

УДК 004.4

Скирневский Игорь Петрович

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Россия, Томск
Ассистент
E-Mail: igorskir@ya.ru

Паньшин Геннадий Леонидович

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Россия, Томск
Ассистент
E-Mail: pgl13@aics.ru

Цапко Сергей Геннадьевич

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
Россия, Томск
Кандидат технических наук, доцент
E-Mail: serg@aics.ru

Интегрированная информационная среда поддержки и сопровождения жизненного цикла научных экспериментов на синхротронных установках

Аннотация: В статье представлены новые подходы построения информационной среды поддержки и сопровождения жизненного цикла научных экспериментов применительно к задачам проведения томографических исследований и постобработки полученных данных. Авторами статьи предложен подход построения жизненного цикла экспериментов на основе информационных моделей экспериментов, бизнес-моделей и ресурсов, выявлены основные функции информационной системы поддержки жизненного цикла эксперимента. В статье отражены основные направления практических исследований в областях совместного доступа к данным, коллективного взаимодействия, версии обработки экспериментальных данных, а также вопросы подготовки и информационного сопровождения экспериментов. Авторами статьи предложен процессно-ориентированный подход к организации эксперимента на основе матрицы разнородных информационных ресурсов, а также представлен алгоритм внедрения и разработки информационной системы для оптимизации жизненного цикла научных экспериментов на синхротронных установках.

Ключевые слова: Жизненный цикл эксперимента; интегрированная информационная среда; информационной поддержки жизненного цикла научного эксперимента; единую интегрированную модель; непрерывная информационная поддержка поставок и жизненного цикла изделий.

Идентификационный номер статьи в журнале 183TVN613

Igor Skirnevskiy

National Research Tomsk Polytechnic University
Russia, Tomsk
E-Mail: igorskir@ya.ru

Gennadiy Panshin

National Research Tomsk Polytechnic University
Russia, Tomsk
E-Mail: pgl13@aics.ru

Sergey Tsapko

National Research Tomsk Polytechnic University
Russia, Tomsk
E-Mail: serg@aics.ru

Integrated information environment to support and accompany the life cycle of scientific experiments on synchrotron facilities

Abstract: This article presents new approaches for constructing the information environment of support and maintenance of life cycle of scientific experiments applied to the problems of tomography, and post processing of the materials. The authors propose the approach of building life cycle experiments on the basis of information models experiments, business models and resources, identified basic functions of information systems life cycle of support of the experiment. The article describes the main directions of research in the areas of practical materials sharing, collective interaction, versioning of experimental materials, as well as questions of training and information support experiments. The authors propose a process-oriented approach to the design of the experiment based on the matrix of heterogeneous information resources, as well as an algorithm for the introduction and development of information systems to optimize the life cycle of scientific experiments at synchrotron facilities.

Keywords: The life cycle of the experiment; an integrated information environment; information lifecycle of a scientific experiment; a single integrated model; Continuous Acquisition and Lifecycle Support.

Identification number of article 183TVN613

Технический прогресс, обеспечиваемый миниатюризацией аппаратных компонент и средств вычислительной техники, используемых в задачах физического исследования свойств материалов, позволяют создавать новые, более быстрые и более качественные устройства сбора, хранения и обработки информации. В настоящее время по всему миру ведется большое количество научных и проектно-конструкторских работ, направленных на создание новых программно-аппаратных комплексов проведения экспериментальных исследований. Особую актуальность приобретает задача применения новых программно-аппаратных комплексов для ускорения синхротронных экспериментов.

До недавнего времени выполнение эксперимента занимало несколько дней, а обработка данных могла продолжаться в течение нескольких недель. Следовательно, количество экспериментов было очень ограничено. Это обстоятельство напрямую влияло на создание очереди исследователей, нуждающихся в услугах синхротрона. Одним из выходов решения данной проблемы является создание новых программно-аппаратных средств значительно ускоряющих проведение синхротронных экспериментов. При разработки новой концепции взаимодействия ресурсов в процессе проведения синхротронных экспериментов было предложено создать новый программно-аппаратный комплекс сверхбыстрой томографии.

