

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию КОВАЛЁВА 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».

Диссертация С.П. Ковалёва посвящена проблеме поддержки создания, мониторинга и сопровождения жизненного цикла больших систем методами информатики. Проблема состоит в следующем. На современном уровне развития технологий становится обычной практикой создание настолько больших производственных, энергетических и других систем, что их состав, структура и происходящие в них в течение жизненного цикла процессы приобретают часто такие большие количественные показатели, что они уже не поддаются непосредственному контролю со стороны не только одного лица, но и группы ответственных лиц. Уже давно появилась необходимость отображения этих объектов и процессов в информационную плоскость и манипулирование ими именно в этой плоскости, с обратным отображением решений на физический уровень. Это и составило в середине XX века смысл перехода от индустриального общества к пост-индустриальному – информационному. Инструментом, открывшим возможности такого перехода, стала вычислительная техника, которая, благодаря все возрастающему спросу с этой стороны, очень быстро развивалась, как в техническом, так и в программном направлении. В техническом направлении создавались компьютеры разных классов – от универсальных больших, средних и малых, до специализированных вычислителей, средств связи, многопроцессорных и сетевых решений (не говорим здесь о соответствующем развитии приборостроительной промышленности). В программном направлении создавались различные САПР, АСУ, АСУТП, СКАДА и другие информационно-программные средства, позволявшие автоматизировать различные виды деятельности по проектированию, созданию, сопровождению, управлению в таких объектах, постепенно и всесторонне становившихся управляемыми во многих своих аспектах. Естественно, что для создания таких программных инструментов необходима была математическая поддержка, и это отражалось в развитии таких направлений, как теория информации, информатика, дискретная математика, теория алгоритмов, теория рекурсивных функций, теория управления, теория распознавания, методы оптимизации и т.д. Появилось ощущение, что благодаря

этим технически-программно-математическим средствам удастся построить всеобъемлющие системы управления большими системами на государственном уровне и добиться их оптимизации (работы академика В.М. Глушкова и др.).

Однако к настоящему времени выяснилось, что множество программных систем, описывающих одни и тот же объект в различных его аспектах, которые приходится учитывать при работе с этим объектом, плохо соотносятся друг с другом, плохо стыкуются и из них трудно собрать единую систему, обеспечивающую информационно-управляющую поддержку объекта во всех его аспектах и на всех фазах его существования. К тому же, выявляются и новые свойства как самих моделируемых больших объектов, так и моделирующих их программных систем, которые не были ранее в достаточной степени охвачены информационным сопровождением и информационными технологиями. Это свойства и вопросы, рассматриваемые в таких технологиях, как инженерия предметной области (domain engineering), разработка, управляемая моделями (model-driving engineering, MDE), аспектно-ориентированный подход (aspect-oriented software development, AOSD), организация распределенных вычислений (distributed computing), в требованиях к масштабируемости, трассируемости, верифицированию, тестированию и др. Этими обстоятельствами и вызвана идея рассматриваемой диссертации С.П. Ковалёва, которая состоит, прежде всего, в том, чтобы учесть, свести и согласовать все эти требования в одном месте и в одно время, а именно — на этапе начала конструирования общей единой большой информационно-управляющей прикладной системы, и сформировать теоретическую основу для технологии проектирования таких систем, свободных от указанных недостатков, и призванных снизить экономические затраты на обеспечение их жизненного цикла. Без сомнения, эта цель представляет собой актуальную и важную научную и практическую проблему!

Далее возникает целый спектр очень интересных проблем, которые, имеют математическое выражение, но, при этом, и явно глубокую философскую подоплеку. Безусловно, можно найти математический метод, посредством которого отобразить различные свойства больших систем на формальные объекты. Основанием для возможностей такого отображения служит представление о том, что во многих отношениях наш мир может быть представлен как дискретная система, например, в форме графа, состоящего из множества сущностей и связей между ними (объекты и связи, состояния и переходы между ними и т.п.). Поскольку не все попарные связи элементов в этом мире возможны, возникают определенные структуры как в мире, так и в его информационной модели.

