

На правах рукописи



Андрюшкевич Сергей Константинович

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ КРУПНОМАСШТАБНЫХ  
АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
АСПЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПОДХОДА**

05.25.05 – информационные системы и процессы

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Новосибирск – 2011

Работа выполнена в Учреждении Российской академии наук Институте вычислительных технологий Сибирского отделения РАН и Учреждении Российской академии наук Конструкторско-технологическом институте вычислительной техники Сибирского отделения РАН.

Научный руководитель: кандидат физико-математических наук  
Ковалёв Сергей Протасович

Официальные оппоненты: доктор физико-математических наук,  
профессор Вирбицкайте Ирина  
Бонавентуровна,

кандидат технических наук Карманов  
Виталий Сергеевич

Ведущая организация: Институт систем энергетики им.  
Л.А. Мелентьева Сибирского отделения  
РАН (ИСЭМ СО РАН), г. Иркутск

Защита состоится 28 декабря 2011 г. в 15<sup>30</sup> на заседании диссертационного совета ДМ 003.046.01 при Институте вычислительных технологий СО РАН по адресу: 630090, г. Новосибирск, проспект академика М.А. Лаврентьева, д. 6, ИВТ СО РАН.

С диссертацией можно ознакомиться в специализированном читальном зале вычислительной математики и информатики ГПНТБ СО РАН (проспект академика М.А. Лаврентьева, д. 6).

Автореферат разослан 23 ноября 2011 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
доктор физико-математических наук,  
профессор



Л.Б. Чубаров

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Автоматизированные системы управления (АСУ) представляют собой комплекс аппаратных и программных средств, предназначенных для обеспечения эффективного функционирования объекта управления. В работе рассматриваются АСУ, которые согласно ГОСТ 24.103-84 классифицируются по сфере функционирования объекта управления – промышленность, энергетика, транспорт, по виду управляемого процесса – технологический, по уровню в системе государственного управления – отраслевой и региональный. Такие системы образуют класс крупномасштабных автоматизированных систем технологического управления (АСТУ). Согласно международной классификации, крупномасштабные АСТУ по функциональным характеристикам относятся к классу корпоративных систем управления производством (Manufacturing Enterprise Solution – MES)<sup>1</sup>, а по системным – к классу сверхбольших систем (Ultra Large Scale – ULS)<sup>2</sup> с ключевой ролью программного обеспечения (Software Intensive Systems – SIS).

Типичными заказчиками и потребителями систем такого класса в России являются предприятия топливно-энергетического комплекса (ТЭК). Примером крупномасштабной АСТУ является АСТУ ОАО «Федеральная Сетевая Компания Единой Энергетической Системы»<sup>3</sup> – система управления диспетчерско-технологической и производственно-технической деятельностью ОАО «ФСК ЕЭС», являющегося оператором Единой национальной (общероссийской) электрической сети. АСТУ ФСК обеспечивает всестороннюю поддержку процессов сбора, обработки и использования технологической информации (информации о режимах электрических сетей, состоянии сетевых объектов и их оборудования, состоянии средств и систем управления). Известны и другие отраслевые и региональные проекты по разработке систем класса АСТУ, например, Автоматизированная система диспетчеризации и управления единой системы газоснабжения ОАО «Газпром», Единая интегрированная автоматизированная информационная система мониторинга и управления эффективностью энергосбережения на объектах города Москвы<sup>4</sup>.

Для создания программного обеспечения таких систем заказчиками рассматриваются различные варианты решений, в том числе специализированные для энергетики продукты иностранных поставщиков: SAP IS-U, Oracle Utilities и др. Технология построения и методология внедрения систем на базе SAP или Oracle состоит в анализе существующих бизнес-процессов предприятия, реорганизации бизнес-процессов под требования готовых программных модулей соответствующих продуктов,

<sup>1</sup> Kletti J. Manufacturing Execution Systems – MES. – Berlin: Springer, 2007. – 275 p.

<sup>2</sup> Northrop L., Feiler P., Gabriel R., etc. Ultra-Large-Scale Systems: The Software Challenge of the Future. Pittsburgh.: Software Engineering Institute of Carnegie Mellon University, 2006. 150 P.

<sup>3</sup> Концепция автоматизированная система технологического управления ОАО «ФСК ЕЭС». [http://www.fsk-ees.ru/media/File/evolution\\_technology/ASTU\\_concept.doc](http://www.fsk-ees.ru/media/File/evolution_technology/ASTU_concept.doc)

<sup>4</sup> Скларов Е. В. О создании информационной системы мониторинга и управления эффективностью энергосбережения на объектах города Москвы // Промышленная энергетика. 2011. № 6. Стр. 2-6.

внедрении модулей. Такая технология не предоставляет необходимой гибкости для построения АСТУ, потребности в которых существует в настоящее время на российских предприятиях. Это связано с тем, что единицей поставки является модуль, вне зависимости от объема используемой функциональности. В случае если заказчику для решения задачи требуется задействование функций двух модулей, то независимо от количества используемых функций требуется выполнить полноценное внедрение обоих модулей. Однако это не всегда технически возможно и экономически оправдано. Например, для задачи отраслевого контроля технического состояния объектов энергетики требуется нормативно-справочная информация по субъектам и объектам энергетики, а также мастер-данные об энергетическом оборудовании и агрегированная информация о фактах технического обслуживания и ремонтов. При автоматизации этой задачи на базе вышеприведенных продуктов необходимо внедрить модули управления мастер-данными (Master Data Management, MDM) и управления основными средствами (Enterprise Asset Management, EAM). Внедрение модуля MDM в данном случае оправдано, однако внедрение модуля EAM требуется лишь в ограниченном объеме, но это не предусмотрено технологией, а полноценное внедрение невозможно ввиду отсутствия у заказчика полномочий выполнять необходимые для EAM бизнес-процессы.

Современные требования к АСТУ вынуждают поставщиков разрабатывать системы, ориентированные на заказчиков, глубоко погруженные в предметную область, обладающие высокими показателями удобства комплексирования для решения различных задач, относительно низкой стоимостью внедрения и сопровождения. Такими свойствами обладают системы, разработанные «с нуля» под конкретного заказчика, однако высокая стоимость и длительность процесса разработки, а также непредсказуемость результата не позволяют квалифицировать этот подход как технологию. В связи с этим возникает актуальная задача разработки технологии, по которой система создается из готовых функциональных элементов, комплексированных с возможностью прямого и обратного трассирования требований заказчика. Необходимые базовые возможности для создания такой технологии предоставляет аспектно-ориентированный подход<sup>5</sup>, который позволяет выявлять пересекающиеся функциональные элементы и обеспечивать их консолидацию в ходе проектирования и функционирования системы, с возможностью неразрушающего расширения системы новыми классами решаемых задач. Наиболее известной областью применения этого подхода является аспектно-ориентированное программирование (АОП)<sup>6</sup>. В то же время его применение для задач проектирования систем развито слабо<sup>7</sup>, так как осложняется отсутствием

---

<sup>5</sup> Kiczales G., Lamping J., Mendhekar A., Aspect-oriented programming. Published in proceedings of the European Conference on Object-Oriented Programming (ECOOP) in Finland, Springer-Verlag LNCS 1241. June 1997.

