

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

Наганов Михаил Владимирович

**АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ГЕНЕРАЦИЯ КОДА
ДЛЯ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЯМИ**

05.13.11 — Математическое и программное обеспечение
вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Санкт-Петербург
2007

Работа выполнена на кафедре системного программирования математико-механического факультета Санкт-Петербургского государственного университета.

Научный руководитель: кандидат физ.-мат. наук,
доцент Фоминых Николай Федорович

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
проф. Давыдов Евгений Борисович

кандидат физ.-мат. наук,
Машарский Сергей Михайлович

Ведущая организация: Санкт-Петербургский
государственный университет
телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича

Защита диссертации состоится «31» мая 2007 года в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета Д 212.232.51 по защите диссертаций на соискание ученой степени доктора наук при Санкт-Петербургском государственном университете по адресу 198504, Санкт-Петербург, Старый Петергоф, Университетский пр., д. 28, математико-механический факультет Санкт-Петербургского государственного университета, ауд. 405.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Санкт-Петербургского государственного университета по адресу: 199034, Санкт-Петербург, Университетская наб., д. 7/9.

Автореферат разослан «__» _____ 2007 года

Ученый секретарь диссертационного совета
доктор физико-математических наук,
профессор



Б. К. Мартыненко

Общая характеристика работы

Актуальность темы

Интеграция существующей телекоммуникационной системы управления в сеть управления производится посредством адаптации предоставляемого ею внешнего интерфейса управления к требованиям стандартов, принятых в сети управления. При этом в рамках данной работы делается предположение о том, что в интегрируемой системе присутствует некий интерфейс для программного доступа к ее функциям управления, но этот интерфейс не основан ни на стандартах МСЭ-Т TMN [2], ни на альтернативных TMN стандартах, для которых уже разработаны шлюзы, осуществляющие трансляцию протокола управления [12].

В этом случае процесс интеграции является уникальным для каждой из систем управления, соответствующих предъявленным требованиям. Если сеть управления основана на решениях от крупных фирм-производителей телекоммуникационного оборудования, то в их состав могут входить программные средства, предназначенные для разработки модулей адаптации протоколов управления [1]. Однако на практике многие операторы сетей не используют мощные сетевые системы управления от ведущих производителей по двум причинам: во-первых, из-за их высокой стоимости, а во-вторых, из-за боязни наличия «закладок», найти которые в большой программной системе с закрытыми исходными кодами является практически неразрешимой задачей (последняя причина является особенно актуальной для силовых ведомств).

Следствием вышеуказанных фактов является то, что при создании единой сети управления для большой телекоммуникационной сети, включающей в себя оборудование различных производителей с собственными системами управления, производителям интегрируемого в нее оборудования (и систем управления) приходится разрабатывать модули адаптации протокола управления своими силами. При этом обычно используются *ad hoc* подходы, так как в научно-технической литературе этому вопросу уделено немного внимания (это показано в литературном обзоре данной диссертационной работы), как следствие, отсутствуют специализированные инструментальные средства поддержки процесса разработки.

Цели работы

Разработать пригодную для промышленного применения обобщенную методику создания модулей адаптации протокола управления, предназначенных для интеграции систем управления телекоммуникациями в единую сеть управления, основанную на стан-

дартах МСЭ-Т TMN. Исследовать методы модельно-управляемой архитектуры OMG MDA в применении к интеграции телекоммуникационных систем. Разработать модель преобразования экземпляров времени выполнения информационных моделей управления, выполняемого по формальному описанию соответствия между моделями управления. Разработать технологические средства, предназначенные для автоматизированной генерации кода модуля адаптации протокола управления.

Основные результаты

В работе получены следующие результаты:

1. Предложен технологический процесс интеграции телекоммуникационных систем управления с использованием средств автоматизированной генерации кода.
2. Описана формальная нотация на базе языка UML для задания соответствия между информационными моделями управления, используемыми в интегрируемой системе управления, и стандартизованными моделями управления, которые применяются в единой сети управления.
3. Разработана формальная модель подхода к осуществлению межмодельных преобразований на основе формального описания соответствия (отображения) между информационными моделями управления.
4. Реализованы программные средства автоматизированной генерации кода, основанные на разработанной формальной модели.
5. Предложенный процесс и созданные программные средства применены при решении промышленной задачи создания модуля адаптации протокола управления для системы управления ЭАТС «Квант-Е-Сокол».