Графовая модель мира позволяет применять различные операции композиции, декомпозиции, рекомпозиции и др. Появляется возможность привлечения аппарата алгебры для писания таких структур. Возможно, что единство законов физики приводит к появлению регулярных структур, схожих на разных уровнях представления мира. Явно возникают некоторые синергетические фрактальные структуры, что существенно расширяет возможности познания мира, применяя для порождения гипотез метод ассоциаций, аналогий, подобия, гипотезу монотонности свойств мира. Если добавить в эту систему причинно-следственные связи, связанные с фундаментальным понятием времени, то возникает понятие процесса, возникает логика. Наличие информации о закономерных процессах, а также субъекта, способного использовать эту информацию в некоторых целях, приводит к понятию управления, его целевых функций, критериев качества состояния и качества процесса управления. Становится возможным рассматривать две системы: одна – это физический мир, строительство и структура которого определяются, как считается сегодня, имеющимися ограничениями на связи, и информационное отражение этого мира в модели, которую целенаправленно строит субъект. При этом получается, что субъект уподобляется творцу, который конструирует модель мира по тем же законам, по которым конструируется сам мир... Важно также, что регулярность информационных структур, соответствующая регулярности структур нашего мира, и позволяет отражать этот мир в памяти живых организмов, и пользоваться этим отображением (информационной моделью мира) для управления. Возможно, что нейронные сети, из которых состоит мозг, появились, как отражение сетевых свойств реального мира, описываемых графовой моделью, и логика работы отдельного нейрона отражает логику, которая действует в физическом мире. Все это очень интересные вопросы, которые возникают при прочтении рассматриваемой работы, что и указывает на глубину затронутой проблемы.

Однако очевидно, что сделать эти две системы изоморфными в абсолютном понимании нельзя, в силу безграничности реального мира и ограниченности тех ресурсов, из которых строится информационная модель. Да это и не нужно, так как информационная модель строится субъектом обязательно с некоторой целью. Эта цель должна ограничивать, модулировать и направлять процесс построения информационной модели реальной системы к некоторому ее целесообразному и ограниченному варианту. Известно, например, что процессы поиска, выделения знаний из наблюдательных данных и их сохранение в памяти человека сильно модулируются его аппаратом эмоций, который является системообразующим

фактором при построении модели мира в памяти человека. В этой модели содержится преимущественно только та информация, которая окрашена сильными по модулю эмоциональными оценками. Это наиболее важная для человека информация и именно на ее сохранение расходуется ограниченные ресурсы человеческой памяти, которая не может объять всю информацию о мире. Все второстепенное отсеивается. Если с этой точки зрения посмотреть на модель формирования информационной системы, отражающей реальный мир, в работе автора, то мне кажется, что этот аспект стоило бы усилить в работе. А именно, ввести некоторую целевую функцию, и соответствующий ей критерий, который на всех этапах формирования рассматриваемой большой информационно-управляющей системы модулировал бы процесс и направлял бы его в наиболее оптимальное по указанному критерию русло. Сейчас в работе этот момент закрывается такими понятиями, как целевая функция общего снижения затрат на жизненный цикл и системой ограничений, вводимых на разработку системы. Этого, наверное, достаточно на данном этапе становления теории, развиваемой автором работы, и высказанное суждение можно отнести к разряду пожеланий на будущее развитие подхода.

С.П. Ковалёв предлагает использовать для формирования указанных моделей, т.е., для целей формализации процесса построения больших информационно-управляющих систем теорию категорий. Скорее всего, это не единственное возможное решение, но, по-видимому, весьма эффективное, что доказывается богатыми средствами формального конструирования, которые разработаны и описаны в диссертации С.П. Ковалёва.

Структура диссертационной работы логична и состоит в следующем.

Во введении объясняется цель работы и актуальность разработки теоретической основы технологии проектирования больших информационно-управляющих систем, которая должна повысить эффективность жизненного цикла таких систем. Указывается, в частности, что одной из причин возникшей проблемы является именно увеличение размеров физических систем и их информационно-управляющих систем, что и делает применение и интеграцию существующих частных решений затруднительным. Проблема усиливается также фактом постоянной изменчивости больших систем, что требует разработки специальных средств, облегчающих адаптацию их информационного отражения. Обоснованно предлагается использование в качестве математического инструмента теории категорий.

