

# Обеспечение компьютерных исследований и физических экспериментов средствами воспроизведения получаемых результатов

М. М. Фадеев, email: fadeev\_mix@bk.ru

Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)

***Аннотация.** В данной работе рассматриваются средства, обеспечивающие воспроизводимость получаемых результатов как доказательной базы применимости предлагаемых структур и алгоритмов в виде программ и процедур. Таким образом, физический эксперимент воссоединяется с компьютерным экспериментом и обеспечивается возможность его повторения не только с предлагаемыми данными, но и с другими наборами без участия автора разработки.*

***Ключевые слова:** проведение компьютерных экспериментов, воспроизводимость результатов, исследовательские программные комплексы.*

## Введение

Важнейшим фактором подтверждения научных результатов при проведении научных экспериментов является чёткое документирование всего процесса проведения экспериментальных работ [1-2]. Это позволяет проанализировать и осмыслить процесс получения результата, как доказательную базу, а в случае сомнения и не согласия с полученными результатами имеется возможность найти допущенные недочеты и нестыковки при проведении эксперимента. Такая возможность воспроизведения эксперимента и подтверждение полученных выводов по документированному процессу независимыми экспертами обеспечивает объективность результата и подтверждает научную значимость среди специалистов в соответствующей области.

Пренебрежение правилами проведения экспериментальных работ, выражающееся в отсутствии протоколирования всех шагов, не означает недостоверность полученного результата, но не обеспечивает его применимость и восприятие научным сообществом.

По различным направлениям исследовательских работ действует своя специфика и свои особенности. При проведении, например, физических экспериментов достоверность полученных результатов

может подтверждаться чётким описанием всех шагов, фиксированием всех получаемых значений и документированием номенклатуры используемых измерительных приборов. Всё чаще в процесс проведения экспериментов встраиваются математические моделирующие инструменты, например, при испытании воздушных судов проводятся не только натурные испытания, но используются математические моделирующие методы, сопоставляемые с физическими испытаниями. Безусловно имеются чисто математические эксперименты, в том числе и автоматическое доказательство некоторых утверждений и теорем. Но, и здесь должны быть обеспечены условия повторяемости получения результата.

В данной статье мы рассматриваем смешанный вариант эксперимента, в котором важной особенностью является то, что материалом для эксперимента являются оцифрованные физические данные, которые подвергаются структуризации с целью получения информационного содержания и его более компактной абстрактной формой хранения. Затем данная компактная форма хранения может быть синтезирована в физический сигнал. В нашем случае [3-4] объединение анализа и синтеза при работе с данными в одном комплексе и возможности, например, для звука, записывать и воспроизводить на физическом уровне поток звуковых волн позволяет подтверждать достоверность результата на физическом уровне.

В силу большого объема обрабатываемых данных, многоуровневости обработки таких данных и, разнообразия применяемых структур с необходимостью встала задача автоматизации процесса документирования хода проведения экспериментов.

В рамках разработки программного комплекса по извлечению информационного содержания волн, который даёт возможность использовать широкий набор программных инструментов и разрабатывать различные варианты структуризации оцифровываемых данных для разных видов волн с последующим их восстановлением, для достижения требуемых объективных результатов потребовалось создать отдельную подсистему ведения и поддержки проводимых экспериментов. Данная система обеспечивает регистрацию и поддержание целостности входных и промежуточных экспериментальных результатов, и ведения журнала всех привлекаемых для обработки программных компонент (инструментов), с помощью которых производятся те или действия над всеми промежуточными данными. По факту это сопроводительная документация, которая позволяет иметь объективное документированное подтверждение результатов по конкретному эксперименту, связанному с определенным

направлением извлечения информационного содержания волн. Таким образом, появляется возможность повторения аналогичного эксперимента, но уже в полуавтоматическом режиме с сохранением неизменности исходных, используемых структур и программных компонент. При необходимости подтверждения таких же результатов и для других исходных данных в каркас эксперимента вносятся новые данные при неизменности всех остальных компонент. Точно также, при неизменности исходных данных можно, модернизируя одну или несколько программных компонент, провести и зафиксировать новый эксперимент. Это распространяется и на новые вводимые структуры для данного направления исследования. Дополнительной возможностью разрабатываемого программного комплекса является подключение внешних программных модулей для обработки данных в рамках такого экспериментального, по факту, технологического процесса по обработке данных.

### **1. Каркас эксперимента в рамках объединения анализа и синтеза**

Система ведения экспериментов (сокр. СВЭ) была разработана с целью обеспечения достоверности получаемых результатов в проводимых экспериментах. Для достижения достоверности результатов необходимо вести учёт изменений данных и фиксировать источники этих изменений. Исходя из этого к системе были сформулированы следующие требования:

- Необходимо фиксировать все изменения экспериментальных данных;
- Необходимо фиксировать информацию об источниках изменений и моментах их совершения;
- Необходимо иметь возможность получения истории процесса проведения эксперимента;
- Необходимо обеспечить отделимость СВЭ.

