

В.А. ЗЕЛЕНЦОВ, А.П. КОВАЛЕВ, М.Ю. ОХТИЛЕВ,
Б.В. СОКОЛОВ, Р.М. ЮСУПОВ
**МЕТОДОЛОГИЯ СОЗДАНИЯ И ПРИМЕНЕНИЯ
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ НАЗЕМНО-КОСМИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ**

Зеленцов В.А., Ковалев А.П., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. **Методология создания и применения интеллектуальных информационных технологий наземно-космического мониторинга сложных объектов.**

Аннотация. В статье рассматриваются методологические и методические основы теории мониторинга и управления структурной динамикой сложными объектами (СЛО), включающие в себя полимодельные комплексы, комбинированные методы, алгоритмы, а также предложены новая интеллектуальная информационная технология (ИИТ), прикладные методики и инструментальные средства, её поддерживающие и предназначенные для автоматизированного проектирования систем наземно-космического мониторинга и управления сложными организационно-техническими объектами (СОТО) в различных условиях изменения обстановки, которые уже в настоящее время находят широкое применение на практике. Приводятся примеры практической реализации.

Ключевые слова: наземно-космический мониторинг, интеллектуальная информационная технология.

Zelentsov V.A., Kovalev A.P., Okhtilev M.Y., Sokolov B.V., Yusupov R.M. **Creation and application methodology of the intelligent information technology of complexity objects space and ground based monitoring.**

Abstract. Methodological and techniques foundations of complexity objects monitoring and structural dynamics control theory are proposed in this paper. These foundations include multiple-models descriptions, integrated methods, algorithms and new intelligent information technology which is used for automation designing space and ground based monitoring and control for complex technical-organizational objects in different environments in practice. Some applied examples of proposed intelligent information technology are suggested in the paper.

Keywords: space and ground based monitoring, intellectual information technologies.

1. Введение. Начиная со второй половины XX века, настоятельная необходимость исследования и решения широкого спектра фундаментальных и прикладных задач практического освоения космического пространства послужила мощным стимулом, во-первых, соответствующего развития космических информационных технологий, которые, в свою очередь, оказали и продолжают оказывать не менее существенное влияние на формирующуюся инфосферу [6–7, 34–37, 49–50], и, во-вторых, интеграции существующих и перспективных технологий наземного и космического мониторинга сложных объектов (СЛО). Далее под **космическими информационными технологиями (КИТ)** мы будем понимать информационные технологии, обеспечивающие сбор,

хранение, передачу (прием), представление, обработку, анализ и защиту данных как о космических средствах (КСр), так и объектах, с которыми они взаимодействуют на различных этапах их жизненного цикла. При этом в дальнейшем под КСр, согласно [81], будем понимать всю совокупность средств, предназначенных и (или) не предназначенных, но применяемых для решения научных, народно-хозяйственных, военных задач и задач международного сотрудничества в космосе и из космоса с целью его освоения и использования. **Основные особенности КИТ** определяются: *существенным влиянием многочисленных факторов космического пространства и специфических пространственно-временных, технических и технологических ограничений, вызываемых ими, не позволяющих напрямую использовать стандартные информационные и телекоммуникационные методы и средства для эффективного решения фундаментальных и прикладных задач космонавтики и применения результатов ее развития; многоуровневым и циклическим характером решения КСр целевых и обеспечивающих задач; комплексной интеграцией космических информационных технологий с технологиями автоматизированного (автоматического) управления КСр в рамках соответствующих автоматизированных систем (АС).*

Сейчас уже трудно представить современные территориально распределенные производственные и сервисные системы, входящие в состав международных корпораций и холдингов, многочисленные транспортные и логистические системы, городское хозяйство и государственные структуры без космической связи, навигационно-временного, геодезического, эколого-метеорологического обеспечения, формируемого с использованием соответствующих космических комплексов (КК) и космических информационных технологий. Данные технологии, в свою очередь, были положены в основу создания и применения автоматизированных систем управления (АСУ) различными типами и видами орбитальных и наземных космических средств (ОрКСр и НКСр), АСУ подготовки и пуска ракет космического назначения (АСУ ПП РКН), входящих в состав соответствующих космических комплексов, а также их интеграции с традиционными АСУ, такими как АСУ предприятием (АСУП, ERP), АСУ производственными процессами (АСУ ПП, MES), АСУ технологическими процессами (АСУ ТП, SCADA). В скобках при перечислении отечественных автоматизированных систем приведены не только их сокращенные названия, но и сокращенные названия аналогичных зарубежных систем.

Анализ показывает, что указанные средства, системы и комплексы могут быть отнесены к одному из важнейших подклассов СЛО, а

именно, к сложным организационно-техническим объектам (СОТО), так как имеют целый ряд особенностей, среди которых следует выделить: многоаспектность, многоструктурность и неопределенность их поведения, иерархию, структурное подобие и избыточность основных элементов и подсистем, связей между ними, многовариантность реализации функций управления, территориальную распределенность и мобильность компонентов. Еще одной из основных особенностей данных объектов является то, что их параметры и структуры на различных этапах жизненного цикла изменяются под действием объективных и субъективных причин. Другими словами, на практике приходится постоянно сталкиваться со структурной динамикой СОТО. В этих условиях для повышения (сохранения) уровня работоспособности и возможностей СОТО, либо обеспечения наилучших условий деградации указанных систем необходимо осуществлять управление их структурами (в том числе управление реконfigurацией структур СОТО). При этом под управлением структурной динамикой понимаются процессы формирования и реализации управляющих воздействий, обеспечивающих переход СОТО из текущего в заданное (синтезируемое) многоструктурное макросостояние [69, 84–87].

Существующая практика наземно-космического мониторинга СОТО показывает, что из-за дальнейшего повышения уровня их сложности, вызванного повсеместной реализацией принципа необходимого разнообразия, требуется существенное увеличение числа контролируемых параметров, характеризующих процессы их функционирования. Количество данных параметров сегодня достигает нескольких сотен и тысяч единиц для современных СОТО, используемых в критических приложениях (ракетно-космическая, авиационная, корабельная техника, сложные системы электроснабжения, радиоэлектронные и автоматизированные системы и комплексы различного назначения и ведомственной принадлежности и т. п.).

На рис. 1 на примере мониторинга гидроэлектростанции (ГЭС) и окружающей ее среды представлена главная проблема, с которой приходится сталкиваться на практике при оценивании и упреждающем прогнозировании состояния указанных сложных динамических объектов. Суть данной проблемы связана с отсутствием соответствующего модельно-алгоритмического, информационного, технического, технологического обеспечения интеграции поступающих в реальном масштабе времени разнородных данных и информации об отдельных компонентах данных состояний. В этих условиях операторы (лица, принимающие решения — ЛПР) вынуждены в своих головах (на основе технической документации, экспертных знаний и т. п.) воссоздавать

целостный образ управляемой системы (ГЭС), а также причинно-следственных связей, определяющих ее состояние и сценарии развития внешней обстановки.

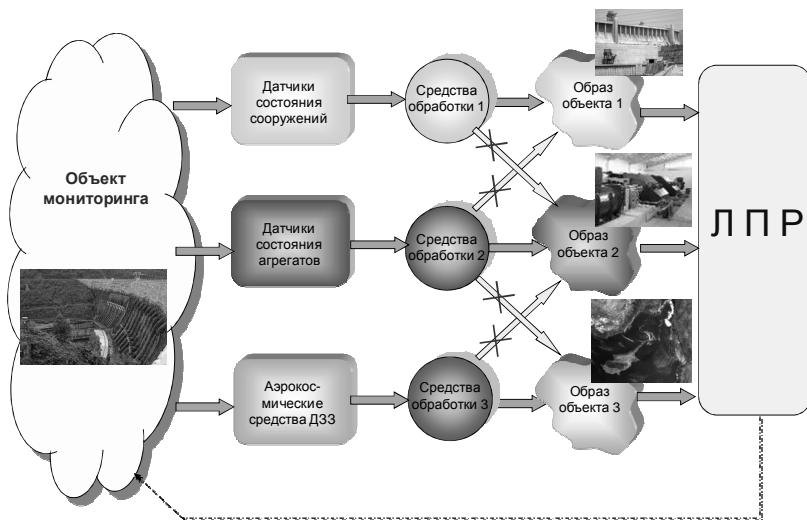


Рис. 1. Существующая информационная технология наземно-космического мониторинга состояния сложного объекта.

Предварительные исследования показывают, что временные задержки и ошибки в управлении, вызванные неверным решением задач оценивания или мониторинга состояний СОТО, могут привести к необратимым негативным последствиям — срыву выполнения возлагаемых на них задач, отказам СОТО, различным по своим последствиям авариям и даже катастрофам (примеры — катастрофа на Чернобыльской АЭС, гибель АПЛ «Курск», многие авиакатастрофы, аварии и катастрофы с КСр и пр.). В наибольшей степени эта проблема обостряется при возникновении нештатных ситуаций, вызванных различными внешними и внутренними факторами. В большинстве случаев процедуры мониторинга состояния СОТО в таких ситуациях не автоматизированы. Решение этой задачи возлагается на операторов. Практика управления СОТО (в том числе и КСр) показывает, что именно в этих ситуациях операторы не справляются с задачей оценки и контроля функциональных состояний СОТО, что и приводит к различным негативным последствиям.

Все это происходит из-за того, что до сих пор не существует таких универсальных технологий и соответствующих методологий и методик оценивания и управления состоянием СОТО, которые позволили бы на единой методологической и методической базе обосновать и сформировать унифицированный многофункциональный комплекс программно-алгоритмических средств обработки и анализа, используемый при мониторинге СОТО, выработки соответствующих управленческих решений, а также синтезировать исполнительные системы автоматизированных средств мониторинга и управления состояниями СОТО.

А это, в свою очередь, происходит из-за отсутствия к настоящему времени опыта создания и эксплуатации соответствующих крупномасштабных многофункциональных унифицированных информационных технологий и программных средств. Для таких технологий и средств не решены вопросы организации вычислений в составе распределенной системы мониторинга, создания системы математических моделей, достаточно адекватных контролируемым процессам и явлениям, и ориентированных на эффективную реализацию в существующей программно-аппаратной среде. Кроме того, отсутствует единая технология разработки программных средств для решения конкретных задач мониторинга, не решен целый ряд других сопутствующих проблем. Все это не позволяет в настоящее время обеспечить достижения приемлемых характеристик функционирования существующих и перспективных автоматизированных системы мониторинга (АСМ), а значит, и реализации всех функций управления СОТО.

В связи со сказанным в предлагаемой статье представлены основные результаты исследований авторов, которые были получены ими за последнее десятилетие при поиске конкретных путей решения проблем комплексной автоматизации мониторинга и управления состояниями СОТО. Сотрудниками СПИИРАН и ЗАО «СКБ «ОРИОН» совместно разработана интеллектуальная информационная технология мониторинга и поддержки принятия решений (ИИТМ и ППР) при управлении Сло, которая базируется на комбинированном использовании логических, лингвистических и математических моделей и методов, обеспечивающих параллельную, распределенную обработку и анализ в реальном времени сверхбольших объемов измерительной информации при наличии в них некорректных, неточных и противоречивых данных, а также упреждающее предсказательное комплексное моделирование развивающейся ситуации. Главное достоинство и отличительная черта разработанной ИИТМ и ППР состоит в том, что она ба-

зируется на отечественных технологиях и многолетних промышленных разработках в области системотехники и инженерии знаний. Использование данной ИИТ обеспечивает на конструктивном уровне интеграцию данных, информации и знаний, получаемых из различных источников при мониторинге и управлении СЛО. На рис. 2 показано, как на основе единой среды обработки и анализа данных, созданной на основе применения предлагаемой ИИТ, формируется целостный образ объекта мониторинга.