В главе 1 подробно описывается жизненный цикл больших информационно-управляющих систем. Анализируются проблемы автоматизации управления большими объектами, в частности, такие как конфликтность, запутанность, изменчивость, рассеянность задач. Описываются основные понятия, представляющие рассматриваемые системы, их характеристики, дается классификация связей, отношений и т.д. Обосновывается необходимость использования аспектно-ориентированного программирования (АОП). Производится постановка задачи по работе с «жизненным циклом» больших информационно-управляющих систем, начиная от момента возникновения идеи их создания. К шагам жизненного цикла отнесены: 1) информационный анализ, 2) проектирование, 3) программирование, 4) сопровождение, модификация, модернизация, 5) утилизация. Большое внимание уделено обсуждению показателей качества рассматриваемых систем. Основными качественными критериями эффективности, которые оптимизируются и балансируются при проектировании системы, являются экономические критерии, такие как максимизация объема полезного отпуска ресурса, надежность и качество ресурсоснабжения и другие. К критериям качества информационно-управляющих систем в работе отнесены: функциональные возможности системы (functionality), ее надежность (reliability), практичность (usability), эффективность (efficiency), сопровождаемость (maintainability) и мобильность (переносимость) (portability). Все это представляется достаточно разумным.

В главе 2 описываются подходы, традиционно используемые при разработке больших систем, и обосновываются возможности применения для этой цели теоретико-категорного подхода. При этом объектами категорий служат формальные модели системных единиц, а морфизмами – действия по их интеграции. Системы описываются с-DESC-диаграммами - ориентированными графами. Акту сборки системы отвечает копредел диаграммы – коконус над ней, обладающий свойством универсальности. Подробно описано использование теории категорий как инструмента для формализации жизненного цикла систем. Формализуется технология процесса проектирования. В частности, рассматриваются способы выполнения таких операций, как комплексирование (загрузка, подстановка и соединение), распараллеливание, трансформация конфигураций. Формализуются понятия интеграционного интерфейса и трансформации. Вводятся необходимые для процесса синтеза систем определения, предложения и приводятся их строгие доказательства.

В главах 3 и 4 описаны вопросы, связанные с применением теории категорий к задаче проектирования вычислительных систем, описывается технология использования теории категорий как инструмента. Здесь речь идет о том, как оптимальным способом отобразить задачу проектирования конкретной большой информационно-управляющей системы со всеми ее данными, представленными в своих структурах (числа, списки и т.п.), на архитектуру доступной вычислительной среды с ее имеющимися ограниченными ресурсами. Для решения проблем проектирования рассеянных задач предлагается и подробно рассматривается аспектно-ориентированный подход. Это наиболее важная из рассмотренных в диссертации проблем. Предлагается соответствующий алгебраический подход к формализации данного отображения. Доказываются необходимые теоремы, отражающие свойства развиваемой алгебраической теоретико-категорной модели.

Важным аспектом всего подхода является, на мой взгляд, проблема адаптивности. Как указывает автор, одной из органических черт больших систем является их постоянная изменчивость по таким причинам, как выход из строя частей системы, их модификация, замена, расширение, совершенствование, реструктуризация, модернизация и т.п. Большая система постоянно изменяется и следует сделать так, чтобы ее информационно-программная модель отображала все такие изменения в реальном времени, т.е., автоматически адаптировалась к этим изменениям, сохраняя постоянную возможность работы с ней. В диссертации предлагаются различные приемы, делающие разрабатываемую технологию адаптивной. Надо сказать, что сделать систему управления адаптивной можно посредством самых разнообразных приемов, наделяющих этим свойством разные фрагменты системы управления. Если говорить о некоторой условной «мощности» адаптивных свойств системы, то и элементы с небольшой «мощностью» уже делают систему адаптивной, а наибольшей «мощности» достичь невозможно, потому что адаптивная система управления, т.е., система динамической оптимизации в идеале должна быть многоуровневой, где ни верхний, ни нижний уровни не определены. Сказанным я хочу подчеркнуть только тот факт, что рассматриваемая работа может получить большое развитие в будущем в направлении развития именно ее адаптивных свойств. Возможно, что это следует делать в комплексе с развитием указанной выше подсистемы, задающей целевую функцию, постоянно организующую процесс построения системы и ее эксплуатацию на протяжении всего жизненного цикла.