<sup>6</sup> Laddad R. AspectJ in Action: Practical Aspect-Oriented Programming. - Manning Publications, 2003 – P. 513

<sup>7</sup> Filman R.E., Elrad T., Clarke S., Aksit M. Aspect-Oriented Software Development. – Boston: Addison Wesley, 2004. – 800 p. (Chapter 18).

явных механизмов определения аспектов в предметных областях<sup>8</sup>. В частности, проектирование систем класса АСТУ на его базе ранее не выполнялось.

**Целью диссертационной работы** является исследование существующих, разработка и применение новых принципов и методов построения крупномасштабных систем класса АСТУ с применением аспектно-ориентированного подхода.

#### **Основные задачи работы.**

1. Выполнить моделирование предметной области технологического управления крупномасштабными объектами автоматизации, построить её информационную модель, включающую онтологию, модель процессов и модель данных.
2. Разработать архитектуру системы класса АСТУ с применением аспектно-ориентированного подхода, сформулировать основные положения выделения подсистем.
3. Разработать технологию построения крупномасштабных АСТУ с применением аспектно-ориентированного подхода.
4. Применить технологию для разработки линейки проблемно-ориентированных программных продуктов и внедрить их на энергетических предприятиях федерального масштаба.

**Методы исследования.** В работе были применены современные методы инженерии знаний, инженерии предметной области, методы аспектно-ориентированного и модульного анализа, методы и принципы проектирования программных систем, современные методы разработки программного обеспечения, теория построения реляционных баз данных.

#### **Результаты, выносимые на защиту:**

1. Разработана технология построения крупномасштабных АСТУ на основе аспектно-ориентированного подхода, которая позволяет создавать АСТУ, отвечающие специфическим нуждам заказчика, в виде конструктора из набора функциональных элементов.
2. Разработаны методы структурного связывания аспектов крупномасштабных АСТУ (на уровне модели данных) и динамического связывания аспектов (на уровне оперативных данных с применением процессора реакций), которые позволяют выполнить трассирование требований к системе на элементы архитектуры, что позволяет расширять систему новыми классами задач неразрушающим образом.
3. Разработана аспектно-ориентированная архитектура крупномасштабных АСТУ, которая позволяет эффективно выполнить проектирование широкого класса систем.
4. С использованием разработанной технологии созданы оригинальные прикладные системы класса АСТУ, в частности ЭО СОМТИ и информационная система «Оперативные заявки».

---

<sup>8</sup> Steimann F., Domain Model Are Aspect Free, L. Briand and C. Williams (Eds.): MoDELS 2005, LNCS 3713, pp. 171-185, 2005

**Научная новизна** представленных в диссертационной работе результатов состоит в следующем:

1. Разработана оригинальная технология построения крупномасштабных АСТУ на основе аспектно-ориентированного подхода.
2. Впервые представлены методы структурного связывания аспектов крупномасштабных АСТУ на уровне модели данных и динамического связывания аспектов с применением процессора реакций.
3. Впервые представлена аспектно-ориентированная архитектура крупномасштабной АСТУ.
4. Впервые применен аспектно-ориентированный подход к задачам проектирования и разработки программного обеспечения крупномасштабных АСТУ в энергетике.

**Практическая значимость работы.**

- Разработан набор прикладных автоматизированных информационных систем «Энергиус»: интеграционная платформа учета и управления энергообеспечением «Энергиус», автоматизированная система ведения нормативно-справочной информации в области энергетики «Энергиус-НСИ», автоматизированная система учета энергоносителей «Энергиус-Учет», система автоматизации оперативно-диспетчерского документооборота «Энергиус-Диспетчер», 2009-2011. В ходе разработке набора программ «Энергиус» реализованы и опробованы на практике результаты диссертационной работы.
- Информационная система «Оперативные заявки» разработана и внедрена в составе автоматизированной системы диспетчерского управления энергохозяйством ООО «Газпром энерго» (дочернее общество ОАО «Газпром»), г. Москва, 2009. Внедрение подсистемы позволило повысить надежность энергоснабжения объектов Единой системы газоснабжения РФ.
- Разработан экспериментальный образец программного комплекса системы оперативного мониторинга технологической инфраструктуры «ЭО СОМТИ» в рамках проекта «Разработка интеллектуальной системы пространственно-технологического мониторинга на базе глобального спутникового позиционирования с целью повышения энергоэффективности и экологической безопасности существующих методов добычи углеводородов» Федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы», г. Новосибирск, 2010. Результаты диссертации использованы при подготовке отчета о научно-исследовательской работе № ГР 1200962854.
- Разработаны и внедрены в составе Единой интегрированной автоматизированной информационной системы мониторинга и управления эффективностью энергосбережения на объектах города Москвы (ЕИАИС ЭЭ г. Москва, 2010) модули сбора результатов измерений, нормативно-справочной информации по приборам учета, ведения программ энергосбережения. Внедрение модулей позволило

реализовать региональную политику в области энергосбережения и повышения энергетической эффективности за счет следующих возможностей, предоставляемых этими модулями:

- мониторинг выполнения программ энергосбережения;
  - сбор, хранение и верификация информации о производстве, транспортировке и потреблении энергетических ресурсов объектами города Москвы;
  - ведение единой НСИ в области энергосбережения города Москвы.
- Разработана и внедрена автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) ООО «Транснефтьсервис-С» для предприятия федерального масштаба ОАО «АК «Транснефть», г. Москва, 2007. Внедрение системы позволило:
- реализовать непрерывный автоматический 30-минутный цикл сбора и анализа величин энергопотребления ОАО «АК «Транснефть», включающих около 1300 точек учета, распределенных по 49 регионам РФ;
  - сократить время формирования отчетов об энергопотреблении согласно требованиям оптового рынка электроэнергии;
  - повысить достоверность значений энергопотребления.
- Разработана и внедрена автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учета электроэнергии (АИИС КУЭ) ОАО «Томусинское энергоуправление», г. Междуреченск, 2008. Внедрение системы позволило реализовать непрерывный сбор и анализ величин энергопотребления, сократить время формирования регламентных отчетов, повысить достоверность значений энергопотребления.
- Результаты диссертации использованы при подготовке программы курса «Современные методы распределенных вычислений» на кафедре общей информатики факультета информационных технологий Новосибирского государственного университета.

По всем перечисленным проектам имеются акты внедрения научных и практических результатов исследований, выполненных в рамках подготовки диссертационной работы, и свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ, в которых соискатель является соавтором.

**Личный вклад автора** состоит в разработке технологии построения крупномасштабных АСТУ, разработке информационных моделей предметной области технологического управления, построенных с применением аспектно-ориентированного подхода, а также апробации технологии и моделей в научно-исследовательских и коммерческих проектах. Постановка исследовательских задач принадлежит научному руководителю к.ф.-м.н. Ковалёву С.П. Обсуждения и интерпретация результатов выполнены совместно с научным руководителем в работах [2, 4-6]. В работе [3] автором выполнена интеграция имитационной модели в систему технологического управления. В работах [7-

12] автором выполнены этапы рабочего проектирования и реализации основных моделей данных и процессов с применением аспектно-ориентированного подхода.