Весь процесс томографических исследований можно разделить на несколько последовательных этапов. Первый этап характеризуется подготовкой эксперимента: поступление заявки на эксперимент, оценка выполнимости эксперимента в соответствии с заявленным образцом и типом экспериментальных исследований, подтверждение заявки, подготовка оборудования и персонала, необходимого для проведения эксперимента. Второй этап характеризуется проведением эксперимента: калибровка образца, получение фотоснимков в процессе проведения эксперимента, передача и сохранение результатов эксперимента, а иногда еще анализ положения и качества образца с последующей корректировкой эксперимента. Третий этап характеризуется обработкой результатов эксперимента: применение различных фильтров к результатам эксперимента и результатам, обработанным ранее другими фильтрами. Четвертый этап характеризуется применимостью результатов эксперимента: проведение исследований образца (спектральный анализ, сегментация и т.п.) на основе результатов томографии. Пятый этап: хранение и предоставление результатов томографии различным исследователям, уничтожение устаревших результатов томографии. Выполнение данной последовательности для каждого из участников эксперимента затрудняется тем, что на различных этапах ресурсы могут быть заняты другими участниками. [1,2] Таким образом, проектирование общей информационной среды уже на ранних этапах исследования процесса проведения эксперимента становится актуально (рисунок 1).

Этапы эксперимента

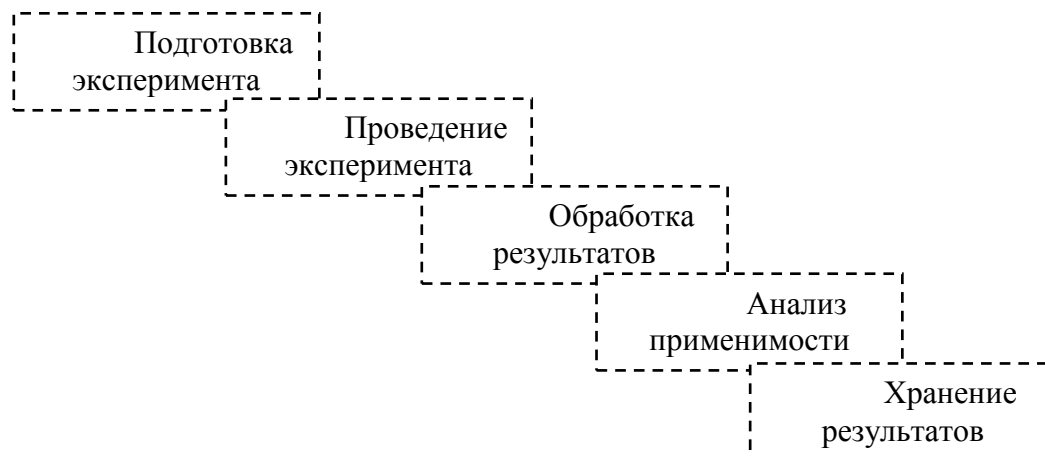


Рис. 1. Этапы проведения эксперимента

В процессе проведения томографических исследований уже в настоящее время формируется очень большой массив информации, состоящий из фотографий, полученных в процессе проведения экспериментов, результатов различной фильтрации, а также результатов исследования образца на основе данных томографии. Как правило, информация хранится в файловых хранилищах и не имеет четкой структуризации и классификации при хранении. При этом доступ к информации не контролируется, либо контролируется не четко, без проведения согласованной политики разграничения прав доступа. Это приводит иногда к потере информации, ее хаотичному распределению внутри хранилища, отсутствия или наличия переизбытка необходимых прав доступа к информации. Все это в совокупности отрицательно влияет на скорость поиска необходимых данных.

Каждый синхротронный эксперимент порождает большое количество данных, которые могут быть представлены различными видами. Кроме того с одними и теми же данными могут работать разные ученые, что порождает еще больше информации. Таким образом, эффективность управления не в последнюю очередь зависит от достоверности и актуальности данных. А это значит, что эффективная работа научно-исследовательского комплекса невозможна без системы, объединяющей результаты деятельности всех подразделений и связывающей все существующие информационные системы. В связи с этим появляется необходимость создание мощной интегрированной среды поддержки и сопровождения жизненного цикла научных экспериментов. Понятие жизненного цикла в рамках концепции информационной поддержки изделия – фундаментально. Жизненный цикл эксперимента – это совокупность связанных между собой процессов создания и последовательного изменения состояния данных об эксперименте, отвечающих требованиям заказчика. Эти процессы осуществляются от момента выявления потребностей в проведении определенных исследований до удовлетворения этих потребностей и утилизации данных.

При проведении экспериментов, выполняемых с помощью синхротронных установок, применяется различное оборудование, с которым работают разные исследователи, применяя при этом различные методики. Полученные результаты в дальнейшем используются разными учеными для анализа свойств исследуемого образца. Таким образом, такая интегрированная информационная среда должна оперировать различными типами данных. На рисунке 2 представлены основные составляющие интегрированной информационной среды.