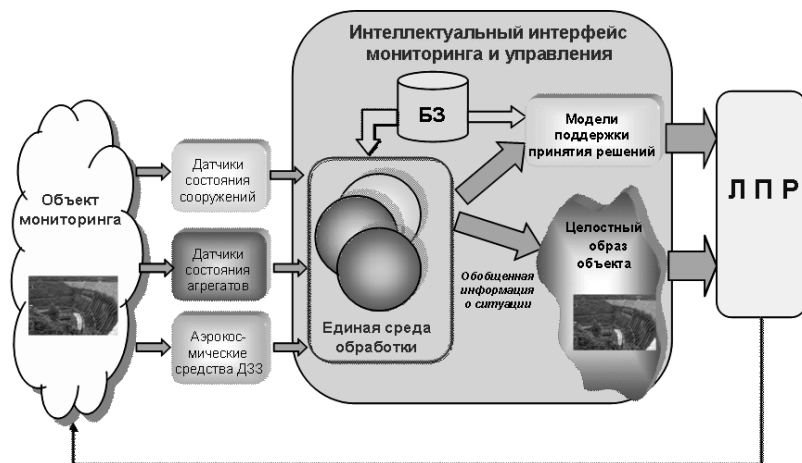


Рис. 2. Предлагаемая интеллектуальная информационная технология наземно-космического мониторинга состояния сложного объекта.

В статье приводится детализация описания методологических и методических основ использования рассматриваемой ИИТМ и ППР применительно к процессам подготовки и запуска существующих и перспективных ракет-носителей космического назначения. Также в статье представлены основные направления внедрения разработанной интеллектуальной информационной технологии и соответствующей автоматизированной системы мониторинга СЛО на основе интеграции данных, полученных от КСр дистанционного зондирования Земли, и данных, полученных от традиционно используемых наземных средств измерений параметров указанных объектов.

Авторы, базируясь на методологических и методических основах развиваемой ими теории управления структурной динамикой СОТО, показывают как сформулированные ими концепции, принципы, спосо-

бы, модели, методы и алгоритмы могут быть реализованы в различных прикладных областях.

2. Анализ исследований, связанных с проблематикой автоматизированной обработки данных о состоянии сложных организационно-технических объектов. Современное состояние проблемы автоматизации человеческой деятельности можно охарактеризовать как переход от «стихийного» этапа, когда применяется метод «проб и ошибок», к «сознательному», характерной чертой которого является обязательное обоснование методологических принципов построения разрабатываемого программного продукта [18, 28, 30, 44, 59] с учетом всех ограничений и условий его применения. При этом еще на этапе замысла необходимо определиться с принципиальной возможностью рассматриваемого вида автоматизации и оценить не только положительный эффект от применения программного комплекса, но и отрицательный.

Одним из наиболее актуальных видов автоматизации всегда была и остается автоматизация управления различными сложными технологическими процессами (промышленными линиями, удаленными техническими средствами и т. п.). К их числу в полной мере можно отнести и СОТО. К числу СОТО можно отнести, в первую очередь, объекты, широко используемые в настоящее время в таких критических приложениях, как атомная, гидро-, тепловая энергетика, производственные и транспортные системы, ракетно-космические системы и комплексы. Рассмотрение этих объектов в наибольшей степени актуально, так как в рамках соответствующих систем управления СОТО циркулируют большие и даже сверхбольшие потоки информации. Причем, значительная часть этой информации является измерительной и составляет восемьдесят и более процентов от всего объема циркулирующей информации, а требования по обработке и представлению результатов обработки этой доли информации достаточно жесткие. Предметом данной статьи являются существующие и перспективные технологии интегрированной автоматизированной первичной и вторичной обработки разнотипных данных (измерительной информации (ИЗИ)), полученных от наземных и КСр для оперативного оценивания и упреждающего прогнозирования состояния (технических состояний) объектов анализа (ОА) — элементов и систем СОТО.

Здесь и в дальнейшем в статье под техническим состоянием (ТС) ОА понимается совокупность изменяющихся в процессе производства, испытаний, эксплуатации свойств (качеств) ОА, характеризующих его функциональную пригодность в заданных условиях применения [65–

69]. 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 (оценки) ТС является сбор, обработка и анализ ИзИ. Сбор ИзИ — есть процесс получения (приема), распределения всех значений измеряемых параметров. Под обработкой ИзИ понимается процесс получения оценок измеряемых параметров ТС на основе собранных данных, снабженных показателем степени доверия к этим оценкам.

Целью анализа ИзИ (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. с учетом конкретных целей и условий эксплуатации ОА на различных этапах его функционирования. В связи с этим, анализ ИзИ — есть процесс получения оценок параметров, являющихся элементами цели анализа, вместе с оценками показателей степени доверия к полученным результатам анализа.

При наличии большой разнотипности как самих ОА (в том числе их сменяемости), так и непосредственно обрабатываемой информации, при проектировании новых версий специального программного обеспечения (СПО) автоматизированного анализа (АА) ИзИ необходимо учитывать целый спектр требований. Среди них можно назвать такие, как: *малые сроки «постановки на информационное обслуживание» новых ОА и, соответственно, небольшая стоимость этого процесса; невысокие требования к программистской квалификации сопровождающего это СПО персонала; унификация и модульность построения используемых в СПО программно-алгоритмических средств, что позволяет быстро комплектовать нужные версии в зависимости от конкретных условий и целей применения; устойчивая (надежная) работа СПО при возникновении различных нештатных (непредусмотренных специалистами по соответствующим ОА) ситуаций; режим обработки данных «в реальном времени».*

Для того чтобы в максимальной степени удовлетворить все перечисленные противоречивые требования, предъявляемые как к облику СПО АА ИзИ, так и в целом к автоматизированным системам монито-

ринга (АСМ) состояния сложных организационно-технических объектов (СОТО) необходимо отойти от традиционно используемых при проектировании таких систем информационных технологий и архитектур и учесть следующие основные современные тенденции и перспективы развития ИТ и открытых (сервис-ориентированных) архитектур [18, 28, 30, 44, 51, 53, 54, 55, 59, 69]: а) *переход от классических вычислений к альтернативным способам организации вычислительного процесса;* б) *использование технологии активных объектов;* в) *ориентация на приоритет модели, а не алгоритма;* г) *реализация естественного параллелизма вычислений;* д) *проактивность и самоорганизация вычислений.*

Все эти и некоторые другие (не упомянутые здесь) тенденции приведут со временем к тому, что прикладные программные системы будут строиться на основе приоритетности модели (а не алгоритма), мультиагентности и ассоциативно самоорганизующемуся недетерминированном параллельном вычислительном процессе.

Обеспечение такого перечня требований невозможно также без наличия математической теории программирования, лежащей в основе создания и сопровождения рассматриваемых версий СПО анализа ИзИ. Действительно, в практике программирования подобных систем в последнее время сложилась парадоксальная ситуация [4, 36, 40, 51, 59, 65–67, 69, 94, 107, 109, 110, 118]. 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 программирования, а значит, и развитие теории программирования, моделирующей объекты, явления, процессы, имеющиеся при создании программных комплексов. 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, то принципиально новые решения появляются как результат глубокого анализа основ разработки и сопровождения программных комплексов.

Фундаментальный вклад в становление методологической основы разработки и сопровождения ПрК АА ИзИ, предназначенных для решения задач мониторинга состояний СОТО, внесли выдающиеся отечественные и зарубежные ученые: Александров П.С., Вирт Н., Глуш-

ков В.М., Головкин Б.А., Горелик А.Л., Гренандер У., Дейкстра Э., Дейт К., Евланов Л.Г., Ершов А.П., Журавлев Ю.И., Клини С.К., Колмогоров А.Н., Котов В.Е., Куратовский К., Ляпунов А.А., Майерс Г.Дж., Мальцев А.И., Марков А.А., Минский М., Нариньяни А.С., Непейвода Н.Н., Нильсон Н., Питерсон Дж., Поспелов Г.С., Поспелов Д.А., Робинсон Дж., Тыгу Э.Х., Фу К., Хомский Н., Эйкхофф П., Янов Ю.И. и др., развившие базовые элементы таких научных направлений, как теория автоматов, теория алгоритмов, теория искусственного интеллекта, математическая логика, общая топология, теория программирования (Computer Science), теория распознавания образов, теория статистических выводов и решений, теория формальных языков и грамматик и др.

Потребности практики стимулировали развитие конструктивных прикладных теорий, решающих большую часть проблем, возникающих при АА ИзИ — в широком смысле. Среди них можно отметить, в частности, направления исследований, результаты которых опубликованы в работах ученых Российской академии наук, МО РФ, оборонной промышленности.

Все перечисленные направления, хотя и имеют глубокие проработки в своих исследованиях, но не в состоянии обеспечить методологическим аппаратом процессы проектирования, разработки, сопровождения ПрК АА ИзИ 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 ИзИ.

Переходя от анализа состояния теоретических исследований в области создания АСМ СОТО и ее ПрК к анализу состояния разработок соответствующих информационных технологий необходимо отметить, что 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 узкоспециализированных программных средств, жестко связанных с соответствующими предметными областями, в которых сформировались устоявшиеся проверенные многолетней практикой взгляды на технологию разработки и применения АСМ СОТО. 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 СОТО, и отличающихся друг от друга лишь по способу организации вычислительного процесса и виду используемой операционной среды.

Вместе с тем, наработанный к настоящему времени богатый методический аппарат современной программотехники позволяет решать практически любые задачи обработки данных о состоянии СОТО. 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 СОТО, широко используют подходы (виды проектирования), перечисленные в таблице.

До последнего времени наибольшее распространение на практике получил подход (4), 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 СОТО, 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 [18, 28, 30, 44, 51, 53–56, 59, 66]. 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 (КнП) 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 КнП. Все эти тенденции приводят

к необходимости все более широкого использования при разработке специализированных ИС (в том числе, и АСМ) расширенных возможностей современных инструментальных программных систем (ПС).

Таблица 1. **Виды и средства проектирования автоматизированных ИС**

№	Вид проектирования	Субъект проектирования	Используемые средства
1.	Проектирование ИС на базе существующих, готовых инструментальных проблемно-ориентированных COTS-средств	Специалисты в конкретной ПрО, конечные пользователи	Специализированные CASE-технологии, операционные среды, проблемные языки представления знаний (ЯПЗ)
2.	Проектирование COTS-компонентов ИС и инструментальных средств, ориентированных на многократное применение	Профессиональные программисты, системные аналитики	«Традиционные» CASE-технологии, инструментальные среды, традиционные языки программирования и т.п.
3.	Расширение возможностей существующих COTS-средств	Профессиональные программисты, системные аналитики	«Традиционные» CASE-технологии, инструментальные среды, традиционные языки программирования и т.п.
4.	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.

В этих условиях весьма привлекательными при проектировании СПО становятся уже технологии (1), (2), (3), представленные в таблице.

Данные подходы основаны на широком использовании CASE-технологий или им подобных инструментальных средств различного назначения как этапе разработки, например, COTS (Commercial Off-The-Shelf)-программные системы (вариант (б)), так на этапе создания ИС из этих ПС (вариант (а)).

При проектировании АСМ COTO PMB система COTS-компонентов по сути является специализированной CASE-системой (вариант (1)). Данная специализированная CASE-система реализуется обычно в виде некоторой операционной среды, ориентированной на КнП 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 СОТО, в которых непосредственное участие принимает конечный пользователь, являющийся специалистом в области эксплуатации соответствующего СОТО. 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 СОТО.

