
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

УДК 519.8

М. Ю. ОХТИЛЕВ, Н. Г. МУСТАФИН, В. Е. МИЛЛЕР, Б. В. СОКОЛОВ

КОНЦЕПЦИЯ ПРОАКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ: ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ

Рассмотрены теоретические и технологические основы разрабатываемой прикладной теории проактивного управления сложными объектами, которая к настоящему времени получила практическую реализацию в ракетно-космической отрасли, атомной энергетике, транспортно-логистической и военной сферах.

Ключевые слова: междисциплинарный подход, управление сложностью, проактивный мониторинг и управление, комплексное моделирование.

Введение. Анализ основных проблем XXI века показывает, что наиболее актуальной является проблема обеспечения безопасности жизнедеятельности в условиях возникновения различных масштабных аварий, техногенных катастроф и других чрезвычайных ситуаций, которые без оперативного принятия специальных мер могут привести к большим человеческим жертвам, материальным потерям и многим другим негативным факторам [1—3]. Одна из главных причин возникновения перечисленных явлений связана с усилением сложности существующих и проектируемых организационно-технических систем, используемых в различных предметных областях. При этом говоря о сложности современных объектов-оригиналов (реальных и абстрактных), принято выделять следующие основные аспекты: *структурную сложность, сложность функционирования, сложность принятия решений и выбора сценариев поведения, сложность развития, сложность их формального описания и моделирования* [1, 4, 5—11].

В этих условиях для обеспечения требуемой степени автономности, качества и оперативности управления сложными объектами (далее — объектами) необходимо, *во-первых*, обеспечить модельно-алгоритмическое описание процессов смысловой интерпретации всех возможных штатных и нештатных состояний при их функционировании и, *во-вторых*, на этой основе решить весь перечень задач комплексной автоматизации и интеллектуализации процессов управления объектами в различных условиях.

Однако, к сожалению, в подавляющем большинстве случаев на практике процессы мониторинга и управления состояниями объектов в указанной выше трактовке автоматизированы лишь частично [2, 6, 12]. Как правило, в современных автоматизированных системах управления (АСУ) сложными объектами операторам предоставляется смысловая информация только о состояниях их *элементов*, а не *объектов контроля в целом*. Указанные обстоятельства приводят к тому, что *интегральная оценка* состояния объектов в таких системах, как и формирование необходимых управляющих воздействий, осуществляется операторами

в основном вручную на базе тех или иных эвристических правил. Кроме того, как следует из вышеизложенного, особенность создания рассматриваемых объектов, систем и комплексов заключается в том, что они, прежде всего, должны быть ориентированы на применение в условиях возникновения неисправностей, аварий и даже катастроф и, следовательно, наделены свойством *живучести* (в более общем случае — катастрофоустойчивости) [3, 13, 14]. Применительно к процессам мониторинга и управления реализация свойства живучести предполагает оперативное формирование таких процедур сбора, обработки и анализа данных, а также соответствующей вычислительной среды, при которых обнаружение, локализация и ликвидация сбоев и отказов элементов и подсистем данных объектов будет происходить значительно раньше, чем проявятся возможные последствия указанных неисправностей. В этом и состоит основное содержание рассматриваемых в настоящей статье задач синтеза технологий проактивного (упреждающего) мониторинга и управления, которые можно рассматривать как перспективные технологии управления сложностью (complexity management) [1, 4—6, 8, 10, 11].

Следует отметить, что процессы проактивного управления объектами характеризуются дополнительными особенностями в условиях, когда из-за дефицита ресурсов (вызванного различными причинами субъективного и объективного характера) становится *невозможным поддерживать требуемый уровень работоспособности объектов*. В данных ситуациях проактивное управление соответствующими объектами и системами должно сопровождаться целенаправленными процедурами реконфигурации структур как самих объектов, так и АСУ объектами для обеспечения максимально допустимого уровня их работоспособности.

