

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ И ПРИМЕНЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

М. Ю. Охтилев¹, Б. В. Соколов²

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14-я линия В.О., д.39

¹oxt@mail.ru, ²sokol@ias.spb.su

УДК 681.3.06

М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов. Теоретические и прикладные проблемы разработки и применения автоматизированных систем мониторинга состояния сложных технических объектов // Труды СПИИРАН. Вып. 1, том 1 — СПб: СПИИРАН, 2002.

Аннотация. *Рассматриваются проблемы создания, применения, развития автоматизированных систем. Особое внимание уделяется одному из важных видов автоматизированных систем— автоматизированным системам мониторинга состояний сложных технических объектов в режиме реального времени с учетом возможной деградацией их структур. — Библ. 28 назв.*

UDC 681.3.06

M. Yu. Okhtilev, B. V. Sokolov. Problems of the development and using of automation monitoring systems of complex technical objects // SPIIRAS Proceedings. Issue 1, v. 1. — SPb.: SPIIRAS, 2002.

Abstract. *The problems of the creating, using and development of automation system is considered. A special attention is given to computer-aided monitoring system for technical object states in real time with possibility of theirs structures destruction. — Bibl. 28 items.*

В современных условиях одним из важнейших факторов научно-технической революции является широкая информатизация и автоматизация человеческой деятельности, создание и развитие соответствующих автоматизированных и информационных систем. Далее под автоматизированной системой (АС) будем понимать [6, 21] систему, состоящую из персонала и комплекса средств автоматизации его деятельности, реализующую информационную технологию выполнения установленных функций.

В нашей стране и за рубежом за последние 30 лет накоплен огромный опыт в области создания, эксплуатации и развития различных классов АС. За указанный период времени было создано три поколения АС [2, 21]. В АС четвертого поколения, к разработке и созданию которых в настоящее время приступают во всем мире, средства автоматизации и вычислительные системы (ВС) уже строятся на сверхбыстродействующих больших интегральных схемах с динамической архитектурой и рассматриваются как ассоциации взаимодействующих функциональных машин (например, ЭВМ интеллектуального интерфейса, ЭВМ базы данных и базы знаний). При этом АС будущего будут иметь, как показывает анализ, целый ряд особенностей, принципиально отличающих их от АС предыдущих трех поколений. К указанным особенностям следует в первую очередь отнести [2, 6]: многоцелевой характер функционирования современных и создаваемых АС; избыточность основных элементов и подсистем АС; структурное подобие элементов и подсистем АС, находящихся на различных уровнях; многовариантность реализации функций

управления на каждом уровне АС, использование гибких технологий управления; наличие унифицированных технических средств АС, объединенных в типовые вычислительные модули, комплексы средств автоматизации; наличие пространственно–распределенной многоконтурной интегральной сети обмена данными (СОД).

В целом АС четвертого поколения будут представлять из себя адаптивные интегрированные пространственно–распределенные неоднородные системы обработки данных с перестраиваемыми структурами, в узлах которых реализуется новая (безбумажная) информационная технология решения прикладных задач [2, 9, 21]. При проектировании и применении указанных АС необходимо, в первую очередь, провести критический анализ того положительного опыта и тех проблем, с которыми сталкивались и до сих пор сталкиваются разработчики, заказчики и пользователи в процессе создания и совершенствования АС предыдущих поколений. При этом, в начале, кратко остановимся на содержании указанных проблем, не учитывая специфики АС мониторинга состояния сложных технических объектов (СТО).

К числу основных недостатков (и соответствующих проблем), выявленных к настоящему моменту времени в ходе создания АС, в первую очередь, можно отнести следующие:

1) в ряде случаев при автоматизации *не проводится* всесторонний анализ существующей (неавтоматизированной) технологии сбора, обработки информации и принятия решений, не вырабатываются предложения и рекомендации по переходу на новые информационные технологии, не обосновывается необходимая степень автоматизации деятельности каждой конкретной организации;

2) многие АС (прежде всего АСУ) в основном имеют характер информационных систем, в которых не автоматизированы процессы, связанные с собственно принятием решений, или удельный вес автоматизации последних процессов незначителен по сравнению с автоматизацией процессов сбора и обработки информации; в АС слабо используются возможности привлечения методов и алгоритмов комплексного моделирования для обоснования решений;

3) наблюдается значительная несогласованность по целевой ориентации, техническому, математическому, программному, информационному, организационному обеспечению АС различных уровней управления, АС, находящихся на одном уровне в рамках фиксированной иерархической структуры соответствующей организации;

4) АС ещё не обеспечивают требуемую ориентацию каждой конкретной организации на оптимизацию использования имеющихся в наличии ресурсов и повышение в целом эффективности её функционирования; об этом, в частности, свидетельствует тот факт, что в общем числе решаемых в АС задач число задач оптимизации имеет всего лишь несколько процентов;

