

На правах рукописи

Шумский Леонид Дмитриевич

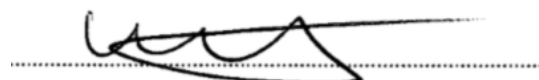
Методы и программные средства интеграции приложений с
использованием внешней шины.

Специальность 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей»

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Автор:



Москва – 2015

Работа выполнена в Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ».

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Вольфенгаген Вячеслав Эрнстович

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор кафедры медицинской информатики МГМСУ им. А.И. Евдокимова.
Лебедев Георгий Станиславович
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры “Управление разработкой программного обеспечения” НИУ «ВШЭ»
Зыков Сергей Викторович

Ведущая организация: Открытое Акционерное Общество «Концерн «Системпром»

Защита состоится “21” октября 2015 г. в 15 часов на заседании диссертационного совета Д 212.130.03 при Национальном исследовательском ядерном университете «МИФИ» по адресу: 115409, г. Москва, Каширское ш., 31.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ» и на сайте: <http://ods.mephi.ru>.

Просим принять участие в работе совета или прислать отзыв в двух экземплярах, заверенный печатью организации.

Автореферат разослан “__” _____ 2015 г.

Ученый секретарь диссертационного совета
Д 212.130.03, д.т.н., доцент

Леонова Н.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

В настоящей работе рассматриваются вопросы разработки и реализации программного обеспечения (ПО), решающего задачи интеграции корпоративных информационных систем (КИС) и приложений, а также методы и подходы, лежащие в основе такого ПО.

Актуальность темы исследований. В настоящее время в большинстве отраслей экономики существенно увеличивается число используемых на предприятиях готовых КИС и сторонних приложений. Например, согласно данным компании IDC российский рынок облачных и SaaS решений за последние пять лет вырос более чем в два раза и к 2016 году должен составить более 14 млн. долларов США. Помимо увеличения количества КИС, управляемых самостоятельно, предприятия активно передают на аутсорсинг выполнение части своих информационных задач. По прогнозам Gartner, к 2016 году мировой рынок ИТ аутсорсинга превысит объем 360 млн. долларов США. Российский рынок ИТ аутсорсинга также активно развивается. Все эти факторы требуют разработки методов и программных средств, решающих задачи интеграции данных и информационных процессов при условии минимального изменения исходного кода интегрируемых приложений или КИС.

За последнее время произошло качественное изменение программных средств, используемых для решения задач интеграции, связанное с тем, что предприятия используют разработки сторонних компаний, а не собственные. Это накладывает ограничения на способы коммуникации, форматы передаваемых данных, логику обработки и маршрутизации, надежность передачи блоков данных. Наиболее современным программным средством интеграции, удовлетворяющим этим ограничениям является внешняя интеграционная шина (интеграционная шина) класса Message Oriented Middleware (MOM). Собственные интеграционные шины создаются и развиваются такими компаниями как SAP, Oracle, IBM, Software AG и многими другими. Эти продукты предназначены для реализации интеграционных сценариев, включающих в себя небольшое количество заранее определенных шагов, однако используемые ими методы и модели не обеспечивают полноценного описания и решения задач интеграции в соответствии с бизнес-процессом с динамической структурой.

Решением задачи разработки методов и моделей, позволяющих адекватно представить интегрируемые корпоративные информационные системы, интеграционные процессы и предметную область интеграции занимались Атовмян И.О., Иванов М.А., Клименко С.В., Лебедев Г.С., Хетагуров Я.А., Чуканов В.О.

(корпоративные информационные системы), Калиниченко Л.А., Когаловский М.Р., Миронов А.М. (моделирование информационных процессов), Ступников С.А., Кузнецов С.Д. (автоматизированный синтез концептуальных моделей) и др. За рубежом решением аналогичных задач занимались A-W Scheer (событийные цепочки), J.L. Peterson, W.P. van der Aalst (применение сетей Петри), W. Fokkink, R.M Dijkman, J.A. Bergstra (классическая алгебра процессов), R. Milner, G. Boudol, D. Sangiorgi (теория моделирования процессов на исчислениях). В рамках организации ACM создана отдельная группа, занимающаяся разработкой методов описания взаимодействия – SIGDOC, в задачу которой входит исследование методов проектирования всех аспектов информационного взаимодействия. В настоящее время получены решения, позволяющие моделировать информационные процессы общего вида, но не позволяющие создавать достаточно детализированные модели интеграционных процессов, для разработки на их основе инструментальных средств реализации интеграционного взаимодействия. Разработанные подходы к моделированию информационных систем, их предметной области и их взаимодействия не связаны с подходами к моделированию информационных процессов. Их соединение может быть выполнено с использованием подхода аппликативного моделирования, разработанного Вольфенгагеном В.Э.