Анализ показывает [3, 5, 6, 12, 13, 15—19], что в качестве методологической и методической базы для решения перечисленных выше проблем целесообразно выбрать прикладную теорию проактивного мониторинга и управления структурной динамикой сложных объектов. Проактивное управление объектами, в отличие от традиционно используемого на практике реактивного управления (которое ориентировано на оперативное реагирование на инциденты и последующее их недопущение), предполагает предотвращение возникновения инцидентов за счет создания в соответствующей системе мониторинга и управления принципиально новых упреждающих возможностей при формировании управляющих воздействий на основе реализации концепции системного (комплексного) моделирования [6, 12, 16, 18, 20, 21].

К настоящему времени наука создала богатый методологический и методический аппарат, в основу которого положена междисциплинарная отрасль системных научных знаний. В ядре этой отрасли знаний, прежде всего, выделяют такие научные направления, как *кибернетика (в современных условиях — неокибернетика), информатика и общая теория систем* [1, 2, 6, 10, 21, 22]. Формирование отрасли системных научных знаний является велением времени, так как на данном этапе развития науки (этапе интеграции научных знаний) на передний план выступает методология, требующая сочетания (единства) процессов анализа и синтеза при изучении свойств объектов как целостных образований, состоящих из взаимосвязанных частей и обладающих качественно новыми свойствами по сравнению со свойствами этих частей. При этом в настоящее время речь должна идти не о взаимном поглощении, а о взаимном дополнении, концептуальном и идейном взаимообогащении, гармоничном и согласованном развитии междисциплинарных наук. В данной статье на примере разрабатываемой авторами теории проактивного мониторинга и управления структурной динамикой объектов иллюстрируются указанные тенденции.

Теоретические основы проактивного управления сложными объектами. Анализ современного состояния фундаментальных и прикладных научных работ в области решения проблем управления сложностью показал, что время реакции на происходящие в этой области перемены, вызванные научно-техническим прогрессом, и адаптации к ним теоретических исследований значительно превышает интервал между очередными изменениями [2, 4, 5, 9—11, 17]. Все это требует проведения упреждающих исследований, основанных на прогнозировании

возможных проблем в рассматриваемой предметной области и разработке соответствующих методологических и методических основ их решения.

При этом в ряде работ [1, 4, 5, 10, 15] подчеркивается глубокая общность биологических объектов, современных АСУ объектами и корпоративных информационных систем (ИС) вследствие их иерархически-сетевой организации. Разрабатываемые в настоящее время архитектуры, ориентированные на сервисы и базирующиеся на концепции виртуализации своих компонентов, обеспечивают материальную основу для синтеза принципиально новых информационно-вычислительных и телекоммуникационных систем, которые по своим свойствам будут приближаться к свойствам живых организмов.

Одним из классиков современной кибернетики С. Биром в работе [1] было показано, как на основе нейрофизиологической интерпретации функционирования центральной нервной системы человека удается построить оригинальную пятиуровневую модель жизнеспособной системы, в которой за счет гибкого сочетания механизмов иерархического и сетевого управления можно находить необходимый (в зависимости от складывающейся ситуации) компромисс между централизацией и децентрализацией целей, функций, задач и операций, реализуемых в соответствующей организации и определяющих ее специфику.

Данную модель С. Бир успешно использовал при решении различных классов задач прогнозирования и анализа путей развития сложных социально-экономических систем [1]. При этом в своих работах С. Бир неоднократно подчеркивал, что конструктивное исследование многоаспектной проблемы сложности должно базироваться на дальнейшем диалектическом развитии принципа необходимого разнообразия, сформулированного Р. Эшби. Анализ работ [2, 4—7, 13—16, 20, 21] в области современной кибернетики (неокибернетики) позволил сформулировать ряд конкретных направлений по реализации данного принципа (см. рис. 1), которые могут быть положены в основу предлагаемой авторами концепции проактивного управления сложными объектами.



Рис. 1

В работах [6, 10, 12, 13, 16, 18—21] перечисленные направления реализации принципа необходимого разнообразия получили свою дальнейшую конкретизацию и развитие для ряда предметных областей. Авторами данных работ подчеркивается особая актуальность создания методологических и методических основ решения проблем *управляемой самоорганизации* как наиболее эффективного способа борьбы с разнообразием состояний внешней среды. При

этом технология управляемой самоорганизации предполагает реализацию целенаправленных процессов поддержания динамического соответствия структур и функций в соответствующих сложных организационно-технических и социально-экономических системах. К настоящему времени получен ряд интересных теоретических и практических результатов при исследовании проблем управления структурной динамикой сложных технических объектов в различных предметных областях [5, 6, 9—12, 18].

