

## Раздел V. Системы и пункты управления

УДК 519.8

**М.Ю. Охтилев, Б.В. Соколов, Р.М. Юсупов**

### **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ КОНЦЕПЦИИ ПРОАКТИВНОГО МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ ОБЪЕКТАМИ**

*В настоящее время проблема сложности является одной из центральных проблем управления современными и перспективными организационно-техническими объектами (или, по-другому, сложными объектами (СЛО)). В этих условиях целесообразно переходить к новой технологии управления, базирующейся на концепции проактивного управления, которое, в общем случае, многофункционально и включает в себя применительно к сложным объектам как функции целеполагания, планирования, регулирования, так и функции учета и контроля, мониторинга и координации. При этом проактивное управление объектами, в отличие от традиционно используемого реактивного управления, ориентированного на оперативное реагирование и последующее недопущение возможных нештатных и аварийных ситуаций, предполагает предотвращение возникновения указанных ситуаций за счет создания в соответствующей системе управления принципиально новых прогнозирующих и упреждающих возможностей при формировании и реализации управляющих воздействий, базирующихся на методах и технологиях системного (комплексного) моделирования. Научная новизна результатов, полученных авторами статьи, базируется на оригинальной динамической интерпретации процессов управления СЛО, обеспечившей повышение гибкости и адаптивности указанных процессов. При этом разработанные комбинированные методы и алгоритмы проактивного управления позволили одновременно синтезировать как требуемое терминальное многоструктурное макросостояние СЛО, в котором он должен находиться по окончании интервала планирования, так и программу перехода в это многоструктурное макросостояние. Рассмотрены также технологические основы разрабатываемой прикладной теории проактивного мониторинга и управления СЛО, получившей всестороннюю реализацию в ракетно-космической отрасли, атомной энергетике, транспортно-логистической и военной сферах.*

*Междисциплинарный подход; управление сложностью; проактивный мониторинг и управление; комплексное моделирование.*

**M.Y. Okhtilev, B.V. Sokolov, R.M. Yusupov**

### **CONCEPTION OF COMPLEX OBJECTS PROACTIVE MONITORING MANAGEMENT AND CONTROL: THEORETICAL AND TECHNOLOGICAL FOUNDATIONS**

*Today the problem of complexity is one of the central one in control over modern and perspective organization-technical objects (or oversize – complex objects (CO)). The problem includes a lot of aspects, such as complexity of description of both object under control and corresponding control system as a whole, complexity of modeling and prediction of their behavior, as well as complexity of decision making in the control system. As applied to complex organization-technical objects, an additional aspect of control is recognized, namely, the complexity management problem. Analysis brings out the advisability of conversion, in this case, to a new technology of control, based on the concept of proactive control. As applied to complex objects, the multifunctional concept generally includes functions of purpose formulation, planning, regulation, as well as accounting and supervision, monitoring and coordination. In contrast to traditionally employed reactive control, oriented to operative*

*response and consequent exclusion of possible extraordinary and emergency situations, the proactive control over objects presupposes prevention of the above accidents through the creation, in the control system, of fundamentally new prognostic and preemptive features of formation and realization of control actions based on methods and technologies of system (complex) modeling. The authors proposed original dynamic multiple-model description of CO functioning at the different stages of their life cycle. Joint use of diverse models in the framework of poly-model systems, allows one to improve the flexibility and adaptability of CO, as well as to compensate the drawbacks of one class of models by the advantages of the other. Moreover authors suggested combined methods and algorithms of models coordination and adaptation. One of the main opportunities of the proposed method of CO structure dynamic control program construction is that besides the vector of program control we receive a preferable multi-structural macro-state of CO at the end point. This is the state of CO reliable operation in the current (forecasted) situation. Technological foundations conception of complex objects proactive monitoring management and control theory are proposed in the paper. Now this theory is comprehensive implemented in different apply areas such as rocket-space, nuclear energetic, transport-logistics spheres.*

*Interdisciplinary approach; complexity management; proactive monitoring and control; integrated modeling and simulation.*

**Введение.** Анализ основных проблем XXI века показывает, что одной из них является проблема несоответствия между возрастающими потребностями человечества и возможностями их удовлетворения скудеющей биосферой [1, 5, 11]. Наиболее остро указанная проблема проявляется при возникновении различных масштабных аварий, катастроф и других чрезвычайных ситуаций, которые, без оперативного принятия специальных мер могут привести к большим человеческим жертвам, материальным потерям и ряду многих других негативных факторов. Одна из главных причин возникновения перечисленных явлений связана с усилением роли факторов сложности в существующих и проектируемых организационно-технических системах, используемых в различных предметных областях. При этом, говоря о проблемах сложности современных объектов-оригиналов (реальных и абстрактных), принято выделять следующие основные аспекты сложности: *структурную сложность, сложность функционирования, сложность принятия решений и выбора сценариев поведения, сложность развития, сложность их формального описания и моделирования* [1, 4, 9, 10, 15].

