

НОВЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЯМИ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

М. Ю. Охтилев¹, Б. В. Соколов²

¹Специальное конструкторское бюро «Орион»,
194044, Санкт-Петербург, ул. Тобольская, д.12
<oxt@email.ru>

²Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН
199178, Санкт-Петербург, 14-я линия ВО, д.39
<sokol@iiias.spb.su>

УДК 681.3.06

М. Ю. Охтилев, Б. В. Соколов. **Новые информационные технологии мониторинга и управления состояниями сложных технических объектов в реальном масштабе времени** // Труды СПИИРАН. Вып. 2, т. 2. — СПб.: Наука, 2005.

Аннотация. Рассматривается один из важных видов автоматизированных систем — автоматизированных систем мониторинга состояний сложных организационно-технических комплексов в режиме реального времени с учетом возможной деградацией их структур. — Библи. 6 назв.

UDC 681.3.06

M. Yu. Okhtilev, B. V. Sokolov. **New information technology of the monitoring and control of complex technical objects in real time** // SPIIRAS Proceedings. Issue 2, vol. 2. — SPb.: Nauka, 2005.

Abstract. One of type of automation system — automation system of the monitoring and control of complex technical objects in real time in conditions of structural degradation. — Bibl. 6 items.

Введение

«Мониторинг — процесс комплексного наблюдения, оценивания и прогнозирования изменения состояний...»

(Энциклопедический словарь)

В современных условиях характерными требованиями, предъявляемыми к процессам управления сложными организационно-техническими комплексами (СОТК) являются: *требование оперативности и достоверности* оценивания состояния указанных комплексов; *требование своевременности и обоснованности принятия решений*, связанных с наилучшим использованием данных комплексов в конкретных условиях обстановки.

Ныне существующие и проектируемые варианты СОТК представляют собой систему сложных иерархически взаимосвязанных территориально-распределенных многофункциональных объектов, создаваемых на основе современных информационных технологий (ИТ) [5]. Примерами таких объектов и комплексов могут быть системы, входящие в состав таких организаций как Российское авиационно-космическое агентство, Минатомэнерго, РАО ЕЭС. В дальнейшем в статье данные комплексы и объекты для краткости будем называть

сложными техническими объектами (СТО). Анализ показывает, что процессы использования указанных СТО по целевому назначению, реализуемые в рамках соответствующих интегрированных автоматизированных систем управления (ИАСУ) СТО, сопровождаются появлением гигантских по своим объемам потоков разнородной информации и отличаются как по физической природе измеряемых и контролируемых параметров, так и по составу источников информации о компонентах вектора состояний СТО и ИАСУ СТО.

Высокие требования, предъявляемые в настоящее время к качеству и достоверности оценивания состояния СТО, ИАСУ СТО и к складывающейся обстановке в целом, приводят к необходимости постоянного совершенствования технологии мониторинга состояния СТО и ИАСУ СТО, которая, в общем случае, включает в себя взаимосвязанные процессы сбора, обработки, контроля и анализа измерительной информации (ИИ) о состоянии СТО и ИАСУ СТО, а также процессы диагностирования указанных СТО и ИАСУ СТО в случае возникновения сбоев и неисправностей. В связи с указанным, в состав любой современной ИАСУ СТО в качестве базовой подсистемы входит автоматизированная система мониторинга состояния СТО (АСМ СТО), главной функцией которой является определение состояния или, более точно, проведение *мониторинга состояний* СТО как объектов управления ИАСУ СТО.

Объектом дальнейшего рассмотрения в данной статье являются как сама АСМ, так и два основных этапа ее жизненного цикла — *этап проектирования АСМ* и *этап функционирования данной системы*, в ходе которого осуществляется анализ 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 [2]. 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 [2]. *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 ИАСУ СТО.

Если же рассмотреть лишь *задачи анализа ИИ* о состоянии как СТО, так и ИАСУ в целом, как наиболее актуальные с точки зрения их функциональности, то, к сожалению, до сих пор в большинстве случаев они решаются вручную и с учетом лишь отдельных аспектов функционирования данных объектов и систем.

Кроме того, отличительная черта рассматриваемых СТО, ИАСУ СТО состоит еще и в том, что в процессе их эксплуатации возможны различные изменения (деградация) штатного поведения данных объектов и систем, вызванные неисправностями или внешними возмущающими факторами, имеющими как субъективный, так и объективный характер. Это обуславливает необходимость на этапе применения осуществлять оперативное формирование таких взаимо-

связанных процедур мониторинга и управления состояниями СТО и ИАСУ СТО, при которых обнаружение, локализация и ликвидация сбоев и отказов в них будет происходить значительно *раньше*, чем станут проявляться возможные последствия неисправностей. В рассматриваемых ситуациях в режиме реального масштаба времени указанные процессы мониторинга и управления состояниями СТО должны сопровождаться целенаправленными процедурами *реконфигурации* структур как самих СТО, так и ИАСУ ими для обеспечения максимально допустимого уровня их работоспособности, адаптации к изменениям во внешней среде. К сожалению, в рамках существующих ИАСУ СТО, как правило, данные технологии управления либо вообще не реализуются, либо реализуются в неавтоматизированных режимах операторами СТО. Указанные аспекты мониторинга и управления состояниями СТО особенно важны для организационно-технических комплексов, особо критичных к управлению при возникновении аварийных и нештатных ситуаций в условиях дефицита времени.

Таким образом, в современных условиях имеет место ситуация, характеризующаяся, с одной стороны, высокими требованиями, предъявляемыми к результатам мониторинга и управления состоянием СТО, а с другой — наличием условий, в которых должна функционировать АСМ СТО, ключевым элементом которой в настоящее время является система автоматизированного анализа (АА) ИИ. Разрешение рассматриваемой противоречивой ситуации составляет существо *актуальной в настоящее время научно-технической проблемы, связанной с разработкой теоретических основ и методов структурно-функционального синтеза облика автоматизированной системы мониторинга состояний СТО в реальном масштабе времени (РМВ) с учетом изменяющихся условий их применения*. В предлагаемой статье рассматривается один из возможных подходов к решению данной проблемы, который основывается на использовании новых интеллектуальных информационных технологий проектирования и применения АСМ СТО.