Проведем краткий анализ того, как с использованием существующих и разрабатываемых инструментальных средств может быть реализована описанная выше перспективная технология проектирования АСМ СОТО. 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 [4, 18, 28, 30, 40, 44, 45, 51, 58, 69, 74, 84, 93, 94, 99, 106, 107, 109–111, 118].

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.

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 СОТО наиболее широко представлено на современном рынке программных систем, поддержи-

вающих процессы сбора и обработки ИзИ в РМВ в рамках соответствующей ИАСУ СОТО. В связи с этим, проанализируем более подробно данный класс систем. На нынешнем этапе развития прикладной информатики на рынке упомянутых программных средств имеется достаточно большое количество продуктов, ориентированных на решение задач автоматизации обработки данных в различных ПрО. Основными достоинствами практически всех существующих в настоящее время SCADA-систем являются следующие: технология создания SCADA-систем на основе систем визуального проектирования ориентирована на КнП и близка к интуитивному восприятию процесса обработки данных; объектно-ориентированное построение систем визуального проектирования обеспечивает простоту и быстроту освоения ПО широким кругом КнП; 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 РМВ); 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 КнП, на концентрацию и качество дополнительных комплексных услуг по освоению, внедрению и интеграции с АСУ верхнего иерархического уровня.

Однако, при всех своих достоинствах существующие SCADA-системы зачастую мало пригодны (если даже совсем не пригодны) для решения задач АСУ СОТО в РМВ. Это объясняется целым рядом причин, к числу можно отнести следующие причины: отсутствие режима «жесткого» РМВ 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 ИЗИ о состоянии СОТО 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 АСМ, так и ИАСУ СОТО 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 [63, 69, 84–87] 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 [69].

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 [63, 84–87]. К сожалению, на практике большинство перечисленных проблем управления структурами до сих пор решаются вручную.

Говоря конкретно об основных объектах исследований, рассматриваемых в данной статье — существующих (перспективных) автоматизированных системах управления (АСУ) полигонами (АСУП), АСУ подготовки и пуска ракет космического назначения (АСУ ПП РКН), АСУ технологическими процессами на технических и стартовых комплексах (АСУ ТК и АСУ СК), которые эксплуатируются (планируются к использованию) на Северном и Южном космодромах (в г. Плесецке и Байконуре) [6–7, 49–50, 53–56, 71–73] — следует указать, что развитие перечисленных АС в последние годы шло практически обособленно и независимо друг от друга. Каналы обмена между ними, особенно

оперативные, либо отсутствовали, либо обладали низкой пропускной способностью. Созданные на разной программно-аппаратной платформе системы не были включены в единый цикл подготовки и пуска (от прибытия РКН на космодром до применения по целевому назначению) и не образовывали комплексную систему автоматизации всех технологических процессов подготовки и пуска РКН. При этом на полигонах (космодромах) отсутствуют интегрированные унифицированные автоматизированные средства систематизации, накопления, хранения и доведения сведений о техническом состоянии и надежности КСр и входящих в их состав изделий, что практически делает невозможным обобщение и распространение опыта разработки, изготовления и эксплуатации комплексов, особенно в условиях реформирования и модернизации ракетно-космической отрасли. Также, к сожалению, в рассматриваемых АСУ космодромов нет единых для всех потребителей баз данных и знаний обо всех этапах жизненного цикла СОТО, что ограничивает оперативный доступ к информации о причинах имеющих замечаний, отказов и аварий СОТО, эффективности проведенных доработок, направленных на устранения этих причин [36, 51, 53–56, 69, 106].

В чём же состоят причины существования перечисленных выше недостатков (проблем), связанных с проектированием и применением перечисленных АСУ различными классами КСр? Одна из главных причин указанных недостатков имеет *методологический характер* и состоит в том, что при разработке данных 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. Это означает, что создание качественного СПО автоматизации процессов мониторинга и управления состояниями различными

классами КСр необходимо начинать с разработки прикладной теории управления, в которой должны быть учтены все особенности соответствующей предметной области. В рамках указанной теории следует сформировать методологические и методические основы решения рассматриваемых задач мониторинга и управления КСр. В противном случае каждый раз будет разрабатываться СПО, базирующееся на эвристических подходах, основанных, в свою очередь, на интуиции и практическом опыте прикладных программистов и операторов, эксплуатирующих КСр. Данные информационные технологии и подходы позволяют, к сожалению, лишь облегчить труд программиста по конструированию программных модулей, но не предоставляют возможности проверки корректности описания предметной области, автоматического синтеза программ вычислений и в целом не обеспечивают в нужной степени повышение эффективности функционирования КСр на основе соответствующей автоматизации.

Таким образом, в настоящее время стала очевидной необходимость автоматизированного сбора, интеграции и комплексного анализа всех видов информации, циркулирующей в контуре как отдельных АСУ ТП, так и АСУ ПП и АСУ космодрома в целом, и создания многоуровневой АСУ космодрома с использованием современных принципов организации интегрированных АСУ (в зарубежной терминологии - корпоративных информационных систем (КИС)) [9, 21, 23–25, 29, 34, 41, 81, 91, 98, 100, 101]

Проведенный анализ показал, что в настоящее время можно выделить несколько подходов к построению новых АСУ ПП РКН [36, 51]. В рамках существующих традиционных процедур проектирования разрабатываются локальные АСУ технологическими процессами, обеспечивающие подготовку и пуск РКН, а затем для каждой АСУ ТП создаются отдельные автоматизированные рабочие места (АРМы) АСУ ПП, интеграция которых осуществляется на базе локальной вычислительной сети.

При таком подходе, созданные на разных аппаратно-программных платформах АСУ ТП и АСУ ПП слабо взаимодействуют между собой, их сложно включить в единый цикл подготовки и пуска и образовать комплексную систему автоматизации всех рассматриваемых процессов. В этом случае, АСУ ПП практически превращается в систему информационного обеспечения, а не информационно-управляющую систему, при этом возрастает избыточность аппаратно-программных средств, снижается их надежность, возрастает стоимость разработки, эксплуатации АСУ ПП и содержания ЗИП.

Более перспективным представляется подход, в рамках которого перечисленные АСУ ТП и АСУ ПП должны создаваться на интегрированной аппаратно-программной платформе в едином информационном пространстве. При этом деление на верхний и нижний уровни информационного взаимодействия и управления в АСУ ПП РКН СК ПГ (в общем случае довольно условное) должно осуществляться, исходя из технологии проведения всех видов испытаний РКН СК ПГ на ТК и СК. Такой подход позволяет не дублировать рабочие места АСУ ТП рабочими местами АСУ ПП, а эффективно распределять (перераспределять) задачи мониторинга и управления в едином информационном пространстве процессов подготовки и пуска РКН СК на космодроме исходя из складывающейся обстановки.

В целом разработка и внедрение АСУ ПП на принципах интегрированных (корпоративных) информационных систем позволит сократить количество аппаратно-программных средств и, соответственно, численность персонала, унифицировать аппаратные и программные средства, сократить затраты на эксплуатацию АСУ ПП и содержание ЗИП. Кроме того, в этом случае можно будет в реальном масштабе времени проводить мониторинг и управление процессами подготовки и пуска РКН, осуществлять комплексное моделирование соответствующих КСр на различных этапах их жизненного цикла, выявлять критические участки и слабые звенья в конкретных процессах подготовки и пуска, организовывать доступ к оперативным данным о ходе их реализации. В рамках данных интегрированных АСУ будет также обеспечен доступ ко всему объему конструкторской, эксплуатационно-технической и методической документации, результатам заводских, стендовых, автономных, комплексных и летных испытаний РКН, а также появится возможность накопления и использования опыта персонала, полученного при проектировании, производстве и эксплуатации систем и агрегатов РКН:

Анализ существующих тенденций в области создания современных информационных технологий и систем показал, что перспективы в области автоматизации процессов мониторинга и управления КСр на полигонах запуска РФ связаны с разработкой и внедрением следующей иерархии автоматизированных систем:

1. АСУ космодрома — это интегрированная (корпоративная) автоматизированная система, предназначенная для автоматизации учёта и управления всеми ресурсами космодрома (ERP-система, — *англ.* Enterprise Resource Planning System — система планирования ресурсов предприятия) (рис. 3).

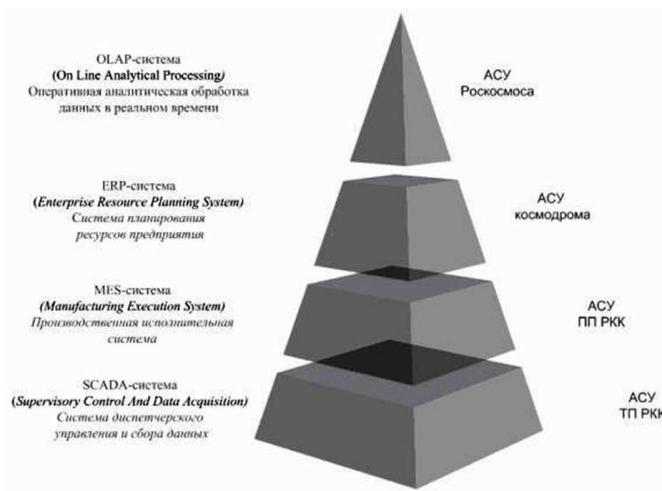


Рис. 3. Модель информационно-управляющей структуры, предлагаемая при проектировании АСУ ПП.

Система должна строиться по модульному принципу и в той или иной степени охватывать все ключевые процессы деятельности космодрома. В основе ИАСУП (ERP-систем) лежит принцип создания единого хранилища данных, содержащего всю информацию о РКК (организационно-техническая информация, технологическая информация, измерительная информация, информация о результатах испытаний, информация от различных информационных и управляющих систем), и обеспечивающего одновременный доступ к ней любого необходимого количества должностных лиц космодрома, наделённых соответствующими полномочиями.

2. АСУ ПП — это часть интегрированной (корпоративной) информационной системы космодрома (MES-система, — сокр. от англ. Manufacturing Execution System — производственная исполнительная система или АСУ производственными процессами в РФ), которая в режиме реального времени инициирует, отслеживает, оптимизирует, документирует процессы подготовки и пуска РКН от прибытия составных частей РКН на космодром до применения по назначению.

АСУ ПП должна быть ядром интеграции всех основных подсистем современного космодрома, связующим звеном между АСУ космодрома, ориентированной на управление ресурсами космодрома и укрупненное планирование процессов жизнедеятельности космодрома,

и оперативной испытательной деятельностью космодрома на уровне лабораторий, отделов, подразделений, руководителей и номеров боевых расчетов. Интеграция функций АСУ ПП с другими системами АСУ космодрома позволит обеспечить оперативное и достоверное наблюдение за критическими технологическими процессами подготовки и пуска РКН и выработку оперативного и эффективного управленческого решения, создать адекватную и прямую связь между участниками всех этапов подготовки и пуска.

При этом ужесточаются требования к руководителям подготовки и пуска РКН, как лицам, принимающим решение в критических, потенциально опасных и аварийных ситуациях. От руководителей требуются уже не только профессиональные знания технологических процессов, основ управления, но и опыт работы в информационных системах, умение принимать решение в диалоге с вычислительными средствами АСУ, как в штатных, так и в нештатных и аварийных ситуациях.