В этих условиях для обеспечения требуемой степени автономности, качества и оперативности управления СлО необходимо решить следующие основные научно-технические проблемы, **во-первых**, обеспечить модельно-алгоритмическое описание процессов смысловой интерпретации всех возможных штатных и нештатных состояний их функционирования и, **во-вторых**, на этой основе решить весь перечень задач комплексной автоматизации и интеллектуализации процессов мониторинга и управления СлО в различных условиях обстановки.

Однако, к сожалению, в подавляющем большинстве случаев на практике мониторинг, прогнозирование и управление состояниями СлО в указанной выше трактовке автоматизирован, в лучшем случае, лишь частично [5, 10, 12]. Как правило, в современных автоматизированных системах управления (АСУ) СлО операторам представляется смысловая информация только о состояниях их *элементов*, а не *объектов контроля в целом*. Указанные обстоятельства приводят к тому, что *интегральную оценку* состояния СлО в таких системах, также как и формирование необходимых управляющих воздействий выполняют операторы, в основном, вручную, базирясь на тех или иных эвристических правилах. Кроме того, как следует из вышеизложенного отличительной чертой рассматриваемых объектов, систем и комплексов является то, что при создании они, прежде всего, должны быть ориентированы на применение в условиях возникновения неисправностей, аварий и даже катастроф и потому наделяются свойством *живучести* (в более общем случае – катастрофоустойчивости) [7, 11, 15–16]. Применительно к процессам мониторинга и управления СлО реализация указанного свойства живучести предполагает оперативное формирование таких процедур сбора,

обработки и анализа данных, информации и знаний как о СлО, так и АСУ СлО в целом, а также соответствующей вычислительной среды, при которых обнаружение, локализация и ликвидация сбоев и отказов элементов и подсистем указанных объектов и систем будет происходить значительно раньше, чем станут проявляться возможные последствия указанных неисправностей. В этом как раз и состоит основное содержание рассматриваемых в этой статье задач синтеза технологий проактивного (упреждающего) мониторинга и управления СлО, которые можно рассматривать как перспективные технологии управления сложностью (complexity management), о которых речь пойдет далее [1, 4, 9, 10, 19, 21, 22].

Следует отметить, что дополнительные особенности процессы проактивного управления СлО приобретают в тех условиях, когда из-за дефицита ресурсов (вызванного различными причинами субъективного и объективного характера) уже становится *невозможным поддерживать требуемый уровень их работоспособности*. В рассматриваемых ситуациях проактивный мониторинг и управление соответствующими объектами и системами должен сопровождаться целенаправленными процедурами реконфигурации структур как самих СлО, так и АСУ СлО для обеспечения максимально допустимого уровня их работоспособности.

Анализ показывает [2, 6–14, 17–18], что в качестве методологической и методической базы решения перечисленных выше проблем целесообразно выбрать прикладную теорию проактивного мониторинга и управления структурной динамикой СлО, интенсивно развиваемую вот уже более 20 лет в рамках междисциплинарной отрасли системных знаний. Проактивное управление СлО в отличие от традиционно используемого на практике реактивного управления СлО, ориентированного на оперативное реагирование и последующее недопущение инцидентов, предполагает предотвращение возникновения инцидентов за счет создания в соответствующей системе мониторинга и управления принципиально новых прогнозирующих и упреждающих возможностей при формировании и реализации управляющих воздействий, базирующихся на концепции системного (комплексного) моделирования [6, 10, 12, 13, 18].

### **1. Теоретические основы проактивного мониторинга и управления СлО.**

Анализ современного состояния фундаментальных и прикладных научных работ в области решения проблем управления сложностью показал, что время реакции и адаптации теоретических исследований в указанной области на те перемены, которые вызваны научно-техническим прогрессом, значительно превышает интервал между его очередными изменениями [4–5, 8–9, 20–22]. 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, 2, 4, 9, 21] подчеркивается глубокая общность биологических объектов и современных АСУ СлО и корпоративных информационных систем (КИС) из-за их иерархически-сетевой организации. Разрабатываемые в настоящее время архитектуры, ориентированные на сервисы и базирующиеся на концепции виртуализации своих компонент, создают 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, выполняемых в соответствующей организации и определяющих её 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 ряда работ [2, 4–10, 15–18, 21] в области современной кибернетики (неокибернетики), позволил сформулировать ряд конкретных направлений по реализации данного принципа (рис. 1), которые могут быть положены в основу предлагаемой авторами концепции проактивного мониторинга и управления СЛО.