5) во многих АС отсутствует необходимое программно-математическое обеспечение для проведения системного анализа функционирования организации в целом и собственно функционирования АС, управления качеством функционирования АС;

6) качество информационного обеспечения ещё не достигло требуемого уровня, в частности, не обеспечивается необходимая фильтрация информации,

отбор информации в соответствии с уровнем руководства и представление её в компактном виде;

7) развитие программных и технических средств общения человек-ЭВМ, диалоговых процедур общения (создание интеллектуальных интерфейсов) существенно отстаёт от практики;

8) создание АС не увязывается соответствующим образом с задачами развития, наделением данной системы высокой степенью гибкости и адаптации к изменениям в окружающей обстановке.

В чём же состоят причины существования перечисленных выше недостатков (проблем), связанных с созданием и развитием АС?

- Одна из главных причин указанных недостатков имеет **методологический** характер и состоит в том, что при разработке АС зачастую игнорируются требования системного подхода к проектированию сложных организационно-технических комплексов. Это, в частности, проявляется в осуществлении автоматизации лишь отдельных этапов процесса сбора и обработки информации или в решении на ЭВМ некоторых расчётных задач без рассмотрения проблемы автоматизации процессов управления в целом. Другими словами, не осуществляется комплексная автоматизация соответствующих процессов. Практика показывает, что автоматизации должны подвергаться только хорошо изученные и достаточно стабильные процессы и технологии, для которых разработаны конструктивные формальные средства описания (модели), методы, алгоритмы и методики решения соответствующих прикладных задач. Таким образом, проблемы создания и развития АС — это, прежде всего **модельно-алгоритмические и информационные проблемы**, требующие для своего решения разработки фундаментальной теоретической базы.

Говоря о **причинах технико-технологических**, следует, прежде всего, подчеркнуть то, что традиционная технология создания АС предполагает использование большого числа специалистов (конструкторов, программистов, администраторов баз данных, менеджеров, инженеров, техников и т.п.), которые вручную, применяя традиционную бумажную технологию, формируют облик будущей системы. При такой технологии разработчики аппаратно-программных средств постоянно сталкивались и сталкиваются с целым рядом трудно разрешимых проблем, к числу которых можно отнести: *проблему неадекватности структуризации АС; проблему несогласованности структурных частей АС; проблему несогласованности, двусмысленности, избыточности (либо неполноты) проектной документации.*

Все перечисленные проблемы являются следствием сложности АС как объектов анализа и проектирования. Долгое время в нашей стране из-за наличия ведомственных барьеров и отставания в области микроэлектроники средства автоматизации обработки информации и управления имели низкий уровень унификации, и с их помощью решался узкий круг задач, что являлось также одной из причин неудач при создании АС. Среди **причин организационного характера** следует ещё раз указать то, что многие руководители организаций, где осуществлялась автоматизация, как правило, перепоручали все вопросы по координации и контролю работ, связанных с созданием АС, другим должностным лицам, не обладающим необходимыми полномочиями (не выполнялся один из основных принципов разработки АС — *принцип первого руководителя*). Кроме того, в самих организа-

циях зачастую наблюдался определённый консерватизм, при котором структура и функции АС осознанно либо неосознанно подгонялись под существующую сложившуюся организационно-технологическую структуру (говоря другими словами, — автоматизировался непроизводительный труд).

Подводя итог вышеизложенному, необходимо констатировать, что на современном этапе развития науки и техники достигнут достаточно высокий уровень развития аппаратно-программных средств сбора, передачи и обработки информации, которые входят в состав любой АС, постоянно происходит их модификация, улучшаются технико-экономические характеристики. Вместе с тем, в настоящее время всё большее число специалистов, как на Западе, так и в России, начинают понимать всю важность комплексного подхода к автоматизации функционирования предприятий и организаций. На собственном горьком опыте и благодаря множеству публикаций в компьютерной прессе многие осознали, что эффективность автоматизации в первую очередь зависит от того, насколько широко она охватывает все сферы деятельности в конкретной предметной области [3, 10].

Одной из подсистем АС, предназначенной для информационного обеспечения управления, является *система информационного обеспечения* (ИО или СИО), главной функцией которой, по сути, является определение состояния или, более точно, проведение *мониторинга состояний* СТО как объектов управления АС. В условиях повышения требовательности к АС эффективность ее применения во многом определяется эффективностью СИО как подсистемы АС. Тем более, что в рамках СИО циркулируют большие и даже сверхбольшие потоки информации, значительная часть которой является измерительной и составляет свыше 80% от всего объема используемой в контуре АС информации. При этом требования к процессам обработки и представления результатов обработки этой доли информации достаточно жесткие, т.к. на ее основе осуществляется управление СТО в режиме реального времени.