Поэтому, наличие дружественного человеко-машинного интерфейса в АСУ ПП, полнота и наглядность представляемой информации, наличие баз данных и знаний об объекте управления, доступность «рычагов» управления, удобство и оперативность использования всех видов информации и т. д. повышают эффективность взаимодействия руководителя подготовки и пуска РКН с различными АСУ ТП и сводят его критические ошибки при управлении к минимуму.

Выполнение этих требований к АСУ ПП возможно при использовании интеллектуальной информационной технологии (ИИТ) автоматизации процессов мониторинга и управления состоянием РКК в реальном масштабе времени (РМВ) [69]. ИИТ позволит осуществить переход от эвристических методов алгоритмизации этих процессов к последовательности целенаправленных теоретически и методически обоснованных этапов [18, 28, 36, 51, 59, 65–67, 69] построения алгоритмов анализа и управления состоянием.

Предлагаемая «сквозная» модель проектирования будет максимально учитывать специфику задач АСУ ПП (учет требования скорости разработки, удобства, малой стоимости проектирования и т.д.) и позволять формировать оптимальную архитектуру АСУ ПП [41, 91, 100, 101], легко адаптируясь к возможным изменениям структуры как РКК, так и объектов наземной космической инфраструктуры существующих и создаваемых в РФ космодромов.

Проектированием АСУ ПП на всех этапах создания и внедрения должны заниматься профессиональные программисты и технологи предметной области. При этом только технологи предметной области с

использованием специализированных средств (интеллектуального интерфейса и операционной среды проектирования) будут формировать (синтезировать) модели представления знаний и управления технологическими процессами в АСУ ПП. Такой подход будет способствовать: всестороннему учету знаний квалифицированных специалистов о своей предметной области; максимальному взаимодействию со всеми участниками проекта, комплексированию (учету) их знаний и интересов за счет наличия итерационного сквозного режима проектирования; минимизации сроков получения конечного продукта за счет совмещения во времени большинства проектных работ; простоте сопровождения, доработки (развития) и тестирования (проверке корректности введенных конечным пользователем данных) спроектированной АСУ ПП; оперативному уточнению в ходе разработки и реализации необходимых моделей функционирования и управления технологическими процессами АСУ ПП.

3. АСУ ТП — это часть корпоративной информационной системы космодрома (SCADA-система, — сокр. от англ. Supervisory Control And Data Acquisition — система диспетчерского управления и сбора данных), которая позволяет достичь высокого уровня автоматизации в решении задач, сбора, обработки, передачи, хранения и отображения информации, разработки автоматических и автоматизированных систем управления системами и подсистемами РКК. АСУ ТП должна обеспечить контроль технического состояния и управление отдельными системами и агрегатами РКН и технологическим оборудованием, задействованным при подготовке и пуске РКН.

3. Методологические и методические основы создания автоматизированных систем мониторинга и управления космическими средствами с использованием интеллектуальных информационных технологий.

3.1. Состав и структура модельно-алгоритмического обеспечения создания и применения АСУ космическими средствами. Из вышеизложенного материала следует, что центральными проблемами при создании и эксплуатации существующих и перспективных АСУ СОТО (в том числе и АСУ КСр) были и остаются проблемы обеспечения безопасности и эффективности (в том числе, оперативности, ресурсоемкости и стоимости) выполнения всего комплекса операций, проводимых на технических и стартовых позициях при подготовке и пуске РКН. Анализ показывает, что требования безопасности и эффективности применительно к данным АСУ трансформируются с учетом современных тенденций ИТ, в соответствующие требования обеспечения катастрофоустойчивости АСУ ПП. При этом под катастрофо-

устойчивостью указанных АС понимается их способность сохранять критически важные данные и продолжать выполнение своих функций после массового (возможно, целенаправленного) уничтожения их компонентов в результате различных катаклизмов как природно-технологического характера, так и инспирированных человеком. Необходимо подчеркнуть разницу между понятием «отказоустойчивость» и «катастрофоустойчивость» [10, 11]. В понятии «отказоустойчивость» акцент делается на восстановление работоспособности после единичных, случайных, не связанных между собой отказов компонентов. Технология отработки таких отказов предполагает, как правило, что в работу вводятся резервные компоненты каждой подсистемы либо оставшиеся компоненты многократно дублированной подсистемы перераспределяют между собой работу независимо от того, что происходит в это время в других подсистемах. В понятии «катастрофоустойчивость» главное — сохранение данных и продолжение работы АС в условиях массовых и, возможно, лавинообразных отказов ее связанных между подсистем и элементов. В качестве основного показателя в этом случае используется показатель доступности катастрофоустойчивой автоматизированной системы (КААС), который характеризует степень возможности получения требуемых данных и осуществления взаимодействия с заданными приложениями в приемлемые сроки и необходимым уровнем производительности. Приведенному определению катастрофоустойчивости точно соответствует англоязычный термин «Disaster Tolerance» (DT), однако в общем случае термин «Disaster Recovery» (DR) (дословно — «восстановление после катастрофы») можно также переводить как «катастрофоустойчивость» [11].

Первое отличие DR от DT состоит в том, что DR концентрирует внимание на сохранности данных (при строго контролируемых потерях, если они неизбежны), а средства для продолжения полноценной работы во многих случаях предполагаются внешними по отношению к собственно катастрофоустойчивой части комплекса. Технология отработки отказов в этом случае требует учета взаимосвязанности подсистем и способности систем специфически реагировать на каждый вариант последовательности развития событий (так называемый сценарий катастрофы) с целью обеспечения максимально возможной сохранности защищаемых данных. Второе отличие кроется в распределении возможностей отказов по подсистемам. В отказоустойчивых системах предполагается (хотя в большинстве случаев и неявно), что каналы связи между активными компонентами (например, медные или оптические кабели) гораздо надежнее самих активных компонентов, поскольку протяженность этих каналов ограничена и вероятность их

повреждения в большинстве случаев относительно невелика. В территориально распределенных КААС возможность потери связи для каждого отдельного канала сравнима с вероятностью выхода из строя одного из активных компонентов. Это обстоятельство требует уделять повышенное внимание каналам связи и проблеме восстановления работоспособности после потери связи при проектировании и эксплуатации КААС, причем сценарии отработки отказов и настройка отказавших элементов и каналов всегда ищутся «по месту» — с учетом конкретных требований, как к комплексу в целом, так и к каждой площадке, принимая во внимание различные вероятности ожидаемых катастрофических событий. Потому просто «растянутая» в пространстве традиционная отказоустойчивая система без принятия дополнительных мер все же не может быть по-настоящему катастрофоустойчивой и в большинстве случаев не способна автоматически восстановить полную функциональность. Следует подчеркнуть, что создание КААС ведется из предположения, что катастрофа в отличие от отказа (события возможного, прогнозируемого, вероятного) — это событие возможное, но невероятное, либо вероятность которого мала и не может быть обоснованно оценена в процессе проектирования. В противном случае речь шла бы не о катастрофе, а об условиях функционирования [10, 103, 104]. Таким образом, в реальности, как составные элементы, так и в целом КААС не гарантируют в полном объеме выполнение всех целевых, обеспечивающих и вспомогательных задач в условиях возникновения нерасчетных нештатных ситуаций, аварий и катастроф. Свойство катастрофоустойчивости АС возникает в этом случае в процессе ее функционирования и характеризуется соответствующей системой показателей. В частности, может быть предложен следующий перечень основных показателей качества функционирования КААС: показатели доступности КААС (суммарное время простоев ИС по любым причинам), показатели, оценивающие риски возникновения и развития аварий и катастроф, показатели, оценивающие последствия аварий и катастроф для конкретных бизнес-процессов (продолжительность, масштаб и объем ущерба), показатели, оценивающие общие затраты времени и полноту выполненных операций, связанных с восстановлением работоспособности КААС, показатели, оценивающие, капитальные и эксплуатационные затраты на обеспечение требуемого уровня катастрофоустойчивости, затраты других видов ресурсов, показатели, оценивающие, степень критичности операций, выполняемых в АС, значимость ресурсов и информации, используемой для обеспечения требуемого уровня катастрофоустойчивости.

Таким образом, устойчивость к катастрофам требует не только сохранности критически важных данных, но и обеспечения непрерывного (или прерываемого на некоторое время) функционирования АС, а в случае невозможности реализации такого режима, в рамках КААС должно быть обеспечено с максимально короткими сроками восстановления ее работоспособности [9–10, 14–16, 76, 77, 84–87, 100–102, 117].

Исходя из вышеизложенного, свойство катастрофоустойчивости АС (в том числе, и АСУ ПП) должно формироваться на основе целенаправленной организационно-технической, модельно-алгоритмической, информационно-правовой и другой деятельности людей, направленной на непрерывное сохранение, реализацию и восстановление присущих (заложенных на этапе проектирования) АС возможностей в условиях массового (возможно, целенаправленного) уничтожения ее компонентов в результате различных катаклизмов как природного характера, так и инспирированных человеком.

Проведенные исследования показали, что с формальной точки зрения проблема создания и применения катастрофоустойчивых АСУ ПП с использованием предлагаемых ИИТ может быть описана как проблема управления структурной динамикой (УСД) соответствующими АСУ СОТО. При этом под *управлением структурной динамикой* понимаются процессы формирования и реализации управляющих воздействий, обеспечивающих переход АСУ СОТО из текущего в требуемое (синтезируемое) многоструктурное макросостояние [63, 69, 84–87].

В настоящее время существуют различные варианты управления структурной динамикой АСУ СОТО. Среди них можно выделить, в первую очередь: изменение способов, целей функционирования АСУ СОТО, их содержания, последовательности выполнения в различных условиях; перемещение в пространстве отдельных элементов и подсистем АСУ СОТО; перераспределение и децентрализация функций, задач, алгоритмов управления, информационных потоков между уровнями АСУ СОТО; использование гибких (сокращенных) технологий управления АСУ СОТО; реконфигурация структур АСУ СОТО при их деградации. Сложность и противоречивость обстановки, в которой приходится решать задачи управления структурной динамикой АСУ СОТО в реальном масштабе времени (РМВ) в условиях возможной деградации их структур по различным причинам, потребовали в современных условиях значительного усиления интеллектуальной поддержки процессов подготовки и принятия решений (ПППР) соответствующих органов (средств) управления, создания соответствующих интеллектуальных систем управления (ИнСУ) и их ядра (центрального

элемента) специального программно-математического и информационного обеспечения (СПМО и ИО) управления АСУ СОТО, использование которого позволяет значительно повысить как оперативность, так и обоснованность принимаемых решений в различных условиях обстановки.

Выполненные исследования показали, что в рамках предлагаемой авторами динамической интерпретации процессов управления жизненным циклом АСУ СОТО (в том числе и АСУ ПП) и соответствующего полимодельного комплекса, удается формально описать и одновременно решить следующий перечень задач создания и применения АСУ СОТО [4–7, 12–13, 20, 21, 28–30, 54–56, 76, 83]: задачу проектирования облика модернизируемой/разрабатываемой АСУ (поиск ответа на вопрос — что и когда надо модернизировать/разрабатывать); задачу определения срока (момента времени), к которому надо завершить модернизацию/разработку; задачу синтеза технологии модернизации/разработки (поиск ответа на вопрос — в какой последовательности надо проводить модернизацию/разработку); задачу формирования и реализации плана проведения модернизации/разработки.