Анализ работ перечисленных авторов, рынка коммерческих реализаций ПО, предназначенного для решения задач интеграции и опыта российских и зарубежных предприятий, указывает на **новые, все еще не решенные задачи**:

- разработка метода моделирования предметной области интеграции, ориентированного на синтез моделей интегрируемых систем;
- создание методов моделирования, выполнения и контроля процессов в приложении к задаче отражения структуры и внутренней логики интеграционных процессов;
- реализация развитых инструментальных программных средств, основанных на принципах интеграции в соответствии с процессом, структура которого может изменяться в зависимости от передаваемых данных, предназначенных для комплексного моделирования процессов и предметной области интеграции.

В этой связи исследование и реализация методов и программных средств интеграции информационных систем и приложений, базирующихся на принципах и требованиях, применяемых к интеграционным шинам класса Message Oriented Middleware, применительно к решению задач интеграции в соответ-

ствии с бизнес-процессами динамической структуры является актуальной научной задачей.

Объектом исследования являются интеграционные технологии, процессы и их связь с концептуальной моделью предметной области интеграции.

Предметом исследования является язык конструктивного моделирования интеграционных процессов, их внутренней логики и их связей с предметной областью.

Метод исследования. При проведении исследований и разработок использовались методы моделирования процессов в соответствии с подходами аппликативных вычислительных систем, модели исчисления λ -конверсий, π -исчисления, семантики выполнения процессов, концептуального моделирования, темпоральной логики, объектно-ориентированного программирования, функционального программирования.

Цель диссертационной работы. Цель диссертационной работы заключается в исследовании, разработке и практической апробации методов моделирования и реализации интеграционных процессов, а также разработке на их основе программных средств интеграции информационных систем и приложений.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих **задач**:

- 1) Выполнение анализа существующих средств концептуального моделирования предметной области и определение общих категорий моделируемых объектов;
- 2) Выполнение анализа существующих средств моделирования информационных процессов и вычислений в предметно-ориентированных областях;
- 3) Разработка способа представления информации, позволяющего формулировать требования к настройкам и алгоритмам интеграционной шины;
- 4) Разработка необходимых моделей процессов, концептуальных моделей предметной области и моделей объектов контроля процесса;
- 5) Проектирование интеграционной шины, ее архитектуры и программных и пользовательских интерфейсов. Формулировка требований, которым должна удовлетворять реализация;
- 6) Программная реализация интеграционной шины, отвечающей поставленным требованиям;

- 7) Экспериментальная проверка работоспособности разработанных моделей, алгоритмов и программных средств.

Научная новизна работы. В настоящей работе предложены оригинальные методы моделирования различных аспектов интеграционного взаимодействия, ориентированные на увеличение выразительности и целостности построенных моделей. Новизну реализованных методов составляет концептуальное единство описания различных аспектов взаимодействия, достигнутое за счет использования метода аппликативного моделирования. В результате обобщения разработанных методов был разработан язык моделирования интеграционных процессов. В отличие от языка классического π -исчисления предлагается расширение, обеспечивающее переход к структурам высших порядков.

Основные научные результаты, полученные автором, состоят в следующем:

- 1) Разработаны оригинальные методы моделирования интеграционных процессов на основе теории π -исчисления, моделирования предметной области интеграции, сообщений и объектов контроля интеграционного процесса на основе типизированного λ -исчисления;
- 2) Разработан оригинальный метод представления и обработки сообщений интеграционного процесса и сущностей предметной области, связанных с сообщениями, позволяющий создавать референтные модели интеграционных процессов нового типа и анализировать на основе передаваемых сущностей соответствие выполняемого процесса его модели;
- 3) Разработан язык аппликативного моделирования интеграционных процессов. Для разработанного языка моделирования предложена семантика выполнения программ, реализующих интеграционные процессы, учитывающая все специфичные для таких процессов шаги и действия;
- 4) Разработана модульная архитектура интеграционной шины, спроектированы ее программные и пользовательские интерфейсы, определены требования к каждому из компонентов. Разработаны серверный компонент и клиент настройки и мониторинга интеграционной шины, позволяющие использовать созданное программное ядро и продемонстрировать его возможности и правила использования спроектированных интерфейсов.
- 5) Разработаны и исследованы программные средства реализации интеграционного взаимодействия, обеспечивающие выполнение всех ключевых

задач интеграционной шины, оформленные в виде программной библиотеки-ядра интеграционной шины;

Практическая значимость проведенных исследований определяется преимуществами использования структур высшего порядка при реализации интеграционного взаимодействия, в частности, для решения задач выполнения интеграционных процессов заранее неизвестной структуры, использующих динамическую физическую маршрутизацию. В результате использования семантики химической абстрактной машины для редукции термов интеграционных процессов, обеспечивается понятный и выразительный способ контроля и обработки ошибок, возникающих в ходе интеграционного взаимодействия. В свою очередь, разработанный язык моделирования и его семантика послужили основой для проектирования и программной реализации модульной интеграционной шины.