**Представление работы.** Основные положения диссертации докладывались на российских и международных конференциях, научных семинарах:

Объединенный семинар ИВТ СО РАН, КТИ ВТ СО РАН и НГУ «Информационные технологии» (г. Новосибирск, 2010-2011); Заседание Ученого совета КТИ ВТ СО РАН (г. Новосибирск, 2010); International Conference on Automation, Control, and Information Technology – ACIT-2010, (Novosibirsk, 2010); XIII Российская конференция с участием иностранных ученых «Распределенные информационные и вычислительные ресурсы» (г. Новосибирск, 2010); Международная научно-практическая конференция «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности» (г. Санкт-Петербург, 2009); научно-методический семинар «Информационно-вычислительные технологии в задачах поддержки принятия решений» (ИВТ СО РАН, г. Новосибирск, 2006-2008); Всероссийские конференции молодых ученых по математическому моделированию и информационным технологиям (г. Кемерово, 2008; г. Новосибирск, 2007; г. Красноярск, 2006); Международная научная студенческая конференция «Студент и научно-технический прогресс» (г. Новосибирск, 2005); Конференция «Технологии Microsoft в информатике и программировании» (г. Новосибирск, 2005); Всероссийская научная конференция «Научный сервис в сети Интернет» (г. Новороссийск, 2004 г.).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 18 работ, в том числе:

- 2 статьи в изданиях, рекомендованных ВАК для представления основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора или кандидата наук (1,78/1,59);
- 5 свидетельств государственной регистрации программ для ЭВМ;
- 1 патент на изобретение;
- 1 статья в тематическом рецензируемом научном журнале (1,13/0,38);
- 9 работ в трудах и сборниках тезисов (1,62/0,94).

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы, включающего 96 наименований. Работа содержит 145 страниц машинописного текста, 28 рисунков, 8 таблиц.

## **КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертационной работы, представляются цели, задачи, основные методы исследования, формулируются научные результаты, выносимые на защиту, определяются научная новизна и практическая значимость работы, приводится краткий обзор работы.

В **первой главе «Автоматизированные системы технологического управления: современное состояние, проблемы»** рассматривается объект исследований – крупномасштабные АСТУ. Системы класса АСТУ являются многокомпонентными, они должны интегрировать существующие технические

системы предприятия и осуществлять эффективное информационное взаимодействие со всеми участниками технологического процесса и системами различных уровней.

Роль и место типовой АСТУ в информационном пространстве энергетического предприятия представлена на рис. 1.

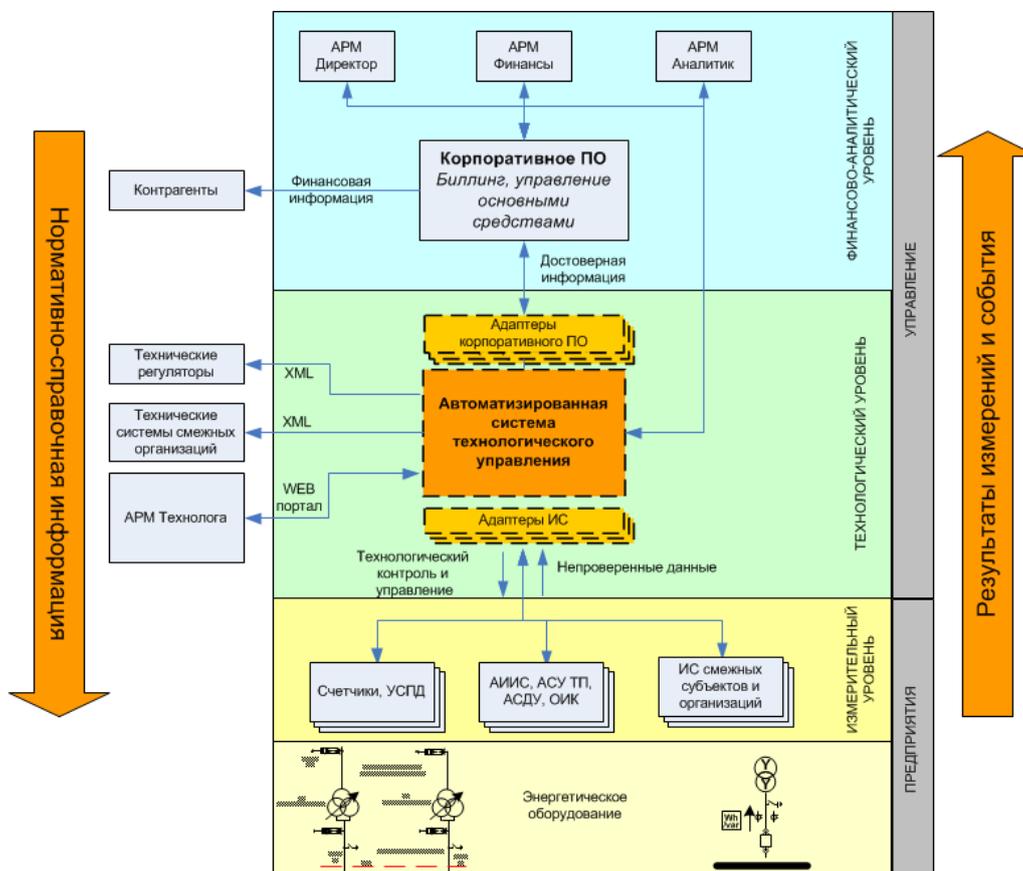


Рис. 1. Роль и место автоматизированной системы технологического управления в структуре автоматизации предприятия.

Система класса АСТУ должна технологически объединять информационные системы, функционирующие на следующих уровнях:

- *Уровень АСУП.* На финансово-аналитическом уровне расположены автоматизированные системы управления предприятием, являющиеся основными потребителями достоверных данных от АСТУ.
- *Технологический уровень предприятия.* Основные подсистемы АСТУ должны быть развернуты на предприятии на технологическом уровне и выполнять задачи контроля, управления, консолидации и анализа технической информации от всех подчиненных и смежных систем.
- *Уровень АСУ ТП.* Компоненты системы должны находиться и/или взаимодействовать с аппаратно-программными комплексами уровня объекта автоматизации.

Основными потребителями систем класса АСТУ являются технические специалисты предприятия от исполнителя на объекте до высшего технического руководства. Эта группа пользователей в настоящее время испытывает большие трудности с автоматизацией собственной деятельности, чем например, группа пользователей административно-финансового блока. Это связано, прежде

всего, с тем, что финансовые инструменты более унифицированы и шире распространены, чем технологические.