При традиционном проектировании указанные задачи из-за большой размерности решаются с использованием последовательно-параллельной пространственно-временной декомпозиции исходной общей задачи структурно-функционального синтеза облика АСУ СОТО без оценивания погрешностей, вызванных использованием соответствующих эвристик и процедур декомпозиции. В этом случае вопросы доказательства полноты, замкнутости и непротиворечивости предлагаемых проектных решений остаются открытыми. В рамках предлагаемой динамической интегративно-управленческо-стоимостной интерпретации процессов создания и применения АСУ СОТО, базирующейся на фундаментальных и прикладных результатах современной теории принятия решений, исследований операций, теории систем и управления, информатики удалось на конструктивном уровне подойти как к решению всех перечисленных задач структурно-функционального синтеза и управления развитием АСУ СОТО, так и доказательству корректности соответствующих процедур. В качестве примера на рис. 4 представлено содержание методологических и методических основ разработанной авторами прикладной теории управления структурной динамикой АСУ КСр, которые можно рассматривать как подкласс СОТО. С использованием данной прикладной теории удалось решить целый ряд важных практических задач, связанных с комплексным планированием применения различных классов КСр [31–37, 49–56, 63, 69, 76, 77, 84–86].

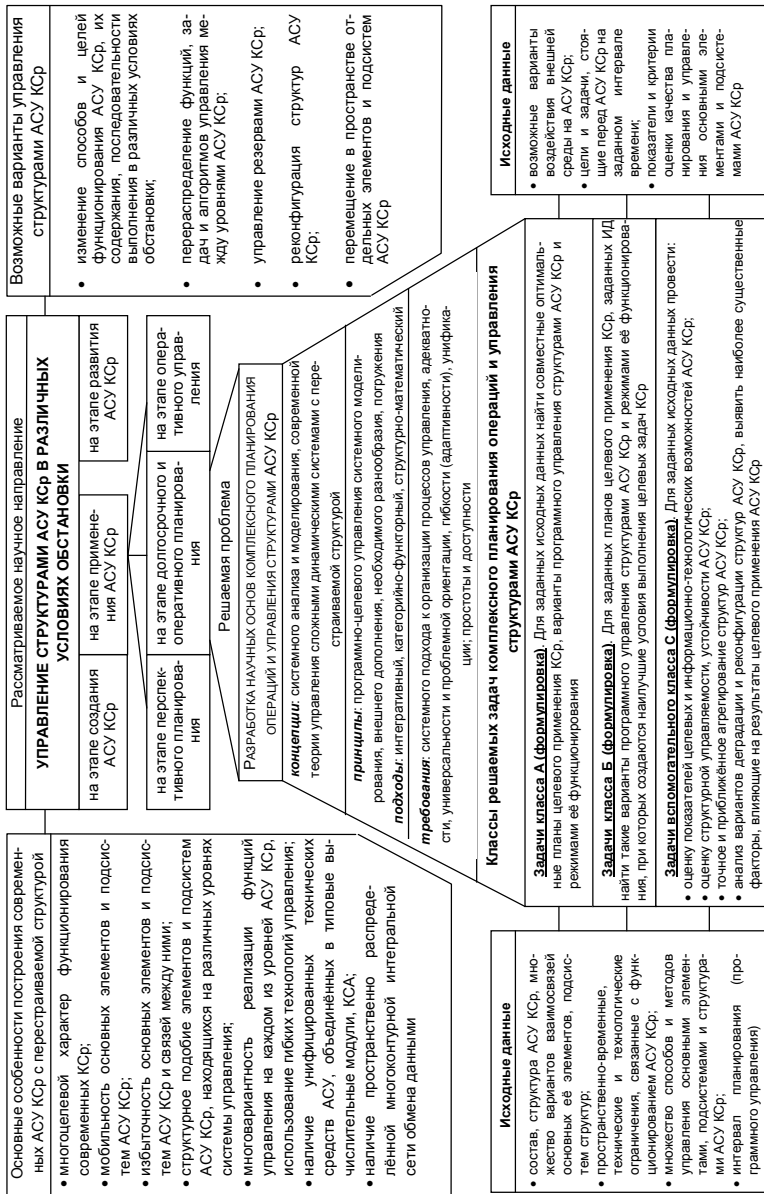


Рис. 4. Методологические и методические основы теории управления структурной динамикой АСУ КСР.

Проведенные исследования показали, что в целом обобщенная процедура решения задач управления структурной динамикой АСУ КСр должна включать в себя *две основные фазы*.

На первой фазе должно осуществляться формирование (генерирование) допустимых вариантов многоструктурных макросостояний АСУ КСр или, говоря другими словами, должен проводиться структурно-функциональный синтез нового облика АСУ КСр, соответствующего складывающейся (прогнозируемой) обстановке.

На второй фазе проводится выбор конкретного варианта многоструктурного макросостояния АСУ КСр (облика АСУ КСр) с одновременным синтезом (построением) адаптивных планов (программ) управления переходом АСУ КСр из текущего в требуемое (выбранное) макросостояние. При этом рассматриваемые планы должны обеспечивать такое эволюционное развитие АСУ КСр, при котором наряду с реализацией программ перехода из соответствующих многоструктурных макросостояний предусматривается одновременно и реализация программ устойчивого управления АСУ КСр в промежуточных многоструктурных макросостояниях.

На второй фазе исследования задачи выбора оптимальных программ УСД АСУ КСр приходится решать целую совокупность частных задач многоуровневой и многоэтапной оптимизации. Обобщенный алгоритм решения данных задач должен включать следующие этапы (шаги).

Одно из главных достоинств предлагаемого метода поиска оптимальных программ УСД АСУ КСр состоит в том, что в ходе формирования вектора программных управлений в финальный момент времени, наряду с оптимальным планом, одновременно определяется и то искомое многоструктурное макросостояние, находясь в котором АСУ КСр сможет выполнять поставленные перед ней задачи в складывающейся (прогнозируемой) обстановке с требуемой степенью устойчивости. В результате проведенных исследований были разработаны различные комбинированные методы и алгоритмы решения задач выбора и реализации оптимальных программ УСД АСУ КСр в централизованном и децентрализованном режимах её функционирования [69, 83–89, 116, 117].

В качестве базового комбинированного метода было 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 УСД АСУ КСр [33].

В целом выполненные исследования показали, что при создании и использовании АСУ КСр центральной проблемой была и остается проблема разработки соответствующего специального программно-математического обеспечения (СПМО) мониторинга состояний КСр. Кратко остановимся на основных результатах авторов, полученных в указанной области применительно к АСУ ПП.

3.2. Модельно-алгоритмическое обеспечение автоматизированной системы мониторинга состояний ракет космического назначения и наземной инфраструктуры полигона запуска. Одним из наиболее передовых направлений развития аппарата знаний в рамках интеллектуальных информационные технологий (ИИТ) является направление модельного (в отличие от императивного) построения информационных систем АА ИзИ. Это позволяет реализовать в перспективных системах АА ИзИ приоритетность модели (а не алгоритма), мультиагентность и ассоциативно самоорганизующийся, недетерминированный, потоковый, параллельный, децентрализованный и асинхронный вычислительные процессы, ориентированные на управление по данным. Однако известные к настоящему времени методы синтеза и анализа подобной системы недостаточно развиты для решения задач мониторинга состояний сложных технических объектов в РМВ.

Анализ и оценка ТС бортовых систем и РКН в целом представляет собой процесс количественного и качественного анализа всех первично-обработанных ТМИ, взаимосвязанных между собой и характеризующих функционирование исследуемых систем. Комплекс алгоритмов и программ, используемых при анализе ТМИ, разнообразен и имеет сложную структуру. Из всего комплекса решаемых задач можно выделить следующие основные задачи: допусковой контроль функциональных и сигнальных параметров, групповой контроль сигнальных параметров, контроль ненаблюдаемых параметров (задачи идентификации, диагностика, расчет эффективности и т. п.).

Под автоматизированным контролем понимается оценка технического состояния объекта (системы) с целью определения правильности отработки временных программ работы системы и выполнения управляющих команд.

По виду решаемых задач различают: *контроль функционирования; контроль работоспособности; диагностический контроль; прогнозирующий контроль*. При этом исследование ТС бортовых систем и РКН в целом, как объектов контроля, сводится к решению ряда задач, основными из которых являются: *выбор информационно-ценных параметров, характерных и достаточных для определения технического*

состояния и режимов работы системы; выбор допусков и правил сравнения параметров с их номинальными значениями; определение состояния системы и причин нарушения режима её работы; определение последовательности контроля параметров, т. е. составление алгоритма и программы контроля.

Необходимыми исходными данными для решения перечисленных задач являются: *программа телеизмерений (используется при решении задач выбора параметров, необходимых для контроля); номинальные значения каждого параметра (являются основой для контроля работоспособности); критерии оценки состояния систем (они используются для определения состояния систем).* В качестве критериальных функций могут быть выбраны: а) показатели качества работы системы (функция от характеристик выходных сигналов, начальных условий и параметров системы); в этом случае принятие решения основывается на сравнении полученной оценки показателя качества с некоторым допустимым значением, полученным расчетным путем; б) показатель отклонения измеренных значений параметров от их номинальных значений (средний квадрат ошибки, средний риск и т. д.); при использовании данной целевой функции принятие решения производится на основе сравнения полученного отклонения измеренного параметра от его номинального значения с допустимым значением.

Исходя из функционального назначения системы АА ИзИ в рамках АСУ КСр, а также из текущего состояния и перспектив развития ИТ, применимых при решении задач анализа ИзИ, формулируется система требований к базовому элементу целевой системы — модели представления знаний (МПЗ), используемой при оценивании ТС БС КСр (см. рис. 5). Наиболее близкими прототипами к МПЗ оказались вычислительные модели (ВМ), развитые в концептуальном программировании, и обобщенные ВМ развитые в рамках технологии недоопределенных моделей — одного из наиболее развитых отечественных подходов, относящихся к программированию в ограничениях.

Концептуальное программирование — это способ решения задач на ЭВМ, заключающийся в описании понятий, достаточных для выражения смысла задачи, в терминах которых затем описывается сама задача. В концептуальном программировании МПЗ характеризуется: фиксированным множеством переменных, используемых при описании задач в некоторой предметной области, на котором определены отношения, связывающие между собой эти переменные. Отображения задаются в форме таблиц, графиков, графов, уравнений и т. п., которые являются конечной целью формализации вычислений. При этом для обеспечения простоты реализации рассматриваются лишь функцио-

нальные отображения, однозначно сопоставляющие значениям одних переменных значения других. При концептуальном программировании используются простые и расширенные ВМ. Простые ВМ не содержат информации об условиях, проверяемых в ходе вычислений, в связи с чем они могут представлять только линейные программы. Расширенные ВМ позволяют представлять более разнообразные условия задач. При этом класс задач, описываемых такими ВМ, соответствует классу частично и общерекурсивных функций, что говорит о максимальной вычислительной мощности описываемых в концептуальном программировании задач.