На основе составленных требований была сформулирована концепция системы ведения экспериментов. Базовой идеей концепции является то, что и экспериментальные данные, и источники изменений должны регистрироваться в рамках контура системы. Это позволит поддерживать целостность данных и согласованность с источниками изменений. В контексте работы с системой регистрация данных и источников это будет означать, что обращение к системе для работы с ними будет происходить через обязательную передачу идентификатора, выделяемого под каждый экземпляр данных или источника изменений. Схожая схема обращения присутствует при работе с аппаратными ресурсами, которыми управляет операционная система – прикладная

программа управляет запрошенными ресурсами через передачу дескриптора, но не имеет прямого доступа к ним.

Следует отметить, что концепция системы предполагает выделенное управление данными не столько для защиты данных от несанкционированного доступа, сколько для предотвращения по неосторожности случайных недочетов при привлечении используемых компонент эксперимента. Что касается защиты, предполагая использование системы лишь для доверенных пользователей, допускаемых к программным комплексам, и учитывая то, что глубокая защита данных требует больших дополнительных ресурсов, было принято решение отказаться от специальных мер обеспечения безопасности.

В рамках системы на экспериментальные данные не накладываются ограничения на использование различных форматов описания данных. Внешняя система может предоставлять данные, представленные в любом формате. СВЭ в свою очередь будет только гарантировать целостное хранение слепка полученных данных в исходном виде.

Под источниками изменений могут выступать сторонние по отношению к системе программные модули, которыми могут быть скомпилированные программы или динамически подключаемые библиотеки.

Исходя из концепции была составлена архитектура системы, схема которой представлена на рисунке 1. Направленными стрелками на рисунке изображены направления передачи команд для определения связей вида «вызывающая сторона – вызываемая сторона».

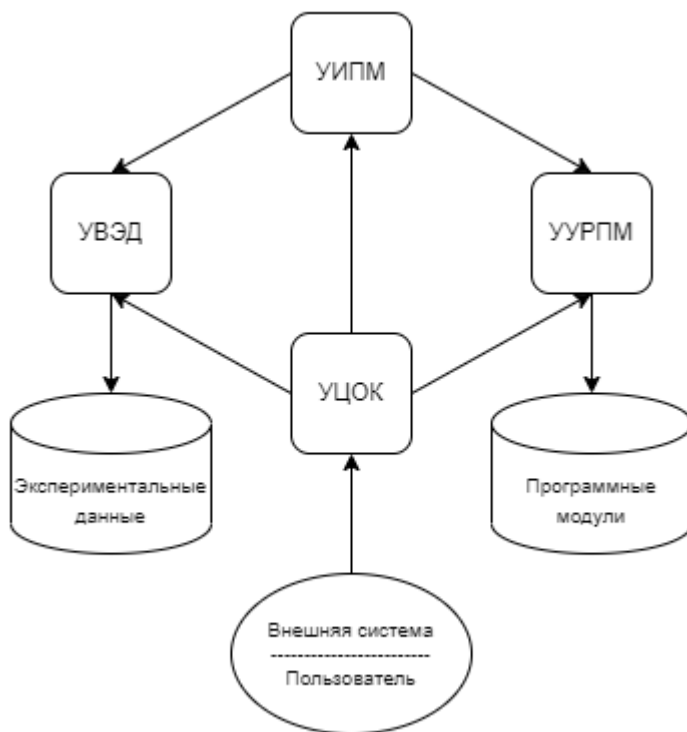


Рис. 1. Схема архитектуры системы ведения эксперимента

Составленная архитектура системы содержит следующие компоненты:

- Центральный узел обработки команд (сокр. УЦОК) – программа, являющаяся центральным компонентом приёма и обработки команд от пользователя. Это компонент системы, который предоставляет интерфейс для взаимодействия с внешними системами;
- Узел управления реестром программных модулей (сокр. УУРПМ) – программа, обеспечивающая регистрацию и учёт внешних программных модулей. Данный компонент поддерживает консистентные состояния идентификаторов программных модулей, а также ссылок на них. В рамках контура СВЭ может существовать несколько реестров;

- Узел исполнения программных модулей (сокр. УИПМ) – программный компонент системы, который поддерживает исполнение внешних программных модулей над экспериментальными данными;
- Узел ведения экспериментальных данных (сокр. УВЭД) – программа, обеспечивающая контроль за изменениями экспериментальных данных. Данный узел системы также поддерживает запись производящихся изменений при проведении эксперимента.

