

ОТЗЫВ

официального оппонента доктора технических наук, профессора, главного научного сотрудника лаборатории №80 Киберфизических систем ИПУ РАН Мещерякова Романа Валерьевича на диссертационную работу Потрясаева Семена Алексеевича, представленную на соискание ученой степени доктора технических наук, на тему «Синтез технологий и комплексных планов управления информационными процессами в промышленном интернете» по специальностям: 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)

1. Актуальность темы диссертационной работы

В настоящее время всё в большей мере стала проявляться негативная тенденция, вызванная дальнейшим обострением одного из основных противоречий экономической сферы в XXI веке, связанного с разрывом между уровнем и масштабами общественного производства и уровнем управления этим производством. Анализ причин возникновения указанного противоречия показывает, что повсеместно произошло изменение системных свойств окружающего нас мира, в результате которого возникла объективная необходимость дополнить традиционное иерархическое восприятие окружающего мира его описанием, базирующемся на сетевых структурах. Указанная тенденция, как показано в диссертационной работе Потрясаева С.А., особо ярко проявляется в сфере создания и широкого использования на практике таких сетевых инфокоммуникационных систем (ИКС) на интернет-платформе как индустриальный (промышленный) интернет и интернет вещей. В условиях большой кооперации и территориальной распределенности по миру производителей товаров и услуг требуется соответствующая перспективная инфокоммуникационная среда.

В качестве примера создания проекта «производственного интернета» можно привести реализуемую в Германии в настоящее время концепцию Industry 4.0. Аналоги такой программы существуют и в других странах: Smart Factory в Нидерландах, Usine du Futur во Франции, High Value Manufacturing Catapult в Великобритании, Fabbrica del Futuro в Италии, «Сделано в Китае-2025» и т.п. В 2014 году компании General Electric, AT&T, Cisco, IBM и Intel создали Консорциум промышленного интернета (Industrial Internet Consortium).

Согласно концепции Industry 4.0, производственное оборудование и производимые им изделия должны стать активными системными компонентами, управляющими своими производственными и логистическими процессами. Они будут включать в себя кибер-физические системы (КФС), связывающие виртуальное пространство Интернета с реальным физическим миром. В КФС обеспечивается тесная связь и координация между вычислительными и физическими ресурсами. Область действия КФС распространяется на робототехнику, транспорт, энергетику, управление промышленными процессами и крупными инфраструктурами. От существующих мехатронных систем КФС отличаются наличием подсистем искусственного интеллекта и способны взаимодействовать со своим окружением, планировать и адаптировать свое собственное поведение согласно окружающим условиям. В основе КФС закладывается модель и от ее адекватности реальности зависит работоспособность КФС.

Проведенный соискателем в диссертационной работе анализ главных тенденций, связанных с созданием и развитием промышленного интернета и КФС, показал, что его основное предназначение связано с реализацией перспективных технологий, способствующих широкомасштабному развитию клиент-ориентированных, мелкосерийных и гибких производств, главным отличием которых от крупных поточных линий является непостоянство (нестационарность) производственных процессов, а вместе с ними и характеристик соответствующих информационных потоков, а также вычислительных процессов. Таким образом для эффективного управления такими производствами необходимо создать новую архитектуру, модели, методы, алгоритмы и программные комплексы управления соответствующими распределёнными КФС, объединёнными в промышленный интернет. Для организации такой распределенной обработки данных в промышленном интернете необходимо осуществлять динамическое ситуационное распределение вычислительных задач между встроенными системами, средствами связи и облачными вычислительными ресурсами, называемое «туманные вычисления» (fog computing).

Анализ современной отечественной и зарубежной литературы, проведенный в диссертации, показал, что как задачи синтеза технологий, так и задачи синтеза планов управления информационными процессами в промышленном интернете на базе «туманных вычислений» в явном виде не упоминаются (за редким исключением), и, тем более, современными технологическими и техническими методами не решаются. Этот пробел в проектировании и эксплуатации промышленного интернета традиционно объясняется сложностью указанной проблемы, большой размерностью соответствующих задач, большими затратами времени при попытках их строго решения, что приводит на практике к использованию различных эвристических методов и алгоритмов.