Рис. 2. Интегрированная информационная среда

Для поддержки работоспособности и функциональности интегрированной информационной среды необходима разработка концепции взаимодействия пользователей в процессе работы с различной информацией, хранения информации, разграничения доступа к ней, сохранения истории преобразования информации, алгоритмов и методов ее преобразования, способов и средств ее получения, предоставления и утилизации. Такая концепция является фундаментом при построении системы информационной поддержки жизненного цикла эксперимента на синхротроне, которая в свою очередь является основой интегрированной информационной среды.

Информацию, циркулирующую в системе информационной поддержки жизненного цикла научного эксперимента, можно условно разделить на три класса:

- данные об эксперименте, результат эксперимента;
- данные о выполняемых процессах;
- данные о ресурсах, требуемых для выполнения процессов.

Под данными об эксперименте понимается комбинация фотоснимков, 3D модели, аналитические и иные отчеты, готовых к использованию по назначению. Данные об эксперименте составляют основной объем информации в интегрированной информационной среде. На разных стадиях жизненного цикла требуются различные подмножества из всей совокупности данных об эксперименте, отличающиеся составом и объемом информации.

Ресурс - это совокупность материальных, финансовых, интеллектуальных или иных ценностей, используемых и расходуемых в ходе деятельности, связанной с подготовкой, проведением или обработкой эксперимента. Ресурсы, используемые в проекте, могут иметь различную природу, свойства и характеристики.

Между ресурсами существуют следующие отношения: заменимость – один ресурс может заменить другой, и взаимозаменяемости, когда ресурсы могут заменять друг друга. Ресурсы могут быть простыми и составными и, соответственно, образовывать иерархические структуры [3].

Процесс (бизнес-процесс) - это совокупность операций выполняемых последовательно и/или параллельно, преобразующая информационный или/и материальный потоки в соответствующие потоки с изменёнными свойствами. Бизнес-процесс протекает в соответствии с управляющими директивами, вырабатываемыми на основе целей деятельности. В ходе процесса потребляются финансовые, энергетические, трудовые и материальные ресурсы и выполняются ограничения со стороны других процессов и внешней среды [4].

Описание процесса может быть представлено в виде совокупности операций составляющих процесс, необходимых ресурсов и условий, входных и выходных потоков. Совокупность информационных моделей результатов экспериментов, процессов и ресурсов образует единую интегрированную модель, обеспечивающую информационную поддержку задач, выполняемых в ходе жизненного цикла (рисунок 3).