Научная новизна

1. Сравнимый подход к автоматизированной интеграции телекоммуникационных систем с использованием концепций архитектуры OMG MDA, рассмотренный в рамках проекта MODA-TEL (но не реализованный в нем) [10], на практике получается трудно реализуемым с использованием имеющихся средств разработки. В данной диссертационной работе предложено более простое решение, имеющее практическую реализацию.
2. Наиболее близким к представленному в диссертационной работе подходу, используемому для задания межмодельных отображений, является реляционный подход Акехерста-Кента-

Хаусманна [4, 5, 7, 8]. В качестве основных отличий предлагаемого в диссертационной работе подхода можно указать:

- использование более простой по сравнению с [4, 5] нотации для задания межмодельного отображения, не требующей, в отличие от [7, 8], введения новых элементов в метамодель языка UML, что позволяет использовать для задания модели отображения большинство CASE-пакетов, поддерживающих язык UML;
- автоматическое указание правил осуществления межмодельных преобразований по межмодельному отображению, не требующих каких-либо дополнений со стороны пользователя;
- нацеленность на преобразование моделей уровня **Mo** в иерархии метамodelей OMG MOF [13], то есть, моделей времени выполнения.

Апробация работы и публикации

Результаты диссертации были доложены на 4-й всероссийской научной конференции «Проблемы совершенствования и развития специальной связи и информации, предоставляемых государственным органам» (Орел, Россия), на конференции IASTED по программной инженерии (SE 2005, Инсбрук, Австрия), на конференции IASTED по телекоммуникационным системам и сетям (CSN 2005, Бенидорм, Испания), а также на семинарах кафедры системного программирования СПбГУ. По теме диссертационной работы было опубликовано 5 научных работ.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Работа содержит 162 страницы, 35 рисунков, 14 таблиц, список литературы из 121 наименования.

Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цели и задачи работы, описаны основные результаты работы.

Ввиду наличия на реальных телекоммуникационных сетях множества совместно существующих технологий и оборудования различных производителей [3], для обеспечения управления крупными сетями связи необходимо производить интеграцию разрозненных систем управления в единую сеть управления. Предлагаемая Между-

народным союзом электросвязи (МСЭ-Т) концепция *сети управления электросвязью* (Telecommunications Management Network, TMN) предполагает организацию управления разнородным телекоммуникационным оборудованием на основе единых интерфейсов и протоколов. В данной работе рассматриваются последние версии стандартов TMN, основанные на технологии OMG CORBA.

Данная диссертация посвящена разработке подхода к автоматизированной генерации кода модулей адаптации протокола управления, используемых для интеграции телекоммуникационных систем управления, на основе визуальных моделей.

В первой главе дается описание предметной области данной работы. Рассматриваются вопросы, связанные с управлением телекоммуникационными сетями, сопутствующими технологиями и стандартами. Определяются типичные проблемы, которые возникают при решении задач интеграции систем управления телекоммуникациями.

Концепция TMN разделяет аспекты физического взаимодействия систем, то есть, используемые коммуникационные протоколы, и информационного взаимодействия — объектно-ориентированные модели управления, представляющие управляемые системы.

В данной работе рассматривается интеграция телекоммуникационных систем управления сетевыми элементами в сеть управления посредством подключения их к сетевой системе управления через модуль адаптации протокола управления, называемый в терминологии TMN Q-адаптером. Основной решаемой проблемой является адаптация информационного взаимодействия, то есть реализация преобразования между информационными моделями управления.

Для минимизации трудностей, возникающих при разработке модулей адаптации, необходимо, чтобы высокоуровневая информация, характеризующая межмодельное отображение, была представлена явно — в виде визуальной модели. А для обеспечения соответствия между межмодельным отображением и программным кодом, осуществляющим преобразования, последний должен генерироваться автоматически по отображению.

Во второй главе приводится описание процесса интеграции телекоммуникационных систем управления в сеть управления с использованием средств автоматизации. Наличие описания процесса необходимо с точки зрения промышленного применения предлагаемых методик — оно определяет управляемый метод работы по созданию программного продукта.

На основе практического опыта участия автора в проекте по созданию системы сетевого управления выделяются *роли и артефакты* процесса интеграции систем управления, представленные на рис. 1.