Таким образом, объективная тенденция дальнейшего усложнения объектов и процессов управления, повышения меры ответственности за принимаемые решения (выбираемые управляющие воздействия) настоятельно требуют в современных условиях строгой регламентации и структуризации технологии управления или, другими словами, индустриализации управления на основе дальнейшей комплексной автоматизации основных видов производственной деятельности, создании различных классов автоматизированных и информационных систем. Важнейшим этапом в решении перечисленных вопросов остается этап создания соответствующего специального математического, алгоритмического, программного и информационного обеспечения синтеза технологий и комплексных программ (планов) управления информационными процессами в промышленном интернете, которое позволит объединить существующие технологии и системы организации облачных вычислений с технологиями и системами граничных и туманных вычислений и на этой основе повысить эффективность промышленного производства за счёт улучшения производительности труда.

Разработка указанного математического, алгоритмического и программного обеспечения с формальной точки зрения сводится к решению взаимосвязанного комплекса сложных научно-технических задач многокритериального динамического структурно-функционального синтеза сложных организационно-технических объектов, к которым относится промышленный интернет. Задачи характеризуются большой размерностью, нестационарностью и нелинейностью ограничений, многокритериальностью принимаемых управленческих решений,

высокой степенью неопределенности факторов, влияющих на процессы промышленного производства. Все это не позволяет для решения указанных задач использовать традиционные подходы, базирующиеся на математическом аппарате математического программирования и исследования операций и требует разработки новых моделей, методов, алгоритмов, методик и программ.

Все вышеизложенное позволяет сделать вывод о том, что тема диссертационной работы Потрясаева С.А., посвященная разработке прикладной теории синтеза технологий и комплексных планов управления информационными процессами в киберфизических системах и её применении для решения задач системного моделирования и управления территориально-распределённой обработкой и использованием полученных данных в промышленном интернете в интересах повышения его эффективности является новой и актуальной и имеет большое практическое значение.

2. Научная новизна и основные результаты исследований

Научная новизна диссертации заключается в новом подходе к решению проблемы синтеза технологий и комплексных планов управления информационными процессами в КФС и промышленном интернете. Подход содержит принципы и способы полимодельного концептуального и формального описания предметной области, комбинированные методы, алгоритмы и методики многоэтапного многокритериального выбора допустимых топологических, технических, функциональных и программных структур соответствующих распределенных систем и процессов управления. В отличие от известных подходов к решению подобных проблем на конструктивном уровне учтены основные особенности и ограничения, присущие процессам создания и использования систем и процессов управления.

К основным научным результатам, определяющим новизну и значимость представленной диссертационной работы можно отнести следующие результаты:

1. Разработано оригинальное обобщенное формальное описание общей проблемы многокритериального структурно-функционального синтеза и управления развитием КФС как проблемы управления их структурной динамикой, которое позволило с единых методологических, методических и технологических позиций подойти к анализу и обоснованному выбору путей решения уже конкретных классов задач синтеза технологий и программ управления информационными процессами промышленного интернета, полученных в результате декомпозиции исходной проблемы и являются основными объектами исследования в рассматриваемой диссертации. При этом были предложены как графическая, так и теоретико-множественная формы описания задач, включающие описание параметрической и структурной адаптации программно-математического обеспечения управления КФС и задач синтеза технологий и программ управления КФС.

2. Разработан полимодельный комплекс, в состав которого вошли аналитико-имитационные логико-динамические модели управления движением, каналами, ресурсами, комплексами и параметрами целевых, обеспечивающих и вспомогательных операций, потоками и структурами КФС. В обобщенном виде полимодельный комплекс удалось представить в виде многоуровневого альтернативного динамического графа с перестраиваемой структурой. Основное достоинство предложенного полимодельного описания состоит в обеспечении

согласования разработанных в диссертации математических моделей управления структурной динамикой КФС с их логико-алгебраическими и логико-лингвистическими аналогами (моделями), построенными на основе интеллектуальных информационных технологий на концептуальном, алгоритмическом, программном и информационных уровнях детализации.

