

СООТНОШЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ И ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Ю.П. Липунцов ¹, В.А. Серебряков ²

1 Экономический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова

2 ВЦ им. А.А. Дородницына РАН

1. Введение

Ценность информационной системы определяется двумя составляющими: информационной наполненностью и интеллектуальностью обработки данных. Характеристики данных: количество, их качество определяется информационной моделью. Интеллектуальность системы определяют применяемые методы обработки данных.

В традиционных экономических системах, ориентированных на решение локальных задач, информационные и математические модели соединены в коде приложения. С ростом масштаба систем эти две категории моделей разделяются: информационная модель в большей степени ориентирована на интеграцию данных, получаемых от внешних источников, а экономико-математическая модель должна содержать аналитические инструменты для обработки данных не только локальными компонентами, но и сервисами внешних поставщиков.

2. Модели информационной системы

Информационные системы создаются для сбора, хранения и обработки данных. Методы обработки данных определяются на этапе математического моделирования. Концепция математического моделирования как "интеллектуального ядра" информатизации представлено в работах Самарского А.А. (Самарский, и др., 2001). В других работах по математическому моделированию приведено деление формальных моделей на математические и информационные (Трусков, 2004, стр. 32). Рассмотрим модели экономических информационных систем как совокупность двух составляющих: информационная и экономико-математическая модель.

В работах по изучению информации (Колин, 2014) реальный мир описывается как совокупность двух составляющих: материи и информации. При воспроизведении реального мира в информационной системе также создается две категории моделей: информационная модель отражает информацию реального мира, а математическая больше относится к описанию материальных объектов и их поведения.

Развитие вычислительной техники позволило совершенствовать обработку данных. Становление математического моделирования произошло в период развития космической, ядерной тематики. В условиях информационного

общества основным объектом моделирования становятся социальные - экономические явления, совокупность отношений, возникающих в ходе хозяйственной деятельности.

Экономические системы относятся к классу сложно формализуемых объектов, в которых данные выступают не только объектом обработки, но и основным критерием адекватности модели. Такие характеристики экономической системы как постоянная изменчивость, адаптация, рефлексия требуют непрерывного совершенствования системы и информационной модели. Математическое моделирование предлагает представление, которое требует постоянной проверки на реальных данных. Сочетание вероятностных методов с аналитическими сыграло существенную роль в развитии технологических систем.

Современные информационные системы, соединяющие разные категории участников, является сложными системами. В системной инженерии базовой является V диаграмма, которая представляет проект в виде трех стадий: декомпозиция, реализация и интеграция. Декомпозиция включает описательную модель, дизайн высокого уровня, детальный дизайн. Далее следует стадия реализации компонент, и затем интеграция компонент в модули, а модулей в систему. Рассмотрим с этих позиций информационную и экономико-математическую модели.

3. Информационное моделирование

Основным элементом информационной модели является модель отражения предметной области в слое данных. Информационную модель рассмотрим как совокупность собственной модели предметной области и модели интеграции данных других систем.

В моделировании предметной области обычно выделяют три уровня абстракции информационных моделей: концептуальное, логическое и физическое моделирование.

Концептуальная информационная модель предметной области, как правило, является описательной моделью, составленной посредством терминов и понятий проблемной области.

В качестве вариантов представления **логических моделей** рассмотрим модели бизнес-архитектуры, коммуникативных актов, документов, сервисов и бизнес процессов.

В основе структурного представления деятельности в формате *бизнес-архитектуры* лежит управленческое мышление, включающее формальные и неформальные правила организации. Элементами такой модели могут быть организационный и культурный контекст деятельности.

Организация как совокупность *коммуникаций* описана в онтологической модели предприятия Ян Дитца (Dietz, 2006). Организация рассматривается как совокупность координационной и операционной деятельности, значительная часть которых реализуется посредством коммуникативных актов.

Коммуникации являются объектом исследования рабочей группы ВМІ ОМГ и других работах.

Парадигмой ряда проектов является представление деятельности организации как совокупности *документов* и их потоков. В документах фиксируется значительная часть деятельности предприятия: они являются носителями корпоративных знаний, описывают управленческую деятельность, определяют технологические процессы предприятия, включают руководства для информационных систем и т.д. В ряде проектов документ рассматривается как инструмент реализации логики деятельности.