Разработанная интеграционная шина позволяет сократить сроки и стоимость реализации интеграционного взаимодействия, существенно упростить одновременное использования данных нескольких информационных систем учетного типа, упрощает автоматизацию бизнес-процессов предприятия без необходимости полного изменения его программных средств, при этом сравнительно проста в настройке и поддержке. Разработка предназначена для малых или средних предприятий, реализующих сложные бизнес-процессы, затрагивающие несколько информационных систем или передающих выполнение своих бизнес-процессов внешним организациям. Разработанная интеграционная шина может быть использована для:

- организации, автоматизации и контроля существующих процессов предприятия;
- реализации сложных проверок данных, относящихся к зависимостям между объектами, форматам данных, особенностям интегрируемых систем и пр.;
- передачи выполнения бизнес-процессов предприятия или их частей внешним организациям без потери контроля над этими процессами или доступа к их данным.

Основные результаты, выносимые на защиту:

- 1) Методы моделирования предметной области интеграции, объектов контроля интеграции, а также структуры и внутренней логики интеграционных процессов, оснащенные языковыми средствами;

- 2) Семантика выполнения программ, реализующих интеграционные процессы, учитывающая все специфичные для таких процессов шаги и действия, написанных на разработанном языке;
- 3) Программный инструмент для организации интеграционного взаимодействия, реализованный в виде внешней интеграционной шины, основанной на системе моделирования и выполнения интеграционных процессов в предметной области, а также модульная архитектура такой шины.

Апробация работы. Теоретические и практические результаты работы доложены на следующих научных конференциях:

- Всероссийская объединенная научная конференция "Интернет и современное общество" (IMS 2011) (Санкт-Петербург);
- 17-ая Байкальская всероссийская конференция "Информационные и математические технологии в науке и управлении". (Иркутск 2012);
- 15-th and 16-th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS) (2013 Angers, 2014 Lisbon);
- Научно-практическая выставка Falling Walls Lab (Москва/Берлин 2013);
- Third International Conference Society for Knowledge Organization (SKO) (2013 Marrakech)
- International Conference on Science & Engineering in Mathematics, Chemistry and Physics (ScieTech 2014) Jakarta 2014
- 11-th International Conference on e-Business ICE-B (Вена, 2014)
- 2-ая и 3-я Международная конференция Аппликативные Вычислительные Системы (2010, 2012) (Москва)
- Научные сессии МИФИ 2012, 2013, 2014

По результатам выполненных исследований опубликовано 21 печатная работа, в том числе 7 работ, проиндексированных в базе Scopus и 3 работы в журналах, включенных ВАК РФ в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий.

Результаты работы внедрены в компании ООО «БерингПойнт» при выполнении работ для государственной корпорации «Росатом», а также в разработках компании ООО «Тайлип» что подтверждается соответствующими актами.

Результаты внедрения разработанных методологий и подходов позволяют сделать вывод о достоверности и обоснованности научных и практических результатов работы.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и шести приложений. Общий объем основного текста, без учета приложений – 167 страниц, с учетом приложений – 201 страница. Диссертация содержит 38 рисунков и 26 таблиц. Список литературы включает 137 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обосновывается актуальность работы, определяются цели и задачи работы.

Первая глава

В первой главе работы произведен анализ предметных областей, требующих интеграции приложений, рассматриваются и сравниваются основные подходы к интеграции. Рассмотрены существующие подходы к моделированию процессов и к моделированию обработки данных. Произведена оценка и сравнение функциональных возможностей существующих интеграционных шин. Проанализирован ряд технологий, обеспечивающих техническое взаимодействие приложений и программных систем, на основании этого анализа производится ранжирование интеграционных технологий, с точки зрения применимости в интеграционной шине.

Как показывают результаты проведенного анализа, наиболее перспективным подходом к интеграции приложений является подход использования интеграционной шины. Такое приложение позволяет объединять наибольшее количество приложений и систем с минимальными изменениями в этих системах. Анализ средств концептуального моделирования предметной области позволил выделить основные категории моделирования, которые встречаются в большинстве средств моделирования. Используя эти категории, может быть построена концептуальная модель предметной области интеграции в полуавтоматическом режиме, на основании моделей, предоставляемых непосредственными участниками интеграционных процессов. Такая модель, с одной стороны, позволит организовать проверку проходящих через шину потоков данных, с другой стороны, за счет автоматизации построения, позволит упростить задачу обновления модели под требования одной из систем.

Анализ средств моделирования вычислений и процессов позволил сделать вывод, что для моделирования интеграционных процессов и интеграционной логики оправданным будет применения аппликативного подхода. Этот вывод был получен с помощью детального изучения средств моделирования и оценки их с точки зрения требований к интеграционной шине. На основании этого было принято решение использовать для моделирования вычислений, составляющих интеграционную логику, типизированное λ -исчисление, а для моделирования интеграционных процессов π -исчисление. Проведенный анализ наглядно показывает, что такие модели будут обладать необходимой выразительностью и хорошо подходят для решения поставленных задач.