3. Предложены комбинированные методы и алгоритмы и соответствующая многоэтапная процедура решения задач синтеза технологий и программ управления информационными процессами в КФС, включающая в себя следующие основные шаги: подготовка к решению задач управления; оценка и анализ целевых и информационно-технологических возможностей КФС, формирование допустимых планов применения её основных элементов и подсистем; оптимизация программ управления КФС; оценка устойчивости и робастности программ управления КФС; анализ и интерпретация результатов решения задач синтеза технологий и программ управления КФС. Решение всех перечисленных задач на каждом из шагов осуществляется на единой методологической и модельной системно-кибернетической основе, позволившей на конструктивном уровне при поиске оптимальных технологий и планов воспользоваться фундаментальными и прикладными результатами, полученными к настоящему времени в современной теории управления.

4. В отличие от существующих эвристических подходов к выбору базовой архитектуры информационной платформы, реализующей технологии промышленного интернета, в диссертации предложен новый подход, в основу которого положена идея совместного использования нечетких продукционных моделей предпочтений лица, принимающего решения, теории планирования экспериментов, направленных на извлечение экспертных знаний о заданной предметной области. В качестве частных показателей качества рассматриваемой архитектуры использовались показатели модульности, допустимой гетерогенности, производительности, многопользовательского режима и масштабируемости. В итоге была обоснованно выбрана сервис-ориентированная архитектура создаваемой информационной платформы.

5. На базе предложенного описания функционирования КФС разработана методология и технология использования контейнерной виртуализации в промышленном интернете, позволяющая оперативно отображать синтезированную технологию управления КФС на аппаратную инфраструктуру туманных вычислений и отличающаяся высоким уровнем автоматизации процессов конфигурирования и реконфигурирования вычислительной среды и низким временем «переналадки» оборудования.

6. Предложено и обосновано расширение языка описания бизнес-процессов BPMN (Business Process Model and Notation, нотация и модель бизнес-процессов) для обеспечения возможности использования его в качестве единой основы для согласования моделей разработанного полимодельного комплекса, а также использования при решении прикладных задач с использованием разработанного программного комплекса. Данное расширение дополняет BPMN новыми сущностями, соответствующими концептам логико-динамической модели, что предоставляет возможность, находясь в рамках существующих стандартов, отделить конструктивное описание функциональной структуры промышленного интернета от технических особенностей её аппаратно-программной реализации.

3. Практическая значимость результатов исследований

Практическая значимость полученных в диссертации результатов исследований состоит в том, что разработанные Потрясаевым С.А. методологические и методические основы решения синтеза технологий и комплексных планов управления информационными процессами в киберфизических системах нашли реализацию при решении задач системного моделирования и управления территориально-распределённой обработкой и использованием полученных данных и информации в различных предметных областях (судостроение, космонавтика, робототехника, экология и т.п.).

Согласно текста диссертации в АО «Центр технологий судостроения и судоремонта» разработанные автором методы и алгоритмы оценивания выполнимости производственных программ судостроительного предприятия (ССП), разработанные методы и алгоритмы оценивания робастности и динамической устойчивости производственных программ СПП, реализованные в виде экспериментального образца программного модуля позволили оперативно в автоматизированном режиме рассчитать значения показателя полноты выполнения комплекса операций производственного плана СПП, значения показателя суммарного времени нарушения директивных сроков выполнения операций, входящих в производственный план, а также значения показателей робастности и динамической устойчивости производственных программ СПП. Расчет и последующий многокритериальный анализ значений показателей позволил на практике повысить степень обоснованности окончательного выбора производственных программ (ПП) по сравнению с традиционными эвристическими подходами за счет оценивания и учета информации о надежности выполнения ПП при построении пессимистических, оптимистических и случайных сценариев деградации логической структуры процесса сборки каждого конкретного судна.