Более формальный взгляд рассматривает организацию как совокупность *сервисов* для внешних пользователей и внутри предприятия. Сервисная модель воспринимает поставщика сервиса как «черный ящик», для которого описываются функции и внешнее поведение.

Наиболее детально логику деятельности отражает идеология *бизнес процессов*. На уровне бизнес-процессов каждая компонента рассматривается как «белый ящик», содержание которого представлено детально на уровне отдельных элементов.

Совокупность информационных моделей логического уровня обеспечивают конкретно ориентированный, но платформу-независимый взгляд на информацию с позиций логических структур данных. Схемы логического уровня на поздних стадиях проектирования воплощаются в логическую модель данных.

Физическая модель представляет содержание логической модели в формате базы данных. Основным вариантом **реализации** является создание реляционной модели. В реляционных моделях объекты, транзакции и прочие элементы реального мира отражаются в сущностях, и детализируются в атрибутах. Дополнительными элементами модели данных являются связи и их характеристики, которые определяют типы пересечений множеств элементов сущностей.

С развитием всемирной паутины WWW разработаны технологии описания ресурсов в формате *RDF (Resource Description Framework)*, который позволяет организовать хранение больших объемов данных в универсальном формате. С использованием этой модели данных создаются такие классы приложений как википедии, социальные сети и прочие масштабные решения в среде веб.

Новой реальностью в области данных становится *Большие данные* (Big Data), возникающие вследствие индустриализации поставки данных от традиционных поставщиков данных, а также от умных устройств, снабженных датчиками, сенсорами и интерфейсами для коммуникаций.

Современные приложения предполагают **интеграцию** на уровне данных.

Интеграция в рамках предприятия реализуется по модели мастер данных, данных о базовых информационных объектах. На основе мастер

данных организуется взаимодействие между системами, а также управление последовательностью выполнения сервисов.

В *полу-контролируемой* среде взаимодействие может быть разным по уровню интеллектуальности. OMG (OMG, 2011) рассматривает создание *технологической инфраструктуры*, использование *единых форматов данных* и *семантические методы*.

Обмен данными посредством технологической инфраструктуры предполагает создание сервисов для обмена. В этом варианте возможно подключение новых систем, ограничением является возрастание сложности в случае роста количества сервисов. Этот тип модели реализован в СМЭВ 2.0. (Минкомсвязь РФ)

Слой данных имеет определяющее значение при реализации метода *форматов данных*. В моделях этого класса выполняется стандартизация метаданных. Эти модели обмена реализованы в National Information Exchange Model (OJP), Statistical Data and Metadata Exchange (SDMX) (Statistical Working Group) и других проектах.

Семантическая модель предполагает передачу смысла при отражении реального мира в его символическое описание. На уровне данных семантика обеспечивается двумя механизмами: присвоения имен и однозначная идентификация объектов. Модели этого класса используют стандартизированные словари и единые идентификаторы для распределенной среды. На семантические методы опираются архитектурные модели обмена государственными данными Евросоюза (European Interoperability Reference Architecture) (ISA), стандарт UPDM (OMG UPDM).