Крупномасштабные АСТУ можно классифицировать как системы класса ULS. Сложность создания такого класса систем связана с большим количеством взаимоувязанных задач, процессов, технологических элементов, которыми должна управлять АСТУ. При этом стандартные методы, средства проектирования и разработки не ориентированы на преодоление проблем сложности задач АСТУ, поэтому дополнительно приходится использовать новые подходы для построения эффективных решений, такие, как аспектно-ориентированный подход в проектировании и программировании.

Во второй главе «Аспектно-ориентированная технология построения АСТУ» излагается технология построения АСТУ на основе аспектно-ориентированного подхода.

В работе были применены два принципа декомпозиции при решении задачи моделирования предметной области технологического управления:

- *модульная декомпозиция* – разбиение целого на элементы, которые могут подвергаться дальнейшему разбиению. При этом порождаемые элементы называются модулями, а их отношения вложенности образует иерархию. Основным правилом такого разбиения является отсутствие пересечения границ модулей, то есть ни один модуль не может пересекать границы другого модуля.
- *аспектная декомпозиция* – анализ целого через набор описаний. Признак (проекция), по которому выполнено описание, называется аспектом. Проекция может пересекать (crosscut) границы элементов других проекций или модулей. При этом аспекты сами могут образовывать модульную структуру.

Аспекты возникают тогда, когда при анализе модульной структуры требуется выделить элемент, который одновременно присутствует в нескольких модулях. Он не может быть оформлен как отдельный модуль, так как будет нарушать принцип декомпозиции ввиду пересечения границ других модулей. Такой элемент образует аспект. Если изобразить его на модульной структуре, то его границы будут пересекать границы модулей. При этом аспекты можно структурировать друг относительно друга, этот процесс называется модуляризацией аспектов.

При разработке АСТУ выделение аспектов целесообразно ввиду следующих соображений. Крупномасштабная АСТУ, как правило, строится по модульному принципу. Любой процесс технологического управления можно представить в виде сценария выполнения определенных задач. Поскольку одни и те же задачи могут входить в несколько процессов, автоматизация процессов по отдельности приводит к дублированию функциональности, сложности комплексирования и выполнения сквозных процессов. При применении аспектно-ориентированного подхода удастся модуляризовать задачи, участвующие в различных процессах, в виде аспектов, явно выделить условия их связывания, а также идентифицировать элементы архитектуры, участвующие в их автоматизации.

Таким образом, комплексная система автоматизации технологического управления формируется путем связывания различных аспектов.

В традиционном аспектно-ориентированном программировании аспектами являются технические задачи, такие, как трассирование, отладка, безопасность и т.д. В системах технологического управления аспектами являются предметно-ориентированные классы решаемых задач, например ведение технологического оборудования, ведение иерархии производственных объектов, технологический документооборот, поддержка процессов технического обслуживания и ремонта, учет энергоресурсов и т.д.

В общем случае в системах управления аспектами являются описания наборов элементов архитектуры для решения одного класса функциональных задач, в том числе:

- процессно-ориентированное описание задачи;
- описание декомпозиции задачи по функциональным подсистемам;
- информационная модель объекта управления в части, необходимой для решения задачи;
- описание событий, групп событий, шаблонов реакций, задействованных в ходе автоматизации выполнения задачи;
- объектная модель прикладных программных модулей, автоматизирующих выполнение задачи.

В ходе исследования были сформулированы следующие общие положения технологии построения крупномасштабных АСТУ:

- *Аспектный подход к декомпозиции системы.* Группировка функций по подсистемам должна выполняться исходя из их близости в типовом процессе обработки информации (системная близость), а не по участию в решении прикладных задач.
- *Модель данных предметной области – основа для построения и функционирования АСТУ.* Все элементы системы оперируют единым набором элементов модели данных и отношений между ними. Классы решаемых задач АСТУ определяет семантическую нагрузку отношений между элементами модели данных.
- *Динамическое связывание групп функций.* Выполнение прикладной задачи АСТУ осуществляется путем активации элементов функциональной структуры в порядке, определенном правилами связывания на основе событий и реакций.

На базе этих принципов разработана технология построения прикладной АСТУ состоящая из шести шагов:

1. Определение классов решаемых задач.
2. Анализ классов решаемых задач и выделение групп функций АСТУ.
3. Распределение (crosscut) решаемых задач по группам функций.
4. Разработка информационной модели предметной области технологического управления.

5. Определение правил связывания (weaving) элементов информационной модели и элементов функциональных групп для решения каждой прикладной задачи.
6. Автоматизированное связывание элементов архитектуры для построения прикладных АСТУ.

Автоматизированная система технологического управления (АСТУ)

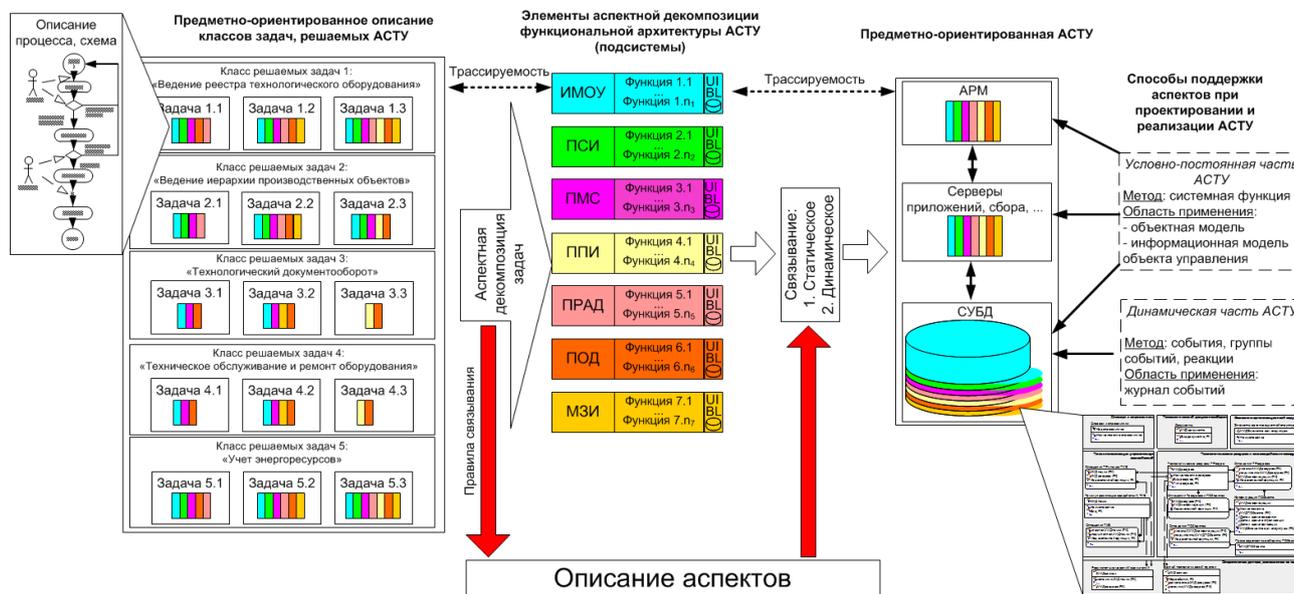


Рис. 2. Общая схема технологии построения систем класса АСТУ

Последующие разделы главы поясняют каждый технологический шаг.