Объектом дальнейшего рассмотрения в данной работе являются как сама СИО, так и один из этапов ее функционирования — этап анализа измерительной информации (ИИ), производимый с целью оценивания состояний (технических состояний) объектов анализа (ОА) — СТО. Здесь под *техническим состоянием* (ТС) ОА понимается совокупность изменяющихся в процессе производства, испытаний, эксплуатации свойств (качеств) ОА, характеризующих его функциональную пригодность в заданных условиях применения [25]. При этом ТС определяется посредством оценивания *параметров ТС*, среди которых выделяются измеряемые и вычисляемые. *Измеряемыми параметрами ТС* являются представимые в виде значений измеряемых (телеметрируемых) параметров показатели (характеристики) свойств ОА. *Вычисляемыми параметрами ТС* являются показатели (характеристики) свойств ОА, вычисляемые по различным алгоритмам на основе значений измеряемых параметров. Основным способом выявления (оценивания) ТС является сбор, обработка и анализ ИИ. *Сбор ИИ* — есть процесс получения (приема), распределения всех значений измеряемых параметров. Под *обработкой ИИ* понимается процесс получения оценок измеряемых параметров ТС на основе собранных данных, снабженных показателем степени доверия к этим оценкам [12, 13].

Целью анализа ИИ (как процесса) является получение обобщенных оценок совокупности параметров ТС, значения которых в явном виде указывают либо степень работоспособности рассматриваемого ОА, либо место и вид возникшей

неисправности, либо являются оценками прогнозируемых явлений и процессов с заданной точностью и интервалом прогноза и т.п. Необходимо отметить, что в настоящее время результаты решения задач сбора и обработки ИИ в достаточной мере удовлетворяют требованиям системы ИО.

Задачи же анализа ИИ до сих пор решаются, как правило, вручную, а поскольку целью СИО как подсистемы АС все же является получение результатов анализа, то имеющиеся при этом характеристики получаемых таким способом результатов анализа (прежде всего, как по оперативности их получения, так по их достоверности и т.п.) в большинстве случаев не удовлетворяют требованиям как для СИО, так и АС в целом.

Среди основных особенностей процессов функционирования СИО, касающихся этапа анализа ИИ, можно назвать такие, как:

- жесткие временные ограничения на получение результатов ИО, а именно — в режиме обработки данных в «реальном времени» (РВ): от момента измерения значения параметра до получения результатов анализа информации (сведений о состоянии объекта анализа) должно пройти не более нескольких секунд, а часто (для динамических операций) — в пределах одной секунды;
- высокие требования к достоверности и точности результатов анализа;
- оперативность обработки больших (или даже сверхбольшие) потоков ИИ;
- разнообразие типов ИИ, используемой для принятия решения о состоянии ОУ — как по физической природе ИИ, так и по большому количеству программно-аппаратных средств, являющихся источниками информации СИО;
- широкий диапазон как задач, решаемых при анализе ИИ (контроль функционирования ОА, диагностирование неисправностей, прогнозирование поведения, оценка летно-технических характеристик и т.п.), так и типов самих ОА;
- повышенные требования к форме и качеству представления конечных результатов ИО (результатов анализа информации), вызванные высокой стоимостью возможных ошибок при АА;
- территориальная распределенность элементов СИО;
- многочисленность разнородных классов потребителей результатов ИО, состав которых меняется во времени;
- разнообразие аппаратно-программных платформ потребителей результатов ИО;
- сложность формализации семантики процессов ИО;
- малые сроки «постановки на информационное обслуживание» новых ОА и, соответственно, небольшая стоимость этого процесса;
- невысокие требования к программистской квалификации персонала, как конечных пользователей результатов автоматизированного анализа (АА) и специалистов по управлению ОУ;
- требования по унификации, модульности и масштабируемости построения систем ИО, реализация которых позволяет быстро комплектовать специализированные программно-аппаратные комплексы в зависимости от конкретных условий и целей применения ОА;
- устойчивая (надежная) работа СИО при возникновении различных нештатных (непредусмотренных специалистами по соответствующим ОА) ситуаций, способных возникать на этапе применения;

- повышенный интерес научно-производственных организаций, традиционно занимающихся разработкой специального программного обеспечения (СПО) СИО, к вопросам автоматизированного анализа ИИ и видам представления его результатов и т.п.

Ко всему прочему, эффективность функционирования СИО не должна снижаться в условиях возможной *деградации их структур* по различным причинам (объективным и субъективным, внутренним и внешним). Таким образом, имеет место ситуация, характеризующаяся, с одной стороны, высокими требованиями к результатам ИО управления СТО, а с другой — наличием условий, в которых должна функционировать система мониторинга состояний ОУ, ключевым элементом которой в настоящее время является система АА ИИ.