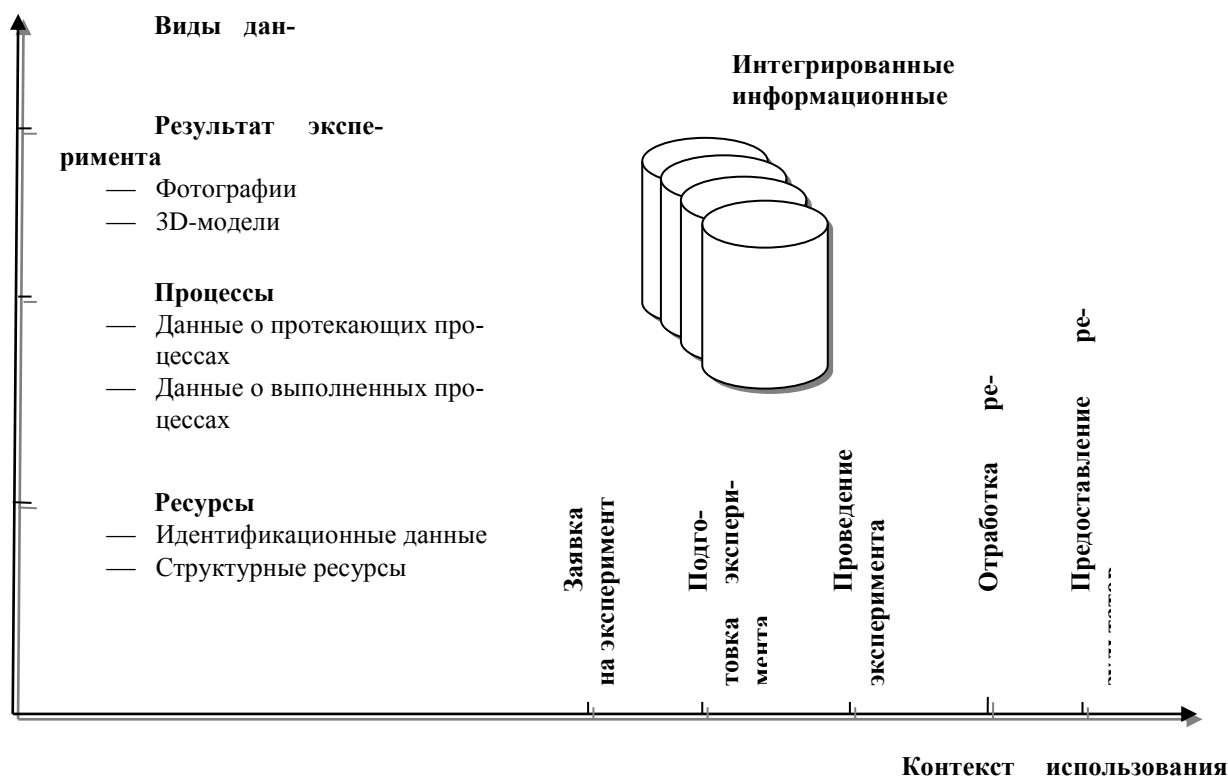


Рис. 3. Информационные модели экспериментов, процессов и ресурсов

Таким образом, интегрированная информационная среда (ИИС) должна обеспечивать полноту, целостность и актуальность информации об эксперименте с дальнейшей доступностью ее всем участникам жизненного цикла эксперимента в соответствии с правами предоставленными данным участникам. Для достижения этой цели ИИС должна выполнять следующие функции:

- помещение информации в ИИС;
- взаимодействие с другими системами, применяющимися в подготовке, проведении и обработке результатов экспериментов;
- управление различными нормативно-справочными разделами базы данных;
- управление состоянием данных после проведения эксперимента;

- управление характеристиками объектов баз данных (под «объектом» подразумевается информационный объект, адекватно отображающий в БД сущность физического мира (материал, характеристика оборудования, процесс, документ, сотрудник и т.д.);
- хранение различных документов (комплектов документов);
- управление изменениями, обновлением данных;
- управление потоками работ;
- поиск данных по различным признакам и предоставление их пользователям в соответствии с их правами доступа;
- управление разграничением доступа к объектам БД;
- генерация отчетов.

В общем виде жизненный цикл эксперимента, выполняемых с помощью синхротронных установок, можно разбить на следующие этапы:

- Прием заявок на проведение эксперимента;
- Подготовка экспериментальной станции;
- Проведение эксперимента;
- Обработка результатов эксперимента;
- Выдача результатов;
- Утилизация данных.

На каждом из представленных выше этапов на синхротронных установках есть сформированные специальные информационные службы или специалисты, обеспечивавшие выполнение требуемых функций на каждом из этапов жизненного цикла эксперимента. В настоящее время все эти службы или специалисты узкопрофильные. Поэтому на предприятии возникла громоздкая матрица узкопрофильных информационных служб и систем. На рисунке 4 условно показана матрица информационных ресурсов в виде наборов взаимодействующих отдельных решений.