В первом разделе «Классы решаемых задач» описываются способы идентификации и описания классов решаемых задач АСТУ. Каждый класс решаемых задач должен иметь текстовое описание, а также в виде схемы процессов, например, в нотации IDEF0 или EPC. Описание процесса должно содержать описание входных и выходных данных, участников процесса, инструментов, используемых для выполнения шагов процесса, описаний условий, правил, регламентов выполнения процесса.

Классы решаемых задач могут определяться различными группами пользователей из различных подразделений предприятия, представляющих итоговую систему по-разному. Ввиду того, что все пользователи АСТУ, так или иначе, связаны с объектом управления, решаемые классы задач имеют общий контекст:

- все задачи выполняются на одном объекте управления;
- существует технологическая зависимость между классами задач;
- процессы содержат однотипные шаги обработки информации.

Идентификация общего контекста необходима для последующей декомпозиции требований по функциональным элементам АСТУ.

Во втором разделе «Архитектура АСТУ» приводится архитектура АСТУ, разработанная в результате исследования.

Согласно общим положениям разработанной технологии, принципом выделения функциональных подсистем является группировка функций по

подсистемам, исходя из их системной близости в типовом процессе обработки информации. При таком подходе удается добиться гибкости при создании прикладной системы, ввиду того, что прикладные задачи компонуют функции подсистем и не требуют разработки отдельной подсистемы под конкретную задачу или процесс. Такая компоновка позволяет представить систему как конструктор функциональных элементов, которые можно объединять для решения различных задач. При этом такое конструирование может быть выполнено пользователем без участия программиста путем задания правил связывания функциональных элементов.

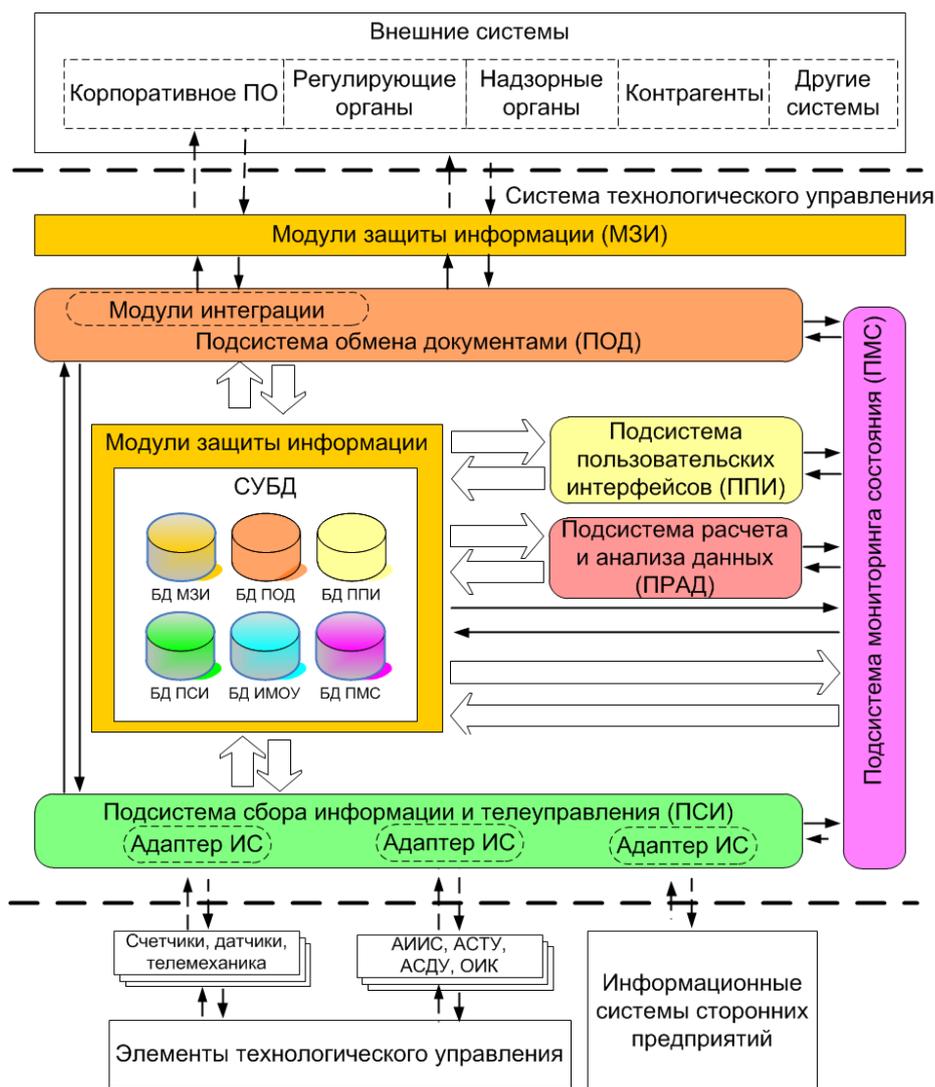


Рис. 3. Архитектура АСТУ, построенная по аспектно-ориентированному принципу

В ходе исследований была разработана архитектура АСТУ (рис. 3), которая состоит из семи подсистем:

- *Информационная модель объекта управления (ИМОУ)*. Подсистема объединяет функции ведения метаинформации, нормативно-справочной информации, а так же мастер-данных АСТУ;
- *Подсистема сбора информации и формирования команд (ПСИ)* предназначена для организации взаимодействия с автоматизированными поставщиками оперативных данных текущего состояния объекта

автоматизации, сбора этих данных, а также для формирования управляющих воздействий на технологические элементы АСТУ;

- *Подсистема расчета и анализа данных (ПРАД)* локализует все математические функции, связанные с обработкой, анализом данных и поддержкой принятия решений в части выработки обратных управляющих воздействий. Например, расчет учетных показателей, потерь в технологическом оборудовании, оптимизация маршрутов, прогнозирование трендов.
- *Подсистема обмена документами (ПОД)* предназначена для организации информационного обмена с внешними системами и технологического электронного документооборота;
- *Подсистема мониторинга состояний (ПМС)* выполняет задачи запуска и контроля выполнения автоматизированных задач АСТУ через механизмы расписаний, единого технологического журнала и процессора реакций;
- *Модель защиты информации (МЗИ)* определяет правила и предоставляет механизмы контроля доступа пользователей и программных компонентов к функциям системы;
- *Подсистема пользовательских интерфейсов (ППИ)* предоставляет пользователям единую точку доступа ко всем функциям АСТУ. Пользовательский интерфейс организуется из набора специализированных автоматизированных рабочих мест, которые komponуются из типовых визуальных элементов с применением порталных технологий.

Разработанная архитектура может использоваться для построения широкого класса крупномасштабных АСТУ.