В современных условиях существуют различные варианты организации проактивного управления сложными объектами, в том числе и технологии проактивного управления структурной динамикой указанных объектов. Среди данных технологий можно выделить в первую очередь изменение способов и целей функционирования объектов, последовательности выполнения операций, входящих в указанные технологии, в различных условиях; перемещение в пространстве отдельных элементов и подсистем объектов; перераспределение и децентрализацию функций, задач, алгоритмов управления и информационных потоков между уровнями структур объектов; использование гибких (сокращенных) технологий управления объектами; реконфигурацию структур объектов при их деградации [6].

Задачи управления структурной динамикой объектов по своему содержанию относятся к классу задач структурно-функционального синтеза облика объектов и формирования соответствующих программ управления их развитием. Главная трудность и особенность решения задач рассматриваемого класса состоит в следующем. Оптимальные программы управления основными элементами и подсистемами объекта могут быть выполнены лишь после того, как станет известен перечень функций и алгоритмов обработки информации и управления, которые должны быть реализованы в указанных элементах и подсистемах. В свою очередь, распределение функций и алгоритмов по элементам и подсистемам объекта зависит от структуры и параметров законов управления данными элементами и подсистемами. Трудность разрешения данной противоречивой ситуации усугубляется еще и тем, что под действием различных причин во времени изменяется состав и структура объекта на разных этапах его жизненного цикла.

К настоящему времени рассматриваемый класс задач структурно-функционального синтеза и управления развитием объектов исследован недостаточно глубоко. Получены новые научные и практические результаты в рамках следующих направлений исследований [2, 6, 15.]: синтез технической структуры объекта при известных законах функционирования его основных элементов и подсистем; синтез функциональной структуры объекта или, иными словами, синтез программ управления его основными элементами и подсистемами при известной технической структуре объекта; синтез программ создания и развития новых поколений объектов без учета этапа совместного функционирования существующих и внедряемых объектов. Известен ряд итерационных процедур получения совместного решения задач, исследования которых проводятся в рамках указанных направлений. В целом, все существующие модели и методы структурно-функционального синтеза облика объектов и формирования программ их развития используются на этапах внешнего и внутреннего проектирования облика, т.е. когда фактор времени не является существенным.

В рамках разработанного авторами подхода к организации проактивного управления объектами удалось с единых позиций подойти к решению всего спектра задач их структурно-функционального синтеза, возникающих на различных этапах жизненного цикла. Динамическая и управленческая интерпретация указанных задач, а также реализация концепции комплексного моделирования позволили на конструктивном уровне использовать фундаментальные и прикладные результаты, полученные к настоящему времени в таких научных дисциплинах, как исследование операций, искусственный интеллект, теория управления, теория принятия решений, системный анализ.

В заключение данного раздела приведем в качестве примера содержание предложенной авторами обобщенной процедуры решения задачи проактивного управления структурной ди-

намикой объекта, в соответствии с которой на первом этапе должно осуществляться формирование (генерирование) допустимых вариантов многоструктурных макросостояний объекта или, другими словами, должен проводиться структурно-функциональный синтез его нового облика, соответствующего складывающейся (прогнозируемой) обстановке.

На втором этапе производится выбор и реализация конкретного варианта многоструктурного макросостояния объекта с одновременным синтезом (построением) адаптивных планов (программ) управления его переходом из текущего в требуемое (выбранное) макросостояние. При этом рассматриваемые планы должны обеспечивать такое эволюционное развитие объекта, при котором наряду с реализацией программ перехода из соответствующих макросостояний предусматривается одновременно и реализация программ устойчивого управления объектом в промежуточных макросостояниях. В целом, на втором этапе исследования задачи выбора оптимальных программ проактивного управления структурной динамикой объекта приходится решать совокупность частных задач многоуровневой и многоэтапной оптимизации.