Вторая глава

Вторая глава содержит результаты разработки средства аппликативного моделирования интеграционных процессов, которые включают в себя подход к представлению информации, средства аппликативного моделирования объектов предметной области и объектов контроля и расширение π -исчисления.

В работе предлагается трехуровневое представление информации, определяются транспортный уровень, уровень хранения и концептуальный уровень информации. Каждый из уровней характеризуется возможным набором метаданных и способом представления данных.

Разработанное средство моделирования объектов концептуальной модели заключается в построении промежуточного отображения, содержащего все ключевые категории концептуального моделирования, определенные на этапе анализа, в которое транслируются модели предметной области, предоставляемые участниками интеграционных процессов. Таким промежуточным представлением является корректно построенные термины λ -исчисления, отражающие все существенные характеристики, содержащиеся в исходных моделях. Предлагается моделирование следующих категорий объектов: индивид, свойство (характеристика) индивида, класс, отношение, закономерность.

Общее строение аппликативной модели для описания концептуальной модели предметной области определено следующим выражением:

$$\mathcal{M} = \langle O, T, cO, cT, C \rangle$$

Где, O – набор объектов модели, T – набор типов модели, cO – набор конструкторов объектов, cT – конструктор типов, C – набор контекстов модели. Объектами модели являются индивиды, закономерности и свойства. Типами модели являются домены данных, простые классы и отношения. Индивидуальные

объекты моделируются как термы исчисления с типом $i = \langle i, c, a \rangle$ и содержатся в отдельном контексте, для которого определены операции получения индивида по его идентификатору $\Gamma_i, i_1 \in \Lambda_{\rightarrow}^{Ch}(i) \Rightarrow \|\Gamma_i\|_{i_1} = a \in \Lambda_{\rightarrow}^{Ch}(i)$ и функция получения идентификатора $\Gamma_i, a_1 \in \Delta_{\rightarrow}^i \Rightarrow I(a_1) = i_1 \mid \|\Gamma_i\|_{i_1} = a_1$. Свойства моделируются как независимые объекты типа $\mathcal{P}^D = [D \times i^n]$. Свойство однозначно идентифицируется в модели по своему целевому домену и порядку. Для свойств определены операции получения и установки значения свойства для индивида.

Для моделирования объектов контроля был использован аналогичный подход. В качестве объектов контроля используются состояние, событие и причинно-следственные связи между ними. Состояние является объектом контроля свойств объектов, событие контролирует происходящие действия процесса (выполнения шагов редукции процесса), а причинно-следственные связи позволяют отслеживать происходящие в процессах изменения с помощью сложных зависимостей. Под состоянием будет пониматься терм, типа

$$\mathcal{T}_S = (i \rightarrow \beta) \rightarrow \mathcal{P}^D \rightarrow D \rightarrow (\tau, \tau) \rightarrow \beta; S = (i \rightarrow \beta) \rightarrow \mathcal{P}^D \rightarrow D$$

Данная запись означает, что состояние – это терм, получающий на вход предикатную функцию, определяющую индивидуальный объект, для которого должно быть проверено состояние, а также свойство и его ожидаемое значение. Под событием будет пониматься терм, типа:

$$\mathcal{T}_E = (i \rightarrow i) \rightarrow \beta \rightarrow (\tau, \tau) \rightarrow \beta; E = (i \rightarrow i) \rightarrow \beta$$

Событие проверяет результат выполнение действия $i \rightarrow i$ в интервале времени и сравнивает его с ожидаемым. Правила причинно-следственной связи определяются как предикаты, истинность которых соответствует тому, выполнялась связь в рамках данного процесса или нет.

Для моделирования интеграционных процессов будет использоваться язык на основе π -исчисления, грамматика которого приведена в таблице 1.

$\bar{x}y.P \mid x(y).P \mid \mathbf{0} \mid (P \mid Q) \mid !P \mid (y)P$	Исходные понятия π -исчисления. Передача и прием данных, пустой процесс, параллельное выполнения, репликация, создание локальной ссылки.
$x(\hat{y}).P \mid \bar{x}\hat{y}.P \mid (\hat{y})P$	Полиадическое расширение исчисления
$[\Lambda].P$	Кодирование термов лямбда исчисления
$[\mid x = P \mid]$	Связь подпроцесса с каналом. $[\mid x = P \mid] ::= !x(\hat{w}).P$
$\bar{\Delta}_\beta[\mid \alpha ::= * \mid].P$	Передача типа в контекст по его маркеру
$\widehat{\beta}_1 \dots \widehat{\beta}_n[\mid \Lambda \mid]_{\Delta(\alpha_1 = \widehat{\beta}_1 \dots \alpha_n = \widehat{\beta}_n)} a.P$	Кодирование термина исчисления, использующего типы из контекста типов