Анализ существующих технологий разработки и применения автоматизированных систем мониторинга состояний СТО

Специфической особенностью современного рынка программных комплексов, предназначенных для автоматизации процессов сбора, обработки и анализа измерительной информации, а также ИТ проектирования и эксплуатации данных комплексов является то, что он ориентирован на создание узко специализированных программных средств, жестко связанных с соответствующими предметными областями, в которых сформировались устоявшиеся проверенные многолетней практикой взгляды на технологию разработки и применения АСМ СТО. Указанная тенденция в настоящее время проявляется в том, что сейчас существует большое количество родственных по своим функциональным возможностям программных комплексов (ПрК), входящих в состав АСМ СТО, и отличающихся друг от друга лишь по способу организации вычислительного процесса и виду используемой операционной среды.

Вместе с тем нарабатанный к настоящему времени богатый методический аппарат современной программной техники позволяет решать практически любые задачи обработки данных о состоянии СТО. При этом на практике для решения с высоким качеством и на уровне современных ИТ конкретных узкоспециализированных задач разработки автоматизированных информационных систем

(АИС), к которым, в частности, относится и АСМ СТО, широко используют подходы (виды проектирования), перечисленные в таблице 1.

Таблица 1. Виды и средства проектирования автоматизированных ИС

№	Вид проектирования	Субъект проектирования	Используемые средства
(а)	Проектирование ИС на базе существующих, готовых инструментальных проблемно-ориентированных COTS-средств (Commercial-Of-The-Shelf)	Специалисты в конкретной предметной области (Про), конечные пользователи (КП) ИС	Специализированные CASE-технологии, <i>операционные среды</i> , проблемные языки представления знаний (ЯПЗ)
(б)	Проектирование COTS-компонентов ИС и инструментальных средств, ориентированных на многократное применение	Профессиональные программисты, системные аналитики	«Традиционные» CASE-технологии (или, по-другому, Rapid Application Development (RAD)- средства), <i>инструментальные среды</i> , традиционные языки программирования и т.п.
(в)	Расширение возможностей существующих COTS-средств за счет создания и подключения к уже существующим средствам дополнительных приложений	Профессиональные программисты, системные аналитики	«Традиционные» CASE-технологии (RAD), <i>инструментальные среды</i> , традиционные языки программирования и т.п.
(г)	Непосредственно разработка уникальных ИС, ориентированных на однократное использование в конкретной Про	Специалисты одновременно как в Про, так и владеющие навыками программирования	«Традиционные» языки программирования, средства отладки и т.п.

До последнего времени наибольшее распространение на практике получил подход (г), в результате реализации которого создается качественное, хорошо отлаженное как общее, так и специальное программное обеспечение (ОПО, СПО) ИС. Именно такие программные комплексы ИС до последнего времени создавались и эксплуатировались как специально предназначенными для этого подразделениями фирм — разработчиков СТО, так и подразделениями эксплуатирующих организаций. Однако сопровождение и доработка данного ПО в соответствии с указанной технологией является достаточно сложной и трудоемкой задачей. Необходимо также учитывать и тот факт, что в настоящее время доля затрат на разработку ПО при создании автоматизированных ИС неуклонно возрастает и может составлять от 60 до 90 процентов стоимости всей ИС [1, 5, 6]. В связи с этим вариант непосредственного программирования (вариант (г)) в современных условиях приемлем лишь для относительно простых программных систем. В противном случае (при реализации больших программных систем) при такой технологии возникают, как правило сложные финансовые, ресурсные и временные проблемы.

Современный рынок в области разработки ПО имеет тенденцию к все большей сегментации и специализации из-за постоянного усложнения и удорожания как ОПО, так и СПО. Разработчики операционных систем, различных инструментальных средств, СПО, а также конечные пользователи (КП) владеют все более отличающимися друг от друга тезаурусами и «общаются» на все более непохожих языках. При этом весьма привлекательными становятся технологии создания СПО, позволяющие в процессе проектирования программ непосредственно использовать знания и опыт КП. Все эти тенденции приводят к необходимости все более широкого использования при разработке специали-

рованных ИС (в том числе и АСМ) расширенных возможностей современных инструментальных программных систем (ПС). В этих условиях весьма привлекательными при проектировании СПО становятся уже технологии (а), (б), (в), представленные в таблице 1. Данные подходы основаны на широком использовании CASE-технологий или им подобных инструментальных средств различного назначения как этапе разработки, например, COTS (Commercial Of-The-Shelf)-программных систем (вариант (б)), так на этапе создания ИС из этих ПС (вариант (а)).

При проектировании АСМ СТО PMB система COTS-компонентов по сути является специализированной CASE-системой (вариант (а)). Данная специализированная CASE-система реализуется обычно в виде некоторой *операционной среды*, ориентированной на КП и оперирующей понятиями конкретной ПрО. В свою очередь, при проектировании самих COTS-компонентов могут быть использованы инструментальные средства RAD, предназначенные для повышения эффективности процесса разработки этих компонентов профессиональными программистами. Более того, с нашей точки зрения в современных условиях наиболее перспективными являются только те технологии проектирования АСМ СТО, в которых непосредственное участие принимает конечный пользователь, являющимся специалистом в области эксплуатации соответствующего СТО. Для этого должны создаваться соответствующие *специализированные операционные среды*. В свою очередь, такие *проблемно-ориентированные операционные среды* должны быть спроектированы и разработаны в полном соответствии с требованиями и ограничениями, обусловленными спецификой автоматизируемой ПрО, а также, по возможности, на основе *тех же технологий проектирования и инструментальных сред что и АСМ СТО*.

Проведем краткий анализ того, как с использованием существующих и разрабатываемых инструментальных средств может быть реализована описанная выше перспективная технология проектирования АСМ СТО. Анализ современного состояния разработки в области практической реализации информационных технологий проектирования АСМ показывает, что в настоящее время существует, по крайней мере, два крупных направления внедрения предлагаемого подхода на практике.

К *первому направлению* исследований могут быть отнесены результаты, полученные в рамках так называемой теории не доопределенных вычислений (на основе методов удовлетворения ограничений — constraint programming) и теории мультиагентных интеллектуальных систем. В качестве наиболее характерных представителей программных комплексов, поддерживающих данные направления исследований, могут быть названы: интегрированный программный продукт СПРУТ, интеллектуальный решатель математических задач UniCalc [3, 4].