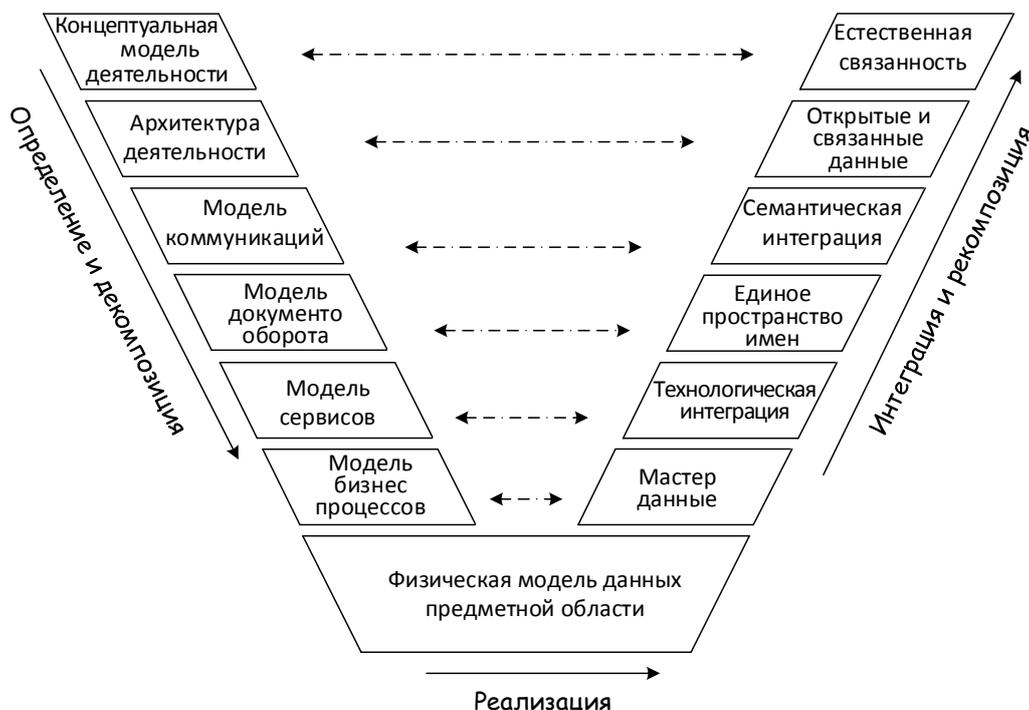


Рисунок 1. V модель информационного моделирования

Вариантом повышения информационного наполнения являются *открытые связанные данные*. Публикация накопленных данных в машиночитаемом формате позволяет повторно использовать эти данные, создавать приложения на открытых данных. Приложения на открытых данных используются словари и спецификации консорциума W3C, а механизмом связывания данных выступают открытые реестры, такие как Opencorporates, Legal Entity Identifier и другие.

V диаграмма информационной модели приведена на рис.1

4. Экономико-математическое моделирование

Для выделения стадии разработки экономико-математической модели воспользуемся общей теорией систем (Месарович, и др., 1978), которая предполагает восемь стадий: лингвистическая, теоретико-множественная абстрактно-алгебраическая, топологическая, логико-математическая, теоретико-информационная, динамическая и эвристическая. Первые пять уровней будут относиться к **декомпозиции**, теоретико-информационная к **реализации**, а последние две к **интеграции**.

На верхнем уровне определяется каркас предметной области и ее границы. Модель *лингвистического* уровня описывает систему как совокупность объектов исследования и отношений между ними. Макроэкономическая модель этого уровня включает такие объекты, как государство, фирма, домохозяйство, рынок товаров и услуг, финансовые рынки и т.д., а отношения между ними описываются понятиями доход, налоги, потребление, сбережения, и т.д. Аналогичные модели строятся и для микроуровня (Грачева, и др., 2013).

На *теоретико-множественном* уровне абстракции описываются формализация элементов отдельной системы, их иерархия, определяется факт наличия связи между элементами, но не описывается ее тип. Примером из макроэкономики является совокупность индикаторов: валовый внутренний продукт, чистый внутренний продукт, национальный доход, и т.д.; на уровне предприятия: доход – затраты - прибыль – распределение и т.д.

На *абстрактно-алгебраическом* уровне связи элементов описываются посредством функций, параметров и прочих артефактов. Путем обследования реального объекта выявляются его существенные характеристики, строится содержательная модель, а на ее основе создается математическая модель. В условиях, когда информационная система представляет собой совокупность распределенных ресурсов, на этом уровне абстракции закладываются основы для интеграции отдельных вычислительных компонент для обработки данных полученных от компонент уровнем ниже.

Топологические модели рассматривают расположение экономических субъектов в пространстве. Примерами топологических задач могут быть модели «линейного города» и «кругового города», т.е. модели пространственной дифференциации рынка «на линии» и «на окружности».