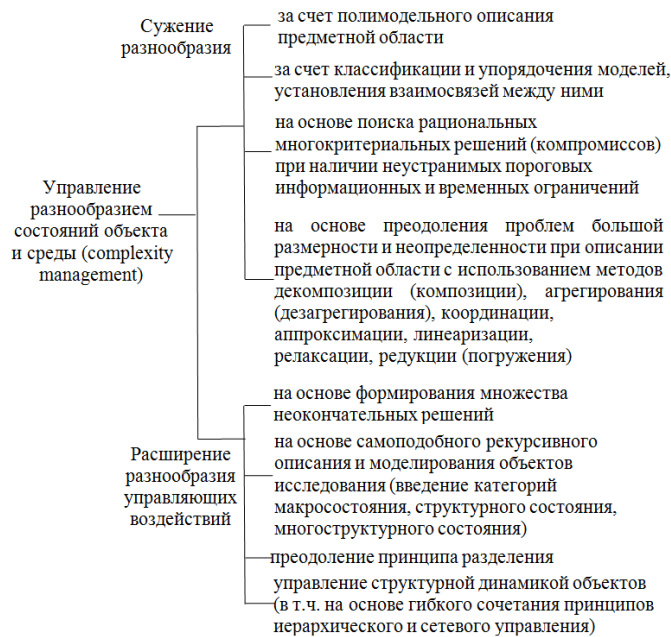


Рис. 1. Перспективные научные направления решения проблем проактивного мониторинга и управления сложными объектами.

В работах [6, 7, 10, 12–14, 17–18, 21] перечисленные направления реализации принципа необходимого разнообразия получили свою дальнейшую конкретизацию и развитие для ряда весьма интересных предметных областей. Авторами данных работ подчеркивается особая актуальность разработки методологических и методических основ решения проблем *управляемой самоорганизации* как наиболее эффективного способа борьбы с разнообразием внешней среды, базирующейся на реализации 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 [9, 10, 12–13, 20–22].

Говоря о формируемой теории проактивного мониторинга и управления СЛО необходимо, прежде всего, выделить основные классы задач, решаемых в рамках данной теории. К указанным задачам можно отнести [10, 18]: задачи целенаправленного и обоснованного создания (расширения разнообразия в интеллектуальных системах управления, сужения разнообразия внешней среды); задачи декомпози-

ции (композиции), агрегирования (деагрегирования), координация, линеаризация, аппроксимации, релаксации при моделировании, анализе и синтезе адаптивных и самоорганизующихся интеллектуальных технологий и систем проактивного мониторинга и управления СЛО; задачи квалитетрии моделей и полимодельных комплексов, описывающих указанные технологии и системы.

В качестве основных элементов методологической базы, используемой при организации проактивного мониторинга и управления СЛО, предлагается выделить следующие основные принципы и подходы: структурно-математический и категорийно-функторный подходы, системный подход и его концепции и принципы, включающие в себя: принципы неокончателных решений, поглощения разнобразия, иерархической компенсации, дополнителности, полимодельности и многокритериальности, самоподобного рекурсивного описания и моделирования объектов исследования, гомеостатического баланса взаимодействия; преодоление принципа разделения; принципы, положенные в основу создания онтологий; принципы Ле-Шателье–Брауна (любое внешнее воздействие порождает ответную реакцию самоорганизации, направленную на ослабление этого эффекта); принципы декомпозиции и агрегирования; принцип рационального многокритериального компромисса при наличии неустранимых пороговых информационных и временных ограничений; принцип интерактивного итерационного формирования решения в условиях неопределенности и противоречивости исходной информации.

В настоящее время существуют различные варианты организации проактивного мониторинга и управления СЛО, в том числе, и технологии проактивного управления структурной динамикой (ПУСД) указанных объектов. Среди данных технологий можно выделить, в первую очередь: изменение способов, целей функционирования СЛО, их содержания, последовательности выполнения в различных условиях; перемещение в пространстве отдельных элементов и подсистем СЛО; перераспределение и децентрализация функций, задач, алгоритмов управления, информационных потоков между уровнями СЛО; использование гибких (сокращенных) технологий управления СЛО; реконфигурация структур СЛО при их деградации [10].