Этапы жизненного цикла эксперимента

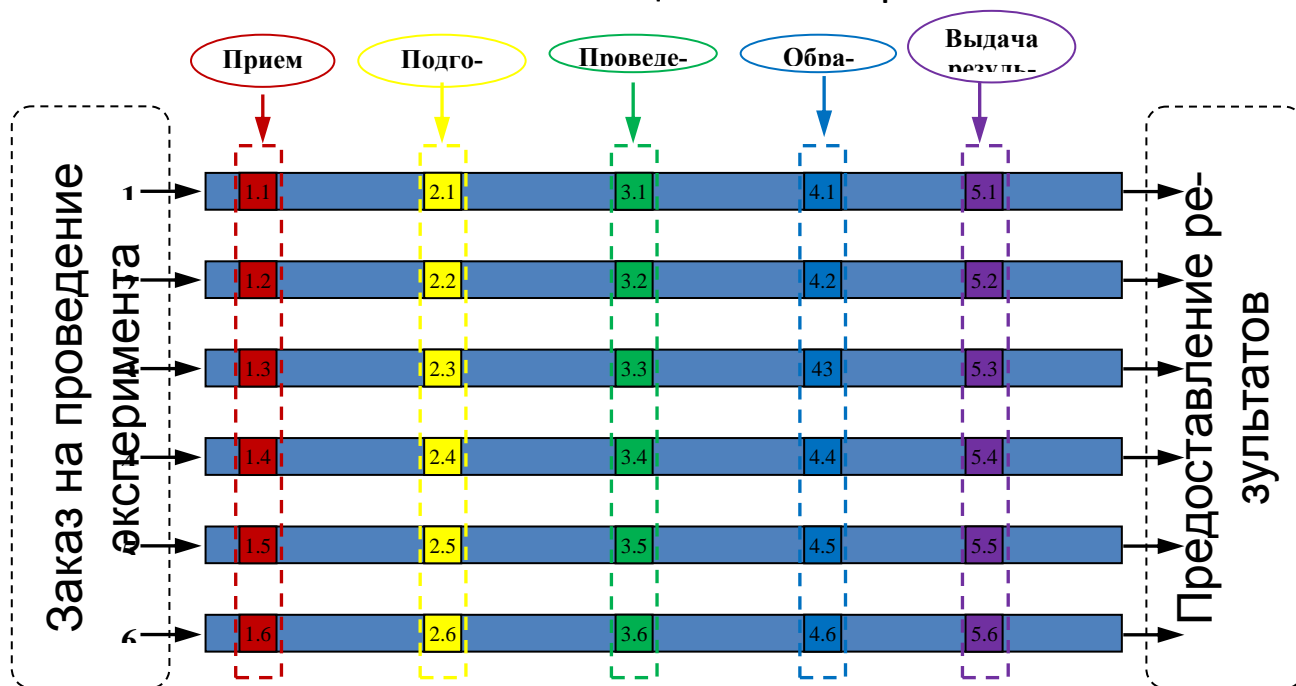


Рис. 4. Матрица разнородных информационных ресурсов

Из рисунка 5 видно, что каждый этап жизненного цикла эксперимента обслуживается отдельным подразделением научной организации. Увеличение количества экспериментов будет способствовать усложнению взаимоотношений между службами. Самыми основными причиной является несогласованность взаимодействия служб, наличие разных интересов, разные форматы данных, потери при передаче информации. Сложность управления научной организацией возрастает по мере увеличения количества одновременно проводимых экспериментов. Такая организация работ становится неприемлемой при частых модификациях или периодической смене проводимых экспериментов. При использовании CALS технологий (информационной поддержки жизненного цикла изделий) данная ситуация может быть кардинальным способом изменена. Концепция CALS технологий основывается на идее интегрированной информационной модели изделия. На рисунке 5 показано, как интегрированная информационная система обеспечивает исключение условий возникновения плохо управляемых матриц разнородных информационных ресурсов. Вместо применения громоздкой и разрозненной матрицы возникает стройная упорядоченная интегрированная информационная модель, которая ориентирована на компьютерную поддержку каждого этапа жизненного цикла эксперимента. [5] Таким образом, обеспечивается единство сквозной информационной технологической цепочки для групп экспериментов, имеющих общую информационную модель.