Детальное описание функций и обработка данных с использованием математического аппарата рассматривается на *логико-математическом уровне*. На этом уровне для моделируемого объекта создается математический объект. В соответствии с экономическим явлениям ставится формальный математический объект, описанный на языке математики, а его исследование проводится с использованием тех или иных математических методов. Математические модели разделяются на аналитические и имитационные модели.

Аналитические модели представляются в виде совокупности алгебраических, интегральных, дифференциальных и иных уравнений, которые позволяют найти решение в явном виде. Возможности по описанию экономической действительности посредством уравнений ограничены, поскольку введение дополнительных параметров при соблюдении непротиворечивости математической логике вызывает трудности. Посредством уравнений удается описать статическую структуру, фундаментальные характеристики моделируемого объекта, обладающие высокой общностью.

Наиболее приближенное отражение действительности позволяют воспроизвести имитационные модели, в которых описывается последовательность действий процесса. Модель позволяет провести многократные испытания и оценить на этой основе параметры процесса. Сложные явления моделируются как совокупность локальных моделей.

Математической основой имитационных моделей является метод Монте-Карло, общая теория систем, теория массового обслуживания и др. Математический аппарат аналитических моделей включает нахождение решений для уравнений. Методы нахождения оптимальных решений используют симплексный метод, методы теории графов и оптимизации на сетях и т.д. Как инструмент оценки параметров моделей микро- и макроэкономики используется эконометрика.

Разработанные экономико-математические модели в форме алгоритмического описания готовы к **реализации** в виде программных компонент. Соединение экономико-математических моделей с информационными моделями выполняется на этапе *теоретико-информационных моделей*. Методы для организации взаимодействия вычислительных компонент с поставщиками данных представлены в следующем разделе.

Методы **интеграции компонент**, реализующих экономико-математическую обработку данных, предопределяется степенью контроля среды системы. В рамках контролируемой среды возможно использование разнообразных методов обработки данных, могут применяться как имитационные, так и аналитические методы. Для моделирования в полуконтролируемой и неконтролируемой среде в большей степени подходят методы имитационного моделирования. Аналитические методы, применяемые

в период плановой экономики, требуют адаптации и соответствующего информационного обеспечения.

Принципы интеграции для предприятия, холдинга, мезоуровня и макроуровня будут разные, но рассмотрение масштаба модели не является предметом этой статьи, хотя является неотъемлемой частью экономико-математических моделей.

В контролируемой среде, на уровне предприятия, интеграция начинается с компонент оперативного учета и планирования производства, управления запасами. Более высокого уровня задачи – прогнозирование и оценка производственных мощностей, задачи бухгалтерии, управление кадрами, и прочие. Расширением этой идеологии является включение в производственный процесс поставщиков сырья и потребителей готовой продукции. Математический аппарат для обработки данных более широкого круга клиентов предполагает разработку рекомендательных систем и интернет-сервисов, использование методов кластеризации клиентов, деревья решений, анализ формальных понятий и пр. С использованием этого аппарата выполняется скоринговые оценки клиентов для управления рисками, формируются целевые предложения для клиентов при реализации маркетинговых стратегий, выполняется оптимизация колл-центров, прогнозирование остатков в разделе оперативного управления.

Развитием моделей внутренней деятельности предприятия являются имитационные модели. Имитационные модели воспроизводят *динамику*. Различают три типа имитационных моделей: событийные, агентские модели и модели системной динамики.

Событийные модели реализуют дискретно-событийный подход, рассматривающий деятельность как дискретную во времени последовательность событий. Развитием этой модели является моделирование по действиям, выполняемым по расписанию. Данные для имитационных моделей могут поставляться на основе эконометрических оценок. Другим вариантом поставки данных для имитационных моделей могут выступать информационные системы предприятий.

Более сложным вариантом имитационных моделей является *агентское моделирование*, которое рассматривает действия автономных, децентрализованных агентов. Поведение агентов моделируется с привлечением методов теории игр, теории сложных систем и их эмерджентности, математической социологии, и ряда других методов.

Более высокий уровень интеграции систем реализуется методами *системной динамики* и используется в основном для задач стратегического уровня. Системная динамика является методологией и методикой математического моделирования для построения моделей верхнего уровня, которые позволяют обсуждать сложные вопросы и понимать их.