Задачи управления структурной динамикой СЛО по своему содержанию относятся к классу задач структурно-функционального синтеза облика СЛО и формирования соответствующих программ управления их развитием. Главная трудность и особенность решения задач рассматриваемого класса состоит в следующем. Определение оптимальных программ управления основными элементами и подсистемами СЛО может быть выполнено лишь после того, как станет известен перечень функций и алгоритмов обработки информации и управления, который должен быть реализован в указанных элементах и подсистемах. В свою очередь, распределение функций и алгоритмов по элементам и подсистемам СЛО зависит от структуры и параметров законов управления данными элементами и подсистемами. Трудность разрешения данной противоречивой ситуации усугубляется ещё и тем, что под действием различных причин во времени изменяется состав и структура СЛО на различных этапах ее жизненного цикла.

К настоящему времени рассматриваемый класс задач структурно-функционального синтеза и управления развитием СЛО исследован недостаточно глубоко. Получены новые научные и практические результаты в рамках следующих направлений исследований [2, 5, 10]: синтез технической структуры СЛО при известных законах функционирования основных элементов и подсистем СЛО (1 направление); синтез функциональной структуры СЛО или, по-другому, синтез программ управления основными элементами и подсистемами СЛО при известной технической структуре СЛО (2 направление); – синтез программ создания и развития новых поколений СЛО без учёта этапа совместного функционирования существующей СЛО и внедряемой СЛО. Известен ряд итерационных процедур получения совместного решения задач, исследования которых проводятся в рамках 1 и 2

направлений. В целом все существующие модели и методы структурно-функционального синтеза облика СЛО и формирования программ их развития используются на этапах внешнего и внутреннего проектирования облика СЛО, т.е. тогда, когда фактор времени не является существенным.

В рамках разработанного авторами подхода к организации проактивного мониторинга и управления СЛО удалось с единых позиций подойти к решению всего спектра задач структурно-функционального синтеза СЛО, возникающих на различных этапах их жизненного цикла. Динамическая и управленческая интерпретация указанных задач, а также реализация концепции комплексного моделирования позволили при их исследовании 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 пункта в качестве примера приведем содержание предложенной авторами обобщенной процедуры решения задач проактивного управления структурной динамикой СЛО, в соответствии с которой на первой фазе должно осуществляться формирование (генерирование) допустимых вариантов многоструктурных макросостояний СЛО или, говоря другими словами, должен проводиться структурно-функциональный синтез нового облика СЛО, соответствующего складывающейся (прогнозируемой) обстановке.

В указанной ситуации задачи, решаемые на первой фазе, сводятся к задачам динамического структурно-функционального синтеза СЛО. Обобщенный алгоритм динамического структурно-функционального синтеза облика СЛО должен включать в себя следующие основные этапы (шаги).

Шаг 1.1. Формирование, анализ и интерпретация исходных данных, используемых при генерировании (синтезе) многоструктурных макросостояний СЛО, построение или коррекция описания моделей, используемых при структурно-функциональном синтезе облика СЛО.

Шаг 1.2. Планирование процесса решения задачи генерирования (синтеза) многоструктурных макросостояний СЛО. Определение затрат времени и других ресурсов, необходимых для решения рассматриваемой задачи.

Шаг 1.3. Построение и аппроксимация множества достижимости (МД) динамической системы, с помощью которого неявно задаются варианты облика СЛО (варианты многоструктурных макросостояний СЛО).

Шаг 1.4. Ортогональное проектирование на МД множества, с помощью которого задаются требования, предъявляемые к новому облику СЛО.

Шаг 1.5. Формирование и интерпретация выходных результатов, представление их в удобном для последующего использования виде (например, для разработки адаптивных планов развития СЛО и соответствующих регулирующих воздействий, обеспечивающих реализацию данных планов с требуемой степенью устойчивости).

На второй фазе проводится выбор и реализация конкретного варианта многоструктурного макросостояния СЛО с одновременным синтезом (построением) адаптивных планов (программ) управления переходом СЛО из текущего в требуемое (выбранное) макросостояние. При этом рассматриваемые планы должны обеспечивать такое эволюционное развитие СЛО, при котором наряду с реализацией программ перехода из соответствующих макросостояний предусматривается одновременно и реализация программ устойчивого управления СЛО в промежуточных макросостояниях. В целом на второй фазе исследования задачи выбора оптимальных программ ПУСД СЛО приходится решать целую совокупность частных задач многоуровневой и многоэтапной оптимизации. Обобщенный алгоритм решения данных задач должен включать следующие этапы (шаги).