Разрешение рассматриваемой противоречивой ситуации составляет существо актуальной проблемы — разработки теоретических основ и методов синтеза облика автоматизированной системы, обеспечивающей мониторинг состояний СТО в РВ с учетом изменяющихся условиях их применения.

Современное состояние проблемы автоматизации управления СТО, как основного пути внедрения в практику управления перспективных ИТ, можно охарактеризовать как переход от «стихийного» этапа, когда применяется метод «проб и ошибок», к «осознанному», характерной чертой которого является обязательное обоснование методологических принципов построения разрабатываемого программного продукта [21] с учетом всех ограничений и условий его применения. При этом еще на ранних этапах проектирования СПО необходимо определиться с принципиальной возможностью рассматриваемого вида автоматизации и оценить не только положительный эффект от применения программного комплекса, но и трудности, с которыми придется столкнуться при создании, внедрении и эксплуатации как СИО, так и СПО анализа ИИ. Действительно, в практике программирования подобных систем в последнее время сложилась парадоксальная ситуация [13]. С одной стороны, благодаря впечатляющим успехам развития вычислительной техники в распоряжении специалистов имеются ЭВМ, которые работают быстрее первых серийных машин в сотни тысяч и миллионы раз. Производительность же труда программистов выросла всего лишь в десятки раз. В связи с этим неизбежный путь преодоления возникающих проблем — всесторонняя автоматизация самого процесса создания и сопровождения больших специализированных программных комплексов (ПК), а значит, и развитие теории программирования, моделирующей объекты, явления, процессы, имеющиеся при создании таких ПК. При этом главная цель развития теории и ее прикладных аспектов — решение фундаментальных проблем и поиск фундаментальных идей, приводящих к качественно новым решениям практики. Если с текущими задачами помогает справиться смекалка и опыт программиста — разработчика и инженера по сопровождению ПК, то принципиально новые решения появляются как результат глубокого анализа основ разработки и сопровождения ПК.

Фундаментальный вклад в становление методологической основы разработки и сопровождения ПК АА ИИ, предназначенных для решения задач мониторинга состояний СТО, внесли выдающиеся отечественные и зарубежные ученые, развившие базовые элементы таких научных направлений, как теория автоматов, теория алгоритмов, теория искусственного интеллекта, математическая логика, общая топология, теория программирования (Computer Science), теория распозна-

вания образов, теория статистических выводов и решений, теория формальных языков и грамматик и др. [1, 5, 7, 8, 16, 17, 20, 21, 25].

Все перечисленные направления, хотя и имеют глубокие проработки в своих исследованиях, но не в состоянии обеспечить методологическим аппаратом процессы проектирования, разработки, сопровождения ПК АА ИИ в жестких, оговоренных выше условиях. Такое положение дел имеет место либо из-за рассмотрения в них довольно частных задач исследуемой предметной области (ПрО), либо положения и выводы некоторых из названных направлений затрагивают слишком широкую сферу приложений и не учитывают существенную специфику ПрО, что в целом приводит к принятию далеко неоптимальных решений при исследовании процессов АА ИИ.

Так, например, известные подходы недостаточно эффективно или вообще не обеспечивают решение целого ряда проблем, стоящих перед теорией и практикой АА ИИ, по следующим основным причинам:

- отсутствие единой концептуальной основы в построении информационных систем (ИС) АА ИИ, функционирующих в различных условиях применения;
- принципиальная невозможность формального описания всех возможных видов ТС с учетом заданного уровня их адекватности происходящим на ОА явлениям и процессам;
- наличие большого количества форм представления данных и, соответственно, типов моделей представления знаний (МПЗ) об ОА, обусловленное существованием субъективных взглядов и специализированных подходов в разных заинтересованных организациях, занимающихся проблемами мониторинга состояний СТО, что препятствует накоплению, систематизации и распространению богатого опыта в практике эксплуатации доказавших свою полезность передовых ИТ АА ИИ;
- невозможность, как правило, с помощью существующих научных и практических подходов автоматически формировать корректную и оптимальную программу АА ИИ по любой заданной на конкретный сеанс управления цели анализа с учетом специфических условий ее реализации;
- слабую приспособленность известных к настоящему времени прикладных теорий, моделей и алгоритмов проводить АА с учетом существенных особенностей поступающей для анализа ИИ, среди которых можно отметить ее естественный параллелизм, потоковость, слабо предсказуемую интенсивность, наличие недостоверных измерений и др.;
- отсутствие теоретического и экспериментального обоснования структуры и состава СПО, способного обеспечить эффективное решение задач распределенной СИО и основного (с точки зрения насыщенности применяемого математического аппарата) ее элемента — ИС АА ИИ;
- наличие больших затрат на модернизацию и сопровождение больших ПК АА ИИ, надежность которых к тому же обратно пропорциональна их объему;
- ориентация используемого модельно-алгоритмического обеспечения, в основном, на однопараметрическую оптимизацию скорости проведения АА, когда быстрдействие получения результатов мониторинга состояний ОА зависит только от мощности (а значит и стоимости) используемых вычислитель-

ных комплексов — вне зависимости от их архитектуры, а также ряда других, менее существенных.

