяют протокол вызова процедур. Программист может выбирать оптимальные варианты, т.к. подсистема описания методики эксперимента обеспечивает использование конкретного варианта вызова процедуры в соответствии с описанием устройства из БД, а программа управления экспериментом и среда обслуживания взаимодействия компонентов прозрачны для параметров вызова процедуры.

Результаты пятой главы опубликованы в работах [1,6-10]. Помимо этого, в [9,10] даны описания алгоритмов разработанного ПО САЭ, используемого в экспериментах на источниках нейтронов ИБР-2 и ИРЕН в ОИЯИ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выполнена классификация функционального состава и способов взаимодействия компонентов в ПО САЭ. Выявлены особенности и различия в способах взаимодействия компонентов и сделаны выводы, использованные при разработке алгоритмов взаимодействия компонентов и структуры ПО САЭ.
2. Предложен способ описания методики управления эксперимента списком условий регистрации экспериментальных данных вместо традиционно используемого перечисления действий программы управления экспериментом вызовами процедур на языке программирования или представления последовательности действий списком названий процедур в виде интерпретируемого скрипта.
3. Предложен метод управления выполнением основных функций ПО САЭ, основанный на управлении процессами, конкретное функциональное наполнение которых определяется динамически с использованием задания на эксперимент.
4. Предложен метод автоматической компоновки распределенного ПО САЭ в условиях изменения задания при переходе от одного эксперимента к другому (на одной и той же исследовательской установке), основанный на использовании компонентами широковещательных сообщений с информацией о своих идентификаторах и сетевого протокола поиска компонентов.
5. Предложен метод динамического связывания компонентов для удаленного выполнения процедур в распределенном ПО САЭ и унифицированные средства обслуживания межкомпонентного взаимодействия, основанные на использовании открытых сетевых технологий. В отличие от методов динамического связывания компонентов, используемых в технологиях DCOM, CORBA, Ice и др., для обслуживаемой проблемной области предложенные методы обладают рядом преимуществ.

В итоге для автоматизации экспериментов в области спектрометрии нейтронов впервые поставлена и решена задача разработки методов построения ПО САЭ с использованием сетевых технологий, которые обеспечивают унификацию компонентов ПО САЭ, возможность применять компоненты в разных экспериментах и разных САЭ без изменения, что обеспечило сокращение сроков разработки и модификации ПО САЭ и способствовало повышению надежности работы систем и эффективности работы исследователей.

Разработанное на основе предложенных методов ПО САЭ является проблемно-ориентированным распределенным пакетом прикладных программ (РППП), включающим компоненты управления пакетом и унифицированные прикладные компоненты. Унификация компонентов обеспечена стандартизацией интерфейса доступа к процедурам, реализующим функциональность компонентов, и разработанными в диссертации методами, на которых основаны компоненты управления РППП – программа управления экспериментом, средства обеспечения сетевого взаимодействия компонентов и подсистема составления задания. Предложенная структура пакета и компоненты управления пакетом могут быть использованы при построении распределенного ПО для применения в иной предметной области, например, для автоматизации технологических процессов.

Результаты диссертации применены при разработке ПО САЭ нескольких спектрометров. Эти САЭ используются тремя организациями (ЛНФ, ЛЯП ОИЯИ, ИЯИ г. Троицк) и прошли испытание в экспериментах на источниках нейтронов ИБР-2 и ИРЕН в ОИЯИ, с их помощью получены важные научные и практические результаты.

Результаты диссертации представлены в рецензируемых научных изданиях, в виде сообщений ОИЯИ, докладывались на международных конференциях, семинарах и совещаниях.

**ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ
ОПУБЛИКОВАНЫ СЛЕДУЮЩИЕ РАБОТЫ**

1. Саламатин И.М., Саламатин К.М.
 - Сетевые технологии в программных системах автоматизации спектрометрии нейтронов // Прикладная информатика, 2014. № 5(53), с.60-80;
 - Разработка компонентной САЭ для физики низких энергий на основе использования сетевых технологий // ОИЯИ P13-2013-74. Дубна, 2013. 24 с. (1.5 п.л.).
2. Саламатин К.М. PSJ – унифицированная подсистема описания методики эксперимента // ОИЯИ P13-2013-92. Дубна, 2013 8 с. (0.5 п.л.).
3. Саламатин К.М. DiCME – распределенная среда взаимодействия компонентов системы автоматизации экспериментов для физики низких энергий
 - // Программная инженерия, 2014. №3, стр. 3-11;
 - // ОИЯИ P13-2013-91. Дубна, 2013. 14 с. (0.9 п.л.).
4. Мазный Н.Г., Саламатин И.М., Саламатин К.М.
 - Генерация программ автоматизации экспериментов из модулей в формате загрузки // ОИЯИ P13-2007-93. Дубна, 2007. 15 с. (0.9 п.л.);
 - Generation of experiment automation programs from modules in loadable format // Book of abstracts LVII Intern. conf. on nucl. phys “NUCLEUS 2007”, Voronezh June 25-29, 2007, p.282. СПб:СПбГУ, зак. №544/с.
5. Саламатин К.М. Выбор технологии построения компонентной системы для автоматизации экспериментов в области спектроскопии нейтронов // ОИЯИ P13-2013-72. Дубна, 2013. 20 с. (1.2 п.л.).
6. Саламатин К.М. Вариант построения компонентной системы автоматизации экспериментов для спектрометрии с использованием сетевых технологий // ОИЯИ P13-2013-86. Дубна, 2013. 14 с. (0.9 п.л.).
7. Salamatin K.M. Development of Component System for Neutrons Spectrometry Automation Through the Use of Network Technologies // Proceedings of the Seminar ISINN-21 (Alushta, Ukraine, May 20-25, 2013), Dubna E3-2014-13. Dubna: JINR, 2014, p. 234-241.
8. Швецов В.Н., Алпатов С.В., Астахова Н.В., ..., Саламатин К.М. и др. 8-Входная система для нейтронно-ядерных исследований по методу времени пролета
 - // ПТЭ, 2012. №5, с. 54-61;
 - // Instruments and Experimental Techniques, 2012. Vol. 55, № 5, pp. 561–568;
 - // ОИЯИ, P13-2011-96. Дубна, 2011. 16 с. (1 п.л.).
9. Швецов В.Н., Астахова Н.В., Гундорин Н.А., ..., Саламатин К.М. и др.
 - Многовходная система TOF для нейтронно-ядерных исследований по методу времени пролета нейтронов // Междунар. конф. “IEF’2011”, Украина, г.Ужгород, 24-27 мая 2011г. Научный вестник Ужгородского университета. Серия “Физика”. Выпуск 30-2011, стр.136-142;
 - Multichannel System TOF for Neutron-Nuclear Investigations at IREN Neutron Source // Abstracts of the Seminar ISINN-17 (Dubna, May 27-30, 2009), Dubna E3-2009-30. Dubna: JINR, 2009, p. 57.
10. Shvetsov V.N., Alpatov S.V., Astachova N.V., ..., Salamatin K.M. et al. Multiinput Encoder for Recording Spectra of Scattered Neutrons Using Time-of-Flight Method // Proceedings of the Seminar ISINN-19 (Dubna, May 25-28, 2011), Dubna E3-2012-30. Dubna: JINR, 2012, p. 279-283.
11. Игнатович В.К., Саламатин И.М., Саламатин К.М., Сеннер А.Е.
 - Автоматизация экспериментов в области спектрометрии нейтронов с использованием сетевых технологий // ОИЯИ P13-2014-33. Дубна, 2014. 8 с. (0.5 п.л.);

- Unification of Experiment Procedure Control Tools for the Experiment Automation Systems in the Field of Neutron Spectrometry Using Network Technologies // Abstracts of the Seminar ISINN-22 (Dubna, May 27-30, 2014), Dubna E3-2014-27, Dubna: JINR, 2014, p. 50;
- Автоматизация экспериментов в области спектрометрии нейтронов с использованием сетевых технологий // Информационные технологии, 2014. №12, с.63-68.
- Automation of Neutron Spectrometry Experiments Using Network Technologies // ICANS XXI: 21st International Collaboration on Advanced Neutron Sources, 29Sep-3Oct 2014 in Mito, Ibaraki, Japan. Book of Abstracts, p. 244.