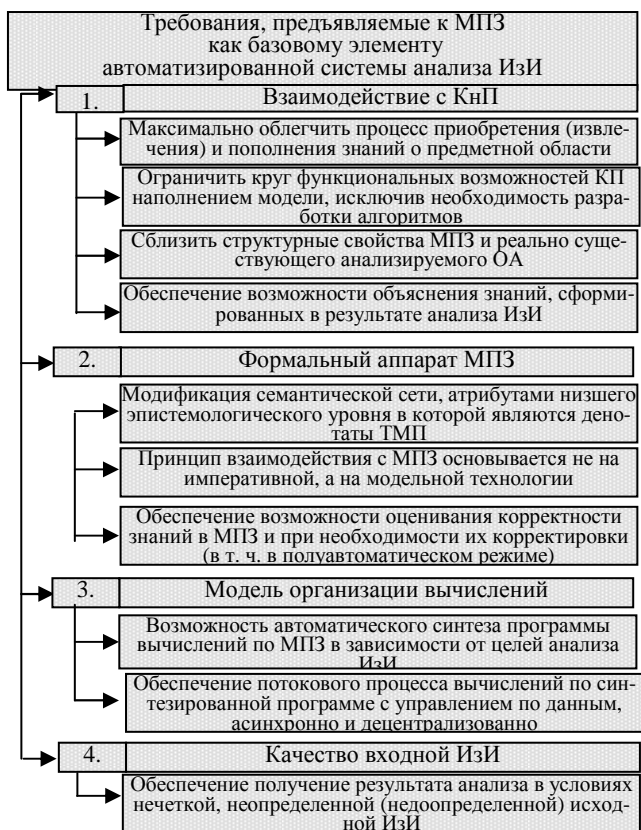


Рис. 5. Система требований, предъявляемых к МПЗ.

Программирование в ограничениях (constraints programming) по сравнению с другими известными в настоящее время видами программирования — императивное (C, Pascal и др.), логическое (Prolog), функциональное (LISP, РЕФАЛ) и др. [22] — является по своей сути наиболее декларативным и основывается на описании модели задачи, а не алгоритма ее решения. Каждая модель в составе МПЗ специфицируется в виде неупорядоченной совокупности отношений, которые соответствуют связям, существующим между параметрами задачи. Эти отношения, называемые общим термином «ограничения», могут иметь вид уравнений, неравенств, логических выражений, символьных (алфавитных) операторов и т. п. При этом постановка той или иной задачи конкретизируется путем добавления в модель ограничений на допустимые значения параметров и/или формулирования дополнительных связей между ними. В модели нет априорного разделения параметров на входные и выходные. В соответствии с требованиями решаемой задачи, пользователь определяет, какие из параметров заданы точно, какие неизвестны совсем, а какие — приблизительно. Используя модель задачи и исходную информацию о значениях ее параметров, методы программирования в ограничениях обеспечивают автоматическое нахождение решения.

Такая постановка задачи называется проблемой удовлетворения ограничений, а для ее решения используются различные алгоритмы и методы. В частности, проблема удовлетворения ограничений может формулироваться как система уравнений с числовыми параметрами, а для ее решения могут использоваться традиционные численные методы. Однако при решении многих реальных задач эти методы оказываются неприемлемыми, особенно если модель включает нечисловые параметры, а начальные данные могут задаваться приблизительно в виде множеств и интервалов, содержащих допустимые значения. Одним из наиболее развитых отечественных подходов, относящихся к программированию в ограничениях, является технология недоопределенных моделей (Н-моделей) или, как наиболее общий случай — обобщенных вычислительных моделей (ОВМ).

Тем не менее, приведенные наиболее передовые в настоящее время ИИТ при наличии большого количества бесспорных положительных и высокотехнологичных качеств имеют целый ряд основных недостатков, не позволяющих их эффективно использовать для решения задач АА ИзИ в РВ и обусловленных характерными особенностями входной ИзИ и требованиями к процессу ее анализа. Среди таких недостатков можно, в частности, выделить следующие:

– реализация всех положительных качеств ВМ и ОВМ становится возможной при наличии только таких ограничений (вычислимых отношений), для которых соответствующие функциональные отношения в явном виде задают зависимости каждого из входящих в них объектов (переменных) от других объектов. Это, безусловно, очень полезное свойство, особенно для доводки и оценивания качества ОА на этапах проведения моделирования, экспериментирования и испытания (модельных, стендовых, летно-конструкторских испытаниях и пр.). Однако когда речь идет только об оценивании качества, как правило, штатных систем, подсистем, блоков ОА, процесс наполнения знаниями подобной интеллектуальной системы может неоправданно затянуться и потребовать дополнительного вложения больших ресурсов (особенно временных и человеческих).

– в автоматизированных системах в рассматриваемых Про процесс анализа ИзИ и соответствующие процессы вычислений происходят в РВ, а результаты анализа должны формироваться в ходе получения значений телеметрируемых параметров (ТМП) с ОА. Технология же использования ВМ, а особенно ОВМ, базирующаяся на реализации принципа сжимающих отображений для определения координат неподвижной точки в некотором метрическом пространстве, предусматривает интерпретацию рекуррентного (хотя и конечного) процесса, который может продлиться сколь угодно долго. Данные ситуации чаще всего встречаются для сложно формализуемых вычислимых отношений (ограничений), с которыми, как правило, имеет дело специалист по анализу ИзИ. Уже только это может «свести на нет» все положительные качества рассматриваемых ИТ.

Хотя при применении ВМ и ОВМ декларируется недетерминизм и параллелизм соответствующего вычислительного процесса, технологический аппарат его реализации все же точно не определен. Все это может приводить на практике к появлению различных некорrekтностей, неточностей, неопределенностей при организации указанного вычислительного процесса. Это, в свою очередь, может привести к определенным тупикам, особенно когда входная ИзИ поступает на обработку потоком с достаточно большой интенсивностью.

Эти и некоторые другие возможные недостатки могут быть устранены при использовании: *оригинальной модели представления слабо формализуемых знаний, ориентированной на применение в человеко-машинной системе АА ИзИ в РВ в целях мониторинга состояний КСр и управления; технологии, базирующейся на принципах программирования в ограничениях; сквозного моделирования на всех этапах приме-*

нения моделей за счет единого комплекса максимально декларативных моделей [66]. Указанная модель формируется в интерактивном режиме специалистом-предметником совместно с программистами и аналитиками на первом этапе реализации предлагаемой интеллектуальной информационной технологии автоматизированного анализа сложных объектов (см. рис. 6).

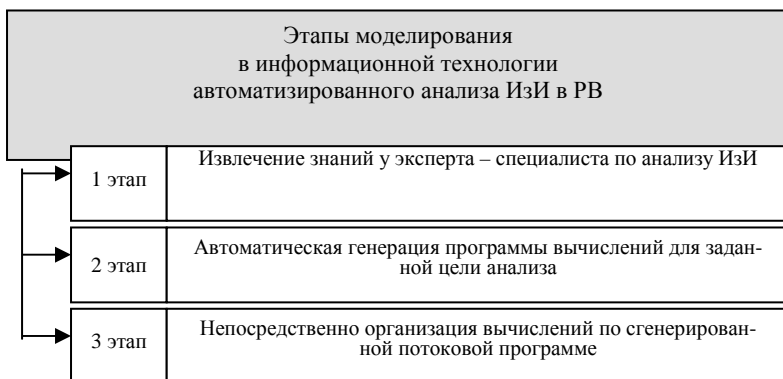


Рис. 6. Этапы реализации предлагаемой интеллектуальной информационной технологии автоматизированного анализа информации о состоянии сложного объекта.

Необходимо отметить, что на всех перечисленных этапах моделирования ИТ АА ИзИ, которые представлены на рис. 6, используются модели декларативного описания предметной области, ориентированные на решение соответствующих частных задач присущих каждому конкретному этапу. В этом случае указанные модели в ходе своего взаимодействия формируют единую специализированную ОВМ для решения задач АА ИзИ в РВ в ограничениях, обладающей всеми свойствами входящих в ее состав частных G-моделей, представляющих по своей сути онтологию предметной области. Следуя основным принципам построения МПЗ в ИИТ, декларативная модель знаний (или спецификация некоторого множества задач) может быть представлена как семантическая сеть, вершинам которой сопоставляются денотаты предметной области, а дугам — отношения между ними. В связи с этим можно на множестве параметров ТС, характеризующих состояния ОА, определить отношения. Это позволяет определить G-модель как своеобразный вид ВМ или ОВМ, одной из главных функциональных возможностей которой является возможность на ее основе опре-

делить процесс вычислений некоторого множества целевых параметров (переменных). Для G-моделей такими целевыми переменными являются параметры цели анализ, значения которых необходимо определить в ходе сеанса анализа.

На уровне G-моделей можно констатировать несколько важных фактов, которые будут использованы в дальнейшем:

– «простая G-модель» предоставляет возможность синтезировать и использовать программы, которые не содержат ветвлений и, если говорить терминологией императивного программирования, состоят только из линейных участков. В соответствии с этим, вычисления на простых G-моделях (как и на простых VM) наиболее очевидны и легко поддаются анализу. Это позволяет заменять любую задачу соответствующим оператором (или отношением вычислимости) и производить операции по упрощению (агрегированию) G-моделей;

– так как G-модель является одной из разновидностей семантических сетей, то к ней применимы операции, выполнимые на семантических сетях (установление соответствия между семантическими сетями и объединение семантических сетей). Это позволяет говорить о возможности порождения новых G-моделей из уже существующих.

Поскольку G-модель является конструкцией, использующейся для синтеза программы вычислений и ее реализации, ее примитивы должны иметь возможность формировать (порождать) метасистему. Для этого необходимо формировать иерархию моделей знаний на основе понятия агента. Агент — расширение известного понятия объект, представляющего формализацию (абстракцию) множества экземпляров предметов прикладной области, имеющих одни и те же свойства и правила поведения. Свойства объекта описываются исходной системой, а закономерности (правила) поведения — порождающей системой, чаще всего в структурированном виде. Возможная схема модели агента приведена на рис. 7.

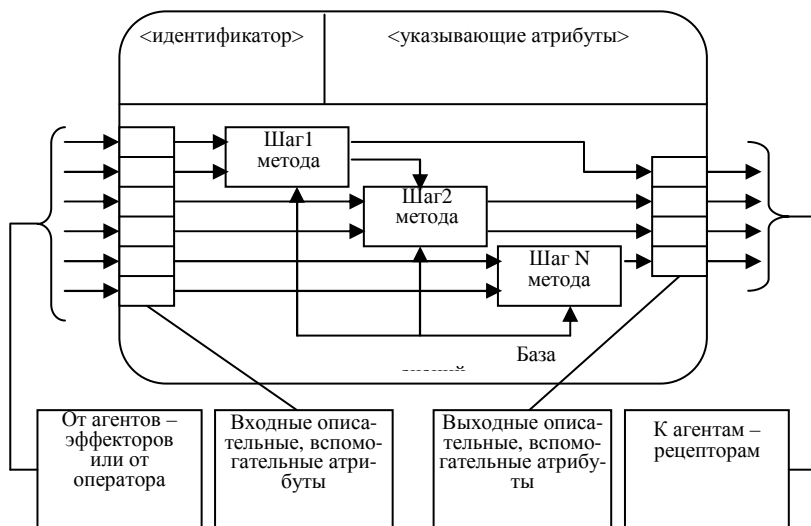


Рис. 7. Схема модели агента.

Состояние объекта определяется перечнем его свойств с текущими значениями. Во множество свойств объекта включаются его идентификатор, а также указывающие, описывающие и вспомогательные атрибуты. Последние два типа атрибутов по отношению к методу объекта делятся на входные и выходные. Описательные атрибуты определяют свойства, внутренне присущие объекту, а вспомогательные — его структурные связи с экземплярами других объектов. Интеллектуальным является объект, поведение которого определяет база знаний. Активный объект или агент — это объект, способный изменять свое состояние, используя состояние смежных объектов [24, 34, 35, 66, 84].

Для этого агенты объединяются в структурированную исходную систему, называемую мультиагентной. Носителем модели такой системы являются объекты и их свойства, а сигнатурой — семантическая сеть, используемая операционной средой для передачи информации, активизирующей поведение агентов. В результате этого формируется некоторое множество экземпляров агентов, являющееся целью всего процесса.