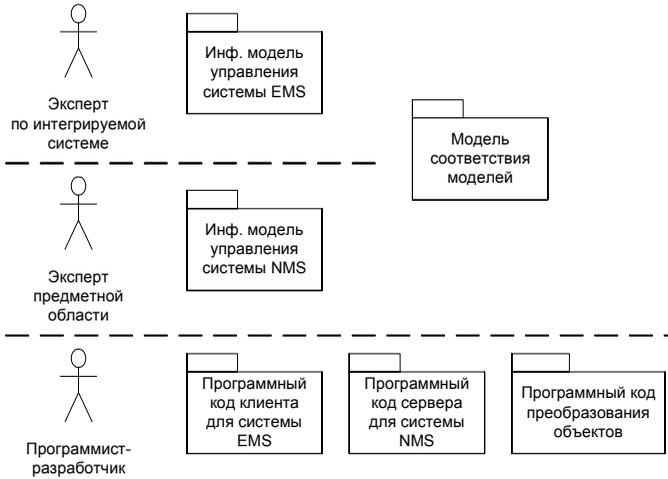


Рис. 1. Роли и артефакты процесса интеграции систем управления

Схема взаимосвязи между артефактами процесса представлена на рис. 2. Представленная схема не привязана к используемым технологиям взаимодействия между интегрируемыми системами, поэтому названа в работе *абстрактной архитектурой интеграции*.

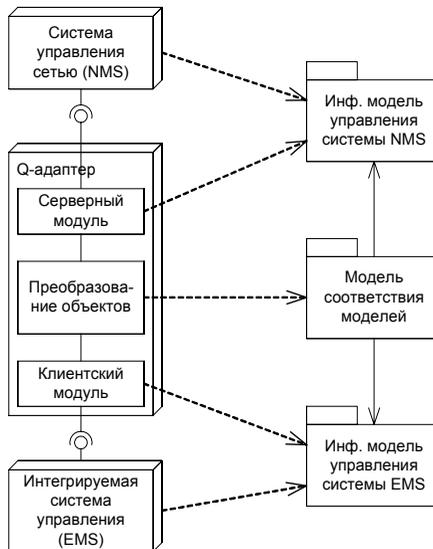


Рис. 2. Абстрактная архитектура интеграции

Основное отличие предлагаемого в данной работе процесса от процесса создания Q-адаптера вручную заключается в том, что высокоуровневые модели, представляющие информационные модели управления интегрируемых систем, существуют в явном виде, и на основании них генерируется программный код. Это позволяет, во-первых, упростить работу *экспертов предметной области* — они будут работать в терминах моделей и их соответствий, а не в терминах языка программирования общего назначения, а во-вторых, упростить работу *программистов-разработчиков*, которым не придется вручную корректировать код каждый раз, когда что-либо поменяется в моделях.

В третьей главе приводится обзор модельно-управляемой архитектуры OMG MDA и существующих исследований по преобразованиям моделей.

Одним из ключевых вопросов архитектуры MDA является преобразование моделей, являющееся популярной темой для научных исследований. В работе рассматривается несколько наиболее известных подходов к преобразованию моделей [6]: императивный, графовый и реляционный. По результатам анализа подходов делается вывод о том, что наиболее подходящим с точки зрения критериев, определенных в данной работе, является реляционный подход.

Используя термины, определенные в третьей главе (терминология в данной области исследований еще не устоялась), задачу автоматизации создания модуля Q-адаптера можно сформулировать как задачу автоматической генерации кода пошагового событийно-управляемого преобразования систем объектов (моделей уровня **Mo** в классификации OMG MOF) в соответствии с заданным двунаправленным отображением между информационными моделями управления. Для решения этой задачи необходимо:

1. Задать формальную нотацию представления межмодельных отображений. При этом предлагается взять за основу идеи реляционного подхода Акхерста-Кента-Хаусманна [4, 5, 7, 8].
2. Разработать алгоритм генерации кода межмодельных преобразований по заданному отображению.

Способ применения концепций архитектуры MDA для интеграции телекоммуникационных систем, рассмотренный в рамках проекта MODA-TEL [10], посвященного применению концепций MDA в сфере телекоммуникаций, получается трудно реализуемым с использованием имеющихся средств разработки. Поэтому в данной работе предлагается более простое решение, схема которого приведена на рис. 3.