Шаг 2.1. В интерактивном режиме осуществляется автоматизированная подготовка, контроль, анализ и ввод всех исходных данных, необходимых для решения задачи управления структурной динамикой СЛО. При этом одновременно проводится адаптация параметров и структур ранее построенных моделей, алгоритмов и соответствующих вычислительных модулей специального программно-математического и информационного обеспечения (СПМО и ИО) имитационной системы (ИМС) к прошлому и текущему состоянию внешней среды, объектов управления и управляющих подсистем, входящих в состав функционирующей и синтезируемой СЛО. При отсутствии требуемых исходных данных происходит либо их генерация с использованием соответствующих имитационных моделей, входящих в состав ИМС, либо на основе экспертного опроса. Далее в других статьях данного сборника (см. статью Буракова В.В., Зеленцова В.А., Потрясаева С.А., Соколова Б.В., а также статью Потрясаева С.А.) приведены примеры облика указанной ИМС, а также состава и структуры соответствующего программного обеспечения.

Шаг 2.2. Планирование проведения комплексного моделирования процессов адаптивного управления функционированием и развитием СЛО в текущей и прогнозируемой обстановке, планирование проведения вычислительных экспериментов в ИМС, определение состава и структуры моделей, методов и алгоритмов решения частных задач моделирования, расчёт времени, необходимого для решения указанных задач.

Шаг 2.3. Генерирование, на основе проведения комплексного моделирования, допустимых вариантов функционирования СЛО в исходном, промежуточных и требуемых многоструктурных макросостояниях, вывод результатов моделирования лицам, принимающим решения (ЛПР), предварительный интерактивный структурно-функциональный анализ указанных результатов моделирования; формирование классов эквивалентных многоструктурных макросостояний СЛО,

Шаг 2.4. Автоматизированный ввод допустимых вариантов функционирования СЛО, проверка корректности заданной системы ограничений, окончательный выбор необходимого уровня агрегирования при описании моделей ПУСД СЛО, вычислительной схемы и плана вычислительных экспериментов по поиску оптимальных программ ПУСД СЛО.

Шаг 2.5. Поиск оптимальных программ управления структурной динамикой СЛО, при которых обеспечивался переход из заданного в синтезируемое многоструктурное макросостояние СЛО, устойчивое управление функционированием СЛО в промежуточных многоструктурных макросостояниях.

Шаг 2.6. Имитация условий реализации оптимального плана управления переходом СЛО из текущего в требуемое (выбранное) макросостояние при наличии возмущающих воздействий и с учётом различных вариантов их компенсации на основе методов и алгоритмов оперативного управления.

Шаг 2.7. Структурная и параметрическая адаптация плана, СПМО и ИО ИМС к возможным (прогнозируемым на имитационных моделях) состояниям ОУ, УП, внешней среды. В ходе указанной адаптации, кроме того, вводится необходимый уровень структурной избыточности СЛО, обеспечивающий на этапе реализации плана компенсацию не предусмотренных в плане возмущающих воздействий.

После проведения требуемого числа вычислительных экспериментов осуществляется оценивание устойчивости и робастности сформированного адаптивного плана ПУСД СЛО.

Шаг 2.8. Вывод полученных результатов комплексного адаптивного планирования применения СЛО, их интерпретация и коррекция ЛПР.

Шаг 2.9. Происходит реализация программ управления структурной динамикой СЛО (в случае необходимости осуществляется перепланирование, либо коррекция указанных программ, расчет и реализация программ реконфигурации соответствующих структур и т.п.).

Одно из главных достоинств предлагаемого метода поиска и реализации оптимальных программ ПУСД СЛО состоит в том, что в ходе формирования вектора программных управлений в финальный момент времени мы, наряду с оптимальным планом, одновременно получаем и то искомое многоструктурное макросостояние, находясь в котором СЛО сможет выполнять поставленные перед ней задачи в складывающейся (прогнозируемой) обстановке с требуемой степенью устойчивости.

В результате проведенных исследований были разработаны комбинированные методы и алгоритмы решения задач выбора оптимальных программ ПУСД СЛО в централизованном и децентрализованном режимах её функционирования [6, 10, 12–13, 18]. В качестве базового комбинированного метода предложено использовать сочетание метода ветвей и границ и метода последовательных приближений. Теоретическое обоснование данного метода основано на доказанной теореме о свойствах релаксированной задачи выбора оптимальной программы ПУСД СЛО.

**2. Технологические основы проактивного мониторинга и управления СЛО.** В современных условиях ведущие производители компьютерных технологий и систем осознают необходимость и важность проблем создания и внедрения в XXI веке концепции адаптивного проактивного управления и самоорганизации в информационную сферу. Указанные информационные технологии XXI века уже получили определение «естественные», «органичные» (Organic IT). Данной терминологией аналитики из Forrester Research [4, 16], хотя и подчеркнуть необходимость более органичного, естественного, непосредственного использования ИТ в интересах бизнес-приложений.