Предложенная Потрясаевым С.А. сервис-ориентированная архитектура созданного экспериментального образца программного комплекса позволила перевести разрабатываемую программную систему в формат «облачного» приложения, реализуемого как сервис. Следствием перехода к облачным вычислениям явилось существенное повышение гибкости аппаратно-программной реализации. Создаваемый программный комплекс сделан территориально и структурно распределенным. Его программные модули расположены в Москве, Санкт-Петербурге, Казани и выполнялись на вычислительных мощностях, принадлежащих разным организациям. Гибко синтезируемая программная система на каждом рабочем месте технолога была реализована как единое целостное многофункциональное масштабируемое программное решение в рамках единого информационно-функционального пространства.

В Филиале акционерного общества «Государственный космический научно-производственный центр имени М.В. Хруничева» – Научно-исследовательский институт космических систем имени А.А. Максимова разработанные в диссертации модели, метод, алгоритмы структурно-функциональной реконфигурации бортовых систем (БС) маломассогабаритного космического аппарата (МКА) в штатных и заданных условиях эксплуатации, а также разработанная методика гибкого перераспределения функций между бортовым и наземным комплексами управления (БКУ, НКУ) МКА, реализованные в виде общесистемного программного обеспечения (сервисной шины) и соответствующего специального программно-математического обеспечения позволили за счет комплексной автоматизации

повысить оперативность, обоснованность и достоверность решения задач оценивания, анализа и прогнозирования показателей надежности и живучести БС, а также выработки соответствующих рекомендаций (в том числе и управляющих воздействий), обеспечивающих гарантированное восстановление их работоспособности в условиях возможных сбоев, отказов, штатных и нештатных аварийных полетных ситуаций.

В целом обобщая результаты многочисленных проведенных экспериментов, связанных с использованием разработанного математического и программного обеспечения синтеза технологий и программ управления информационными процессами в промышленном интернете, используемых в различных предметных областях, установлено, что за счёт выполненной оптимизации в среднем показатель оперативности реализации синтезированного информационного процесса может быть повышен на 15%, а показатели ресурсоемкости и стоимости (в энергетическом или денежном выражении) – улучшены в среднем на 30% по сравнению со значениями аналогичных показателей, получаемых при использовании традиционных эвристических методов и алгоритмов решения задач календарного планирования и составления расписаний применительно к рассматриваемой предметной области. Применение предлагаемых методов и алгоритмов повышения устойчивости и робастности синтезированных технологий и комплексных планов функционирования КФС при решении практических задач позволяет повысить указанные показатели устойчивости и робастности в среднем на 30% по сравнению с показателями, полученными при использовании традиционных эвристических методов обеспечения устойчивости и робастности планов функционирования КФС.

4. Достоверность и степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные положения, выводы и рекомендации, полученные в диссертации, достаточно обоснованы и аргументированы. Сформулированная в диссертации проблема была исследована и решена на основе корректного использования фундаментальных концепций, принципов и подходов, используемых в системном анализе, общей теории систем, теории множеств и математических структур, теории вероятности и теории возможности, теории автоматов и алгоритмов, программной инженерии, теории информационных систем и процессов, теории оптимального управления логико-динамическими системами, теории многокритериального выбора и исследований операций.

Достоверность основных выводов и результатов диссертации подтверждается: сравнительным анализом достоинств и недостатков предшествующих научных разработок по исследуемой проблематике и преемственностью основных научных положений, сформулированных автором; корректностью предложенных математических методов, моделей, алгоритмов и апробацией основных теоретических положений диссертации в печатных трудах, докладах на НТК и НТС; согласованностью результатов, полученных с использованием положений, изложенных в диссертации, с данными, полученными в результате экспертного опроса специалистов, непосредственно участвующих в процессах проектирования, внедрения и эксплуатации КФС и промышленного интернета; положительными результатами внедрения основных научных положений диссертации в различных предметных областях.