Проведенные исследования показали, что решение задач автоматизации анализа ИИ целесообразно проводить по следующим основным направлениям.

1. Системный анализ проблемных аспектов обеспечения своевременного получения достоверных оценок ТС СТО в условиях априорной неопределенности и возникающих нештатных ситуаций.

2. Разработка унифицированной модели представления слабо формализуемых знаний о состоянии СТО как ОА на основе парадигмы декларативного построения ИС.

3. Обоснование концепции инвариантности состояний ОА и состояний процесса АА ИИ.

4. Разработка теоретических основ построения топологического пространства параметров ТС ОА.

5. Разработка и исследование методов автоматического синтеза программ АА ИИ по заданной цели анализа.

6. Разработка и исследование методов верификации и оптимизации программ АА ИИ.

7. Обоснование и исследование корректности алгебр на множестве вычислительных моделей (ВМ).

8. Обоснование и исследование унифицированных методов локального распознавания ТС на основе используемых ВМ при обеспечении достоверности результатов распознавания.

9. Разработка, обоснование и оценка применимости концепции использования современных ИТ при проектировании и сопровождении ПК АА ИИ в РВ.

При этом методы исследований в рамках перечисленных направлений, по нашему мнению, должны базироваться на использовании разделов теории автоматов, теории алгоритмов, теории искусственного интеллекта, математической логики, общей топологии, теории программирования, теории распознавания образов, теории статистических выводов и решений, системном моделировании и теории принятия решений, теории формальных языков и грамматик и ряда смежных научных дисциплин [1, 5, 8, 21, 25]. В работах [12, 13] предпринята попытка комплексного исследования перечисленных вопросов, основываясь на указанном математическом аппарате.

Следует подчеркнуть, что синтез облика ПК АА ИИ должен осуществляться в рамках общей процедуры синтеза АС и ее основной подсистемы — СИО. Поэтому кратко остановимся на особенностях формулировки и решения соответствующих проблем. Создание и развитие автоматизированной системы представляет из себя сложный многоэтапный процесс, характеризующийся значительными капиталовложениями, длительным сроком реализации и существенной неопределённостью, связанной с возможными изменениями как целей проектирования и применения, так и воздействий различного рода возмущений внешней среды на АС на различных этапах жизненного цикла, имеющих как объективный, так и субъективный характер.

Центральной задачей при разработке и модернизации крупномасштабной АС (в том числе и СИО) является выбор её структуры, под которой понимается состав элементов, соответствующая система взаимосвязей (отношений) между элемен-

тами и распределение функций, выполняемых АС. Применительно к АС принято выделять следующие базовые структуры [2–6, 9, 10, 21]: структуру целей, функций и задач АС, технологическую структуру, техническую, организационную, топологическую структуры, структуры информационного, математического и программного обеспечения (ИО, МО, ПО) АС. Перечисленные шесть видов структур являются инвариантными для любого класса АС и должны рассматриваться в первую очередь при системном исследовании и комплексном моделировании соответствующей АС.

Важность задачи синтеза вышеперечисленных структур применительно к АС состоит в том, что от того какой окончательный вариант структуры АС выбран, во многом зависит эффективность применения указанной АС по целевому назначению. Дополнительную особенность рассматриваемая задача синтеза приобретает в том случае, когда учитывается такой важный аспект как динамика развития и реконфигурация структур проектируемой (эксплуатируемой) АС, которые, в свою очередь, обусловлены большой продолжительностью общего периода создания и использования АС, необходимостью учёта изменения и уточнения технических требований к параметрам и характеристикам АС по этапам развития; расширением круга решаемых задач; необходимостью учёта пространственно-временных, технических, технологических ограничений, связанных с проектированием, производством, испытанием, поставкой, внедрением, применением и совершенствованием основных элементов и подсистем АС [2, 6, 9, 21].

Таким образом, на практике мы сталкиваемся постоянно со структурной динамикой АС. В этих условиях для повышения (сохранения) уровня работоспособности и возможностей АС, либо обеспечения наилучших условий деградации указанных систем необходимо осуществлять управление их структурами (в том числе управление реконфигурацией структур АС).

Задачи управления структурной динамикой АС по своему содержанию относятся к классу задач структурно-функционального синтеза облика АС 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 АС 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 АС 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 АС.