Внедрение Organic IT призвано решить следующие три группы задач [4]:

- ◆ эффективное использование ресурсов (Utilization), данная технология должна допускать масштабирование ресурсов АдСИС вверх и вниз без перерывов в обслуживании; по своей надёжности данные системы должны быть подобны современным энергетическим или телефонным сетям;
- ◆ интеграция (integration). Organic IT должны позволять легко и просто объединять разнородные технологии;
- ◆ управляемость (manegeability). Organic IT должны поддерживать процессы автоматической инсталляции, балансировки нагрузки, обнаружения неисправностей и восстановления, оставляя оператору возможность вмешательства только в условиях нештатных ситуаций.

В настоящее время в качестве конкретных примеров продвижения к «естественным» компьютерным системам со стороны крупных корпораций–производителей информационных услуг можно, в первую очередь, назвать следующие корпорации [4, 16]: Dell-Dynamic Computing; Hewlett-Packard-Adaptive Infrastructure (Adaptive Enterprise); IBM-Computing On Demand; Autonomous Computing; Microsoft-Dynamic Systems; Sun Microsystems-N1.

В нашей стране разработчики отечественной концепции проактивного мониторинга и управления СЛО в качестве стратегической цели (миссии) определили формирование методологии *обеспечение технологической независимости* от зарубежных производителей в области создания, эксплуатации и модернизации модельно-алгоритмического, технического, информационного и программного



обеспечения комплексной автоматизации и интеллектуализации проактивного управления и мониторинга СлО *на основе принципиально нового подхода* к проектированию и применению соответствующих АСУ СлО, основанного на комбинированном использовании логических, лингвистических и математических моделей, методов и алгоритмов, обеспечивающих суперкомпьютерную обработку и анализ в реальном времени сверхбольших объемов измерительной информации при наличии в ней некорректных, неточных и противоречивых данных [10].

При этом новизна разработанной теории проактивного мониторинга и управления СлО состоит в том, что ее авторам удалось, базируясь на сформулированных ими концепциях управляемой структурной динамики СлО и инвариантности состояний СлО и 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 СлО, так и алгоритмов проактивного управления ими.*

На рис. 2, 3, 4 последовательно представлены основные принципы, разработанные технологии и архитектура системы проактивного мониторинга и управления СлО, которые к настоящему моменту времени получили широкую и всестороннюю реализацию в ракетно-космической отрасли, атомной энергетике, транспортно-логистической и военной сферах [10, 12, 13].



Рис. 2. Ключевые принципы построения технологий и систем проактивного мониторинга и управления СлО



Рис. 4. Технология анализа данных в системе проактивного мониторинга и управления СЛО



Рис. 5. Архитектура системы проактивного мониторинга и управления СЛО

**Заключение.** В настоящее время происходит становление рассматриваемой в статье теории проактивного мониторинга и управления. При этом остаются не исследованными целый ряд важнейших проблем. Одной из таких актуальных и ин-

тересных *научно-методологических проблем*, возникающих на стыке современной кибернетики и информатики, является проблема обоснования состава, структуры, количественных и качественных характеристик информации, необходимой для эффективного проактивного управления как самими бизнес-приложениями, так и информационными системами, обеспечивающими успешную реализацию бизнес-процессов. В этой связи, в числе первоочередных задач, требующих своего решения, можно назвать следующие задачи [5]: формирование и обоснование системы показателей меры информации, необходимой для эффективного функционирования с адаптивными АСУ СЛО (для различных классов потребителей и приложений); разработка и обоснование методов и алгоритмов определения значений показателей меры информации; разработка и обоснование структуры системы регулярного измерения информации; разработка и обоснование методов анализа и синтеза адаптивных технологий организации и реализации процессов генерирования, регистрации, сбора, передачи, накопления, хранения, поиска, переработки и выдачи информации конечным пользователям с учётом объективных потребностей в информации и объективных предпосылок реализации перечисленных процессов; разработка и обоснование моделей, методов и алгоритмов адаптивного управления качеством информации.

Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПбГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074-U01), Программы НТС Союзного государства «Мониторинг СГ» (проект 1.4.1-1), РФФИ №№15-07-08391, 15-08-08459, 13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250, 13-07-12120, 13-06-0087, Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект №2.11), проекта ESTLATRUS 2.1/ELRI-184/2011/14, проекта ESTLATRUS/1.2./ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform».