Высшей ступенью организации знаний являются мультиагентные системы распределенного интеллекта [24]. Они образуются наложением структуры И-ИЛИ графа на мультиагентную систему. Структура мультиагентной системы подобна структуре исследуемой системы.

Например, для задачи автоматизированного проектирования на нижнем уровне располагаются агенты элементов деталей, на следующем уровне — деталей, объединяющих в себе агентов с предыдущего уровня, на еще более высоком уровне — агенты узлов, еще выше — сборочных единиц и т. д. В результате проектирования, началом которого является ввод исходных данных в агента высшего (целевого) уровня, формируются текст-графические данные, содержащие проект одного экземпляра КС, удовлетворяющего требованиям исходных данных.

Принципиальным отличием описанного подхода является то, процессом решения прикладной задачи управляют данные, а не команды. Это происходит как на микроуровне внутри агентов, так и на макроуровне — в мультиагентном пространстве.

Для реализации мультиагентных систем G-модель должна быть представлена как алгебраическая конструкция, формирующая некоторое множество (носитель алгебры) и процедуру сборки сложных метамоделей из более элементарных (результат применения алгебраической операции). Класс функций, реализуемых такими вычислительными G-моделями, совпадает с классом рекурсивных функций. Если же считать, что множество задач анализа ИзИ всегда решается с помощью некоторого множества алгоритмов (следует отметить равнозначность множества таких задач анализа ИзИ и множества реализующих их алгоритмов), то главным выводом о прикладной мощности G-моделей является доказанное в [66] утверждение о совпадении класса задач, реализуемых вычислительными G-моделями, с классом задач анализа ИзИ. Традиционно задача оценивания ТС рассматривается как набор автономно формулируемых задач — для каждой входящей в ОУ системы (подсистемы). Модели объектов контроля выбираются исходя из принятых критериев, определяющих состояние объекта. При контроле по отклонениям измеренных значений параметров от их номинальных значений может быть использована логическая модель объекта

Любая динамическая система, у которой параметры принимают бесчисленное множество значений, как объект контроля может быть представлена логической моделью. Основой для её построения служит функциональная схема системы. Каждый функциональный элемент схемы имеет входные и выходные сигналы.

Любой входной сигнал может принимать либо номинальное — «1», либо отличное от номинального значение «0» и эти входные величины можно рассматривать как логические переменные. Выходные

величины соответственно являются логическими функциями. Сигнал на соответствующем выходе системы будет иметь номинальное значение только тогда, когда на все определяющие входы будут поданы сигналы, находящиеся в поле допуска, и часть системы, от которой зависит соответствующий выход, будет исправна.

Логическая модель системы дает качественное решение «годен — не годен». Она позволяет решить некоторые задачи синтеза системы контроля и диагностики, в частности: *выбор минимального числа параметров для определения работоспособности системы; определение минимального числа параметров для выявления каждого неисправного состояния системы.*

Контроль по показателю качества работы предполагает модель аппроксимирующей зависимости показателя качества от параметров.

Построение модели методом аппроксимации показателя качества работы основано на зависимости показателя качества от параметров системы при фиксированном значении характеристик входного сигнала. Выбор фиксированного значения характеристик есть не что иное, как выбор режима работы, при котором производится контроль её состояния. При выбранном режиме работы показатель качества оказывается зависящим только от параметров системы. Эта зависимость имеет характер функции многих переменных.

Реальная зависимость показателя качества от параметров очень сложна и определяется системой дифференциальных и алгебраических уравнений, а также логическими соотношениями, описывающими процесс функционирования системы. С практической точки зрения нет необходимости получать точную зависимость показателя качества от параметров системы. Контроль работоспособности — это допусковый или количественный контроль параметров с целью определения работоспособности системы: пригодна ли она для выполнения своих функций. Оценка работоспособности производится по принципу «годен–не годен», «меньше–норма–больше» с регистрацией абсолютных (относительных) величин параметров или их отклонений от номинальных значений. Для целей контроля работоспособности оказывается достаточно построить аппроксимирующую зависимость показателя качества от параметров. Эта зависимость должна отражать характер изменения показателя качества от параметров в заданном диапазоне и быть простой в вычислительном отношении. При этом часто не учитываются структурные взаимоотношения как между рассматриваемыми системами, так и между характеризующими поведение этих систем измеряемыми параметрами. Не учет таких взаимоотношений сильно

обедняет полноту свойств и зачастую не позволяет дать строгое и корректное обоснование адекватности применяемых при этом моделей. Более того, именно множество значений измеряемых параметров — ТМП — является основным носителем топологии или топологической структуры из всего множества параметров ТС, используемых при принятии решения о нахождении объекта мониторинга (ОМ) в некотором ТС. Множество значений параметров ТС образует некоторое пространство параметров ТС (рис. 8), а определение технического состояния заключается в указании некоторой точки в этом пространстве.

Все параметры ТС можно подразделить на измеряемые и вычисляемые. Измеряемыми параметрами являются представимые в виде ИзИ (значений ТМП) показатели (характеристики) свойств ОМ. Вычисляемыми параметрами являются такие показатели (характеристики) свойств объекта управления, которые вычисляются по различным алгоритмам на основе значений измеряемых параметров.

Контроль функционирования КСр в этом случае заключается в проверке выполнения объектом (системой) своих функций без их количественной оценки. Он является простейшей формой контроля. Оценка функционирования производится по принципу «да–нет». Как правило, для проведения такого контроля используются показания сигнальных и диапазонных преобразователей.

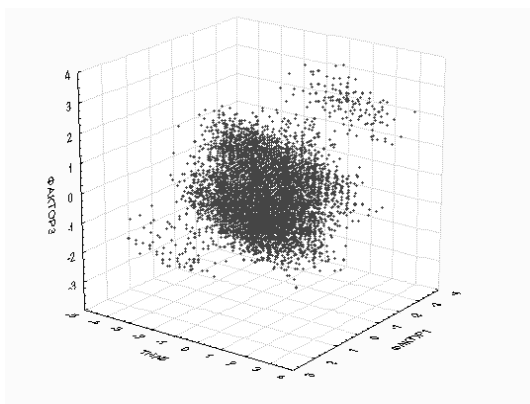


Рис. 8. Представление ТМ параметров, описывающих функционирование тракта подачи окислителя в камеру сгорания (ДУ), образами в трехмерном функциональном пространстве.

Схема контроля определяет алгоритм контроля и зависит от принятой модели объекта контроля. На практике используется несколько схем контроля.

Первая схема предполагает, что состояние системы определяется совокупностью параметров. Если параметры находятся в пределах допусков, то система считается работоспособной. При выходе хотя бы одного параметра за пределы допуска система становится неработоспособной. По этой схеме измеряются значения параметров, сравниваются с допусками относительно номинальных значений и применяется логическая схема «И».

Вторая схема предполагает, что моделью системы как объекта контроля является совокупность параметров, функционально связанных между собой через показатель качества работы (рис. 9). Нахождение показателя качества в поле определенного допуска относительно номинального значения обеспечивает выполнение системой поставленных задач. По этой схеме производится измерение параметров, вычисляется функционально связанный с параметрами показатель качества, сравнивается со значением, соответствующим номинальным значением параметров.

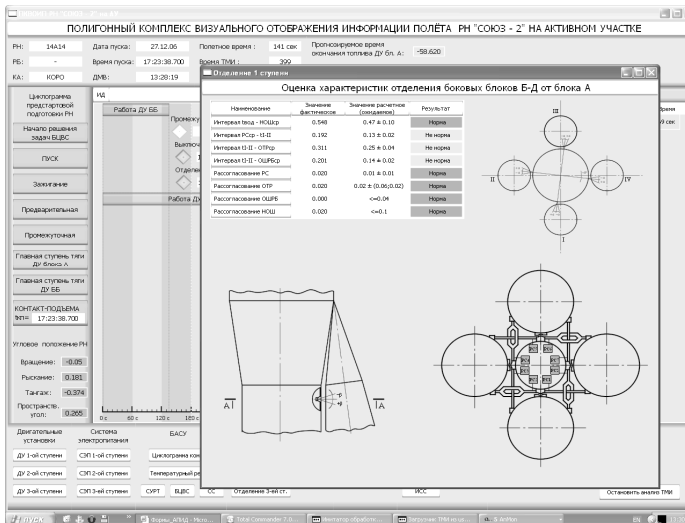


Рис. 9. Схема контроля по совокупности параметров.

Третья схема контроля предполагает, что показатель качества определяется как функционал от наблюдаемых выходных сигналов реальной и идеальной систем. Зависимость показателя качества от параметров неизвестна. По наблюдениям выходных сигналов реальной и идеальной систем формируется оценка показателя качества. Далее полученная оценка сравнивается с контрольными допусками и принимается решение о работоспособности системы (см. рис. 10)

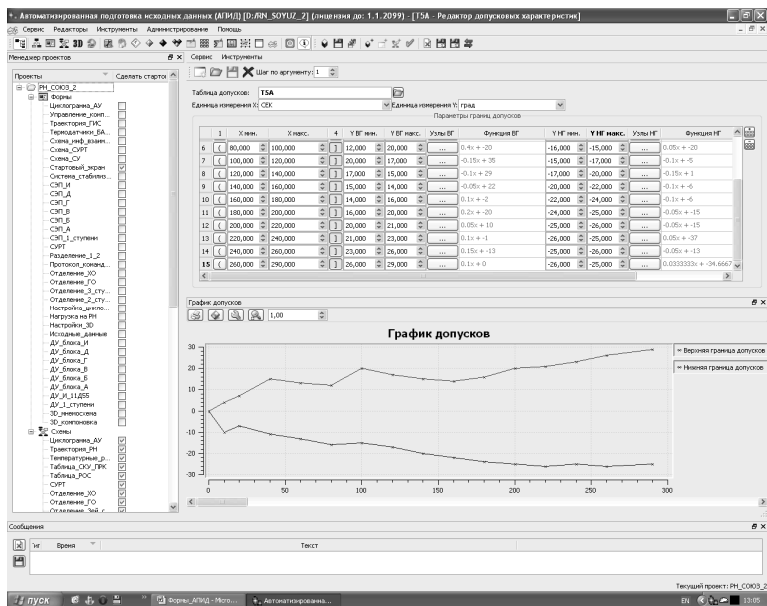


Рис. 10. Схема контроля по допускам.

Процесс получения суждения — оценки — о ТС ОМ схематично представлен на рис. 11. Как видно из рисунка, в каждый момент времени ОМ находится в одном из состояний из потенциально бесконечного множества состояний. В процессе наблюдения за ОМ на нем производятся измерения, результаты которых в виде ИзИ передаются в систему оценивания состояния. Измерительная информация представляет собой объективно существующее множество значений измеряемых параметров на некотором временном интервале измерения. В результате проведения необходимых операций по оцениванию ТС определяются значения вычисляемых параметров ТС. В целом измеряемые

и вычисляемые параметры ТС, значения которых используются при оценивании ТС, образуют некоторое множество параметров ТС.