Согласно предлагаемой схеме, вначале осуществляется обратное преобразование имеющихся определений интерфейсов систем управ-

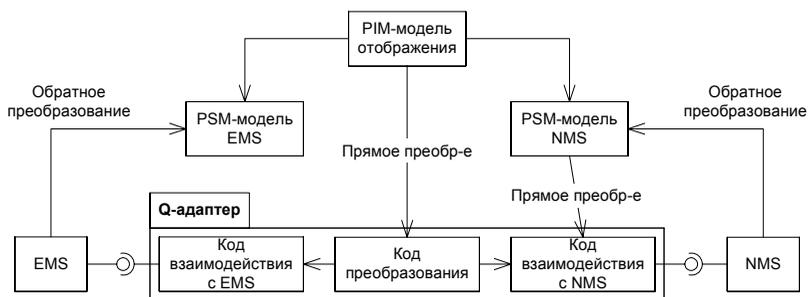


Рис. 3. Предлагаемая схема использования моделей для генерации кода Q-адаптера

ления сетевыми элементами (EMS) и сетевого управления (NMS) в платформу-зависимые модели (PSM) средствами CASE-пакетов, осуществляющих возвратное проектирование (reverse engineering). Между полученными моделями устанавливается соответствие посредством платформу-независимой модели (PIM) отображения, заданной с использованием формальной нотации. Затем по модели отображения осуществляется генерация кода преобразования информационных моделей управления на основе формального подхода, описанного в четвертой главе. Код модуля взаимодействия с системой NMS также генерируется автоматически специализированным кодогенератором, созданным в рамках данной работы. Весь созданный код затем объединяется для получения модуля Q-адаптера, осуществляющего двустороннее преобразование информационных моделей управления.

В четвертой главе описываются формальная модель предлагаемого нами подхода к осуществлению пошаговых событийно-управляемых преобразований между системами объектов в соответствии с заданным двунаправленным отображением между моделями классов, а также формальный способ задания такого отображения.

Предлагаемый в данной работе подход основан на принципе отделения преобразования систем объектов, являющихся различными экземплярами одной и той же модели классов от преобразования самой модели классов. Первое преобразование называется в предлагаемом подходе *реплицирующим*, второе — *структурным*. В результате соединения этих преобразований получается необходимое нам пошаговое преобразование между системами объектов, осуществляемое в соответствии с отображением между моделями классов. Необходимо отметить, что предлагаемый подход касается только преобразований данных, не затрагивая вопросов функциональных преобразований, то есть адаптации поведения классов.

Вкратце суть предлагаемого подхода можно описать следующим образом. Если мы рассмотрим отображение модели классов в себя, то задача осуществления пошагового преобразования между системами объектов, которые являются ее экземплярами времени выполнения, будет заключаться в том, чтобы выполнять над целевой системой объектов точно такие же операции, которые производятся над исходной системой объектов (например, создание объекта, создание связи между объектами) в точно таком же контексте, и поддерживать отношение между синхронизируемыми множествами объектов для того чтобы можно было осуществлять преобразование контекста выполняемых операций. Фактически, мы будем осуществлять *событийно-управляемую репликацию* систем объектов, при этом в ролях исходной и целевой системы попеременно могут выступать обе преобразуемые системы.

Теперь рассмотрим *структурное преобразование* моделей классов. Возьмем одну из пары отображаемых моделей классов и представим себе, что нам известна последовательность выполненных над ней элементарных структурных преобразований (таких как переименование класса, изменение значения свойства конца ассоциации и т.п.), где каждое элементарное преобразование является обратимым, которая привела к получению второй отображаемой модели классов. В этом случае мы можем свободно преобразовывать одну модель классов в другую в обоих направлениях, при этом устанавливается соответствие между множествами систем объектов, являющихся экземплярами исходной и целевой моделей классов.

В результате соединения реплицирующего и структурного преобразований, при выполнении операций по изменению исходной системы объектов времени выполнения, эти изменения «прогоняются» через цепочку структурных преобразований между моделями классов. При этом исходная операция по изменению системы объектов и ее контекст преобразуются из структуры исходной модели классов в структуру целевой модели классов. Если такое преобразование прошло успешно, то полученный результат применяется к целевой системе объектов, производя в ней изменения, соответствующие изменениям в исходной системе и преобразованные согласно отображению, заданному для модели классов.

Схема формирования суперпозиции преобразований приведена на рис. 4. Описать схему формирования можно следующим образом. *Элементарная операция* реплицирующего преобразования R и пары отношения для ее операндов сформированы для исходной системы объектов M_{11} и предназначены для переноса в систему M_{12} в соответствии с правилами преобразования операций в реплицирующем преобразовании (на рисунке последняя система обозначена серым

цветом, поскольку она является промежуточным результатом преобразований). Элементарную операцию и пары отношения можно считать системой объектов (M_{1R}) , являющуюся экземпляром исходной модели классов M_1 структурного преобразования S . Поэтому для нее можно попытаться найти соответствующую систему объектов M_{2R} , принадлежащую множеству экземпляров целевой модели классов (M_2) структурного преобразования. Если соответствующая система объектов найдена, то она, так же как и исходная модель, будет задавать элементарную операцию и пары отображения, но уже для системы объектов M_{21} , которая является экземпляром целевой модели классов структурного преобразования. Если продолжить применение реплицирующего преобразования, то будут внесены изменения в систему объектов M_{22} , которая и будет являться результатом применения суперпозиции преобразований $S(R)$ к системе объектов M_{11} .