Ко *второму направлению* исследований относятся так называемые системы сбора данных и управления — SCADA-системы (Supervisor Control And Data Acquisition — системы сбора данных и управления, системы операторского интерфейса и т.п.) с соответствующими визуальными средствами их разработки и сопровождения — CACSD (Computer Aided Control System Designer — средства визуального проектирования SCADA-систем). Данное направление реализации технологий проектирования и применения АСМ СТО наиболее широко представлено на современном рынке программных систем, поддерживающих процессы сбора и обработки ИИ в PMB в рамках соответствующей ИАСУ СТО. В связи с этим, проанализируем более подробно данный класс систем. На ны-

нешнем этапе развития прикладной информатики на рынке упомянутых программных средств имеется достаточно большое количество продуктов, ориентированных на решение задач автоматизации обработки данных в различных ПрО [4]. Основными достоинствами практически всех существующих в настоящее время SCADA-систем являются следующие: *технология создания SCADA-систем на основе систем визуального проектирования ориентирована на КП и близка к интуитивному восприятию процесса обработки данных; объектно-ориентированное построение систем визуального проектирования обеспечивает простоту и быстроту освоения ПО широким кругом КП; открытость данных систем, позволяющая дополнять их функциями собственной разработки, уникальными драйверами специализированных обслуживаемых устройств, возможность доступа к универсальным БД на основе стандартных языков доступа и интерфейсов.*

Среди тенденций разработки и применения SCADA-систем необходимо отметить: все большую ориентацию их на использование под управлением Windows-NT (тем более, что в последнее время для Windows-NT появляются доработки/расширения для обеспечения PMB); применение при разработке SCADA-систем новых ИТ, связанных с использованием современных CASE-средств (*инструментальных сред*), с разработкой *операционных сред*, с привлечением технологических средств нового поколения; переход на комбинированные модели доступа к БД, совмещающие модели сервера БД, сервера приложений, доступа из Web-браузера; акцентирование усилий компаний-производителей SCADA-систем на качество технической поддержки, качество обучения КП, на концентрацию и качество дополнительных комплексных услуг по освоению, внедрению и интеграции с АСУ верхнего иерархического уровня [4].

Однако, при всех своих достоинствах существующие SCADA-системы зачастую мало пригодны (если даже совсем не пригодны) для решения задач ACM СТО в PMB. Это объясняется целым рядом причин, к числу можно отнести следующие причины: *отсутствие режима «жесткого» PMB у большинства существующих коммерческих SCADA-систем; отсутствие средств, поддерживающих интеллектуальные ИТ (например, обеспечивающих интеграцию данных и знаний — Information Fusion Technology); слишком большая универсальность SCADA-систем, обусловленная поиском со стороны фирм-производителей новых покупателей-клиентов, которая оборачивается слабой ориентацией на решение конкретных задач и невозможностью учесть специфику конкретной ПрО; отсутствуют единые методологические и методические основы построения моделей, методов и алгоритмов обработки и анализа ИИ о состоянии СТО для конкретных ПрО, что делает процесс их оценивания беспорядочным, хаотичным, эвристическим, а значит не лишенным ошибок, накладок, противоречий, неполноты.*

Дополнительные особенности рассматриваемые задачи создания и применения как ACM, так и ИАСУ СТО в целом приобретают в том случае, когда учитывается такой важный аспект их функционирования как динамика развития и реконфигурация структур проектируемых (эксплуатируемых) автоматизированных систем (АС). Указанная структурная динамика [1, 6] обусловлена большой продолжительностью жизненного цикла 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, различными субъективными факторами [5]. В этих ситуациях, в отличие от простейшей “слепой” реконфигурации элементов и подсистем АС, не учитывающей ни характеристик решаемых в текущий момент времени задач, ни стоящих перед АС целей, требуется оперативная разработка и реализация программ управления структурной динамикой АС, обеспечивающих целенаправленную перестройку их структур [6]. К сожалению, на практике большинство перечисленных проблем управления структурами до сих пор решаются вручную.

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 ИАСУ СТО, 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 интегрированного подхода к автоматизации функционирования предприятий и организаций, основанного на фундаментальных и прикладных результатах, полученных в современной математике, информатике, теории управления. [5]. Продемонстрируем справедливость данного положения на примере создаваемой в настоящее время АСМ СТО РМВ.

Структура и основные особенности интеллектуальной информационной технологии проектирования и применения АСМ состояний СТО в РМВ

Анализ вышеизложенного материала показывает, что главное достоинство существующих инструментальных сред проектирования АСМ СТО (инструментальных средств типа RAD), заключающееся в быстром их создании, превращается на практике (при конструировании специализированных АСМ СТО) в их же главный недостаток. Это объясняется тем, что синтезируемая в рамках данных универсальных технологий АСМ будет неоптимальной по целому ряду важнейших показателей качества СПО, отражающих специфику соответствующей предметной области СТО.

Для преодоления указанного недостатка предлагается следующая модификация существующей *спиральной модели проектирования ПО*, которая была названа *сквозной моделью проектирования ПО* [4, 5]. На рис. 1 представлены основные этапы предлагаемой технологии проектирования:

1 этап. Функциональное проектирование, заключающееся в выявлении информационных потребностей КП (предпроектное обследование, формулировка технических и частных технических заданий на разработку систем и подсистем проектируемого продукта).

2 этап. Концептуальное проектирование ИС (для данных — формирование концептуальной схемы БД, например, в виде ERD-диаграмм; для процессов обработки данных — определение входных и выходных данных). Концептуальный проект не зависти от реализации и отражает содержательную сторону проектируемой ИС.

3 этап. Разработка архитектуры ИС (выбор модели доступа к данным, выбор программной платформы общего ПО — ОС, СУБД и др.; выбор аппаратной

платформы — структура вычислительной сети при многомашинном комплексе и др.).

4 этап. Логическое проектирование ИС (формирование логической схемы БД и написание прикладных программ на некотором языке).

5 этап. Отладка и тестирование прикладных программ ИС.

6 этап. Сопровождение ИС.