Вариантами аналитических моделей этого класса могут выступать модели межотраслевого баланса, а также модели отдельных секторов:

налогово-бюджетной и денежно-кредитной сферы и т.д. Развитием балансовых моделей являются модели с обратными связями.

Наиболее сложным вариантом математических моделей является совокупность моделей с участием человека. Эти модели создаются для принятия управленческих решений, моделированием процессов адаптации системы к изменениям внешней среды, рефлексивное поведение отдельных групп и участников. Методами этого уровня абстракции являются управление знаниями, экспертиза, экспертные оценки, обучение, накопление опыта и т.д.

У диаграмма экономико-математической модели приведена на рис.2



Рисунок 2. V диаграмма экономико-математической модели

5. Соотношение информационных и экономико-математических моделей

Свое воплощение в жизнь информационные и экономико-математические модели находят в информационных системах. Модели могут быть двух типов: абстрактная или практическая. Абстрактные модели помогают сформировать системное восприятие, а практические – симитировать реальность, зафиксировать транзакции, обработать данные, и т.д. Чтобы абстрактная модель превратилась в информационную систему, она должна пройти через стадию реализации экономико-математического и информационного моделирования (рис.1 и 2).

В приложении информационная модель реализуется в основном в базе данных. Математические модели реализуются в виде программных компонент, которые выполняют обработку данных. Для соединения информационных

моделей с программными компонентами могут быть использованы разные механизмы в зависимости от применяемого метода интеграции данных. Рассмотрим три категории интеграции: в контролируемой среде, в полу-контролируемой среде и в неконтролируемой среде.

В контролируемой среде, на уровне предприятий, данные как правило, связываются с объектным кодом посредством инструмента соединения сущностей с объектной моделью (Object Relational Mapping, ORM). Наиболее распространенными ORM являются Hibernate, ADO.NET Entity Framework, и т.д.

Для организации взаимодействия полу-контролируемой среде, как правило, используются облачные сервисы, в которых технологиями доступа к данным выступают процедурные программные интерфейсы (API). Данные собираются в хранилище по технологии ETL, а информационная модель строится на основе данных локальных источников (Global-As-View, GAV).

В случае неконтролируемой среды технологиями организации данных выступают технологии стандартизированной формы описания ресурсов Resource Definition Framework, RDF. Доступ к данным осуществляется путем сериализации RDF формата, а для идентификации используется URI. Альтернативой хранения описанных данных произвольной структуры могут выступать XML- или граф-ориентированные базы данных. Доступ к данным в этом случае осуществляется с использованием специализированных языков запросов, таких как SPARQL, либо технологии работы с XML документами: XPath, XQuery. Информационная модель строится исходя из собственного представления предметной области, по принципу Local-as-View (LAV).

Информационные и экономико-математические модели информационной системы отражают разные срезы реального мира. При построении информационных систем в распределенной среде две категории моделей изменяют свою форму. В таблице 1. приведено соотношение информационных и экономико-математических моделей.

Таблица 1 Соотношение экономико-математических и информационных моделей в экономических системах

Направление	Информационные модели	Экономико-математические модели
Характеристика информационной системы	Информационная полнота	Интеллектуальность системы
Предназначение модели	Поставка данных	Обработка данных
Задача	Отразить прошлое или настоящее состояние	Предсказать новые свойства или новые

		результаты явления
Стадии управления	Понимание	Прогнозирование, оптимизация, имитация
Отражение объекта в модели (объекты, ситуации, явления, процессы)	Сущность, атрибут, связь, тип данных	Система уравнений, арифметических отношений, геометрических фигур или их комбинация; моделирование процессов и оценка параметров
Распределенные технологии	Распределенные данные	Распределенные вычисления
Технологии интеграции	Интеграция данных: ETL, федерация, семантический веб	Имитационные методы: дискретно-событийные модели, агентские модели, системная динамика; Аналитические методы: балансовые модели, модели с обратной связью
Стандартизация	Стандартизация данных	Стандартизация облачных вычислений
Сервисные (облачные) технологии	Данные как сервис: поставка данных из реестров	Программные продукты как сервис: предоставление вычислительных методов как сервис
Открытые технологии	Открытые данные	Свободно распространяемые библиотеки ПО

Основой современных экономических систем являются качественные данные. Если система содержит качественные данные, то применением таких простых математических методов как группировка и расчет элементарных статистик подготавливается значительная часть экономических отчетов, выполняется визуализация данных. Это позволяет пройти этап понимания ситуации, следующие этапы анализа данных, связанные с симуляцией, прогнозированием, оптимизацией, являются более математически насыщенными.