Одно из главных достоинств предлагаемой процедуры поиска и реализации оптимальных программ проактивного управления структурной динамикой объекта состоит в том, что при формировании вектора программных управлений в результате, наряду с оптимальным планом, одновременно получаем и искомое многоструктурное макросостояние, находясь в котором, объект сможет выполнять поставленные перед ним задачи в складывающейся (прогнозируемой) обстановке с требуемой степенью устойчивости.

В результате проведенных исследований были разработаны комбинированные методы и алгоритмы решения задачи выбора указанных оптимальных программ в централизованном и децентрализованном режимах функционирования объекта [6, 12, 16, 18, 21]. В качестве базового комбинированного метода предложено использовать сочетание метода ветвей и границ и метода последовательных приближений. Теоретическим обоснованием данного метода служит доказанная теорема о свойствах задачи выбора оптимальной программы проактивного управления структурной динамикой объекта в условиях снятия ряда ограничений.

Технологические основы проактивного управления сложными объектами. Анализ современных тенденций развития информационных технологий и систем (ИТ и ИС) показывает, что все ведущие зарубежные и отечественные компании, специализирующиеся в данной области, строили и строят корпоративные информационные инфраструктуры только по вертикальному принципу, руководствуясь частными критериями и плохо согласуя собственные представления с требованиями бизнеса [4, 8—11, 14]. В результате традиционные подходы к автоматизации бизнес-процессов находятся в настоящее время если не в кризисном, то в предкризисном состоянии. При этом трудности управления современными АСУ объектами, а также корпоративными ИС выходят за рамки администрирования отдельными программными средами. Необходимость интеграции нескольких гетерогенных сред в общекорпоративные вычислительные системы и стремление выйти за пределы компании, подключившись к сети Интернет, обуславливают формирование нового уровня сложности.

Для преодоления указанных тенденций весьма перспективным представляется создание новых поколений ИТ и ИС, построенных на основе концепций *адаптивного управления* и *самоорганизации*. Разрабатываемые *самоуправляемые вычислительные системы*, по замыслам их создателей, должны в будущем самостоятельно организовывать свое функционирование с учетом требований, сформулированных администраторами. Говоря о свойствах будущих адаптивных и самоорганизующихся компьютерных систем, необходимо, в первую очередь, выделить следующие свойства [4—7, 10, 11, 14]: самосознание и проактивность; способность к переконфигурированию (самоконфигурирование); самосовершенствование и самооптимизация; самолечение; самосохранение; общественное поведение; коммуникабельность; благожелательность и правдивость.

В современных условиях ведущие производители компьютерных технологий и систем осознают необходимость и важность проблем создания и внедрения концепции адаптивного проактивного управления и самоорганизации в информационную сферу. Информационные технологии XXI века уже получили определение „естественные“, „органичные“ (Organic IT). Данной терминологией аналитики компании “Forrester Research” (США) [4, 14] хотят подчеркнуть необходимость более органичного, естественного, непосредственного использования информационных технологий в интересах бизнес-приложений.

Среди крупных корпораций-производителей информационных услуг, осуществляющих продвижение к „естественным“ компьютерным системам, можно, в первую очередь, назвать следующие [4, 14]: Dell-Dynamic Computing, Hewlett-Packard-Adaptive Infrastructure (Adaptive Enterprise), IBM-Computing on Demand, Autonomous Computing, Microsoft-Dynamic Systems, Sun Microsystems-N1 (все — США).

Разработчики отечественной концепции проактивного управления объектами в качестве стратегической цели (миссии) определили формирование методологии **обеспечения технологической независимости** от зарубежных производителей в области создания, эксплуатации и модернизации модельно-алгоритмического, технического, информационного и программного обеспечения процессов комплексной автоматизации и интеллектуализации. Данная методология должна базироваться на **принципиально новом подходе** к проектированию и применению соответствующих АСУ объектами, основанном на комбинированном использовании логических, лингвистических и математических моделей, методов и алгоритмов, обеспечивающих суперкомпьютерную обработку и анализ в реальном времени сверхбольших объемов информации при наличии в ней некорректных, неточных и противоречивых данных [6].