При этом в рамках предлагаемой специализированной операционной среды также параллельно выполняются следующие объектно-ориентированные этапы проектирования:

информационное концептуальное моделирование — введение параметров (концептуальных понятий ПрО), групп параметров, задание правил сегментации области значений вводимых параметров (для осуществления качественного анализа ПрО и перехода от непрерывно-значных показателей свойств ОА к дискретным);

формирование поведенческой модели процесса АА — задание вычислительных моделей (ВМ) (как интеллектуальных агентов) и их метасистем (коллективов агентов). Суть этапа поведенческого моделирования состоит в описании информационных процессов (динамики функционирования), происходящих в АСМ при АА ИИ и опирающихся на такие понятия, как состояние системы, событие, переход из одного состояния в другое, условия перехода, последовательность событий и т.п.;

генерация графического пользовательского интерфейса (GUI), предназначенного для визуализации результатов АА ИИ и используемого на человеко-машинных элементах распределенной ИС;

автоматический синтез корректной метапрограммы АА ИИ для ее реализации в сетевой среде проектируемой ИС. На этом этапе выполняется комплексная автоматическая верификация всех введенных КП данных и синтезируется максимально параллельная программа АА ИИ на языке внутреннего представления.

Следует заметить, что все перечисленные этапы могут выполняться независимо — для разных подсистем СТО и совместно с процессом доработки (сопровождения) операционной среды, также состоящей из отдельных подсистем. Как видно из представленного рисунка, использование такой *сквозной* модели проектирования АСМ СТО в РМВ позволяет достаточно полно реализовывать преимущества всех ранее перечисленных современных подходов к созданию ПО (см. таблицу 1 варианты (а), (б), (в)). В соответствии с данной моделью при проектировании АСМ предлагается осуществлять совместное комплексное параллельное проектирование как операционной среды, максимально учитывающее специфику задач АСМ СТО, так и формирование (проектирование, синтез) непосредственно АСМ СТО.

В этом случае проектированием специализированной операционной среды занимаются профессиональные программисты и системные аналитики, которые также привлекают к этой работе и КП на всех этапах создания и внедрения данного ОПО. Формированием (синтезом) непосредственно АСМ СТО с использованием специализированных средств операционной среды должны за

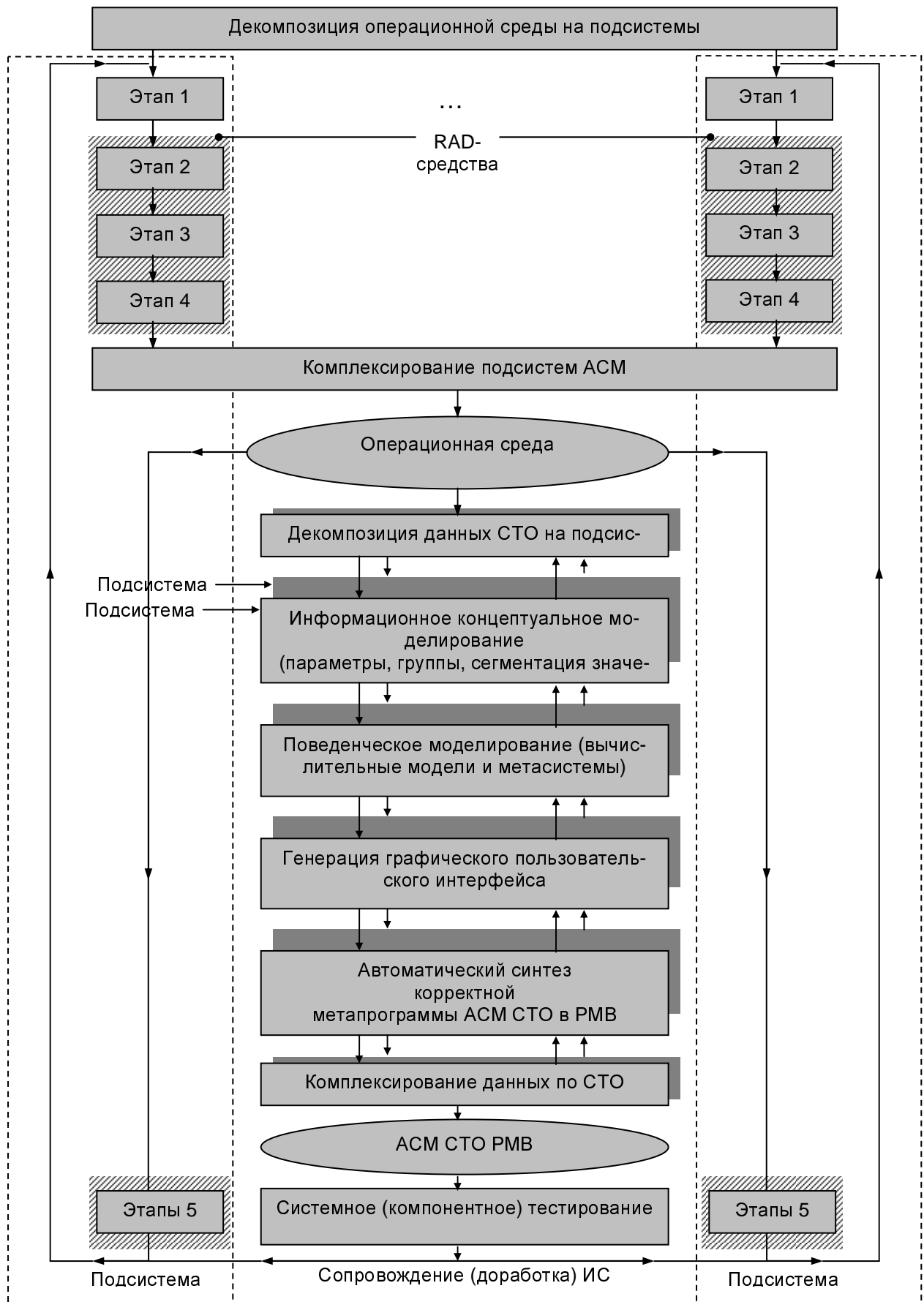


Рис. 1. Схема сквозного проектирования ACM СТО в PMB.

ниматься исключительно КП (специалисты по эксплуатации СТО). Данный подход способствует получению высококачественного программного продукта — АСМ СТО, так как в этом случае появляется возможность всестороннего учета знаний квалифицированных специалистов о своей Про. С другой стороны, за счет наличия *итерационного сквозного* режима проектирования достигается максимальное взаимодействие не только КП, но и всех других участников проекта, комплексирование (учет) их знаний и интересов. Кроме того, за счет совмещения во времени большинства проектных работ обеспечивается минимизация сроков получения конечного продукта. Еще одним немаловажным достоинством предлагаемой технологии проектирования является простота сопровождения и доработки (развития) созданных ПС (как операционной среды, так и АМС СТО).