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бир С. Мозг фирмы. – М.: УРСС, 2005. – 416 с.
2. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Теория и системы управления. – 2001. – № 1. – С. 5-22; № 2. – С. 5-21.
3. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. – М.: Изд-во «Советское радио», 1958. – 215 с.
4. Вонт Р., Перинг Т., Тенненхау Д. Адаптивные и проактивные компьютерные системы // Открытые системы. – 2003. – № 7. – С. 4-9.
5. Герасименко В.А. Информатика и интеграция в технике, науке и познании // Зарубежная радиоэлектроника. – 1993. – № 05. – С. 22-42.
6. Калинин В.Н, Соколов Б.В. Многомодельный подход к описанию процессов управления космическими средствами // Теория и системы управления. – 1995. – № 1. – С. 56-61.
7. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными системами: Теория системного синтеза. – М.: КомКнига, 2006. – 240 с.
8. Красовский А.А. Науковедение и состояние современной теории управления техническими системами // Известия РАН. Теория и системы управления. – 1998. – № 6. – С. 16-24.
9. Крылов С.М. Неокибернетика: Алгоритмы, математика эволюции и технологии будущего. – М.: Изд-во ЛКИ, 2008. – 286 с.
10. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. – М.: Наука, 2006. – 410 с.
11. 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.
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. 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.
14. Тимофеев А.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные системы управления // Известия РАН. Техническая кибернетика. – 1994. – № 5.
15. Хищенко В.Е. Самоорганизация: элементы теории и социальные приложения. – М.: КомКнига, 2005. – 221 с.
16. Черняк Л. От адаптивной инфраструктуры – к адаптивному предприятию // Открытые системы. – 2004. – № 9. – С. 30-35.
17. Юсупов Р.М. К 90-летию академика Е.П. Попова // Информационно-управляющие системы. – 2005. – № 1. – С. 51-57.
18. Юсупов Р.М., Соколов Б.В. Проблемы развития кибернетики и информатики на современном этапе // Сб. «Кибернетика и информатика». – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2006. – С. 6-21.
19. Foerster von H. Cybernetics of Cybernetics, paper delivered at 1970 annual meeting of the American Society for Cybernetics. University of Illinois, Urbana, 1974.
20. Foerster von H. Cybernetics. Encyclopedia of Artificial Intelligence. John Wiley and Sons, 1987.
21. Heikki Hyötyniemi. Neocybernetics in Biological Systems. Helsinki University of Technology, Control Engineering Laboratory, Report 151, August 2006. – 273 p.
22. Maruyama M. The Second Cybernetics. Deviation Amplifying mutual causal process // American Scientist. – 1963. – № 51.

#### REFERENCES

1. Bir S. Mozg firmy [Brain of the firm]. Moscow:URSS, 2005, 416 p.
2. Vasil'ev S.N. Ot klassicheskikh zadach regulirovaniya k intellektnomu upravleniyu [From classic regulatory tasks to intelligent management], *Teoriya i sistemy upravleniya* [Theory and management system], 2001, No. 1, pp. 5-22; No. 2, pp. 5-21.
3. Viner N. Kibernetika ili upravlenie i svyaz' v zhivotnom i mashine [Cybernetics or control and communication in the animal and the machine]. Moscow: Izd-vo «Sovetskoe radio», 1958, 215 p.
4. Vont R., Pering T., Tennenkhau D. Adaptivnye i proaktivnye komp'yuternye sistemy [Adaptive and proactive computer system], *Otkrytye sistemy* [Open systems], 2003, No. 7, pp. 4-9.
5. Gerasimenko V.A. Informatika i integratsiya v tekhnike, nauke i poznanii [Informatics and integration in engineering, science and knowledge], *Zarubezhnaya radioelektronika* [Foreign electronics], 1993, No. 05, pp. 22-42.
6. Kalinin V.N., Sokolov B.V. Mnogomodel'nyy podkhod k opisaniyu protsessov upravleniya kosmicheskimi sredstvami [The multi-model approach to the description of the management of space tools], *Teoriya i sistemy upravleniya* [Theory and management system], 1995, No. 1, pp. 56-61.
7. Kolesnikov A.A. Sinergeticheskie metody upravleniya slozhnymi sistemami: Teoriya sistemnogo sinteza [Synergistic methods of control of complex systems: Theory synthesis system]. Moscow: KomKniga, 2006, 240 p.
8. Krasovskiy A.A. Naukovedenie i sostoyanie sovremennoy teorii upravleniya tekhnicheskimi sistemami [Science of science and the state of the modern theory of technical systems], *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya* [Izvestiya RAS. Theory and management system], 1998, No. 6, pp. 16-24.
9. Krylov S.M. Neokibernetika: Algoritmy, matematika evolyutsii i tekhnologii budushchego [Geokibernetika: Algorithms, mathematics of evolution and technology of the future]. Moscow: Izd-vo LKI, 2008, 286 p.
10. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. Intellektual'nye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoy dinamikoy slozhnykh tekhnicheskikh ob"ektov [Intelligent technologies for monitoring and management of structural dynamics of complex technical objects]. Moscow: Nauka, 2006, 410 p.
11. Pankratova N.D., Kurilin B.I. Kontseptual'nye osnovy sistemnogo analiza riskov v dinamike upravleniya bezopasnost'yu slozhnykh sistem [Conceptual framework of the system of risk analysis in the dynamics of the safety management of complex systems], *Problemy upravleniya i informatiki* [Problems of control and Informatics], 2000, No. 6, pp. 110-132; 2001, No. 2, pp. 108-126.