$\overline{c_{\#}}\langle\hat{x}, \hat{y}\rangle.P \mid c_{\#}\langle\hat{x}, \hat{y}\rangle.P$	Передача и получение данных в синхронном режиме
$if\ x = y\ then\ P\ else\ Q$	Условное выполнение процесса
$P + Q$	Дизъюнкция процесса

Таблица 1 Сводная таблица грамматики языка моделирования интеграционных процессов

Целью данных расширений является обеспечение поддержки интеграционными процессами на уровне моделей всех необходимых функциональных возможностей. Для каждого расширения грамматики построения термов исчисления предоставляется соответствующее расширение правил используемой абстрактной машины выполнения процесса. Были разработаны оригинальные правила кодирования термов λ -исчисления в моделях процесса, что обусловлено необходимостью непосредственно встраивать в модели процесса функции, работающие с объектами предметной области или объекты контроля. Разработанные правила кодирования приведены в таблице 2. Они позволяют ставить в соответствие термам λ -исчисления термы π -исчисления, которые могут быть непосредственно использованы при разработке модели как при получении аргументов из процесса, так при передаче в процесс результата вычисления.

$[[x]]a ::= \bar{a}x$	RF1
$[[\lambda x.M]]a ::= (f)(r)(\bar{a}\langle f, r \rangle \mid [[f = [[M]]r]])$	RF2
$[[MN]]a ::= (f)(i)(o) \left([[M]]f \mid f(i, o). (b)(r)(w) ([[N]]b \mid b(w). \bar{i}w.o(r). \bar{a}r) \right)$	RF3
$(\Delta, x: \alpha)([[x]]) ::= \alpha$	RF4
$(\Delta, x: \alpha_1, M: \alpha_2)([[\lambda x.M]]) ::= \langle \uparrow [(\Delta)(x)], (\Delta)([[\alpha_1 \rightarrow \alpha_2]]) \rangle$	RF5
$(\Delta, M: [[\alpha_1 \rightarrow \alpha_2]], N: \alpha_1)([[MN]]) ::= \alpha_2$	RF6

Таблица 2 Правила кодирования термов λ -исчисления

Последние два правила описывают кодирование конструкторов типов и перегруженных термов.

Третья глава

Данная глава содержит описание сформулированных требований к интеграционной шине и разработку на их основе модульной архитектуры интеграционной шины. Приведены результаты проектирования модулей системы и графических пользовательских интерфейсов.

Требования, сформулированные к интеграционной шине должны не зафиксировать полностью список выполняемых задач, а определить ключевые характеристики и варианты использования, чтобы упростить проверку и тестирование готового продукта. Классически, к интеграционной шине класса MOM

(Message Oriented Middleware), к которому относится разрабатываемая шина, предъявляются следующие требования:

- **Connectivity:** наличие средств взаимодействия с внешними системами;
- **Routing:** наличие механизмов маршрутизации сообщений;
- **Transformation:** наличие средств изменения сообщений в интеграционной шине;
- **Reliable messaging:** наличие средств гарантированной доставки;
- **Process automation:** наличие средств реализации интеграционных процессов;

Данный список раскрывается и дополняется, в соответствии со спецификой используемых формальных моделей.

На основании сформулированных требований были определены ключевые архитектурные элементы (рисунок 1) и разработана архитектура, отличающаяся высокой степенью модульности и независимости реализуемых компонентов, позволяющая легко адаптировать разработку и упрощающая поддержку.



Рисунок 1 Архитектурные элементы модульной интеграционной шины

Кроме того, разработанная архитектура выносит на максимально высокий уровень все компоненты, использующие сторонние разработки и известные стандарты, снижая зависимость приложения от них и упрощая адаптацию интеграционной шины к их изменениям.

Для реализации была выбрана модульная архитектура. Основными пакетами в составе интеграционной шины являются пакеты Core, Model и GUI. Пакет Core содержит реализацию семантики и грамматики языка моделирования интеграционных процессов, реализацию механизма управления ресурсами и движок адаптеров. Механизм управления ресурсами обеспечивает гарантированную доставку сообщений, обрабатываемых шиной, с помощью механизмов хранения передаваемых данных и меток для них. Движок адаптеров содержит реализацию основных интеграционных технологий и связанных с ними настроек шины, а также содержит реализацию механизма пользовательского расширения множества адаптеров. В рамках пакета Model реализуется управление канонической моделью предметной области и правилами трансформаций для сообщений. Графический интерфейс реализован с помощью технологии JavaFX и организован в соответствии с принципами MVC. Пакет GUI содержит реализацию классов-контроллеров и привязки к модели, описываемой пакетом Core.

В соответствии со сформулированными требованиями и реализованной функциональностью определен набор необходимых редакторов и экранных форм интеграционной шины. Каждый объект интерфейс определяется одним или несколькими функциональными требованиями и реализован как независимый файл fxml.