К настоящему времени рассматриваемый класс задач структурно-функционального синтеза и управления развитием АС исследован недостаточно глубоко. Получены новые научные и практические результаты в рамках следующих направлений исследований:

- синтез технической структуры АС при известных законах функционирования основных элементов и подсистем АС (1 направление) [20, 22–24];

- синтез функциональной структуры АС или, по-другому, синтез программ управления основными элементами и подсистемами АС при известной технической структуре АС (2 направление) [9, 11, 14, 18];
- синтез программ создания и развития новых поколений АС без учёта этапа совместного функционирования существующей АС и внедряемой АС [3, 4, 22].

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 АС и формирования программ их развития используются на этапах внешнего и внутреннего проектирования облика АС, то есть тогда, когда фактор времени не является существенным. Однако, как показывают исследования, на этапах эксплуатации и развития наблюдается существенная структурная динамика АС [2, 3, 4, 7, 11, 19]. В этих условиях особую актуальность начинают приобретать совместная постановка и решение *задач синтеза облика АС и управления развитием* ее основных видов структур. К указанным задачам относятся также и *задачи реконфигурации структур* в случае их деградации.

Для проведения теоретико-множественного описания рассматриваемых задач воспользуемся их графической интерпретацией [22]. В рассматриваемых задачах каждая из структур может быть задана своим альтернативным мультиграфом следующего вида:

$$G_{\alpha}^{t_i} = \langle T_{\alpha}^{t_i}, \Gamma_{\alpha}^{t_i}, P_{\alpha}^{t_i} \rangle, \quad (1)$$

где α — индекс, характеризующий вид структуры, $A = \{T, \Phi, \text{Тех}, \text{ПМО}, \text{ИО}, \text{ОР}\}$ — множество индексов, соответствующих топологической, функциональной, технической структурам, структурам программно-математического и информационного обеспечения (ПМО, ИО), организационной структуре АС; $t_i \in \{t_1, t_2, \dots, t_f\}$ — линейно упорядоченное множество моментов времени перехода АС от одного многоструктурного макросостояния S_{δ} к другому макросостоянию $S_{\delta'}$; $\delta, \delta' \in \{1, \dots, \Delta\}$ — множество номеров макросостояний АС; $X_{\alpha}^{t_i} = \{x_{\alpha}^{t_i}\}$, $\Gamma_{\alpha}^{t_i} = \{\gamma_{\alpha}^{t_i}\}$ — множество вершин и дуг графа, соответствующих фиксированному виду структуры « α »

в момент времени t_i и задающих её альтернативные варианты; $P_{\alpha}^{t_i} = \{p_{\alpha}^{t_i}\}$ — множество «весов» (приоритетов), количественно характеризующих значимость каждой из дуг в соответствующем альтернативном мультиграфе. Кроме того, задано множество допустимых (исходя из содержательной постановки каждой конкретной задачи) операций отображения указанных выше альтернативных мультиграфов с динамической структурой вида (1) друг на друга:

$$M_{\langle \alpha, \tilde{\alpha} \rangle}^{t_i} : G_{\alpha}^{t_i} \rightarrow G_{\tilde{\alpha}}^{t_i}, \quad (2)$$

а также множество допустимых операций отображения многоструктурных макросостояний АС S_{δ} друг на друга:

$$\Pi_{\langle \delta, \delta' \rangle}^{t_i} : S_{\delta} \rightarrow S_{\delta'}. \quad (3)$$

При этом предполагается, что каждое многоструктурное макросостояние АС в момент времени t_i задаётся в результате операции композиции соответствующих альтернативных мультиграфов, описывающих каждый вид структуры «а».

С учётом вышеизложенного, графическая интерпретация рассматриваемой задачи синтеза облика АС и управления ее структурной динамикой сводится к по-

иску такого макросостояния $S_{\delta}^* \in \{S_1, \dots, S_{\Delta}\}$ и такой последовательности выпол-

нения операций отображения во времени $\Pi_{\langle \delta, \delta' \rangle}^{t_1}, \Pi_{\langle \delta', \delta'' \rangle}^{t_2}, \dots, \Pi_{\langle \tilde{\delta}, \tilde{\delta} \rangle}^{t_f}$, при которых обеспечивается выбор наилучшей (с точки зрения обобщённого показателя эффективности функционирования АС) программы создания, применения и развития АС.

На первом шаге решения предложенной обобщённой проблемы синтеза облика АС (в том числе и СИО) и управления ее структурной динамикой необходимо, прежде всего, рассмотреть вопрос формирования методологических основ проведения соответствующих исследований.