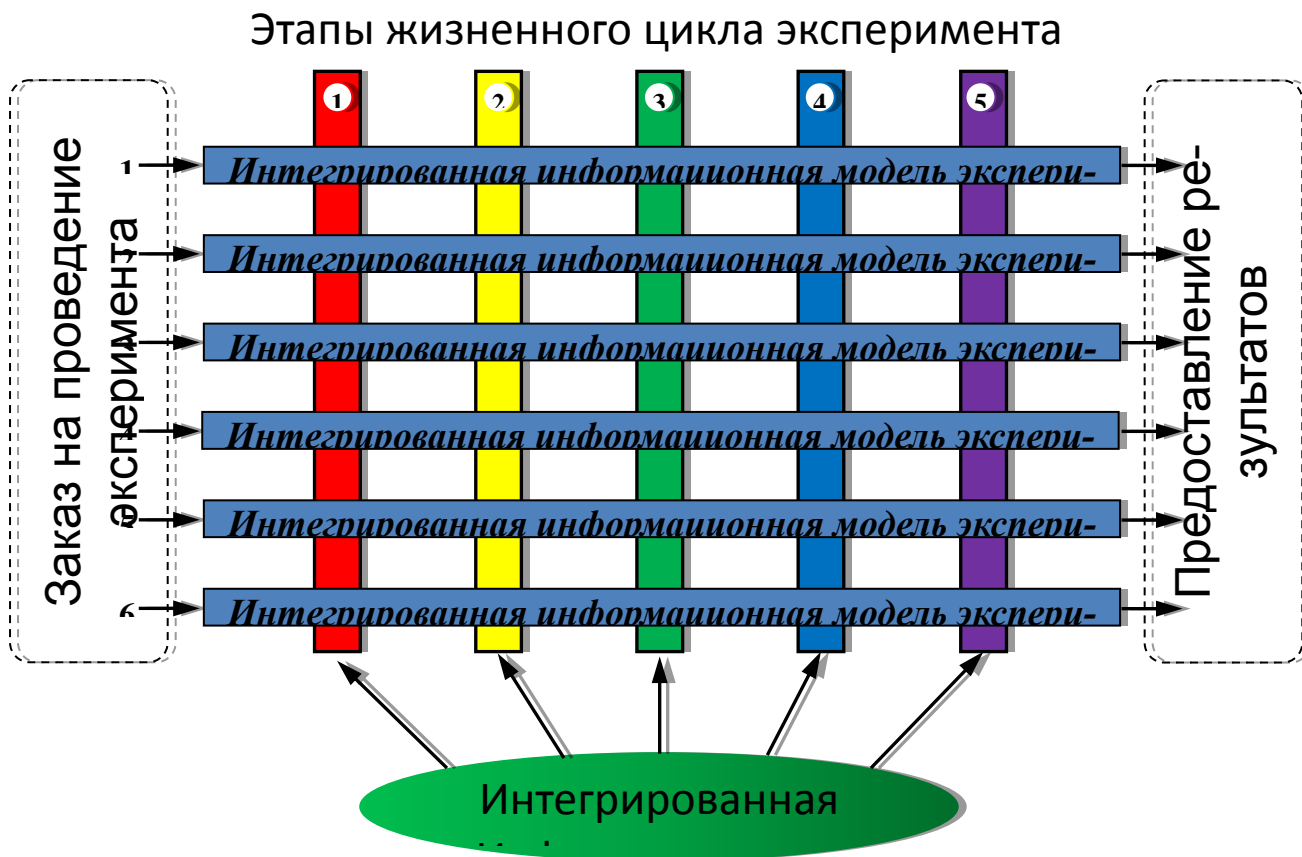


Рис. 5. Переход к CALS технология

При реализации концепции интегрированной информационной поддержки жизненного цикла эксперимента интегрированная информационная среда должна обеспечивать хранение данных, а также содержать всю информацию и данные, создаваемые и используемые всеми подразделениями и службами научного комплекса, являющимися участниками ЖЦ эксперимента в процессе их деятельности. В составе общей базы данных (рисунок 6) можно выделить три раздела: нормативно-справочный, долговременный и актуальный.



Рис. 6. Состав общей базы данных

В нормативно-справочном разделе хранятся данные о сотрудниках, оборудовании, методике проведения экспериментов, программном обеспечении для обработки информации. В долговременном разделе хранятся данные, аккумулирующие собственный опыт предприятия, в том числе данные о ранее выполненных готовых экспериментах. В свою

очередь в актуальном разделе, самом большом по объему и самом сложном по структуре, хранятся данные об текущих экспериментах, находящихся на различных этапах ЖЦ [6,7].

Разработка интегрированной информационной системы поддержки и сопровождения жизненного цикла эксперимента на синхротроне является многоэтапной инвариантной задачей. Таким образом на начальном этапе необходимо выделить основные стадии построения информационной системы (ИС).

1. Формирование требований к ИС. Системно-аналитическое обследование научно-исследовательской организации, анализ и обработка полученной информации, разработка концептуальной модели данных, разработка технического задания, согласование и утверждение.

2. Разработка концепции и эскизное проектирование ИС. Определение общей функциональной и технической архитектур, разработка логической модели данных, обоснование выбора программного обеспечения и технической инфраструктуры, разработка предварительного регламента взаимодействия информационных систем, эскизное проектирование процессов, эскизное проектирование интерфейсов пользователя, оформление эскизного проекта, согласование и утверждение.

3. Разработка действующего образца и рабочей документации. Техническое задание, формирование плана развертывания ИС, разработка и согласование регламентов взаимодействия существующих и используемых информационных систем, разработка рабочей документации на систему и на её части, разработка или адаптация используемого в научной организации программного обеспечения, согласование и утверждение.

4. Ввод в действие. Подготовка научной организации к вводу ИС в действие, подготовка персонала, комплектация системы, пусконаладочные работы, проведение предварительных испытаний, проведение опытной эксплуатации, проведение приёмочных испытаний, завершение работ.

5. Сопровождение. Выполнение работ в соответствии с гарантийными обязательствами, послегарантийное обслуживание.

В настоящее время в Karlsruhe Institute of Technology (KIT) активно продвигаются работы по созданию сверхбыстрого томографа, аналогом так же является московская синхротронная установка. Его создание позволит выполнять несколько десятков экспериментов в сутки, что приведет к лавинообразному увеличению количества обрабатываемой и хранимой информации. Этим фактом обусловлена актуальность создания информационной системы поддержки жизненного цикла эксперимента на синхротроне.