При этом новизна разработанной теории проактивного управления объектами состоит в том, что ее авторам удалось, базируясь на сформулированных ими концепциях управляемой структурной динамики и инвариантности состояний объектов, а также состояний распределенного асинхронного вычислительного процесса, их описывающих, осуществить переход от *эвристических* методов алгоритмизации этих процессов к *последовательности целенаправленных теоретически и методически обоснованных и взаимосвязанных этапов* построения как *алгоритмов анализа многоструктурных макро- и микросостояний объектов, так и алгоритмов проактивного управления ими.*

На рис. 2 представлены основные принципы построения системы проактивного управления сложными объектами, которые к настоящему времени получили широкую и всестороннюю реализацию в ракетно-космической отрасли, атомной энергетике, транспортно-логистической и военной сферах.

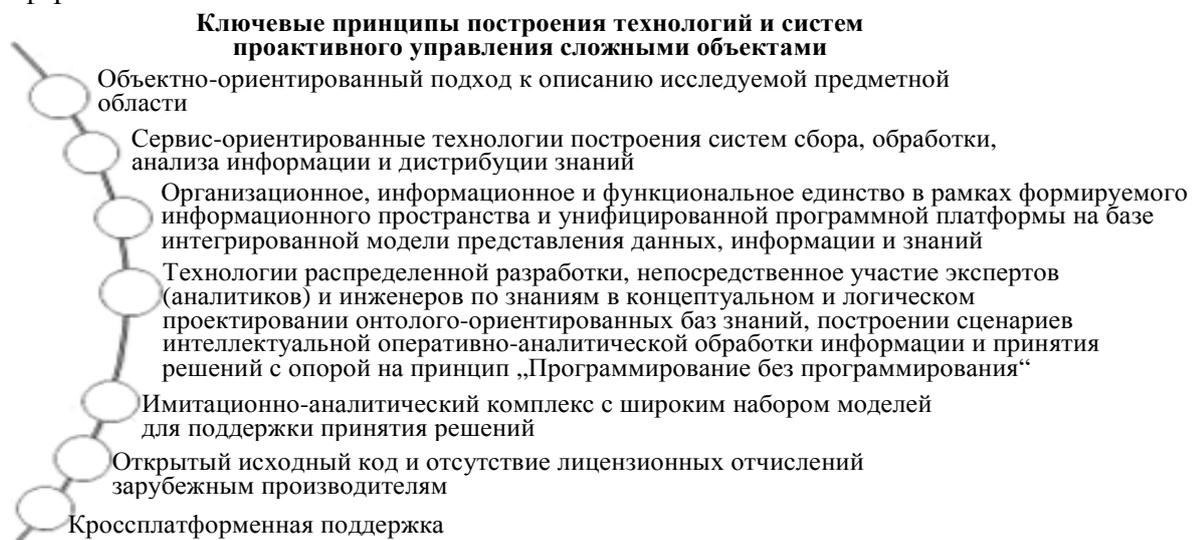


Рис. 2

Заключение. За прошедшие 20 лет теория проактивного мониторинга и управления структурной динамикой сложных объектов развивалась в рамках следующих трех основных научных направлений: разработка методологических и методических основ решения проблем адаптивного структурного-функционального синтеза и проактивного управления объектами; квалиметрия моделей и полимодельных комплексов, описывающих объекты на различных этапах их жизненного цикла; разработка и реализация инструментальных средств автоматизации и интеллектуализации процессов комплексного моделирования, прогнозирования, мониторинга состояний объектов в различных условиях.

Начиная с 1999 г. полученные фундаментальные и прикладные результаты повсеместно внедряются в организациях и учреждениях РАН, государственных и коммерческих организациях РФ, зарубежных организациях. Это позволило, в частности, решать вопросы прогнозирования при планировании и проектировании таких сверхсложных систем, как объекты воздушно-космической обороны [23]. Принятие решения о будущих угрозах и, как следствие, о возможных способах реакции на них путем разработки новых средств соответствующей информационно-системной и (или) модернизации существующих средств является одним из характерных приложений теории проактивного управления сложными объектами. Прикладное значение рассматриваемой теории существенно возрастает в условиях нестабильной геополитической обстановки, когда сохраняется значимость стратегических решений, но особенно актуальными становятся тактические (в геополитическом смысле) решения, позволяющие оперативно реагировать на внешние воздействия.