Таким образом, главным достоинством проектирования АСМ СТО, в соответствии с представленной *сквозной итерационной* схемой, состоит в том, что она позволяет непосредственно в ходе разработки быстро выявлять и уточнять, а затем и реализовывать необходимый набор функциональных возможностей создаваемого СПО и в результате получать программную систему, действительно удовлетворяющую всем требованиям заказчика (КП) на момент ее внедрения. При этом тестирование спроектированной системы состоит в проверке интегральной корректности введенных КП данных.

Теперь рассмотрим более подробно состав и структуру предлагаемой операционной среды, обеспечивающей успешную реализацию указанной технологии проектирования АСМ СТО (см. рис.2).

Как видно из рис. 2, одной из основных составляющих создаваемой операционной среды АСМ СТО является *проблемно-ориентированный язык*, с помощью средств которого обеспечивается взаимодействие КП и вычислительной системы. Такой язык представляет собой целый набор объектно-ориентированных языков и визуальных средств проектирования, которые использует КП при создании прикладной исполнительной среды АСМ СТО на основе соответствующей специализированной *операционной среды* разработки ПО. Каждый такой объектно-ориентированный язык вместе со своими средствами визуального проектирования представляет собой ряд проблемно-ориентированных подмножеств метаязыка всей операционной среды, которые образуют *подсистемы* или визуальные языки проектирования.

Среди объектно-ориентированных языков используются входящие в состав языковых средств операционной среды элементы, приведенные на рис. 2. В свою очередь, подсистемы макрооператоров схем обработки данных (подсистема контроля функционирования (диагностирования) и прогнозирования состояния СТО, подсистема описания алгоритмов управления и т.п.), позволяющие сформировать поведенческую модель СТО, в операционной среде АСМ, реализуются посредством специальных операторов (псевдокодов), относящихся к классу языков четвертого поколения 4GL (один оператор языка 4GL соответствует целому фрагменту программы, написанной на языке 3GL). Одновременно — для обеспечения удобства формирования КП поведенческой модели АСМ разработана подсистема макрооператоров схем обработки данных, представляющая собой визуальный язык проектирования.

Все перечисленные подсистемы используются КП при проектировании среды исполнения АСМ СТО в РМВ в соответствии с предложенной ранее схемой *сквозного* проектирования ИС. Причем, такое проектирование производится в визуальном параллельном объектно-ориентированном режиме с использо-

ванием следующих специализированных интерактивных подсистем: подсистемы информационно-концептуального моделирования; подсистемы поведенческого моделирования; подсистемы генерации графического пользовательского интерфейса; подсистемы автоматического синтеза корректной параллельной метапрограммы АСМ СТО в РМВ.

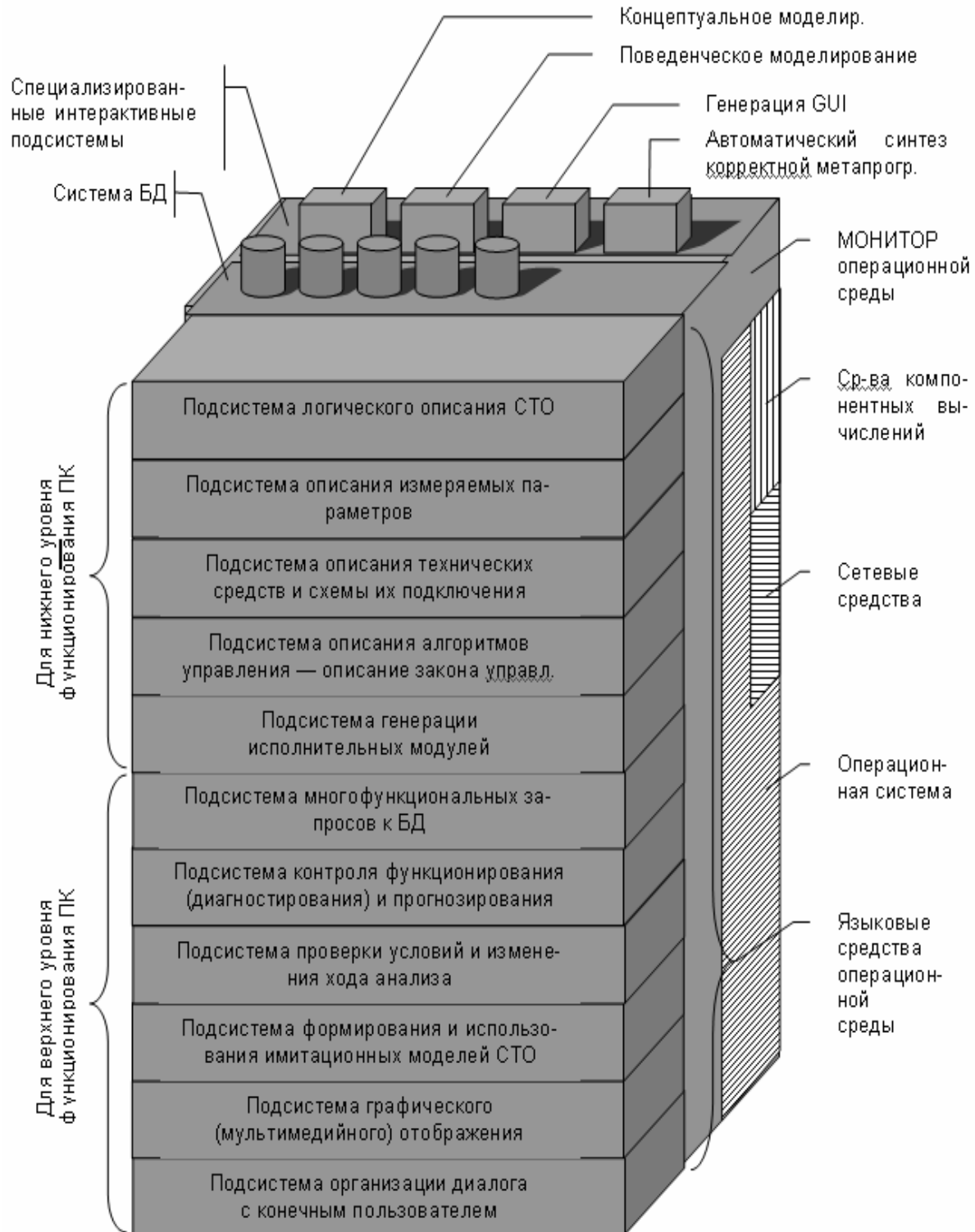


Рис. 2. Структура операционной среды АСМ СТО в РМВ.