В настоящее время необходимо приступить к работам по созданию подобной информационной системы, потому что в мировой практике отсутствуют подобные разработки. Первоначально предлагается выполнить работы для реализации первой стадии по созданию информационной системы. На первой стадии необходимо выполнить два больших исследования.

В качестве первого исследования следует выделить инжиниринг бизнес-процессов института синхротронного излучения. На основе анализ литературных источников было определено, что в мировой практике отсутствует упоминание о проведении инжиниринга деятельности научной организации, выполняющей синхротронные исследования. Для проведения инжиниринга необходимо подготовить план и концепцию исследования [8].

Для формирования концепции первоначально необходимо определить направленность исследования, «точку зрения». Инжиниринг можно проводить с позиций исследователя. Тогда в качестве основного объекта инжиниринга будет выступать исследователь и результат

инжиниринга будет направлен на совершенствование процессов получения результата, необходимого исследователю. Можно выполнить инжиниринг, где в качестве объекта исследования будет выступать руководство научного института. Тогда результатом будет являться функциональная модель, обеспечивающая более экономичное использование ресурсов, прозрачность управления, что конечно также повлияет на качество эксперимента.

Инжиниринг бизнес-процессов зачастую проводится стандартными методами опроса, анкетирования и тестирования сотрудников. На основе собранной информации строится функциональная модель, которую в рамках концепции CALS можно охарактеризовать модель «как есть», которая в последующем анализируется методами анализа бизнес-процессов. Результатом анализа является функциональная модель «как должно быть», которая отражает процессы взаимодействия участников синхротронных экспериментов, обслуживающего персонала, отражает иерархическую структуру подчинения, содержит описание программного и аппаратного обеспечения, а также содержит много другой информации, характеризующей деятельность научной организации [9,10].

Функциональная модель «как должно быть» является фундаментом при построении информационной системы поддержки жизненного цикла эксперимента на синхротроне. Однако построение данной информационной системы, в силу специфики области исследования, не может быть разработана без анализа данных, используемых на всех этапах жизненного цикла эксперимента на синхротроне.

Таким образом, в дальнейшем следует провести в области анализа жизненного цикла данных, используемых в процессах жизненного цикла эксперимента на синхротроне. Данное исследование необходимо для построения концептуальной модели данных, являющейся фундаментом хранилища интегрированной информационной среды. Необходимо определить типы данных, их состав, количество параметров и т.д. Для достижения целей проекта следует ограничить область экспериментальных исследований. В качестве области исследования удобнее всего выбрать томографию, а как прикладной характер исследования – внедрение методов сверхбыстрой томографии.

Из вышесказанного можно выделить последовательность мероприятий, которые составляют основу алгоритма внедрения и разработки информационной системы для оптимизации жизненного цикла научных экспериментов на синхротронных установках:

1. Исследование процессов формирования, обработки и предоставления данных синхротронных экспериментов;
2. Анализ и инжиниринг бизнес-процессов поддержки и сопровождения данных синхротронных экспериментов;
3. Разработка оптимальной функциональной модели бизнес-процессов поддержки и сопровождения данных синхротронных экспериментов;
4. Анализ входных данных для проведения синхротронных экспериментов, разработка методики определения выполнимости синхротронного эксперимента на имеющемся оборудовании;
5. Анализ и классификации образцов, используемых в томографических экспериментах, определение и сопоставление для каждой группы образцов количества, состава и типа данных, получаемых в процессе жизненного цикла эксперимента на синхротроне;
6. Разработка методики и подходов к формированию и хранению истории преобразования данных, участвующих в жизненном цикле эксперимента на синхротроне;

7. Разработка принципов хранения, применения, учета и сопровождения фильтров по обработке данных и результатов синхротронных экспериментов;
8. Разработка структуры базы данных для хранения информационных массивов, используемых в процессах жизненного цикла эксперимента не синхротроне, жизненного цикла результатов эксперимента и других данных, порождаемых в процессе синхротронных исследований.

Таким образом, основной задачей внедрения интегрированной информационной среды является эффективное управление ресурсами области проведения экспериментов. Необходимость внедрения обусловлена колоссальными временными затратами в при ожидания освобождения ресурсов различными группами исследователей. Анализ текущей системы проведения синхротронных экспериментов является фундаментом при внедрении информационной системы, так как в ходе внедрения основная модель работы на синхротронной установке не должна быть изменена.