Четвертая глава

В четвертой главе систематизированы и обобщены результаты разработки архитектурно-интерфейсных решений реализованной модульной интеграционной шины и ее основных компонентов. Описаны типовые сценарии работы пользователей интеграционной шины. Рассмотрены основные компоненты программного обеспечения и особенности их реализации на базе выбранных инструментальных средств разработки.

Разработанные методы и подходы к моделированию различных аспектов интеграционного взаимодействия были использованы в компании ООО Берингпойнт, при выполнении проектов для Государственной корпорации по атомной энергетике «Росатом». Использовались предложенные подходы к построению канонической модели данных в интеграционной шине, приоритезации интеграционных адаптеров и к построению интеграционных процессов.

Для разработанных интеграционных процессов были настроены объекты контроля выполнения, позволяющие оперативно реагировать на возникающие ошибки. Использование предложенных подходов позволило существенно сократить объем разработок в конечных системах, упростило задачи использования и поддержки конечных систем и самой шины.

Экспериментальная проверка реализованных компонентов интеграционной шины проводилась в два этапа. Технические требования были проверены нагрузочным тестированием на открытых интеграционных данных. Результаты проверки подтверждают соответствие разработанной интеграционной шины поставленным требованиям. Сформулированные функциональные требования к интеграционной шине были проверены набором тестов, опросом специалистов в области интеграции и использованием разработанной интеграционной шины в рамках интеграционной платформы Tulip. В рамках данной интеграционной платформы была использована разработанная библиотека-ядро интеграционной шины, а также модифицированные клиент настройки и серверный компонент.

Использование разработанной библиотеки-ядра интеграционной шины в облачной платформе интеграции позволило реализовать средства выполнения процессов, основанных на обмене сообщениями между подключенными системами. Во-первых, это позволило решить задачу динамического создания новых коннекторов (программных объектов, содержащих правила подключения к интеграционной платформе и сериализации/десериализации данных) для подключения систем с помощью моделирования коннектора как интеграционного процесса определенной на рисунке 2 конфигурации.

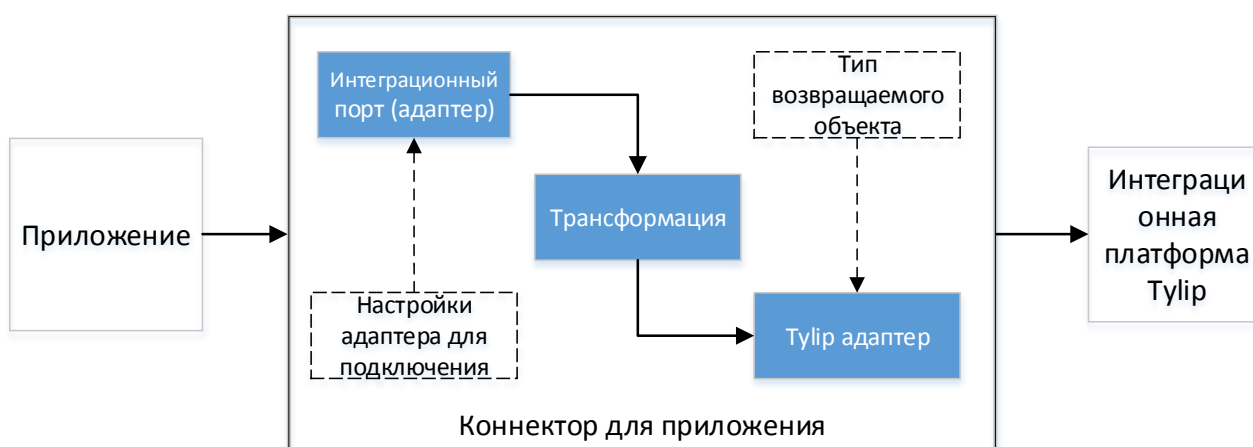


Рисунок 2 Определение нового коннектора как интеграционного процесса

Во-вторых, использование встроенной сервисной интеграционной шины позволило пользователям создавать модели интеграционных процессов, описы-

вающих сложные потоки данных между системами, и настраивать в соответствии с ними интеграционное взаимодействие.

Наконец, внедрение результатов диссертационной работы позволило создавать и использовать референтные модели интеграционных процессов – типовые модели процесса, в которых учитываются все шаги, а также типы объектов предметной области, вовлеченные в данный процесс. Использование процесса пользователем заключается в подключении конкретных систем, поддерживающих такие объекты. Референтные модели интеграционных процессов могут быть подготовлены экспертами, сохранены в базе процессов Tuip и подключены пользователем, имеющим доступ к базе процессов.

В заключении сформулированы основные результаты диссертации.