В силу отсутствия явного пересечения функционала с основной системой, разрабатываемая изначально как подсистема комплекса по извлечению информационного содержания волн, позволила реализовать архитектурное решение СВЭ в виде обособленного пакета программ, который может интегрироваться в иные исследовательские программные комплексы.

## **2. Программный интерфейс системы**

Система ведения экспериментов предоставляет единую точку для получения и обработки команд. Эти команды могут поступать как напрямую от пользователя, так и от внешней системы, которая использует СВЭ. В настоящее время, в рамках разработанного программного комплекса внешней вызывающей стороной является система извлечения информационного содержания волн.

Программный интерфейс представляет из себя вызов программы УЦОК с передачей набора аргументов. Переданные аргументы будут интерпретироваться обработчиком команд для определения целевой команды и параметров её выполнения.

Формат команд, указываемых в качестве аргументов командой строки при вызове программы, состоит из указания имени команды, опционального перечня параметров и опционального перечня дополнительных служебных флагов.

Компонент УЦОК при поступлении команды, в свою очередь, обращается к другим компонентам системы через различные внутренние программные интерфейсы для выполнения той или иной операции. По итогу выполнения операции программа УЦОК возвращает код ответа, который сигнализирует об успешности обращения к СВЭ или о возникших ошибках, и внутрисистемный идентификатор, для получения журнала с описанием деталей исполнения. В случае возникновения ошибки, вызывающая сторона может запросить у СВЭ детали произошедшего события по определённой команде для получения полной информации о ходе выполнения ошибочно

закончившейся операции, с целью определения причин, приведших к такому результату.

### **3. Хранение сведений по экспериментальным данным**

Для поддержания целостного состояния экспериментальных данных было принято решение о том, что сами данные будут храниться непосредственно в контуре системы. Это должно снизить риски непреднамеренного удаления или изменения экспериментальных данных, что влечёт потерю данных и, таким образом, не может гарантировать достоверность полученных результатов. Локальная версия СВЭ может располагаться в отдельной директории в файловой системе компьютера, которая при определённых настройках не будет доступна для непосредственного манипулирования обычным пользователям операционной системы.

Непосредственная работа с экспериментальными данными происходит через подачу различных команд на УЦОК, перенаправляющий команды на компонент УВЭД. Для начала работы с экземпляром данных необходимо зарегистрировать его в контуре СВЭ через использование команды регистрации с указанием в качестве параметра путь до файла, содержимое которого будет считаться исходной версии экземпляра данных. При регистрации экземпляра данных система определяет для него уникальный идентификатор, который будет использоваться в дальнейших командах.

Внесение изменений в существующий экземпляр осуществляется через внесение в контур полной изменённой версии экземпляра. Для подачи обновлённой версии экземпляра экспериментальных данных необходимо подать на УЦОК специальную команду с указанием пути до файла, содержимое которого и будет записано как новая версия экземпляра данных.

Из контура СВЭ через применение определённых команд возможно получить как актуальный экземпляр экспериментальных данных, так и определённую версию, а также историю изменений. Получение данных осуществляется через специальную команду с различными параметрами, но с обязательным указанием в качестве одного из них идентификатора экземпляра.

### **4. Подключение внешних программных модулей**

Прежде чем использовать внешние программные модули для обработки экспериментальных данных, их необходимо зарегистрировать в контуре СВЭ.

Для регистрации вызывающая сторона должна подготовить непосредственно сам программный модуль, а также описательный файл,

который должен содержать информацию, необходимую для вызова программного модуля.

Программный модуль, в свою очередь, может быть, как скомпилированной программой, так и динамически подключаемой библиотекой (DLL). В соответствии с видом программного модуля описательный файл требует указания различных используемых данных. Для скомпилированной программы, к примеру, должен быть указан список аргументов командной строки, указываемых при вызове программы. Для библиотеки – это описание списка функций и информации, которая необходима для их корректного вызова, как, например, соглашение вызова функций, набор параметров и др.

Сама регистрация программного модуля происходит через обращение к УЦОК с указанием команды регистрации и передачу соответствующих параметров: путь до исполняемого файла внешнего программного модуля и путь до описательного файла. В процессе регистрации компонент УУРПМ скопирует в контур системы внешний программный модуль и сохранит данные из описательного файла. Также, для отличия, при повторной регистрации или обновлении программного модуля, в рамках УУРПМ будет заведён внутрисистемный номер версии и уникальный идентификатор. Дальнейшие обращения к СВЭ для получения информации или работы с программным модулем будут происходить только с указанием полученного при регистрации идентификатора. При этом, если регистрировалась библиотека, то уникальный идентификатор получит каждая функция, указанная в описательном файле, но будет скопирован и существовать в реестре только один экземпляр этой библиотеки.