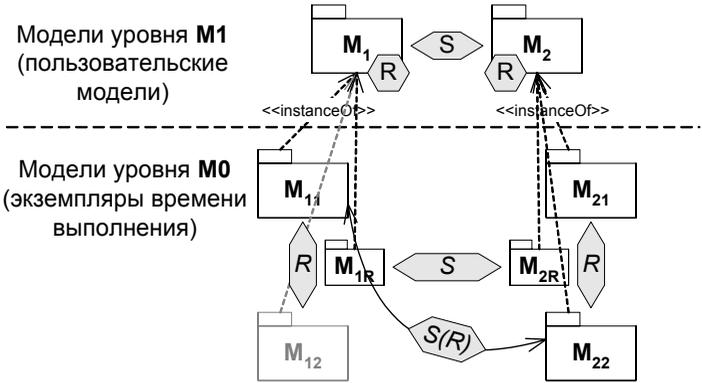


Рис. 4. Схема формирования суперпозиции преобразований

Как следует из описания структурного преобразования, еще одной задачей, которая решена в данной главе, является задание алгоритма восстановления цепочки элементарных структурных преобразований моделей классов на основе заданного межмодельного отображения. Из проведенной в работе оценки следует, что время работы алгоритма квадратично зависит от количества классов в отображаемых моделях M_1 и M_2 .

Для того чтобы алгоритм мог обработать межмодельное отображение, последнее должно быть задано формально. В рамках предлагаемого подхода описан профиль языка UML, определяющий формальную нотацию для задания межмодельного отображения. В профиль включена в формализованном виде часть ограничений,

налагаемых на отображаемые модели классов. Описанный профиль предназначен для использования в CASE-пакетах.

В качестве возможных направлений дальнейших работ можно назвать:

- ослабление ограничений, налагаемых на отображаемые модели за счет обработки дополнительных ситуаций в алгоритмах межмодельных преобразований (т.е. задача дальнейшего развития модели преобразований);
- изучение вопроса масштабируемости алгоритмов преобразования путем определения условий, при которых возможно параллельное выполнение преобразований в целом или их отдельных шагов;
- расширение понятия двунаправленных выражений языка OCL, используемых для задания отображения атрибутов.

В пятой главе рассматриваются вопросы практического применения описанных в работе методов автоматизированной генерации кода для осуществления интеграции телекоммуникационных систем управления.

В качестве примера практического применения методов рассматривается задача создания модуля Q-адаптера для ЭАТС «Квант-Е-Сокол», программное обеспечение для которой разработано в ЗАО «Ланит-Терком». Создаваемый модуль Q-адаптера должен обеспечить функциональные возможности для управления нумерацией ЭАТС согласно рекомендации ETSI EN 300 292 [9], или аналогичной ей рекомендации МСЭ-Т Q.826. Задача централизованного управления нумерацией ЭАТС в сети относится к области сетевого управления, поскольку требует согласованного изменения данных одновременно на нескольких станциях телефонной сети.

Рассматривается вопрос совместного использования существующих и специально разработанных средств автоматизированной генерации кода в рамках технологического процесса, описанного во второй главе. Созданные средства генерации кода основаны на формальной модели преобразований систем объектов времени выполнения, описанной в четвертой главе. При оценке эффекта от использования предлагаемых методов используются критерии оценки, разработанные в рамках проекта MODA-TEL [11].

В технологическом процессе интеграции используются средства возвратного проектирования и создания моделей, входящие в CASE-пакет Rational Rose, а также собственные технологические средства генерации кода, основанные на среде модельно-ориентированной разработки EMF, входящей в состав популярной некоммерческой платформы IBM Eclipse.

В качестве направлений дальнейшего развития инструментальных средств интеграции можно указать:

- отказ от использования коммерческого пакета Rational Rose путем создания дополнительных технологических средств на основе платформы Eclipse;
- реализацию автоматической генерации наборов тестовых классов для проверки работы созданного отображения;
- изучение возможности проверки корректности отображения, заданного в виде модели.