Информационные и экономико-математические модели в некоторой степени являются независимыми друг от друга, то есть ортогональны при отражении их в пространстве. Каждая из этих моделей может иметь разную степень сложности. При совместной реализации двух категорий моделей на практике наилучшем вариантом развития является возрастание степени сложности экономико-математической модели при росте информационной наполненности модели. В реальной ситуации мы имеем другую зависимость (Рис.3): при возрастании сложности математической модели происходит снижение информационного наполнения, и наоборот – при росте информационного наполнения снижается уровень математической модели, которую мы можем реализовать на имеющихся данных.

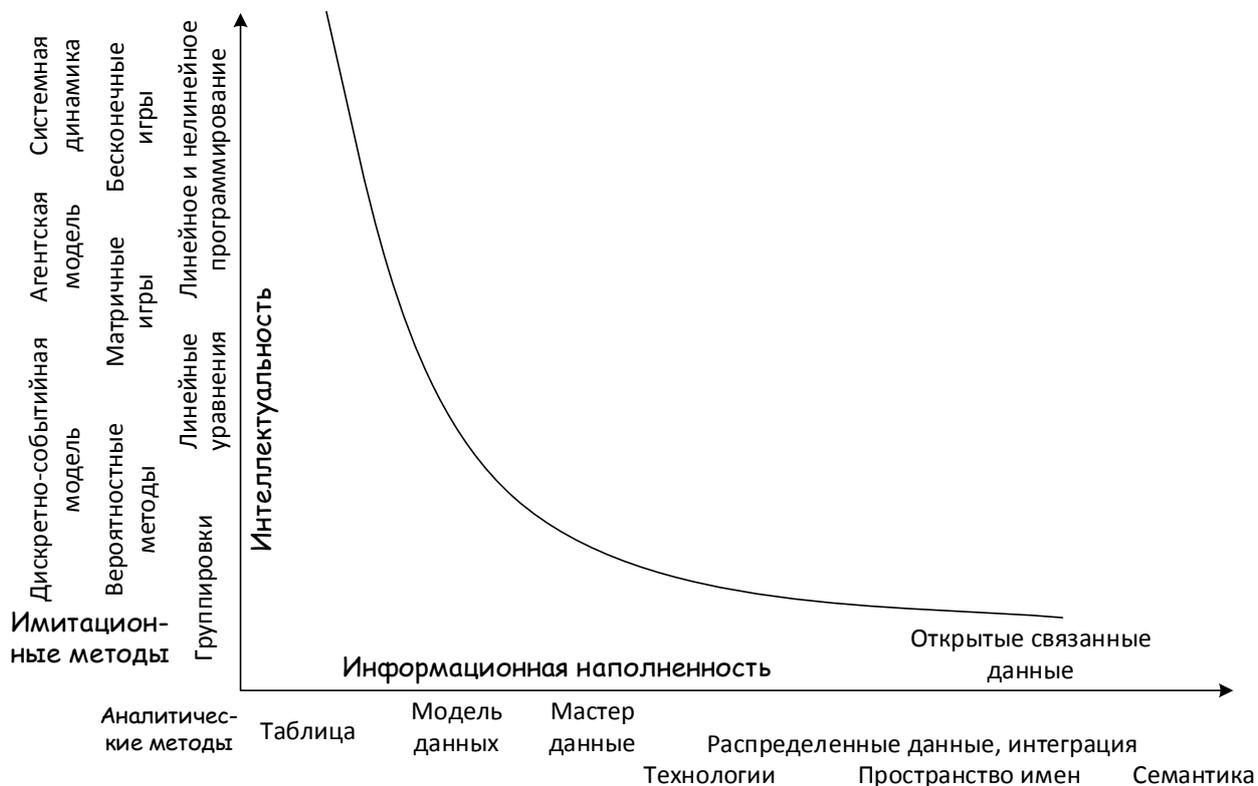


Рисунок 3. Соотношение экономико-математических и информационных моделей

С ростом количества поставщиков данных появляется возможность реализации экономико-математических моделей не на выборке, а на всей совокупности данных. Развитие информационных технологий на сегодняшнем этапе таково, что позволяет реализовать выход на макроэкономическую модель путем сбора информации с микроуровня, возможно элементами имитационной модели. Это позволяет получить прозрачную сквозную картину от микроуровня к мезоуровню и далее на макроэкономике. При реализации таких проектов (ГАС «Управление», в области здравоохранения) значения показателей,

получаемых агрегацией, часто существенно отличаются от тех, которые получаются по текущей методике с применением методов оценок.

Возможность агрегирования данных микроэкономики до макроуровня актуальна для многих секторов экономики России. Например, в финансовой системе России отсутствует целый ряд элементов финансового счета, не решена задача составления баланса финансовых инструментов и институциональных балансов, что не позволяет принимать качественные решения. Потребность в таких инструментах испытывает не только Банк России, но и силовые структуры.

6. Выводы и направления дальнейших исследований

В статье представлено соотношение двух категорий моделей, описывающих экономическую деятельность: информационных и экономико - математических моделей. Каждая из категорий включает широкий класс типов моделей и методов их реализации. Сделано предположение, что на данном этапе развития экономических приложений информационные модели занимают первостепенное значение. Наличие качественных данных позволит пройти этап «Понимание» в управленческой практике.