Масштабность и сложность рассматриваемой в связи с этим проблемы требует выбора в качестве базовой методологии — принципы, концепции, подходы современного обобщённого системного анализа, представляющего из себя одно из главных направлений реализации системного подхода, в рамках которого на основе гармоничного сочетания формально-математических и логико-эвристических методов осуществляется конструктивное решение разнородных и разноуровневых задач анализа и синтеза АС на различных этапах их жизненного цикла [2, 9, 14, 16–20, 25–28]. Применительно к современным АС в качестве основных этапов проведения обобщённого системного анализа рассматриваемой проблемы можно выделить:

- этап ретроспективного критического сравнительного анализа существующих отечественных и зарубежных разработок в области создания и применения АС;
- этап оценивания эффективности существующей АС;
- этап постановки обобщённой задачи синтеза облика АС и управления ее структурной динамикой;
- этап анализа целей и задач, которые требуется решать АС на новом этапе её развития, формирования системы показателей эффективности функционирования создаваемой АС на различных этапах её жизненного цикла;
- этап анализа основных пространственно-временных, технических, технологических, стоимостных и ресурсных ограничений, связанных с процессом создания и применения АС;
- этап анализа (конструирования) альтернативных вариантов структур перспективной АС;
- этап многокритериального оценивания указанных вариантов структуры АС и выбора из них наиболее предпочтительных;
- этап формирования, оценивания и выбора оптимальных эволюционных планов перехода от существующей АС к создаваемой («новой», перспективной) АС без снижения эффективности их применения.

Конструктивное решение рассматриваемой проблемы поиска и выбора наилучших вариантов создания и развития АС предполагает, во-первых, построение соответствующего полимодельного комплекса, описывающего различные аспекты жизненного цикла существующей и создаваемой АС, во-вторых, разработку методов, алгоритмов и методик многокритериального синтеза структуры перспективной АС, и, в-третьих, разработку многоэтапной интерактивной процедуры поиска решения задачи синтеза АС и программ их развития.

Анализ многочисленных публикаций по проблемам комплексного (системного) моделирования сложных организационно-технических систем (СОТС), к числу которых относятся и АС, показал [7–19], что реализацию концепции рассматриваемого моделирования целесообразно осуществлять в рамках интегрированной системы поддержки принятия решений (ИСППР). В состав указанной системы в общем случае должны входить [15, 16, 17]: имитационная система, расчётно-логическая система, интеллектуальные пакеты прикладных программ, экспертная система, инструментальные CASE-средства автоматизации проектирования. При этом, исходя из динамической интерпретации процессов, происходящих на различных этапах жизненного цикла ИС, целесообразно в качестве основной математической структуры, описывающей данные процессы, выбрать динамический альтернативный системный граф [4, 20, 21]. Анализ возможных путей решения задачи полимодельного многокритериального синтеза структур ИС показывает [18, 19, 22], что наиболее перспективными являются следующие два направления исследований.

В рамках первого подхода осуществляется формализация задачи синтеза облика АС и выбора программ перехода от «старой» к «новой» АС как задачи однокритериальной оптимизации на имитационной модели, описывающей процессы функционирования указанных АС на различных этапах их жизненного цикла. Далее осуществляется неформальная декомпозиция общей задачи (модели) на частные задачи (и соответствующие аналитические модели) учитывающие с необходимой степенью детализации различные аспекты функционирования АС. При этом размерность каждой из построенных аналитических моделей (АМ), описывающих указанные аспекты деятельности АС, во много раз меньше размерности исходной имитационной модели (ИМ). Окончательное согласование (координация) АМ и ИМ осуществляется на основе принципа Парето в ходе итерационного обмена информацией между данными моделями, а также интерактивного взаимодействия с лицом, принимающим решение (ЛПР) [3].

В рамках второго подхода осуществляется постановка задачи многокритериальной оптимизации АС на комплексе моделей [18, 20]. При этом формирование и сужение множества недоминируемых альтернатив (множества Парето) осуществляется в интерактивном режиме с активным привлечением ЛПР. В качестве базовых моделей в этом случае предлагается рассматривать дискретные модели математического программирования, модели массового обслуживания, имитационные модели и модели управления развитием. Стягивание множества Парето на дискретных моделях осуществляется итеративно путём отсечения части элементов этого множества. Такое отсечение основывается на математическом исследовании свойств множества Парето и получении дополнительной информации от ЛПР (осуществляется оценка мощности множества, оценка диапазона изменения значения показателей, оценка степени их противоречивости). Если мощность

множества Парето становится приемлемой, то выбранные на статических моделях варианты структур АС последовательно проверяются на допустимость на моделях массового обслуживания и имитационных моделях. В том случае, если заданные в указанных моделях ограничения не выполняются, то соответствующие варианты структур далее не рассматриваются. Завершается процесс синтеза определением программ перехода от существующей к перспективной АС.

Окончательный выбор одного из перечисленных подходов к решению задачи полимодельного многокритериального синтеза структур АС и соответствующих программ их развития определяется с учётом многочисленных факторов, в том числе: составом и структурой исходных данных, используемых при постановке и решении задачи, временем, отводимым на решение.