Как указывалось выше, одной из главных особенностей функционирования АСМ СТО является то, что она должна быть системой РМВ жесткого типа [2, 4, 5]. Остановимся более подробно на особенностях реализации данного режима в рамках создаваемой программной системы.

Проведенные исследования показали, что процесс вычислений при мониторинге состояний (МС) СТО может быть представлен последовательностью фазовых кривых на плоскости TOS , каждая из которых $\rho_{t_i} |_{SOT}$ иллюстрирует в графическом виде состояние процесса МС на момент поступления порции значений ИИ временного сечения $t_i \in T$. При этом названные кривые $\rho_{t_i} |_{SOT}$ являются, по-существу, своеобразными «изотермами», поскольку фиксируют состояния процесса обработки данных в каждый момент времени $t_i \in T$. В случае наблюдения за состоянием процесса АА ИИ в зависимости от поступающих значений измеряемых параметров с постоянно возрастающим временем (в режиме РМВ) имеется возможность проследить изменение процесса обработки ИИ для каждого временного сечения $t_i \in T$. Такую динамику можно представить в виде множества одновременно изменяющихся кривых $\rho_{t_i}^m |_{SOT}$, вид которых изображен на рис.3.

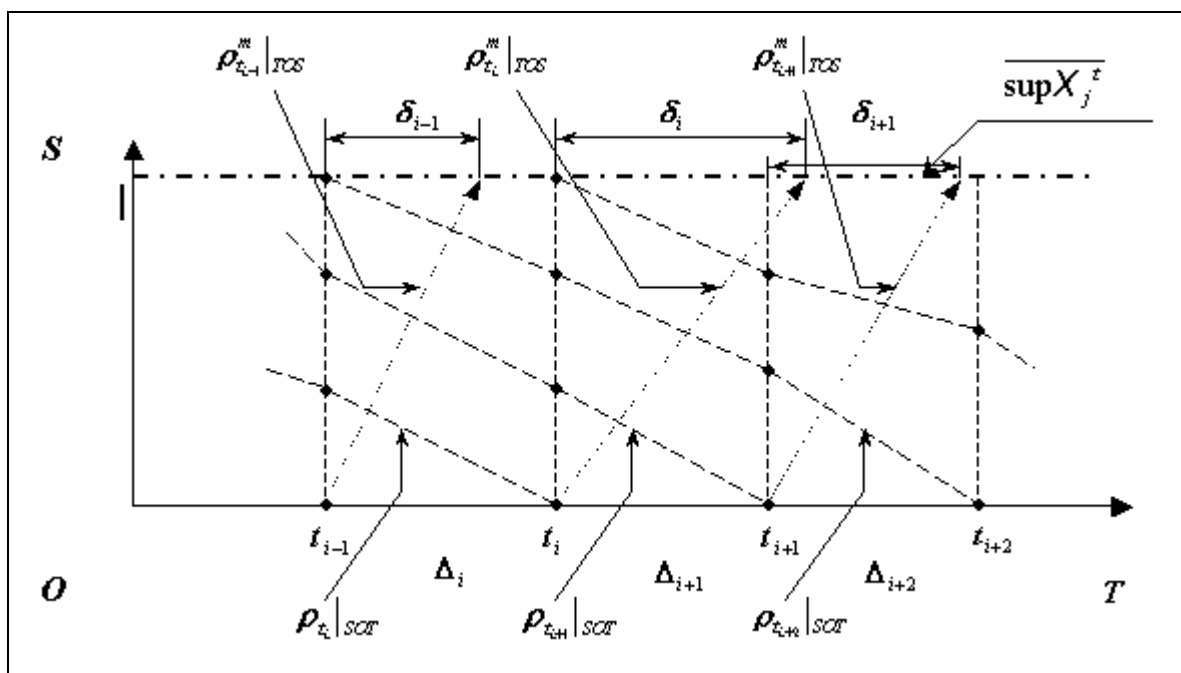


Рис. 3. Процесс изменения состояний параметров при МС в РМВ во временных сечениях.

Как видно из представленного рисунка, результаты МС формируются динамически в соответствии с фазовыми траекториями $\rho_{t_i}^m |_{SOT}$ — для каждого временного сечения $t_{i-1}, t_i, t_{i+1}, \dots \in T$. При этом, результат обработки данных после поступления ИИ в момент временного сечения t_{i-1} формируется (вычисляется) в момент времени $(t_{i-1} + \delta_{i-1})$, после поступления ИИ для временного сечения t_i — в момент времени $(t_i + \delta_i)$, после поступления ИИ для временно-

го сечения t_{i+1} — в момент времени $(t_{i+1} + \delta_{i+1})$ и т.д. С другой стороны, интервалы времени между рассматриваемыми временными сечениями $t_{j-1}, t_j, t_{j+1}, t_{j+2}, \dots$ представляют собой последовательность $\Delta_j, \Delta_{j+1}, \Delta_{j+2}, \dots$.

Для обеспечения получения результатов АА ИИ в РМВ проектируемая АСМ должна быть приспособлена к реализации одного из возможных механизмов РМВ. Если рассматривать такую АСМ как частную систему управления критическими сроками, то требование РМВ означает, что каждому процессу (модулю, нити, фазовой траектории), представленному на рисунке кривыми $\rho_{t_j}^m |_{SOT}$, назначается интервал времени, в течение которого он должен быть выполнен. Это требует задания ограничений δ_i^0 на все значения δ_i :

$$\delta_i \leq \delta_i^0, \forall (i \in I_T).$$

Суть такого механизма заключается в следующем. При организации вычислений при МС в РМВ, как уже указывалось ранее, мы имеем итерационный процесс, в рамках которого в течение сеанса анализа КП указываются временные интервалы, внутри которых необходимо получать значения конкретных, интересующих пользователя, параметров. В этом случае разрабатываемая АСМ предоставляет возможность фиксации последовательности процессов (вычислительных моделей в составе используемой специально разработанной сетевой модели вычислений [2, 3]), участвующих в вычислении заданного параметра цели анализа состояния СТО. Кроме того, для обеспечения получения результатов анализа в рамках заданных временных интервалов создаваемая АСМ позволяет автоматически формировать систему приоритетов (динамических, с вытеснением), которой обладает любая полноценная ОС РВ (например, такая, как QNX). На каждом последующем шаге вычислений, если возникает такая необходимость, система приоритетов корректируется.