В главе 5 рассмотрен прикладной пример применения разработанной технологии в ТЭК, на котором продемонстрирован процесс формального проектирования больших систем. Проиллюстрирован подход MDE (Model-driven engineering – разработка, управляемая моделями), варьирование структуры трансформаций, работа с категорией интерфейсов, аспектно-ориентированный подход и т.д. Глава, несмотря на ее прикладной характер, также содержит весомый теоретический материал, оперирует теоремами с приведенными их доказательствами, строгими определениями и остается в рамках строгой математической теоретико-категорной формализации.

Весьма важно, что рассмотренный прикладной пример применения разработанной теории в ТЭК, имеет не умозрительную форму, а реализован и внедрен в практику предприятий ТЭК, о чем свидетельствуют приложенные к работе акты внедрения от таких организаций, как ООО «Транснефтьсервис С», ОАО «Томусинское энергоуправление», ООО «Газпром энерго», Департамент топливно-энергетического хозяйства города Москвы. Это, безусловно, является весомой и компетентной апробацией истинности и эффективности представленной в диссертационной работе теории, приносящей предприятиям явный экономический эффект.

Полученные в диссертации С.П. Ковалёва результаты представлены на суд общественности в большом числе публикаций, отражающих содержание диссертации, и в многочисленных сообщениях на форумах Российского и международного уровня. Следует отметить, что материалы исследования опубликованы не только в весомых Российских изданиях (требования ВАК выполняются), но и в авторитетных международных журналах.

Достоинством работы является практически оптимальное для докторской диссертации сочетание глубокой философской подоплеки темы, ее эффективной математической формализации (выбор теории категорий, как инструмента для данного направления следует признать весьма удачным), строгой доказательной проработки всего необходимого математического формализма, а также приведенных свидетельств практического внедрения разработок в ТЭК систем, выполненных с применением разработанных автором подходов. Остается только пожелать, чтобы и другие диссертации, представленные на соискание ученой степени доктора физико-математических наук, обладали такими же свойствами!

Замечания к работе, которые я мог бы высказать, носят несущественный характер, все они были обсуждены с автором, и, как оказалось, ни одно из них не заслуживает того, чтобы выносить его в данный отзыв. Соответственно, я не

указываю каких-либо недостатков данной работы. Разработанная автором тема является глубокой, и именно поэтому она порождает множество возможных направлений своего развития, ставит многие вопросы и проблемы, которые, как следует надеяться, получают свое развитие в дальнейших работах по данной тематике, в представленном же исследовании были рассмотрены только наиболее важные из них.


Работа может быть охарактеризована как новое крупное научное достижение, состоящее в том, что впервые построен и теоретически обоснован аппарат для математически формализованного анализа и синтеза технологий проектирования больших информационно-управляющих программных систем на основе теории категорий, способный служить теоретической основой для широкого класса методов проектирования такого рода систем. Практическим значением данной разработки является то, что она позволяет снизить экономические затраты на обеспечение жизненного цикла больших информационно-управляющих систем.

Автореферат соответствует диссертации.

Представленная диссертационная работа является зрелым и законченным научным исследованием. Диссертация соответствует всем требованиям, предъявляемым к докторским работам, а ее автор С.П. Ковалёв безусловно заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 05.13.17 – «теоретические основы информатики».

Главный научный сотрудник ОАО «Институт точной механики и вычислительной техники им. С.А. Лебедева РАН»

доктор физ.-мат. наук, профессор

 Жданов Александр Аркадьевич

117333, г. Москва, Ленинский просп., 51, ОАО ИТМиВТ РАН

Тел. +7 (495) 649-1270 (доб. 7819), эл.почта: aazhdanov@ipmce.ru

11.03.2014

«Подпись А.А. Жданова заверяю» -

- зам. ген.директора - Ученый секретарь ИТМиВТ, к.т.н., с.н.с.

 Улановский Борис Моисеевич

11.03.2014