В **третьем разделе «Аспектное распределение задач»** описаны шаги распределения классов решаемых задач на элементы архитектуры. Такое распределение состоит в явном определении, каким образом данная задача будет решена архитектурными элементами:

- составить формальное описание задачи в терминах процесса;
- выполнить явное распределение требований, в том числе нефункциональных, по подсистемам. Для каждого шага процесса требуется идентифицировать, какие функции подсистем должны быть активированы;
- разработать модель данных для решения задачи;
- определить события, группы событий, формируемые в ходе выполнения задачи;
- разработать объектную модель прикладных программных модулей для построения предметно-ориентированных средств автоматизации решения задачи.

В качестве примера можно рассмотреть сквозной цикл формирования суточного отчета о суммарном потреблении электроэнергии. В соответствии с заданным расписанием ПМС активирует и контролирует процесс сбора информации ПСИ с приборов учета. Собранные данные поступают в БД ПСИ.

Далее ПМС активирует ПРАД, которая анализирует поступившие данные, выполняет расчеты потерь и суммирует показания. После выполнения расчетов, ПМС активирует ПОД для формирования отчета и его отправки получателю.

В четвертом разделе «Разработка модели данных» описаны элементы информационной модели, являющейся основой функционирования АСТУ.

Трудности описания крупномасштабных объектов связаны с большим объемом и сложной структурой семантического пространства объекта управления, из которого извлекается модель предметной области. Существуют подходы к преодолению проблем построения типовой информационной модели, основанные на принципах инженерии предметной области (Domain Engineering), семантической паутины (Semantic Web) и аспектно-ориентированного проектирования.

Разработка модели данных состоит из следующих шагов:

1. Разработка онтологии предметной области технологического управления.
2. Разработка логической модели данных.
3. Разработка физической модели данных.

В ходе построения онтологии технологического управления было выявлено, что семантическое пространство АСТУ состоит из следующих понятий (см. рис. 4):

- *Элементы организационной структуры.* К элементам организационной структуры отнесены все информационные элементы финансово-административной области. Эти элементы, практически не задействованные в моделях технологических объектов, являются справочной информацией, которая полностью поступает из внешних систем корпоративного управления или системы ведения нормативно-справочной информацией.
- *Производственные объекты.* Здания, сооружения, конструкции, входящие в состав технологического процесса как единая функциональная единица, объединяющая экземпляры технологического оборудования. Производственные объекты могут вступать в различные отношения между собой: подчинение, обслуживание и т.д.
- *Технологические ресурсы и взаимодействие между ними.* Понятие объединяет экземпляры технологического оборудования (ресурсов), комплексов оборудования и их параметры. Экземпляры ресурсов могут вступать в отношения между собой: схема подключения, вхождение одних ресурсов в другие, технологическая зависимость и т.д.
- *Точки локализации управляющих воздействий.* Всякая автоматизированная система подключается к своему объекту в некоторых точках. В этих точках система измеряет состояние объекта и оказывает на него воздействия.
- *Документы.* Документы, участвующие в технологическом документообороте, формируются по информационной модели на основе метаданных, мастер-данных и операционных данных. Для документов могут быть установлены правила документооборота.

- *Словари, справочники и классификаторы.* Понятие объединяет метаданные и нормативно-справочную информацию, используемую мастер-данными и оперативными данными.
- *Оперативные данные.* К оперативным данным относятся результаты измерений, события, шаги технологического документооборота, результаты расчета показателей и т.д.

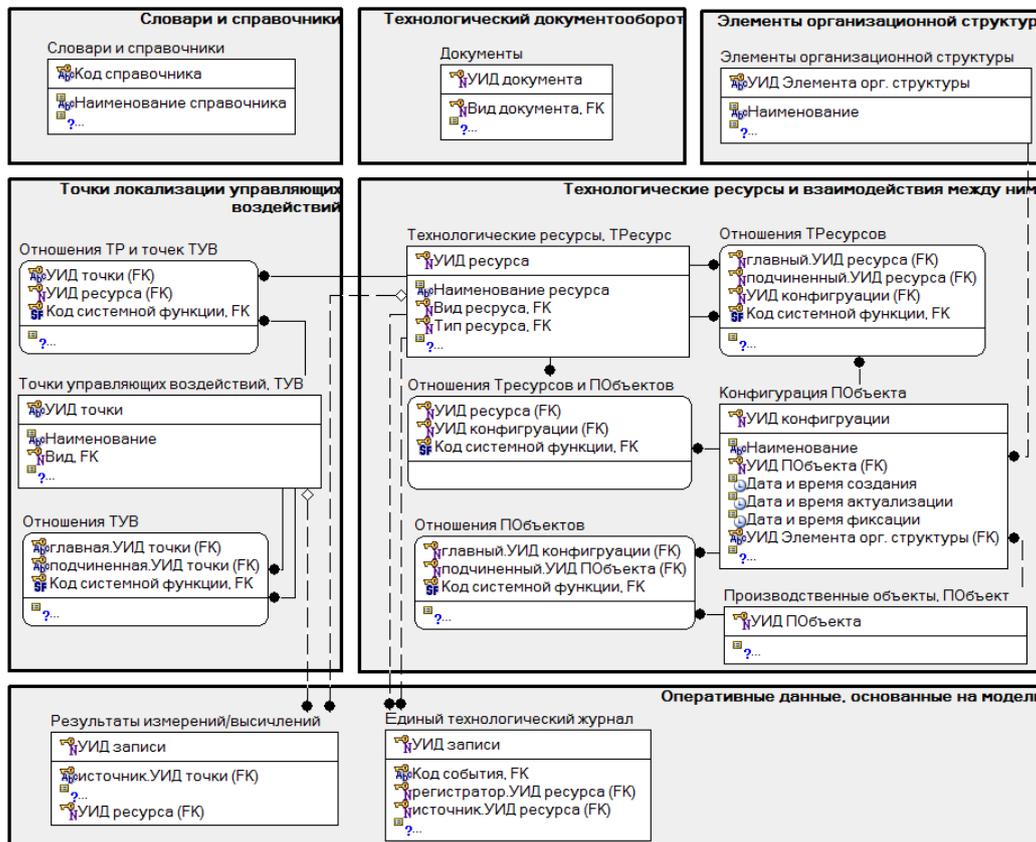


Рис. 4. Фрагмент логической схемы данных АСТУ в энергетике

Физическая схема данных должна быть согласована с логической, однако её структура может отличаться ввиду необходимости выбора подходящего способа хранения данных для получения требуемых показателей производительности целевой системы.

В пятом разделе «**Определение правил связывания**» приводятся методы связывания аспектов АСТУ.

В ходе исследования было выявлено, что к АСТУ применимы два вида связывания (см. Таблица 1):

- *Структурное.* Правила структурного связывания определяют, каким именно образом должны быть связаны элементы модели данных АСТУ для построения прикладных информационных моделей для решения задач, декомпозиция которых была выполнена на третьем технологическом шаге.
- *Динамическое.* Правила динамического связывания определяют модели прикладных процессов через формирование набора шаблонов и реакций для активации элементов функциональной АСТУ для выполнения задачи,

декомпозиция которых была выполнена на третьем технологическом шаге.