Внедрение ИС призвано увеличить производительность работы и уменьшить временные затраты в первую очередь за счет внедрения программно-аппаратных решений на основании уже существующей модели адаптированной под работу внутри информационной системы. В настоящее время ведется исследование модели «как есть» в рамках, описанных в статье мероприятий подготовки к внедрению информационной с Karlsruhe Institute of Technology (Германия). Исследование является уникальным для данной области исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Очоа Бикэ Алгоритмическое и программное обеспечение для управления томографической установкой в процессе проведения эксперимента [Электронный ресурс]. Современная техника и технологии : сборник трудов XIX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Томск, 15-19 апреля 2013 г. в 3 т. / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ) . — 2013. — Т. 2. — С. 315-316
2. Левин Г.Г. и др. Оптическая томография — М.: Радио и связь, 1989. — 224 с.
3. Цапко С. Г. и др. Средства проектирования и информационной поддержки жизненного цикла наукоёмкой продукции. Т. 2. — 2006. — С. 21-23.
4. Шаламов А.С. Интегрированная логистическая поддержка наукоёмкой продукции — М.: Университетская книга, 2008. — 464 с.
5. Норенков И. П. CALS-стандарты. Информационные технологии: теоретический и прикладной научно-технический журнал. — 2002. — № 2. — С. 43-46.
6. Карелин А. Н. Применение CALS-технологий для информационного сопровождения изделий при изготовлении. Промышленные АСУ и контроллеры: ежемесячный научно-технический производственный журнал. — 2004. — № 4. — С. 34-37.
7. Норенков И. П. Основы автоматизированного проектирования: Учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2002. — 336 с.
8. Черепанов Н.В. Концепция построения системы информатизации предприятия на основе сетевой модели проблемной области [Электронный ресурс] / Н.В. Черепанов, М.В. Пирогов. – Электрон. тексто- вые дан. – [Б. м.], 1998 – Режим доступа: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=995>
9. Управленческие информационные системы : пер. с англ.. — М.: Радио и связь, 1982.
10. Павлов В.В. Структурное моделирование в CALS-технологиях. Российская академия наук; Институт конструкторско-технологической информатики. — М.: Наука, 2006. — 307 с.

Рецензент: Кориков Анатолий Михайлович, профессор, заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Томского государственного университета систем управления и радиоэлектроники (ТУСУР), доктор технических наук.

REFERENCES

1. Ochoa Bikje Algoritmicheskoe i programmnoe obespechenie dlja upravlenija tomograficheskoy ustanovkoj v processe provedenija jeksperimenta [Jelektronnyj resurs]. Sovremennye tehnika i tehnologii : sbornik trudov XIX mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchenyh, Tomsk, 15-19 aprelja 2013 g.v 3 t. / Nacional'nyj issledovatel'skij Tomskij politehnicheskij universitet (TPU) . — 2013. — T. 2. — S. 315-316
2. Levin G.G. i dr. Opticheskaja tomografija — M.: Radio i svjaz', 1989. — 224 s.
3. Capko S. G. i dr. Sredstva proektirovanija i informacionnoj podderzhki zhiznennogo cikla naukojmomkoj produkcii. T. 2. — 2006. — S. 21-23.
4. Shalamov A.S. Integrirovannaja logisticheskaja podderzhka naukoemkoj produkcii — M.: Universitetskaja kniga, 2008. — 464 s.
5. Norenkov I. P. CALS-standarty. Informacionnye tehnologii: teoreticheskij i prikladnoj nauchno-tehnicheskij zhurnal. — 2002. — № 2. — S. 43-46.
6. Karelin A. N. Primenenie CALS-tehnologij dlja informacionnogo soprovozhdenija izdelij pri izgotovlenii. Promyshlennye ASU i kontrollery: ezhemesjachnyj nauchno-tehnicheskij proizvodstvennyj zhurnal. — 2004. — № 4. — S. 34-37.
7. Norenkov I. P. Osnovy avtomatizirovannogo proektirovanija: Ucheb. dlja vuzov. 2-e izd., pererab. i dop. — M.: Izd-vo MGTU im. N. Je. Baumana, 2002. — 336 s.
8. Cherepanov N.V. Konceptija postroenija sistemy informatizacii predpriyatija na osnove cetevoj modeli problemnoj oblasti [Jelektronnyj resurs] / N.V. Cherepanov, M.V. Pirogov. — Jelektron. teksto- vye dan. — [B. m.], 1998 — Rezhim dostupa: <http://www.swsys.ru/index.php?page=article&id=995>
9. Upravlencheskie informacionnye sistemy : per. s angl.. — M.: Radio i svjaz', 1982.
10. Pavlov V.V. Strukturnoe modelirovanie v CALS-tehnologijah. Rossijskaja akademija nauk; Institut konstruktorsko-tehnologicheskoy informatiki. — M.: Nauka, 2006. — 307 s.