

ОТЗЫВ
ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА
НА ДИССЕРТАЦИЮ КОВАЛЕВА СЕРГЕЯ ПРОТАСОВИЧА
"ТЕОРЕТИКО-КАТЕГОРНЫЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ БОЛЬШИХ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМ",
ПРЕДСТАВЛЕННУЮ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
ДОКТОРА ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК ПО
СПЕЦИАЛЬНОСТИ 05.13.17 – ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ИНФОРМАТИКИ

Развитие новых технологий в работе с информацией и средствами управления различными процессами требует постоянного поиска новых способов проектирования информационных систем. Одной из важных задач в этом направлении является поиск единой формальной гибкой системы для работы с многочисленными сложными и разнородными моделями информационных компонентов и структур. Необходимо разработать теоретическую базу, позволяющую в ясной форме описать механизмы масштабирования моделей, выявить и доказать их основные свойства.

В то же время большинство формальных методов современной системой инженерии систем базируется на разнородных математических средствах, подогнанных под разнообразные частные парадигмы программирования. Они часто плохо согласованы между собой. Технологии широкого назначения способные порождать рациональные типовые решения тех или иных проблем проектирования систем, развиваются часто хаотично и не опираются на математические методы.

Таким образом, формирование единой теоретической основы технологий проектирования больших систем, свободной от указанных недостатков, является важной научной проблемой. В качестве математического аппарата, пригодного для решения поставленной задачи в диссертации предлагается привлечь теорию категорий. Эта теория позволяет ясно и лаконично выразить основные объекты системной инженерии и связи между ними.

Вводятся категории, объекты которых отвечают результатам проектирования систем (формальным моделям), а морфизмы — процессам технологического цикла проектирования. Переходы от одной технологии к другой, сохраняющие структуру процессов,

можно понимать как функторы. Процедурам синтеза сложных моделей отвечают диаграммы в таких категориях («мегамодели»). Анализ возникающей категорной структуры позволяет выявлять рациональные типовые решения, в том числе с привлечением автоматизированных инструментов. Для этого требуется построить теоретико-категорные конструкции, отвечающие ключевым процедурам разработки систем, и выявить их основные свойства, наиболее значимые для системных инженеров.

В публикациях по этой тематике редко встречаются общие конструкции подобного типа — чаще изучаются частные категории, отвечающие частным формальным методам. Развитый категорный подход общего вида является основным достижением диссертанта. Все это позволяет сделать вывод о том, что тематика исследований, включенных в диссертацию, является весьма актуальной.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка обозначений и сокращений, списка литературы из 264 наименований и приложения. Всего в диссертации 281 страница.

Во введении излагается постановка задачи, обоснование ее актуальности, научная и практическая значимость содержащихся в диссертации результатов. Приводятся данные о внедрении и об апробации полученных результатов. Следует подчеркнуть, что материалы диссертации докладывались на многочисленных международных конференциях по информационным технологиям и на конференциях по алгебре, логике и их приложениям в 1996 — 2013 годах.

Остановимся на содержании результатов.

В главе 1 приводятся результаты системного анализа проблемы снижения затрат на разработку больших информационно-управляющих систем при выполнении ограничений качества. Строится типовая модель качества, соответствующая стандарту ISO/IEC 9126. Рассмотрено применение аспектно ориентированного подхода для рационального проектирования путем трассируемого отображения задач на типовую архитектуру. Излагается подход к организации жизненного цикла систем, в соответствии со стандартом ISO/IEC 12207-2008 на основе современных технологий системной инженерии. Этот подход необходимо проводить в рамках единой формальной базы, математический аппарат для способна представить теория категорий.

Одна из основных глава 2 посвящена теоретико-категорному подходу к формализации процессов жизненного цикла. В ней вводятся основные категории, являющиеся объектом исследования, и доказываются их свойства.

Объектом изучения является категория, обозначаемая через $c\text{-DESC}$. Ее объектами являются формальные модели системных единиц, а морфизмами — действия по их интеграции. Таким образом, конфигурации взаимосвязанных компонентов, из которых собираются системы, описываются $c\text{-DESC}$ -диаграммами. Это ориентированные графы, вершины которых индексируются объектами, а ребра — морфизмами категории $c\text{-DESC}$. Процессам сборки систем соответствуют копределы диаграмм, т.е. коконусы над ними со свойством универсальности. Напомним, что $c\text{-DESC}$ -диаграммы являются функторами из малых категорий в категорию $c\text{-DESC}$.

Далее рассматривается категория SIG формальных моделей интерфейсов и функторы

$$\text{sig} : c\text{-DESC} \rightarrow SIG, \quad \text{sig}^* : SIG \rightarrow c\text{-DESC}$$

выделения интерфейса sig и дискретной реализации sig^* . При этом функтор sig^* сопряжен слева к функтору sig . Кроме того, вводится категория $r\text{-DESC}$ трансформаций относительно сборки.

В диссертации вводится определение 2.3 формальной технологии проектирования над $c\text{-DESC}$, являющейся четверкой

$$\langle c\text{-DESC}, \text{Conf}, \text{sig}, r\text{-DESC} \rangle,$$

где Conf — выделенный класс $c\text{-DESC}$ -диаграмм, состоящий из допустимых конфигураций систем. При этом выполняется восемь условий согласованности этих данных.

В четверке выделяется тройка формальной технологии спецификации $\langle c\text{-DESC}, \text{Conf}, \text{sig} \rangle$. Вводятся класс (sig-) предконфигураций, состоящий из SIG -диаграмм, имеющих копредел и для которых функтор sig поднимает копределы ряда специальных диаграмм.

Исследованы свойства введенных категорий и функторов между ними. В частности изучен вопрос о наличии (ко)пределов и сохранении их при применении функторов.