Литература

- [1] *Александров П. С.* Введение в теорию множеств и общую топологию. — М.: Наука, 1977.
- [2] АСУ на промышленном предприятии: Методы создания: Справочник / *Михаилев С. Б., Семенов Р. С., Гринберг А. С. и др.* 2-е изд. перераб. и доп. — М.: Энергоатомиздат, 1989. — 400 с.
- [3] *Балашов Е. П.* Эволюционный синтез систем. — М.: Радио и связь 1985. — 205 с.
- [4] *Воронов А. А.* Введение в динамику сложных управляемых систем. М.: Наука, 1985. — 352 с.
- [5] *Глушков В. М., Цейтлин Г. Е., Ющенко Г. Л.* Методы символьной мультиобработки. — Киев: Наук. Думка, 1980. — 252 с.
- [6] ГОСТ 34.003-90 «Информационная технология. Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения. — М.: ГОССТАНДАРТ, 1992.
- [7] *Калинин В. Н., Соколов Б. В.* Многомодельный подход к описанию процессов управления космическими средствами // Теория и системы управления, 1995, №1 — с. 149–156
- [8] *Колмогоров А. Н.* О понятии алгоритма // Успехи математических наук. — т. VIII, Вып. 4 (56), 1953. — с. 175–176.
- [9] Методы организации адаптивного планирования и управления в экономико-производственных системах / *Забровский В. А., Копейченко Ю. В., Скурухин В. И. и др.* — Киев: Наук. думка, 1980. — 272 с.
- [10] *Морозов В. П., Дымарский Я. С.* Элементы теории управления ГАП: Математическое обеспечение. — Л.: Машиностроение, Ленинградское отделение, 1984. — 333 с.
- [11] *Моисеев Н. Н.* Элементы теории оптимальных систем. — М.: Наука, 1974. — 292 с.
- [12] *Охтилев М. Ю.* Определение и основные свойства одной из модификаций вычислительных схем алгоритмов распознавания // Программирование. 1991, № 6. — с. 52–63.
- [13] *Охтилев М. Ю.* Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа. — СПб.: ВКУ им. А.Ф.Можайского. 1999. — 161 с.
- [14] *Перегудов Ф. И., Тараненко Ф. П.* Введение в системный анализ: Учебное пособие для вузов. — М.: Высшая школа, 1989. — 367 с.
- [15] *Поудиновский В. В., Ногин В. Д.* Парето-оптимальные решения многокритериальных задач. — М.: Наука, 1982. — 254 с.
- [16] *Поспелов Г. С., Поспелов Д. А.* Искусственный интеллект — прикладные системы. — М.: Знание, 1985. — 48 с.
- [17] Проблемы программно-целевого планирования и управления / Под ред. *Г. С. Поспелова* — М.: Наука, 1981. — 460 с.

- [18] *Резников Б. А.* Анализ и оптимизация сложных систем. Планирование и управление в АСУ: Учебное пособие. — Л.: ВИКИ, 1981. — 148 с.
- [19] *Резников Б. А.* Теория систем и оптимизация управления. Принятие решений в условиях неопределенности и адаптация. Учебник, ч.3. — МО СССР, 1988. — 140 с.
- [20] *Резников Б. А.* Системный анализ и методы системотехники (Методология исследований. Моделирование сложных систем): Учебник, ч.1 — МО СССР, 1990. — 522 с.
- [21] *Ростовцев Ю. Г.* Основы построения автоматизированных систем сбора и обработки информации: Учебник. — СПб., ВИКИ им. А.Ф.Можайского, 1992. — 717 с.
- [22] *Цвиркун А. Д.* Основы синтеза структуры сложных систем. — М.: Наука, 1982. — 200 с.
- [23] *Цвиркун А. Д., Акинфиев В. К., Филиппов В. А.* Имитационное моделирование в задачах синтеза структуры сложных систем. — М.: Наука, 1985.
- [24] *Цвиркун А. Д., Акинфиев В. К.* Структура многоуровневых и крупномасштабных систем (синтез и планирование развития). — М.: Наука, 1993.
- [25] *Юсупов Р. М., Дмитриев А. К.* Идентификация и техническая диагностика. — МО СССР, 1987. — 521 с.
- [26] *Siliak* Decentralized control of complex systems. — New York: Academic press, 1990.
- [27] *Singh M., Titli A.* Systems: Decomposition, Optimization and Control. — Oxford: Pergamon Press, 1978.
- [28] *Sokolov B.* The optimal structure reconfiguration control in a intelligent system. Proceeding of the International Scientific Conference “Intelligent Systems and Information Technijjgies in Control”, June 19–23, Pskov, 2000. — pp. 307–308.