## **5. Использование внешних программных модулей при обработке данных**

Для использования зарегистрированных в системе СВЭ внешних программных модулей в процессах обработки экспериментальных данных вызывающая сторона должна обратиться к УЦОК с соответствующей командой и передачей всех необходимых идентификаторов: идентификатора экземпляра экспериментальных данных и идентификатора внешнего программного модуля. Компонент УИМП выполняет задачи по исполнению внешних программных модулей, в частности, по подготовке исходных данных и обработке информации, получаемой при обработке данных.

Процесс обработки данных включает в себя несколько шагов:

1. Осуществляется запрос к компоненту УУРПМ для получения информации о программном модуле по указанному идентификатору. Вместе с тем в контуре СВЭ создаётся



- специальное пространство для безопасного исполнения программных модулей, куда будут скопированы файлы программного модуля;
2. Затем происходит запрос к компоненту УВЭД для получения актуальных экспериментальных данных. По запрошенным данным создаётся копия для обработки внешним программным модулем в рамках специального пространства. Формат подготавливаемой копии зависит от входных требований, который указывается в описательном файле программного модуля;
  3. В подготовленном пространстве безопасного исполнения программных модулей вызывается целевая программа программного модуля. Если целевая программа является функцией библиотеки, то для её вызова используется специальная подпрограмма компонента УИПМ, совершающая обёртку над вызовом функции вместе с чтением файла с экспериментальными данными и записью результата;
  4. Полученные в ходе успешного исполнения внешнего программного модуля результирующие данные считываются и отправляются на УВЭД как обновлённая версия экземпляра экспериментальных данных со ссылкой в виде идентификатора на программный модуль, который привёл к появлению новой версии данных. В случае, если работа модуля была завершена с ошибкой, исходный экземпляр данных не изменяется;
  5. Специальное пространство для безопасного исполнения программных модулей удаляется;
  6. В журнал УИМП заносится запись с полным набором входных параметров и итогом работы программного модуля.

### **Заключение**

Описанная в работе система СВЭ может выступать в качестве универсального готового решения при проведении экспериментальных работ аналогичных выше сказанным, выполняемых на программных комплексах. Архитектура системы ведения экспериментов даёт ей возможность интегрироваться с различными исследовательскими комплексами и это, в свою очередь, позволит быстрее подготовить исследовательские комплексы программ и потенциально стандартизировать процесс обмена экспериментальными базами между разными комплексами программ.

Система ведения экспериментов позволяет уже в настоящее время получать документированные подтверждения результатов, полученных в ходе различных экспериментальных работ [5-6], в рамках направления

по получению информационного содержания волн. Полное фиксирование каждого шага проведения эксперимента даёт возможность воспроизводить эксперимент с определённым уровнем соответствия с первоначально проведенным. Всё это позволяет обеспечить требуемую степень достоверности получаемых научных результатов, применяемых методов и внедрения новых структур.

### Список литературы

1. Фомичев, Н. И. Автоматизированные системы научных исследований: Учеб. Пособие / Н. И. Фомичев; Яросл. гос. ун-т. – Ярославль, 2001. – 112 с.

2. Ганджа, Т. В. Задачи и архитектура подсистемы документирования исследований в среде многоуровневого моделирования МАРС / Т. В. Ганджа, С. А. Панов // Доклады Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники. – 2011. – 2(24), часть 2. – С. 334-338.

3. Структуризация и качественное рассмотрение звукового потока в системе синтеза и анализа речи / Н. Е. Балакирев [и др.] // Программные продукты и системы. – 2018. – № 4 (31). – С.768-776

4. Балакирев, Н. Е. Новые подходы в создании инструментария для исследований информационного содержания волн / Н. Е. Балакирев, М. В. Евсеева, Х. З. Нгуен, М. М. Фадеев // Интеллектуальный анализ сигналов, данных и знаний: методы и средства: Сборник статей II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием им. В.В. Губарева (Новосибирск, 11-13 декабря 2018 г.). – Новосибирск, 2018. – С. 22-28.

5. Фадеев, М. М. Порождение множества конфигураций для разных категорий отношений / М. М. Фадеев, Н. Е. Балакирев // 20-я Международная конференция «Авиация и космонавтика» (Москва, 22-26 ноября 2022 г.). – Москва, 2021. – С. 274-276.

6. Фадеев, М. М. Формализация понятия отношения для качественного анализа данных / М. М. Фадеев, Н. Е. Балакирев // Актуальные проблемы прикладной математики, информатики и механики : сборник трудов Международной научной конференции, Воронеж, 13-15 декабря 2021 г. – Воронеж, 2022. – С. 1685-1690.