Наиболее широкие возможности для сборки систем представляют функторы, которые поднимают копределы всех диаграмм. Технология, в которой интерфейсы выделяются таким функтором, называется скоординированной. Доказано, что скоординированность формальной технологии равносильна существованию разложения $\text{sig} = \text{sig}' \cdot se$, где sig' — некоторый топологический функтор, se — эквивалентность категорий, сюръективная на объектах.

Разбиением $c\text{-DESC}$ -объекта S назван коконус p с вершиной S , удовлетворяющий ряду естественных условий. Рассмотрение разбиений связано с вопросом о распараллеливании

В работе классы разбиений вкладываются в качестве подкатегорий в категорию диаграмм $Dc-DESC$, где удастся формально вычислять разбиения заданного $c-DESC$ -объекта с экстремальным характером: им отвечают универсальные и терминальные объекты.

Рассмотрены формальные технологии, двойственные к однородным: в них $r-DESC$ является подкатегорией в двойственной категории $c-DESC^{op}$. Это дает возможность трассирования: трасса получается из трансформации путем обращения направления стрелок.

Вводятся также категории технологий $ARCH$, $SPEC$, $CONF$ с забывающими функторами $conf : SPEC \rightarrow CONF$, $spec : ARCH \rightarrow SPEC$.

В главе 3 построена и теоретически обоснована формальная технология проектирования вычислительных систем.

Класс всех алгебр, представляющих модели вычислений, и действий по их интеграции образует категорию, в ней существуют все конечные пределы и копределы, разнообразные факторизации и другие конструкции. Любая конечная диаграмма моделей вычислений может выступать в качестве мегамодели вычислений — конфигурации вычислительной системы.

В рассматриваемой теории важную роль играют полупримальные алгебры. В главе доказан ряд весьма полезных утверждений по свойствам таких алгебр и способах их построений путем обогащения. Важную часть третьей главы занимают результаты, посвященные структурным отображениям конечных алгебр и связанных с ними категорий и полурешеток. Отметим теорему 3.1 о существовании нормальной категории \mathcal{C} , содержащей все подкатегории вычислительных систем для любой структурной категории. В теореме 3.2 приведен критерий того, что подкатегория вычислительных систем в \mathcal{C} эквивалентна топологической категории над категорией \mathbf{FinSet} всех конечных множеств и их отображений.

В третьем разделе этой главы рассматриваются связи с алгебрами Лукасевича. В теоремах 3.3 и 3.4 указана связь с кольцами вычетов и приведен критерий полноты алгебраической системы MA_{n+1} . Эти результаты расширены в теореме 3.5 и следствиях из него.

В главе 4 разработан формальный аспектно-ориентированный подход к проектированию с использованием подхода и результатов предыдущих глав.

Отметим основные результаты этой главы — теорему 4.1 о том, что любой фундаментальный функтор порождает AO -технология над AR , теорему 4.2 о существовании AO -расширения, дающего

трассу универсальной экспликации, теорему 4.3, дающую критерий структурируемости АО-технологии. Упомянем важные результаты, приведенные в теореме 4.4, в следствии 4.5.5 об аспектной полноте технологии $AR = \langle c\text{-DESC}, \text{Conf}, \text{sig}, r\text{-DESC} \rangle$, в следствии 4.4.6.

В главе 5 рассматриваются вопросы приложений формального моделирования. В этой главе среди теоретических результатов можно выделить теорему 5.2. Основная часть этой главы посвящена приложениям полученных результатов.

Таким образом, в результатах автора, включенных в диссертацию, создано и развито новое направление, связанное с применением теории категорий и универсальной алгебры к весьма актуальной задаче — моделированию технологий проектирования больших информационно-управляющих систем.

Все результаты диссертации снабжены полными доказательствами. Следует отметить, что работы по теории категории обычно являются весьма громоздкими и трудно читаемыми из-за сложных обозначений и присутствия большого числа диаграмм. Автору удалось преодолеть эту трудность и изложить материал ясно и достаточно лаконично.

Реферат правильно отражает содержание диссертации. В приложении указаны акты внедрения результатов.

Имеется следующее замечание по оформлению текста. Во введении не приведен исторический обзор, отражающий состояние рассматриваемой области, и подчеркивающий то новое, что внес автор.

Результаты диссертации опубликованы в 60 публикациях автора. 17 из них вышли в 10 журналах из списка ВАК (в том числе 11 без соавторов). Кроме того, имеется одно учебное пособие, один патент и 5 свидетельств о регистрации программ для ЭВМ. Публикации в основном вышли в сибирских журналах. Можно высказать пожелания, чтобы результаты работы были бы опубликованы и в международных математических журналах высокого рейтинга.

Приведенные замечания не снижают высокой оценки работы. Все изложенное позволяет сделать вывод о том, что диссертация С.П. Ковалева является научно-квалификационной работой, в которой создано крупное научное достижение — построена теория моделирования технологий проектирования больших информационно-управляющих систем на основании теории категорий и универсальной алгебры. Поэтому диссертация С.П. Ковалёва удовлетворяет всем требованиям Положения о присуждении ученых степеней, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор С.П.

Ковалёв заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – теоретические основы информатики.

Доктор физико-математических наук, профессор кафедры
высшей алгебры механико-математического факультета
Московского государственного университета имени
М.В.Ломоносова



Артамонов Вячеслав Александрович

30 января 2014 г.

119991, г. Москва, Ленинские горы 1, механико-математический
факультет МГУ им. М.В. Ломоносова, тел. (8495)9391611,
эл.почта: artamon@mech.math.msu.su

Подпись В. А. Артамонова удостоверяю
И. О. декана механико-математического факультета
Московского государственного университета имени
М.В.Ломоносова, профессор



Чубариков Владимир Николаевич