5. Общая оценка содержания диссертации, полнота опубликованных результатов и соответствие паспорту специальности

Научные положения диссертации Потрясаева С.А. опубликованы в 105 научных трудах, в том числе: 26 статей в изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки РФ для опубликования основных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора технических наук, 5 патентов РФ, 5 свидетельств на программы; 38 статей зарегистрированы в SCOPUS, 19 статей зарегистрированы в Web of Science, остальные публикации – в научно-технических журналах и сборниках научных трудов. Полученные автором основные результаты также обсуждались на 18 международных, национальных и региональных научных конференциях.

Автореферат полно и правильно отражает основные положения и результаты диссертационной работы.

Результаты диссертационной работы соответствуют:

- паспорту специальности 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей:

П. 8. Модели и методы создания программ и программных систем для параллельной и распределенной обработки данных, языки и инструментальные средства параллельного программирования.

П. 9. Модели, методы, алгоритмы и программная инфраструктура для организации глобально распределенной обработки данных.

- паспорту специальности 05.13.01– «Системный анализ, управление и обработка информации»:

П. 2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

П. 5. Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации.

6. Недостатки диссертации

Тем не менее, к работе имеются следующие замечания:

1. В диссертации разработана и реализована методология решения задач выбора оптимальных технологий и программ управления структурной динамикой КФС, однако не представлено выполнения требований полноты, замкнутости и непротиворечивости полученных результатов.

2. В работе не описано каким образом автору удалось преодолеть проблему размерности в задачах календарного планирования и составления расписаний, решаемых при управлении информационными процессами в КФС и в промышленном интернете.

3. В диссертационной работе и автореферате отсутствуют оценки затрат вычислительных ресурсов на реализацию разработанных автором алгоритмов, методик, а также оценки временных затрат на проведение имитационного моделирования реализации планов управления структурной динамикой КФС в условиях возможных возмущающих воздействий.

4. При описании практических внедрений не представлено каким образом были получены показатели эффективности предложенных методов, моделей, алгоритмов и программных средств.

Приведенные недостатки в целом не снижают научный уровень представленного материала, не опровергают и не ставят под сомнение достоверности и значимости основных научных результатов, полученных автором рассматриваемой диссертационной работы.

7. Заключение

Диссертационная работа Потрясаева С.А. на тему «Синтез технологий и комплексных планов управления информационными процессами в промышленном интернете» по специальностям: 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей, 05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы) является законченной научно-квалификационной работой.

Диссертация Потрясаева С.А. характеризуется новизной, теоретической значимостью и практической ценностью результатов. Результаты являются достоверными и научно обоснованными. Соискателем успешно решена актуальная научная проблема разработки прикладной теории синтеза технологий и комплексных планов управления информационными процессами в киберфизических системах и её применении для решения задач системного моделирования и управления территориально-распределённой обработкой и использованием полученных данных в промышленном интернете в интересах повышения его эффективности

Считаю, что диссертационная работа Потрясаева Семёна Алексеевича по содержанию, научному уровню и степени завершенности исследования соответствует критериям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции Постановления Правительства Российской Федерации от 01.10.2018), предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Потрясаев Семён Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальностям 05.13.11 – «Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей», 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (технические системы)».

Официальный оппонент

главный научный сотрудник лаборатории №80 «Киберфизических систем»
ИПУ РАН, доктор технических наук, профессор
Мещеряков Роман Валерьевич

«30» марта 2020 года

Мещеряков

Полное наименование организации: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова Российской академии наук

Адрес: 117997, ГСП-7, г. Москва

Телефон: +7 495 334-89-10

E-mail: mrv@ieee.org

ПОДПИСЬ

ЗАВ. ОБЩИМ ОУДЕЛОМ
ЛЫСЕНКО А.В.

Мещеряков Р.В.