В приложениях приведены копии актов о внедрении, список сервисов серверного компонента интеграционной шины, спецификация модуля создания и выполнения интеграционных процессов, код реализации химической абстрактной машины, запрос на создание таблиц БД серверного компонента и пример сериализованного объекта процесса.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В настоящей работе решена задача исследования и реализации методов и программных средств интеграции приложений с использованием внешней шины. Основные результаты, полученные в ходе работы, сводятся к следующему:

1. На основе сравнительного анализа современных программных средств, решающих задачи интеграции информационных систем и приложений, распространенных коммерческих интеграционных шин класса Middle-Oriented-Middleware и существующих технологий передачи данных, были определены архитектурные и интерфейсные аспекты, которые должны быть учтены при разработке. Проведенный анализ требований к средству моделирования предметной области интеграции и современных средств концептуального моделирования позволил выявить список необходимых категорий объектов. На основе анализа средств моделирования процессов и вычислений было показано, что для моделирования интеграционных процессов и интеграционной логики наилучшим образом подходят подходы π -исчисления и λ -исчисления, соответственно. По результатам анализа сформулирована постановка задачи проектирования и реализации модульной интеграционной шины.

2. Предложены аппликативные методы моделирования концептуальной модели предметной области и контроля хода выполнения процесса. Эти методы

специализированы на решении задач интеграции и основаны на применении погруженного высокоуровневого типизированного λ -исчисления. Для связи разработанных моделей с настройками интеграционной шины предложена трехуровневая модель представления информации.

3. Разработаны методы моделирования структуры и внутренней логики интеграционных процессов, основанные на расширении π -исчисления, позволяющие моделировать ход выполнения процесса, функции составляющие интеграционную логику данного процесса, а также вовлеченные в интеграционный процесс объекты предметной области. На основании обобщения и консолидации разработанных методов был разработан язык моделирования интеграционных процессов. Для данного языка на основе модели химической абстрактной машины, разработана семантика выполнения интеграционных процессов.

4. По результатам анализа актуальных требований к реализации интеграционного взаимодействия, существующих коммерческих интеграционных шин и специфики разработанных средств моделирования интеграционных процессов, выделены основные модули и программные компоненты интеграционной шины. В соответствии с полученными результатами разработана модульная архитектура интеграционной шины, включающая компоненты для решения задач, обоснованных требованиями к интеграционным шинам класса MOM.

5. В соответствии с разработанным языком моделирования интеграционных процессов и ранее обоснованными архитектурно-интерфейсными решениями было выполнено проектирование модулей разрабатываемой интеграционной шины, включая библиотеку-ядро, серверный компонент и клиент настройки и мониторинга ИШ и его пользовательские интерфейсы. В частности, спроектирован компонент, реализующий грамматику и семантику предложенного расширения π -исчисления.

6. Применение разработанных методов и средств моделирования предметной области интеграции, интеграционных процессов и объектов их контроля, а также опытная эксплуатация разработанных программных компонентов подтвердили справедливость основных научно-практических результатов данной диссертационной работы.

7. Экспериментальная проверка и тестирование разработанных программных средств подтвердило их соответствие сформулированным требованиям.

Заключительным результатом настоящей диссертационной работы явилась полномасштабная реализация программных средств интеграции приложений, скомпонованных в модульную интеграционную шину и внедрение

теоретических результатов в рамках проектов ГК Росатом, внедрение разработанных программных средств при реализации интеграционной платформы Turip, что подтверждается соответствующими актами о внедрении. Результаты работы показали, что поставленную цель разработки и практической апробации методов моделирования и реализации интеграционных процессов можно считать достигнутой. Опыт практического внедрения свидетельствует об актуальности, оригинальности и продуктивности подхода в целом и отдельных программных средств, и решений.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в журналах из перечня ВАК Российской Федерации:

- Климов В. В., Шапкин П. А., Климов В. П., Шумский Л. Д. Подход к построению интерфейса композиции веб-сервисов на основе семантических описаний // Вестник Воронежского государственного технического университета. Т. 6. — Воронеж: ВГТУ, 2010. — № 12. — С. 152–157.
- Рословцев В.В., Шумский Л.Д. Декомпозиция и интеграция объектов в аппликативной среде на основе неоднородной сети. // Информационные технологии в проектировании и производстве, №3 (151), 2013. – с. 34-41.
- Громов А.И., Шумский Л.Д., Шапкин П.А., Казанцев Н.С. Семантическая разметка бизнес процессов в интеграционной автоматизации // Информационные технологии в проектировании и производстве, №1 (153), 2014. – с. 32-39

Публикации, представленные в международной базе цитирования Scopus:

- Viacheslav Wolfengagen, Vladimir Roslovtsev, Leonid Shumsky, et. al. Applicative Approach to Information Processes Modeling - Towards a Constructive Information Theory // In the proceedings of 15th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2013). - 2013. - С. 323 – 328, DOI: 10.5220/0004563303230328.
- Roslovtsev Vladimir, Shumsky Leonid, Kazantsev Nikolay et al. A synthetic approach to building a canonical model of subject areas in the integration bus // In the proceedings of ISKO-Maghreb, 2013 3rd International Symposium (ISKO 2013) : IEEE Xplore : Marrakech, Morocco - 2013 - С. 1 - 7; DOI 10.1109/ISKO-Maghreb.2013.6728118.
- L.D. Shumsky, V.V. Roslovtsev, V.E. Wolfengagen A compositional approach to building applications in a computational environment // Journal of Physics:

Conference Series. - 2014. - Vol. 495. - 1. - P. 012050.; DOI 10.1088/1742-6596/495/1/012050.