В этой связи весьма перспективным представляется подход, базирующийся на упоминавшейся уже ранее концепции управления структурной динамикой СТС [1, 6]. В рамках данного подхода, как показывает анализ, система динамических приоритетов формируется в автоматическом режиме на основании не только данных о текущем состоянии процесса мониторинга, но, что самое главное, на основании текущей информации о степени выполнения задач, решаемых как СТО, так и АСМ в целом. Другими словами, динамические приоритеты операций, связанные с функционированием АСМ состоянии СТО, как бы «аккумулируют» в себе сведения о различных аспектах процессов выполнения текущих и последующих операций, входящих в состав технологических циклов мониторинга и управления СТО. В исследуемых задачах в качестве указанных динамических приоритетов выбраны соответствующие сопряженные переменные, значения которых определяются итерационно при решении многоточечных краевых задач. В свою очередь, данные краевые задачи формируются на основе применения модифицированного метода локальных сечений БОЛТЯНСКОГО В.Г., являющегося модификацией принципа максимума для задач оптимального управления со смешанными ограничениями [1, 6]. Именно с помощью данного вида ограничений удастся формально описывать и синтезировать различные технологии мониторинга и управления СТО в РМВ. Главное достоинство данного комплексного подхода к описанию процессов функционирования АСМ СТО состоит в том, что значимость (приоритетность) операций, выполняемых в АСМ в рамках той или иной технологии, определяется не эвристиче-

ски, а исходя из тех целевых задач, которые реализует СТО на заданном интервале времени. В этом случае эвристика (субъективность) вносится ЛПР только на этапе формулировки данных задач (целей). Конструктивно в рамках данного подхода сведения о формулируемых задачах (целях) формально описываются либо в виде краевых условий, смешанных ограничений, либо в виде функционалов [6].

На практике, в ряде случаев, из-за достаточной высокой интенсивности поступления ИИ по временным сечениям (даже для существенных значений параметров) описанный *механизм реализации РМВ* приходится упрощать. Для таких ситуаций режим «жесткого» РМВ имеет место в случае, когда

$$\delta_i < \Delta_{i+1} \text{ или } \delta_i \ll \Delta_i, \forall (i \in I_T).$$

На рис. 3 эта ситуация показана, например, для δ_{i-1}, Δ_i и $\delta_{i+1}, \Delta_{i+2}$ (ИИ анализируется быстрее, чем она поступает в АСМ).

Режим «мягкого» РВ имеет место в случае, когда

$$\delta_i \approx \Delta_{i+1}, \forall (i \in I_T),$$

т.е. ИИ обрабатывается в ходе ее поступления или с небольшой задержкой, как это, например, имеет место для δ_i, Δ_{i+1} (см. рис. 3).

Отсутствие режима РМВ имеет место в случае, когда

$$\delta_i > \Delta_{i+1} \text{ или } \delta_i \gg \Delta_{i+1}, \forall (i \in I_T),$$

т.е. когда результаты МС формируются намного позже поступления ИИ в режиме так называемой «*послесекансной*» обработки. В этом режиме все ресурсы вычислительной системы расходуются, как правило, на прием и запоминание поступающей ИИ. Описанные *механизмы реализации РМВ* были положены в основу создаваемой АСМ СТО. При расчете конкретных характеристик данной системы прежде всего учитывалось, что время ее реакции на любое происходящее на СТО событие складывается из времени, необходимого для его обработки соответствующей операционной системой (управление процессом получения ИИ, прием-передача данных между элементами ИС, синхронизация процесса обработки данных и т.п.), и времени, необходимого для вычислений значений целевых параметров (параметров ТС). В связи с этим, при создании АСМ СТО для обеспечения реализации свойства *жесткости* РМВ в качестве базовой *программной платформы* была выбрана ОС РВ QNX.

Для организации распределенных вычислений в составе проектируемой операционной среды АСМ СТО имеются такие компоненты как *сетевое программное обеспечение* и *программное обеспечение компонентных вычислений* [4, 5]. Данные компоненты позволяют сформировать *сетевую среду*, каждый элемент которой решает часть задач (из общего перечня задач, возложенных на АСМ СТО), обусловленных его целевым применением и территориальным расположением. При этом весь перечень задач АСМ динамически распределяется по соответствующим элементам сетевой среды проектируемой ИС. Управление вычислительным процессом в рамках такой распределенной сети производится с использованием формальной параллельной модели вычислений на основе *пространства параметров ТС* и представляющего собой виртуальное распределенное (компонентное) пространство. В составе данной сетевой среды также разрабатывается соответствующее *middleware* — промежуточное программное обеспечение [5].

Заключение

Рассмотрение ИТ, используемых при проектировании и эксплуатации АСМ СТО, было бы незавершенным без оценивания технико-экономических показателей разработанных на основе предложенных подходов прототипов ПК и формулировки соответствующих рекомендаций по их применению. В настоящее время один из разработанных прототипов АСМ СТО используется в Российском авиационно-космическом агентстве для оперативного оценивания состояния различных типов космических средств (КСр). По результатам испытаний и опытной эксплуатации указанного ПК можно сделать следующие выводы.

Созданная версия АСМ КСр, функционирующая в РМВ обеспечивает в настоящее время решение следующих функциональных задач:

- автоматизированная визуальная разработка КП (непрограммистами) программ автоматизированного мониторинга состояний СТО;

- автоматическое формирование программы анализа ИИ по заданной КП цели анализа на конкретном сеансе управления;

- прием ИИ произвольной природы;

- сохранение принятой и обработанной информации в архивах, реализуемое посредством интерфейсов к имеющимся БД;

- вторичная обработка и интеллектуальный анализ ИИ на распределенных вычислительных комплексах;

- обеспечение выполнения программы функционирования СТО и необходимого уровня показателя качества управления им;

- графическое представление принятой и обработанной ИИ в удобном для ее восприятия виде;

- оповещение (в том числе мультимедийное) о происшедших аварийных ситуациях с регистрацией действий КП по их устранению;

- формирование сводок и других отчетных документов на основе архивной информации;

- обмен информацией с АСУ верхнего уровня иерархии.

Разработанный программный комплекс является системой жесткого РМВ. При этом в качестве целей автоматизированного анализа ИИ могут быть: контроль функционирования выбранного ОУ; контроль работоспособности ОУ; диагностирование возникших на ОУ неисправностей с заданным уровнем; прогнозирование поведения ОУ на заданном интервале прогноза; обеспечение выполнения программы функционирования ОУ и необходимого уровня показателя качества управления им и др.