Современные информационные системы работают в распределенной среде и предполагают интеграцию данных и вычислительных методов. Комплексная интеграция данных и вычислений реализуется на уровне локального предприятия для взаимодействия отдельных функций. В мировой практике существуют примеры реализации информационной модели национального масштаба на уровне обмена документами, прорабатывается модель обмена с использованием семантических методов.

Использование индустриальных методов поставки данных способно перевести управление на более качественный уровень. Одним из важных элементов развития информационной модели является методология создания логической модели данных для разных секторов экономики. Вариантом такой методологии могут быть шаблоны для отражения в модели данных основных направлений, таких как базовые объекты предметной области, их транзакции, роли участников, пространственно-временные характеристики, а также показатели мотивации экономической деятельности. Поставщиками данных отдельных элементов такой модели должна быть федеральная информационная инфраструктура.

Литература

Грачева М.В., Черемных Ю.Н. и Туманова Е.А. Моделирование экономических процессов [Книга]. - Москва : ЮНИТИ-ДАНА, 2013.

Колин К.К. Философия информации и современное научное мировоззрение [Конференция] // Современные информационные технологии и ИТ-образование. - Москва : [б.н.], 2014.

Месарович М. и Такахара Я. Общая теория систем: математические основы [Книга]. - Москва : Мир, 1978.

Минкомсвязь РФ Технологический портал СМЭВ [В Интернете]. - 12 1 2015 г.. - <http://smev3.gosuslugi.ru/portal/>.

Самарский А.А. и Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры [Книга]. - Москва : Физматлит, 2001.

Dietz Jan L.G. Enterprise Ontology Theory and Methodology [Отчет]. - [б.м.] : Springer, 2006.

ISA European Interoperability Reference Architecture (EIRA) [В Интернете]. - 10 4 2015 г.. - <https://joinup.ec.europa.eu/asset/eia/description>.

ОИП National Information Exchange Model [В Интернете]. - 22 2 2015 г.. - <https://www.niem.gov/>.

OMG Semantic Information Modeling for Federation (SIMF RFP) [В Интернете]. - 2011 г.. - 12 8 2014 г.. - <http://tinyurl.com/SIMFrfp>.

OMG UPDM Unified Profile for DoDAF, MODAF, and NAF [В Интернете]. - 2 2 2015 г.. - <http://www.omg.org/spec/UPDM/>.

Statistical Working Group Statistical Data and Metadata Exchange [В Интернете]. - 23 3 2015 г.. - <http://sdmx.org/>.