12. Sokolov B.V., Yusupov R.M. Kompleksnoe modelirovanie funktsionirovaniya avtomatizirovannoy sistemy upravleniya navigatsionnymi kosmicheskimi apparatami [Complex modeling of the functioning of the automated control system of spacecraft navigation], *Problemy upravleniya i informatiki* [Problems of control and Informatics], 2002, No. 5, pp. 103-117.
13. Sokolov B.V., Yusupov R.M. Kontseptual'nye osnovy otsenivaniya i analiza kachestva modeley i polimodel'nykh kompleksov [Conceptual foundations of evaluation and quality analysis of models and polimodal complexes], *Teoriya i sistemy upravleniya* [Theory and management system], 2004, No. 6, pp. 5-16.
14. Timofeev A.V., Yusupov R.M. Intellektual'nye sistemy upravleniya [Intelligent control systems], *Izvestiya RAN. Tekhnicheskaya kibernetika* [Izvestiya ran. Technical Cybernetics], 1994, No. 5.
15. Khitsenko V.E. Samoorganizatsiya: elementy teorii i sotsial'nye prilozheniya [Self-organization: elements of theory and social apps]. Moscow: Kom-Kniga, 2005, 221 p.
16. Chernyak L. Ot adaptivnoy infrastruktury – k adaptivnomu predpriyatiyu [From an adaptive infrastructure for the adaptive enterprise], *Otkrytye sistemy* [Open systems], 2004, No. 9, pp. 30-35.
17. Yusupov R.M. K 90-letiyu akademika E.P. Popova [On the 90th anniversary of academician E.P. Popov], *Informatsionno-upravlyayushchie sistemy* [Information and control systems], 2005, No. 1, pp. 51-57.
18. Yusupov R.M., Sokolov B.V. Problemy razvitiya kibernetiki i informatiki na sovremennom etape [Development problems of Cybernetics and Informatics at the present stage], *Sb. «Kibernetika i informatika»* [The book "Cybernetics and Informatics"]. St. Petersburg: Izd-vo SPbGPU, 2006, pp. 6-21.
19. Foerster von H. Cybernetics of Cybernetics, paper delivered at 1970 annual meeting of the American Society for Cybernetics. University of Illinois, Urbana, 1974.
20. Foerster von H. Cybernetics. Encyclopedia of Artificial Intelligence. John Wiley and Sons, 1987.
21. Heikki Hyötyniemi. Neocybernetics in Biological Systems. Helsinki University of Technology, Control Engineering Laboratory, Report 151, August 2006, 273 p.
22. Maruyama M. The Second Cybernetics. Deviation Amplifying mutual causal process, *American Scientist*, 1963, No. 51.

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор В.И. Хименко.

**Юсупов Рафаэль Мидхатович** – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации Российской академии наук; e-mail: yusupov@iias.spb.su; 1991178, Санкт-Петербург, 14 линия, 39; тел.: 88123283311, факс: 88123284450; член-корреспондент РАН; д.т.н.; профессор; Заслуженный деятель науки и техники РФ; директор.

**Соколов Борис Владимирович** – e-mail: sokol@iias.spb.su; тел.: 88123280103, факс: 88123284450; д.т.н.; профессор; Заслуженный деятель науки РФ; заместитель директора по научной работе.

**Охтилев Михаил Юрьевич** – e-mail: oxt@mail.ru; тел.: 88126001512, факс: 88123271056; д.т.н.; профессор; ведущий научный сотрудник.

**Yusupov Rafael Midkhatovich** – St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the Russian Academy of Sciences; e-mail: yusupov@iias.spb.su; 14<sup>th</sup> line, 39, St. Petersburg, 199178, Russia; phone: +78123280103, fax: +78123284450; Corresponding member of the Russian Academy of Sciences (RAS); dr. of eng. sc.; professor; director.

**Sokolov Boris Vladimirovich** – e-mail: sokol@iias.spb.su; phone: +78123280103, fax: +78123284450; dr. of eng. sc.; professor; honored scientist of Russian Federation; deputy-director for research.

**Okhtilev Mikhail Yurjevich** – e-mail: oxt@mail.ru; phone: +78126001512, fax: +78123271056; dr. of eng. sc.; professor; leading researcher.