Рассматриваемая версия ПК обеспечивает решение задач МС со следующими предельными возможностями и характеристиками:

- количество одновременно анализируемых параметров — до 16 миллионов;

- используемые типы анализируемых параметров: функциональные, функционально-диапазонные, сигнальные, кодовые, текстовые и комбинированные;

- диапазон значений анализируемых параметров — для целых чисел — от $-2\ 147\ 483\ 647$ до $+2\ 147\ 483\ 648$;

- диапазон значений анализируемых параметров — для чисел с плавающей точкой: мантисса — 15 значащих чисел, порядок — от -307 до $+308$;

- количество значений анализируемых параметров в одном сеансе анализа — до 60 миллиардов (для чисел с плавающей точкой);

точность временной привязки — до 1 миллисекунды;
перечень математических моделей, включенных в ПК, позволяет представлять и анализировать ИИ по уровню сложности от матриц ситуаций (до 512 ситуаций одновременно), конечно-автоматных моделей, до линейно-ограниченных автоматов и им эквивалентных с возможностью подключения внешних вычислительных моделей, удовлетворяющих интерфейсным спецификациям, пакетов прикладных программ и т.п.;

количество одновременно используемых визуальных компонентов на одном рабочем месте конечного пользователя ограничено эргономическими требованиями и наличием оперативной памяти компьютера.

Особо следует отметить, что разработка данной и последующих версий АСМ СТО базируется на новых научных результатах, полученных авторами в ходе выполнения ряда проектов под эгидой Российского Фонда Фундаментальных Исследований (проект № 02-07-90463 в), Европейского космического агентства (проект № 1992р), Секции прикладных проблем при Президиуме РАН (проект № 1331). К числу таких результатов можно, в первую очередь, отнести:

комплексный полимодельный многокритериальный подход к автоматизации процессов мониторинга и управления состоянием СТО, базирующийся на фундаментальных научных результатах (концепциях, моделях, методах и алгоритмах), полученных к настоящему времени в теории систем и управления, функциональном анализе, общей топологии (в частности, предполагается использовать для описания исследуемых, дискретных по своей сути или по форме представления процессов, математический аппарат классического и неклассического вариационного исчисления, теории дифференциальных уравнений, методов исследования топологических структур и пространств);

новые модели вычислений, реализующие произвольные схемы программ мониторинга состояний, отличающиеся от известных ранее ориентацией на доопределение значений оцениваемых параметров состояний и позволяющая формировать результат даже при отсутствии полного набора значений измеряемых параметров;

методы и алгоритмы автоматического синтеза названных схем с использованием предлагаемых предикатных формальных грамматик, характеризующих структуру концептуальной модели базы знаний;

методы структурно-поточного многоуровневого распознавания состояний, позволяющий строить алгебру на множестве эффективных алгоритмов распознавания, и отличающийся от известных в теории распознавания образов подходов возможностью учета показателей качеств рекуррентного и потокового процесса вычисления оценок распознавания;

технологии проектирования и эксплуатации ПК мониторинга состояний ОУ как системы класса MMI/CACSD/SCADA/MAIS (человеко-машинный интерфейс /средства визуального проектирования /система сбора данных и управления/ мультиагентная интеллектуальная система).

Полученные новые научные и практические результаты являются результатом многолетнего плодотворного сотрудничества Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН и «СКБ Орион», на базе которого осуществляется непосредственная реализация АСМ СТО РМВ. «СКБ Орион» имеет более, чем пятидесятилетний опыт проектирования, разработки, внедрения и сопровождения систем контроля и управления (СКУ) сложными технологическими процессами (ТП) в критических приложениях. Нашим предприятием выполняется полный цикл работ по проектированию, разработке,

изготовлению, внедрению и сопровождению СКУ (в комплексе — как программных, так и технических средств), предназначенных для функционирования в критических приложениях.

В *ракетно-космической технике* (СКУ заправкой ракет-носителей (РН) компонентами топлива, их термостатирования, систем пожаротушения, СКУ функционированием различного технологического оборудования и др.):

– для стартовых комплексов РН «Протон», системы «Буран», РН «Зенит», РН «Союз» — космодрома «Байконур»;

– для стартовых комплексов РН «Союз», РН «Восход», РН «Циклон» — космодрома «Плесецк»;

– для стартовых комплексов — космодрома «Капустин Яр»;

В *атомной энергетике*:

– для АСУ ТП защиты и перезагрузки реакторов атомных станций (Ленинградской АЭС, Смоленской АЭС, Игналинской АЭС, Чернобыльской АЭС);

– для оборудования разделительного производства — Уральского электро-химического комбината, Ангарского электро-химического комбината, Красноярского электро-химического комбината, электро-химического комбината в Китайской Народной Республике и др.

В настоящее время ведутся работы по внедрению АСУ ТП защиты реакторов Курской и Ленинградской АЭС, элементов СКУ функционирования отдельных космических средств выведения и орбитальных средств, целый ряд других работ.

Литература

- [1] Калинин В. Н., Соколов Б. В. Многомодельный подход к описанию процессов управления космическими средствами // Теория и системы управления. 1995. № 1. — с.56–61.
- [2] Охтилев М. Ю. Определение и основные свойства одной из модификаций вычислительных схем алгоритмов распознавания // Программирование. 1991. № 6. — С. 52–63.
- [3] Охтилев М. Ю. О построении программ обработки и анализа измерительной информации в реальном времени // Программирование. Том 27. № 6. 2001. — С. 329–335.
- [4] Охтилев М. Ю. Особенности технологии проектирования специализированных систем для автоматизированного анализа измерительной информации реального времени // Автоматика и вычислительная техника. 2001. № 6. — С. 13–18.
- [5] Охтилев М. Ю., Соколов Б. В. Теоретические и прикладные проблемы разработки и применения автоматизированных систем мониторинга состояния сложных технических объектов // Труды СПИИРАН / Под редакцией доктора технических наук, профессора Юсупова Р.М. Выпуск 1. Том 1. СПб.: СПИИРАН, 2002. — С. 167–180.
- [6] Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Комплексное моделирование функционирования автоматизированной системы управления навигационными космическими аппаратами // Проблемы управления и информатики. 2002, №5. — С. 103–117.