Таблица 1. Виды аспектного связывания

	<b>Структурное</b>	<b>Динамическое</b>
<b>Объект связывания</b>	Сущности модели данных	События единого технологического журнала
<b>Метки связывания</b>	Системная функция (System Function)	Группы событий (Event Group)
<b>Результат связывания</b>	Информационная модель объекта управления	Сценарии активации функциональных единиц для решения прикладных задач

В следующей таблице представлен результат анализа соответствия видов связывания аспектов АСТУ, представленных в работе, основным концепциям АОП.

Таблица 2. Таблица соответствия видов связывания аспектов АСТУ концепциям АОП

<b>Элемент концепции АОП</b>	<b>Элемент модели данных АСТУ</b>	<b>Элемент реактивной модели АСТУ</b>
<b>Точки соединения (joint point)</b>	Объекты системы	Любые типы событий
<b>Срез (point cut)</b>	Параметризованные отношения между объектами системы вида «многие ко многим»	Шаблон реакции
<b>Совет (advice)</b>	Значения параметров записей отношений «многие ко многим» между объектами системы	Реакция
<b>Аспект (aspect)</b>	Системные функции	Совокупность шаблонов и реакций
<b>Компоновщик (weaver)</b>	Методы объектов модели предметной области	Процессор реакций

Ключевым проектным решением структурного связывания аспектов АСТУ является понятие «Системная функция» (System Function). Системная функция (набор системных функций) определяет виды отношений, между сущностями модели данных в рамках одного аспекта. Перечень системных функций является справочной информацией. Ссылки на справочник системных функций образуют точки пересечения аспектов (cross-cutting), являющиеся также точками расширения модели данных. Основными точками пересечения аспектов являются отношения вида «многие ко многим», в которых системная функция является обязательным параметром (например см. на рис. 4 таблицы «Отношения ТРесурсов», «Отношения ТР и точек ТУВ»). Наличие связи «аспект – системная функция – точки пересечения аспектов – сущности модели данных» позволяет выполнить прямое и обратное трассирование аспектов на сущности модели данных.

Структурное связывание (weaving) выполняется промежуточным программным слоем – объектной моделью, функционирующей между базой данных и прикладными программными модулями. Выделение такого слоя позволяет скрыть от пользователя особенности физической модели данных, а также необходимость работы на уровне сущностей и связей между ними. При исполнении запроса объектная модель осуществляет связывание и извлечение требуемых данных на основании аспекта – системной функции, которая выступает параметром во многих отношениях. Различные прикладные задачи требуют представления АСТУ в виде глобального мгновенного среза состояния всех элементов АСТУ. Оперируя транзакционными данными и мастер-данными АСТУ, объектная модель решает задачу формирования глобального состояния крупномасштабной АСТУ. Информационная модель состояния является условно-постоянной, она формируется по требованию прикладного модуля и является для него поставщиком входных параметров относительно всей системы.

Ключевым проектным решением динамического связывания аспектов АСТУ является адаптированная реактивная модель событий. Реактивная модель состоит из шаблонов и реакций. Шаблоны – заранее заданный перечень событий или значений их параметров, активирующий реакции в рамках определённого аспекта. Реакции – заранее заданный набор управляющих воздействий на компоненты системы, включая оповещение компонентов и пользователей о событии. Анализом фактических событий системы, формированием управляющих воздействий и динамическим связыванием занимается процессор реакций в составе подсистемы мониторинга состояний (см. рис. 3). Наличие информации о расписании производственного процесса (сценария его нормального выполнения) позволяет контролировать и корректировать ход выполнения процессов. Контроль осуществляется путем сверки фактического потока событий с ожидаемым потоком. Корректировка хода выполнения и обработка ошибок выполняется в случае нарушения фактического потока событий – формирование неверного события или превышения допустимого времени ожидания события.

Предложенные в работе методы связывания аспектов позволяют организовать АСТУ как платформу для построения семейств прикладных систем, отличающихся наполнением баз данных и правилами структурного и динамического связывания.

В шестом разделе «Предметно-ориентированная АСТУ» описывается завершающий этап построения АСТУ, состоящий из компоновки пользовательского интерфейса, прикладных модулей математического обеспечения и наполнения БД данными объекта автоматизации.

Пользовательский интерфейс формируется путем создания автоматизированных рабочих мест (АРМ) из функциональных элементов различных подсистем для выполнения задач пользователей. В крупномасштабных АСТУ пользовательский интерфейс следует проектировать с применением порталных технологий. Портальная организация АРМ позволяет пользователю получить доступ ко всей функциональности системы

через единую точку доступа без знаний о фактическом месторасположении модулей, предоставляющих функции и данные. В ходе апробации результатов исследований пользовательский интерфейс клиентских приложений проектировался с применением инструментального прототипа средств компонентного проектирования портала на базе языка описания архитектуры xADL и технологии Eclipse.

Модули математического обеспечения прикладного характера используют средства программного доступа к объектной модели АСТУ для выполнения прикладных задач. Объектная модель предоставляет программный доступ к метаданным, нормативно-справочной информации, мастер-данным, операционным данным, а также информационной модели состояния АСТУ. В качестве примеров прикладных модулей можно привести алгоритмы расчета потерь в силовом электротехническом оборудовании, расчёта классов энергоэффективности зданий многоквартирных домов, оптимизации маршрутной транспортной карты и т.д.

Наполнение БД данными объекта автоматизации состоит в подготовке и вводе данных следующих сегментов: метаданные, нормативно-справочная информация, мастер-данные, так как они необходимы для построения правил связывания функциональных элементов. Операционные данные формируются в ходе функционирования и могут не входить в начальное наполнение БД, кроме, возможно, демонстрационных данных.

В третьей главе «Внедрения практических результатов» представлены результаты применения наработок диссертации на примере двух проектов.

Автоматизированная система диспетчерского управления ООО «Газпром энерго» (АСДУ), в части подсистемы технологического документооборота оперативных заявок. Основной задачей ООО «Газпром энерго» является надежное и бесперебойное энергоснабжение технологических объектов ОАО «Газпром». Подсистема ведения оперативных заявок АСДУ построена на базе системы автоматизации оперативно-диспетчерского документооборота «Энергиус-Диспетчер», функционирует в 12 филиалах предприятия. Основная задача системы – управлять жизненным циклом оперативных заявок на изменение состояния энергетического объекта, включающего шаги согласования с различными уровнями диспетчерских служб. Ключевым компонентом системы является модель данных, построенная с применением результатов настоящей диссертации, а также единый технологический журнал, выполняющий роль оперативного-диспетчерского журнала, в котором сведены действия пользователей и диспетчеров и телемеханические события. Тесная интеграция журнала с информационной моделью повысила качество формируемых оперативных заявок и уменьшила количество ошибок при работе с нормативно-справочной информацией по энергооборудованию.