- Alexander Gromoff, Vladimir Roslovtsev, Leonid Shumsky, Nikolay Kazantsev. Multilevel Real-time Business Architecture and Process Simulation // Advances in Intelligent Systems / WIT Transactions on Information and Communication Technologies. – 2014. – Vol. 53. – С. 109-121, DOI 10.2495/Intelsys130121.
- Vladimir Roslovtsev, Leonid Shumsky, Viacheslav Wolfengagen. Processes Construction and π -calculus based Execution and Tracing // In the proceedings of 16th International Conference on Enterprise Information Systems (ICEIS 2014). - 2014. - С. 448 – 453, DOI: 10.5220/0004972304480453.
- Pavel Shapkin, Leonid Shumsky, Viacheslav Wolfengagen. Usage of Semantic Transformations in B2B Integration Solutions // In Proceedings of the 11th International Conference on e-Business (ICE-B-2014). - 2014. - С. 152-157, DOI: 10.5220/0005119901520157.
- Pavel Shapkin, Leonid Shumsky, Nikolay Kazantsev, Alexander Gromoff. Automatic Business Process Model Assembly on the Basis of Subject-Oriented Semantic Process Mark-up // In Proceedings of the 11th International Conference on e-Business (ICE-B-2014). - 2014. - С. 158-164, DOI: 10.5220/0005120001580164.

Публикации в других изданиях:

- Шумский Л.Д. Разработка системы исследования динамики данных и метаданных для модели реляционного типа // СПб. Вестник СПГУТД. - 2011. - №2 (20010). - С. 28–32..
- Шумский Л.Д. Применение типизированного лямбда исчисления для описания темпоральной логики первого порядка // Информационные и математические технологии в науке и управлении. - Иркутск: ИСЭМ СО РАН, 2012. - С. 166-171. ISBN 978-5-93908-106-1.
- Шумский Л.Д. Подход к представлению семантической информации применительно к задачам интеграции // Наука и образование в XXI веке. - Тамбов: ТРОО "Бизнес-Наука-Общество", 2012. - С. 142-177. ISBN 978-5-4343-0178-7 (Часть 5) УДК 001.1 ББК 60.
- Шумский Л.Д. Разработка единого средства оперирования концептуальными моделями // Перспективы развития науки и образования. - Тамбов: ТРОО "Бизнес-Наука-Общество", 2012.

- Шумский Л.Д., Рословцев В.В. Аппликативные методы декомпозиции вычислительных процессов // Аппликативные вычислительные системы: Труды 3-й международной конференции по аппликативным вычислительным системам (ABC 2012). – М.: Институт Актуального образования «ЮрИнфоР-МГУ», 26-28 ноября 2012 г. - С. 224-233.
- Шумский Л.Д., Рословцев В.В. Разработка интеграционной шины для среды распределения вычислительных процессов // Аппликативные вычислительные системы: Труды 3-й международной конференции по аппликативным вычислительным системам (ABC'2012). - М.: Институт Актуального образования «ЮрИнфоР-МГУ», 26-28 ноября 2012 г. - С. 258-266
- Shumsky L.D. Level based information theory // Аппликативные вычислительные системы: Труды 3-й международной конференции по аппликативным вычислительным системам (ABC'2012). - М.: Институт Актуального образования «ЮрИнфоР-МГУ», 26-28 ноября 2012 г. - С. 277-282.
- Шумский Л.Д. Подход к построению универсального адаптера интеграционной шины // Сборник научных трудов Sworld. - Одесса: КУПРИЕНКО, 2013.
- Шумский Л.Д. Средство объединения неоднородных концептуальных моделей // Сборник научных трудов Sworld. - Одесса: КУПРИЕНКО, 2013.
- Шумский Л.Д., Беляев Е.А Облачный сервис автоматизированной сборки и выполнения бизнес-процессов // 17-я Международная телекоммуникационная конференция молодых ученых и студентов «Молодежь и наука». Тезисы докладов. - М.: НИЯУ МИФИ, 2014.
- Шумский Л.Д. Семантическая трассировка информационных процессов // Программные системы и вычислительные методы. — 2014. - № 1. - С.80-92. DOI: 10.7256/2305-6061.2014.1.11362