Оценка предлагаемых методик и инструментов по критериям оценки проекта MODA-TEL показывает вполне предсказуемые для данного подхода результаты — дополнительные затраты времени на создание средств автоматизации процесса, которые должны окупиться на их повторном использовании, а также при поддержке созданного с их помощью программного обеспечения.

В заключении приводятся основные результаты работы и направления дальнейших исследований.

В приложениях содержатся: исходные тексты алгоритма вывода последовательности структурных преобразований по заданному отображению между информационными моделями управления и используемые им данные, а также перевод информационной модели управления стандарта ETSI EN 300 292 [9] на CORBA IDL в соответствии с рекомендациями МСЭ-Т Q.816 и X.780.

Список литературы

1. Гребешков А. Ю. Стандарты и технологии управления сетями связи. М.: Эко-Трендз. 2003. 288 с.
2. Дымарский Я. С., Крутякова Н. П., Яновский Г. Г. «Управление сетями связи: принципы, протоколы, прикладные задачи». М.: Связь и бизнес. 2003. 382 с.
3. Кох Р., Яновский Г. Г. «Эволюция и конвергенция в электросвязи», М.: Радио и связь. 2001. 280 с.
4. Akehurst D. Model Translation: A UML-based specification technique and active implementation approach. Ph.D thesis, The University of Kent at Canterbury, December 2000. 206 p.
5. Akehurst D., Kent S. A relational approach to defining transformations in a metamodel // In proceedings of the 5th International Conference on UML. 2002. volume 2460. P. 243–258.
6. Czarnecki K., Helsen S. «Classification of Model Transformation Approaches» // In OOPSLA'03 Workshop on Generative Techniques in the Context of Model-Driven Architecture. Anaheim, California, USA. 2003.
7. Hausmann J. Metamodeling Relations—Relating metamodels // Metamodelling for MDA workshop. York, UK. November 2003.

8. Hausmann J., Kent S. Visualizing Model Mappings in UML // In Proceedings of ACM 2003 Symposium on Software Visualization (SOFTVIS 2003). 2003. P. 169–178.
9. ETSI EN 300 292, Telecommunications Management Network (TMN); Functional specification of call routing information management on the Operations System/Network Element (OS/NE) interface. August 1998. 118 p.
10. MODA-TEL Deliverable 3.4, MDA Foundations and Key Technologies. July 2004. 111 p.
11. MODA-TEL Deliverable 6.3, Practical results. October 2004. 35 p.
12. Object Management Group, Interworking Between CORBA and TMN Systems Specification, Version 1.0. OMG Document formal/00-08-01. August 2000. 298 p.
13. Object Management Group, Unified Modeling Language: Infrastructure, Version 2.0. OMG Document formal/05-07-05. March 2006. 218 p.

Работы автора по теме диссертации

1. Наганов М. В. Практический опыт промышленной реализации системы управления гетерогенной транспортной сетью // Системное программирование. Вып. 1: Сб. статей / Под ред. А.Н. Терехова, Д.Ю. Булычева. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2005. С. 115–130.
2. Наганов М. В. Автоматизация преобразования моделей при осуществлении интеграции систем управления телекоммуникациями // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 10. 2007. Вып. 1. С. 90–101.
3. Фоминых Н. Ф., Наганов М. В. Опыт проектирования и реализации единой системы управления для гетерогенной транспортной сети // Проблемы совершенствования и развития специальной связи и информации, предоставляемых государственным органам: Тез. докл. 4-й Всерос. науч. конф. — Орел, 2005.
4. Naganov M. Bridging Academia and the Private Sector in Legacy Telecommunications Management Systems Integration // Proc. of the IASTED conference on Communication Systems and Networks (CSN 2005), Benidorm, Spain.— ACTA Press, September 2005. — P. 117–122.
5. Naganov M. Towards Automatic Generation of Q Adaptors // Proc. of the IASTED Conference on Software Engineering (SE 2005), Innsbruck, Austria.— ACTA Press, February 2005. — P. 214–219.

Подписано к печати . .2007. Формат бумаги 60x84 1/16.
Бумага офсетная. Печать ризографическая.
Объем 1 усл. п.л. Тираж 100 экз. Заказ .
Отпечатано в отделе оперативной полиграфии НИИХ СПбГУ
с оригинал-макета заказчика.
198504, Санкт-Петербург, Старый Петергоф,
Университетский пр., 26.