Экспериментальный образец системы интеллектуального мониторинга технологической инфраструктуры (ЭО СОМТИ) разрабатывался в рамках проекта «Разработка интеллектуальной системы пространственно-технологического мониторинга на базе глобального спутникового позиционирования с целью повышения энергоэффективности и экологической

безопасности существующих методов добычи углеводородов» в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы». Целевыми потребителями системы являются предприятия нефтегазового комплекса, обладающие крупномасштабными распределенными объектами управления. В задачи СОМТИ входит контроль, выработка рекомендаций по изменению режима работы технологического оборудования и комплексов с целью повышения энергоэффективности и уменьшения рисков возникновения энергетических и экологических аварий. Для решения задач оптимизации и выработки рекомендаций, наряду с результатами измерений, необходимы знания о фактической структуре и зависимостях производственных процессов, оборудования и комплексов оборудования. Эта информация ведется в структурном виде в рамках информационной модели. Оперативная информация, выраженная результатами измерений, событиями пользователей и компонентов системы, ведется в едином технологическом журнале. Пользовательский интерфейс организован по аспектному принципу путем компоновки визуальных элементов и элементов управления различных подсистем.

В таблице представлены функции подсистем АСТУ в рассмотренных проектах.

Таблица 3. Задачи, решаемые подсистемами, в рассматриваемых проектах

Подсистемы	Проекты	
	АСДУ «Газпром энерго»	ЭО СОМТИ
ПСИ	Сбор телесигналов о состоянии коммутационного оборудования	Сбор данных от различных источников, в том числе от передвижных объектов; контроль точного времени
ПРАД	–	Расчет превышений контрольных значений работы нефтегазодобывающего оборудования, расчет оптимального плана объезда кустов скважин, прогнозирование мест порывов промыслового нефтепровода
ИМОУ	Информационная модель энергетических объектов	Информационная модель нефтегазодобывающего управления
ПОД	Технологический документооборот оперативно-диспетчерских заявок, формирование отчетов	Формирование отчетов: маршрутных транспортных карт, небаланс водогазонефтяной эмульсии по кусту
ПМС	Единая хронология событий объектов и событий технологического документооборота.	События объектов; расчет фактического глобального состояния системы по статической информации и оперативным данным.
МЗИ	Разграничение прав доступа по объектам и ролям	Разграничение прав доступа по функциям в соответствии с ролями
ППИ	АРМ диспетчера и оператора модели	АРМ оператора

Результаты исследований, выполненных в рамках подготовки диссертационной работы, могут быть применены вне рамок технологического

управления. В частности, идеи и первые наработки были применены автором при построении интегрированной информационной системы управления вуза.

**В заключении** приводятся основные результаты и выводы работы:

1. Разработанная технология построения крупномасштабных АСТУ на основе аспектно-ориентированного подхода позволяет создавать АСТУ, отвечающие специфическим нуждам заказчика, в виде конструктора из набора функциональных элементов. Это достигается за счет предоставления чётких принципов, шагов выделения функциональных элементов и правил декомпозиции прикладных задач по этим элементам. Технология позволяет не только создавать новые АСТУ, но и анализировать существующие системы или их проекты на предмет выявления дублирования, неполноты или неэффективного распределения функций по подсистемам.
2. Разработанные методы структурного и динамического связывания аспектов систем управления позволяют применять аспектно-ориентированный подход к задачам проектирования и реализации АСТУ. Применение этих методов позволяет идентифицировать и организовать взаимодействие элементов системной архитектуры, необходимых для выполнения прикладной задачи, на уровне модели данных и на уровне шагов технологических процессов. Это позволяет обеспечить трассирование требований на элементы системной архитектуры, что позволяет выполнять модернизацию и расширение системы неразрушающим способом.
3. Разработанная аспектно-ориентированная функциональная архитектура крупномасштабной АСТУ успешно реализована при построении ряда промышленных систем.
4. Разработаны модели данных и процессов прикладных АСТУ в энергетике.

## **ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК для представления основных научных результатов диссертаций:**

1. Андриюшкевич С.К. Построение информационной модели крупномасштабных объектов технологического управления с применением аспектно-ориентированного подхода // Вестник НГУ. Серия Информационные технологии. – 2010. – Т. 8. – Вып. 3. – С. 34-45.
2. Андриюшкевич С.К., Ковалёв С.П. Интеллектуальный мониторинг распределенных технологических объектов с использованием информационных моделей состояния // Известия Томского политехнического университета. Серия Управление, вычислительная техника и информатика. – 2010. – Т. 317. – Вып. 5. – С. 35-39.

**Публикации в рецензируемых тематических изданиях:**

3. Андриюшкевич С.К., Журавлев С.С., Золотухин Е.П., Ковалёв С.П., Окольнишников В.В., Рудометов С.В. Разработка системы мониторинга с использованием имитационного моделирования // Проблемы информатики. – 2010. – Т. 4. – Вып. 8. – С. 65-75

### **Труды конференций:**

4. Andryushkevich S.K. , Kovalyov S.P. Distributed plants intelligent monitoring using information models of state.// Proceeding of IASTED International Conference on Automation, Control, and Information Technology (ACIT-CDA 2010), Novosibirsk, June 15 – 18, 2010, pp. 250-255.
5. Андрюшкевич С.К., Ковалёв С.П. Опыт адаптации стандартных информационных моделей для распределенных объектов технологического управления // Высокие технологии, фундаментальные исследования, образование: сборник трудов Седьмой международной научно-практической конференции «Исследование, разработка и применение высоких технологий в промышленности». СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 28-30 апреля 2009. С. 56-57.
6. Ковалёв С.П., Андрюшкевич С.К. Автоматизированный инструмент компонентной интеграции информационных порталов // Труды Всероссийской научной конференции «Научный сервис в сети Интернет» (г. Новороссийск, 20-25 сентября 2004 г.) М.: МГУ, 2004. С. 98-99.

### **Патенты:**

7. Андрюшкевич С.К., Золотухин Е.П., Ковалёв С.П, Решение о выдаче патента на изобретение № 2010125587/08(036330) от 24.06.2011. Многоуровневая автоматизированная система управления производственно-технологическими процессами с управлением затрат на основе мониторинга, анализа и прогноза состояния технологической инфраструктуры нефтегазодобывающего предприятия, 2011.

### **Свидетельства:**

8. Андрюшкевич С.К., Ковалёв С.П, Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2011613800, Автоматизированная система ведения справочной информации в области энергетики «Энергиус-НСИ», 2011.
9. Андрюшкевич С.К., Золотухин Е.П., Ковалёв С.П., Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010613850, Экспериментальный образец программного комплекса системы оперативного мониторинга технологической инфраструктуры «ЭО СОМТИ» (ЭО ПК СОМТИ), 2010.
10. Ковалёв С.П., Андрюшкевич С.К., Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010613308, Автоматизированная система учета энергоносителей «Энергиус-Учет», 2010.
11. Ковалёв С.П., Андрюшкевич С.К., Гуськов А.Е., Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009613359, Интеграционная платформа учета и управления энергообеспечением «Энергиус», 2009.
12. Ковалёв С.П., Андрюшкевич С.К., Яковченко К.Н., Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2009611387, Система автоматизации оперативно-диспетчерского документооборота «Энергиус-Диспетчер», 2009.