К числу наиболее значимых результатов можно отнести следующие.

— Разработаны методологические и методические основы решения задач структурно-функционального синтеза интеллектуальных информационных технологий и систем управления объектами, базирующиеся на полимодельном многокритериальном описании, полученном в рамках теории недоопределенных вычислений и управления структурной динамикой. Предлагаемый подход позволил осуществлять в интерактивном либо автоматическом режиме интеллектуальную обработку данных и знаний о состоянии объектов, разнотипных по своей физической природе и формам представления, а также при наличии некорректной и недостоверной информации.

— Разработаны основы теории управления структурной динамикой объектов, содержащие концепции, принципы, способы, методы, алгоритмы и методики управления структурной динамикой. Данная прикладная теория имеет междисциплинарный характер и базируется на результатах, полученных в таких областях, как классическая теория управления, исследование операций, искусственный интеллект, теория систем и системный анализ.

— Разработаны основные понятия, принципы и подходы, используемые в квалиметрии семиотических моделей (полимодельных комплексов). Построена иерархия концептуальных моделей развивающихся ситуаций, участниками которой являются субъекты и объекты моделирования, а также собственно разрабатываемые (используемые) модели. Проведена классификация и систематизация семиотических моделей, установлены взаимосвязи и соответствия между различными их видами и родами. В рамках реализации концепции новых информационных технологий и разработанной методологии моделирования сложных объектов на основе алгоритмических сетей предложен методический подход, обеспечивающий разработку соответствующих систем автоматизации и моделирования и позволяющий пользователям оперативно и с минимальными затратами строить и исследовать сетевые модели сложных объектов для различных предметных областей.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: Санкт-Петербургского государственного политехнического университета (мероприятие 6.1.1), Университета ИТМО (субсидия 074-U01), Программы научно-технического сотрудничества Союзного государства „Мониторинг СГ“

(проект 1.4.1–1), Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 12-07-00302, 13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250, 13-07-12120, 13-06-0087), Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект № 2.11), проектов ESTLATRUS 2.1/ELRI-184/2011/14, 1.2/ELRI-121/2011/13.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бир С. Мозг фирмы. М.: Едиториал УРСС, 2005.
2. Герасименко В. А. Информатика и интеграция в технике, науке и познании // Зарубежная радиоэлектроника. 1993. № 5. С. 22—42.
3. Панкратова Н. Д., Курилин Б. И. Концептуальные основы системного анализа рисков в динамике управления безопасностью сложных систем // Проблемы управления и информатики. 2000. № 6. С. 110—132; 2001. № 2. С. 108—126.
4. Вонт Р., Перинг Т., Тенненхау Д. Адаптивные и проактивные компьютерные системы // Открытые системы. 2003. № 7. С. 4—9.
5. Крылов С. М. Неокибернетика: Алгоритмы, математика эволюции и технологии будущего. М.: Изд-во ЛКИ, 2008.
6. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006.
7. Хищенко В. Е. Самоорганизация: элементы теории и социальные приложения. М.: КомКнига, 2005.
8. Foerster von H. Cybernetics of Cybernetics: Paper Delivered at 1970 Annual Meeting of the American Society for Cybernetics / Univ. of Illinois, Urbana, 1974.
9. Foerster von H. Cybernetics. Encyclopedia of Artificial Intelligence. N.Y.: John Wiley and Sons, 1987.
10. Heikki Hyötyniemi. Neocybernetics in Biological Systems / Helsinki Univ. of Technology, Control Engineering Laboratory, Rep. 151, Aug. 2006. 273 p.
11. Maruyama M. The second cybernetics. Deviation amplifying mutual causal process // American Scientist. 1963. N 51.
12. Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Комплексное моделирование функционирования автоматизированной системы управления навигационными космическими аппаратами // Проблемы управления и информатики. 2002. № 5. С. 103—117.
13. Колесников А. А. Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза. М.: КомКнига, 2006.
14. Черняк Л. От адаптивной инфраструктуры — к адаптивному предприятию // Открытые системы. 2004. Окт., № 9. С. 30—35.
15. Васильев С. Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Теория и системы управления. 2001. № 1. С. 5—22; № 2. С. 5—21.
16. Калинин В. Н., Соколов Б. В. Многомодельный подход к описанию процессов управления космическими средствами // Теория и системы управления. 1995. № 1. С. 56—61.
17. Красовский А. А. Науковедение и состояние современной теории управления техническими системами // Изв. РАН. Теория и системы управления. 1998. № 6. С. 16—24.
18. Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Концептуальные основы оценивания и анализа качества моделей и полимодельных комплексов // Теория и системы управления. 2004. № 6. С. 5—16.
19. Тимофеев А. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные системы управления // Изв. РАН. Техническая кибернетика. 1994. № 5.
20. Юсупов Р. М. К 90-летию академика Е. П. Попова // Информационно-управляющие системы. 2005. № 1. С. 51—57.
21. Юсупов Р. М., Соколов Б. В. Проблемы развития кибернетики и информатики на современном этапе // Кибернетика и информатика: Сб. СПб: Изд-во СПбГПУ, 2006. С. 6—21.

22. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. М.: Сов. радио, 1958.
23. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Возможный подход к созданию единой информационно-вычислительной среды для системы воздушно-космической обороны // Вопросы оборонной техники: науч.-техн. сб. 2010. Сер. 9, вып. 1(242)—2(243). С. 85—90.

Сведения об авторах

- Михаил Юрьевич Охтилев** — д-р техн. наук, профессор; СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; E-mail: oxt@mail.ru
- Николай Габдрахманович Мустафин** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет „ЛЭТИ“, кафедра автоматизированных систем обработки информации и управления; E-mail: nikolay.mustafin@gmail.com
- Владимир Евгеньевич Миллер** — канд. техн. наук; ОАО Радиотехнический институт им. акад. А. Л. Минца, Санкт-Петербург; директор филиала; E-mail: miller@progsystema.ru
- Борис Владимирович Соколов** — д-р техн. наук, профессор; СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; зам. директора по научной работе; E-mail: sokol@iias.spb.su

Рекомендована СПИИРАН

Поступила в редакцию
10.06.14 г.

УДК 519.872

Ю. И. РЫЖИКОВ

**ОПТИМИЗАЦИЯ МАРШРУТНОЙ МАТРИЦЫ
В СЕТЯХ ОБСЛУЖИВАНИЯ**

Описан алгоритм расчета временных характеристик разомкнутой сети обслуживания. Предложен метод оптимизации сети обслуживания по среднему времени пребывания заявки в сети путем выравнивания загрузки узлов. Приводятся и обсуждаются результаты численного эксперимента.

Ключевые слова: разомкнутая сеть, время пребывания, выравнивание загрузки узлов.

Расчет сети. Реальные процессы обслуживания связаны с прохождением нескольких его этапов, реализуемых в отдельных узлах сети. Сеть обслуживания состоит из рабочих узлов, пронумерованных от 1 до M , источника (узел „0“) и стока (узел „ $M+1$ “). Для каждого j -го узла задаются моменты распределения „чистой“ длительности обслуживания $\{b_{j,l}\}, l = \overline{1, L}$, число каналов n_j и дисциплина обслуживания. Маршрут заявки в сети определяется неразложимой матрицей передач $R = \{r_{i,j}\}, i, j = \overline{0, M+1}$, образованной вероятностями перехода из i -го узла в j -й. Важнейшей оперативной характеристикой работы сети является среднее время пребывания в ней заявки. Первым шагом процесса оптимизации сети должна быть минимизация этого времени.

Проблема расчета сетей обслуживания активно обсуждается в сотнях статей и монографий (см., например, список литературы в работе [1]). К концу 1980-х гг. выяснилось, что строгое решение этой задачи возможно лишь при весьма ограниченных условиях теоремы ВСМР (Baskett, Chandy, Muntz, Palacios [2]). Методы решения были непомерно трудоемкими, а получаемые характеристики — недостаточными. Как отмечал в ходе дискуссии на