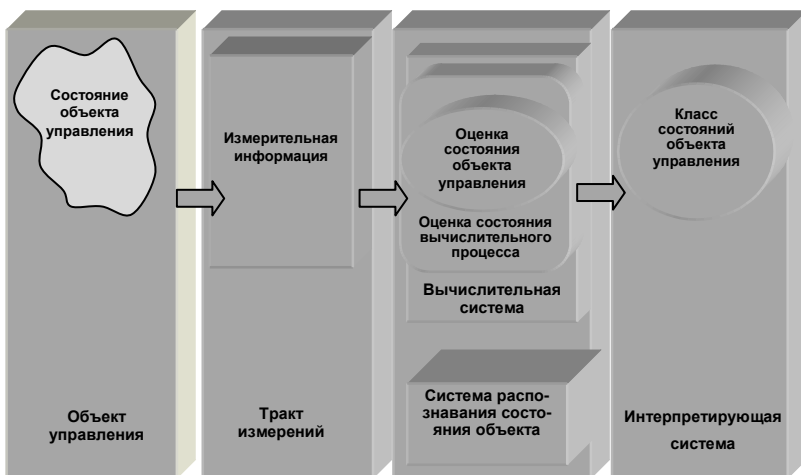


Рис. 11. Схема оценивания состояния ОМ.

В качестве цели или задачи анализа ИзИ (как процесса) можно считать получение обобщенных оценок совокупности параметров ТС, значения которых в явном виде указывают либо степень работоспособности рассматриваемого объекта анализа, либо вид и место возникшей на борту неисправности, либо являются оценками прогнозируемых процессов и явлений с заданной точностью и интервалом прогноза и т. п. — с учетом конкретных целей и условий эксплуатации ОМ на различных этапах его функционирования. В связи с этим под анализом ИзИ будет пониматься процесс получения оценок значений параметров ТС, являющихся элементами цели анализа. ТС ОМ с учетом вычисленных значений параметров цели можно интерпретировать как класс ТС, которому может соответствовать некоторая реакция системы управления.

В теории распознавания образов [96] традиционно рассматриваются два типа множеств: множество X_m , элементы которого с точки зрения семиотики, являются синтаксическими объектами и, соответственно, обрабатываются с использованием чисто механических процедур (дешифрирование, тарирование, фильтрование и т. п.). Это множество можно считать пространством признаков, на котором опреде-

лена метрика и метрическая топология [17, 68]; множество X_c , элементы которого представляют собой описания происходящих на ОМ явлений (процессов). Множество X_c , с точки зрения его использования при оценивании ТС, является уже носителем семантики.

Элементы множества X_m нужно рассматривать не как отдельные результаты измерений, а как связанные между собой значения параметров, взаимно влияющие друг на друга и на общее суждение о ТС. В связи с этим закономерно предположить, что при переходе от X_m к X следует перейти от метрического пространства к его обобщению — топологическому пространству. Такой переход должен предусматривать пересмотр традиционно понимаемых в теории вещественных функций ряда ключевых понятий, среди которых выделяются понятия окрестности, непрерывности, предела, которым дается содержательная интерпретация на основе терминов процесса АА ИзИ.

Одним из аргументов в пользу такого подхода является наличие соответствия между ТС и состоянием вычислительного процесса (при его автоматизированном оценивании). Это объясняется тем, что при наблюдении за состоянием ОМ на самом деле производится наблюдение за нужными (теми или иными) параметрами вычислительного процесса — входными и выходными операндами используемых вычислительных модулей, и проверяется соответствие их значений заранее заданным эталонным значениям.

При оценивании состояний ОМ или при наблюдении за ОМ на самом деле производится наблюдение за вычислительным процессом, поскольку посредником между объектом управления и органом, принимающим решение, является вычислительная система.

Наличие структуры (решетки, решеточно упорядоченного множества) на множестве параметров ТС X позволяет задать базовые элементы, на основе которых впоследствии определяется топологическая структура и топологическое пространство. Порождаемое при этом семейство открытых множеств дает возможность рассмотреть ТС как некоторый формальный объект, несущий в себе полный объем информации как о состоянии ОМ, так и о состоянии вычислительного процесса при анализе ИзИ. Это, в свою очередь, позволит организовать такой вычислительный процесс наиболее эффективным образом с возможностью получения результатов АА ИзИ в РВ. Названная структура определяется на основе соответствующей МПЗ в виде G-модели. Од-

ним из основных свойств, которыми должна обладать эффективная система АА ИзИ, является свойство адекватности происходящих на ОА событий результатам оценивания ТС, получаемым в ходе анализа поступающей от объекта измерительной информации. Для гарантированного обеспечения такого свойства может быть применена методология, в основе которой лежит общая идея непрерывности, используемая во многих разделах алгебры, анализа, общей топологии.

В заключение данного пункта отметим, что в целом создание СПМО АСУ ПП и обеспечение требуемой степени адекватности моделирования происходящих в ней процессов на различных этапах жизненного цикла должно базироваться на полимодельном описании рассматриваемой предметной области, включающем в себя как традиционные аналитико-имитационные математические модели, так и логико-алгебраические и логико-лингвистические модели, а также допустимые их комбинации (гибридные модели) [16, 67]. В этом случае особую актуальность приобретает проблема обоснованного выбора конкретного состава перечисленных моделей и алгоритмов для решения соответствующих прикладных задач, а также разработки конструктивных процедур их согласования (координации) на концептуальном, методическом, информационном, программном уровнях описания. На рис. 12 в качестве примера приведены разработанные авторами методологические и методические основы квалиметрии моделей и полимодельных комплексов, используемых при решении задач интеграции данных, информации и знаний (data, information and knowledge fusion) для различных классов АСУ КСр.

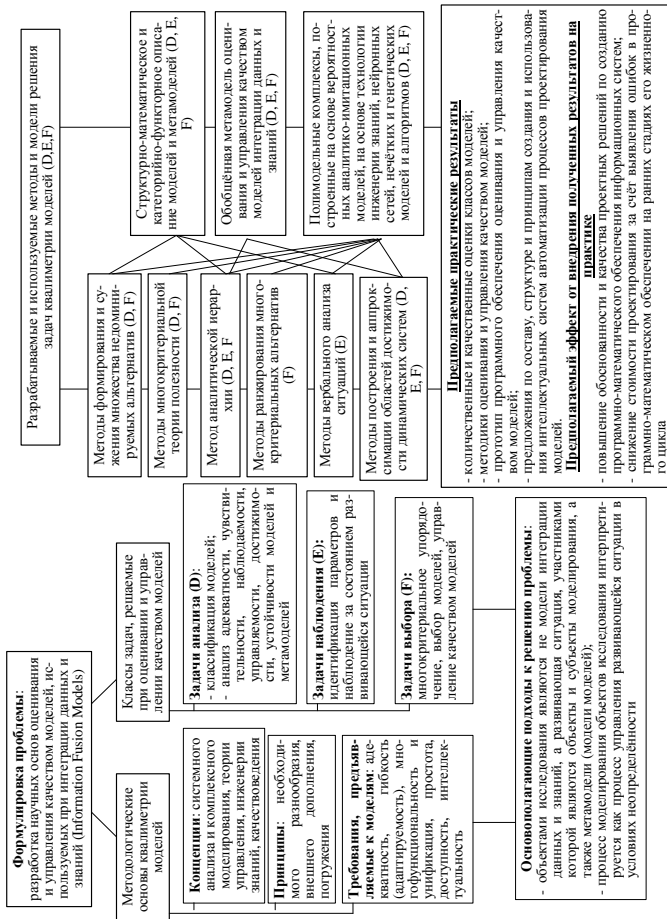


Рис. 12. Методологические и методические основы оценивания и управления качеством моделей, используемых при интеграции данных, информации и знаний.

4. Практическая реализация предложений по использованию элементов интеллектуальной информационной технологии для решения задач мониторинга состояния и управления сложными организационно-техническими системами

4.1. Использование интеллектуального интерфейса при решении задач мониторинга состояний ракет космического назначения и наземной инфраструктуры полигона запуска. Внедрение в технологию управления СОТО автоматизированных систем контроля и управления невозможно без решения целого ряда слабо формализуемых или интеллектуальных задач, которые не имеют строгих формальных постановок и методов их реализации. К таким задачам, в частности, можно отнести задачи по принятию решений при оценивании технического состояния объекта анализа (ОА) или объекта управления (ОУ), прогнозированию динамики его изменения, диагностированию отказов и пр., которые можно условно объединить таким содержательным термином как мониторинг состояния и управления (МСУ) СОТО.

При создании системы оценивания состояния СОТО любой сложности, всегда существовала тяжело решаемая проблема: каким образом реализовать технологию формализации знаний о функционировании рассматриваемого ОУ.

Анализ современного состояния разработки в области практической реализации предлагаемой информационной технологии (ИТ) и системы МСУ СОТО показывает, что в настоящее время существует, по крайней мере, три крупных направления внедрения рассматриваемой методологии на практике.

К первому направлению относятся динамические экспертные системы реального времени, получившие к настоящему времени достаточно широкое распространение. Среди них, в частности можно выделить G2 (фирма Gensym, США), RT Works (фирма Talarian, США), COMDALE/C (Comdale Techn., Канада), COGSYS (SC, США), ILOG Rules (ILOG, Франция).

Ко второму направлению исследований могут быть отнесены результаты, полученные в рамках так называемой теории недоопределенных вычислений (на основе методов удовлетворения ограничений — constraint programming) и теории мультиагентных интеллектуальных систем [1]. В качестве наиболее характерных представителей программных комплексов, поддерживающих данные направления исследований, могут быть названы такие, как интегрированный про-

граммный продукт СПРУТ, интеллектуальный решатель математических задач UniCalc.

К третьему 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.) [2]. В качестве примеров реализации данного направления исследований могут быть названы программные комплексы Genesis, IsaGRAF, TraceMode. В тех ситуациях когда применение описанного выше программного обеспечения неприемлемо (отсутствие сертификации, отсутствие поддержки используемой платформы (MCBC) и пр.), принимается решение о разработке уникальных программ. В таком случае разработка этого ПО имеет следующую схему (рис. 13) [3]. При таком подходе существует ряд проблем, в частности:

- общение на этапе «Анализатор–Системный аналитик» — связано со спецификой предметной области;
- качество созданного ПО: корректность поставленной программисту задачи зависит от Системного аналитика. Правильность (отказоустойчивость) реализации предложенных Анализатором и обработанных Системным аналитиком алгоритмов во многом зависит от квалификации программиста;
- поддержка созданного ПО: на определенном этапе разработки и применения программы большая часть времени уходит на поддержку уже созданного кода. Это требует дополнительных человеческих и временных ресурсов. Так же поддержка усложняется при смене (текущести) вышеназванных лиц.

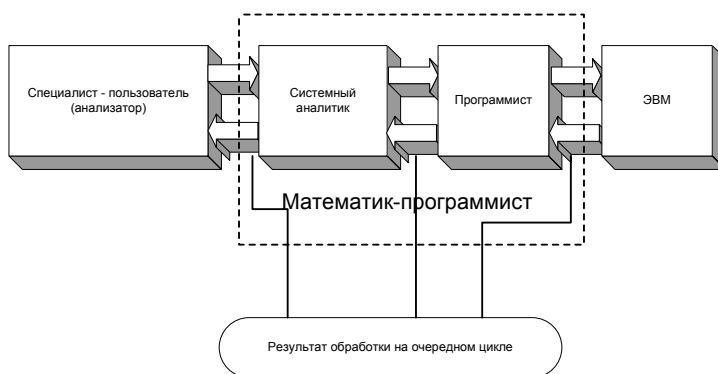


Рис. 13. Традиционная схема MC COTO.

Известные подходы недостаточно эффективно или вообще не обеспечивают решение целого ряда основных проблем, стоящих перед теорией и практикой МС СОТО (отсутствие единой концептуальной основы в построении информационных систем, принципиальная невозможность формального описания всех возможных видов ТС, наличие большого количества форм представления данных и, соответственно, типов моделей представления знаний (МПЗ) об ОА, слабый учет режима оценивания в реальном времени (РВ) и пр.).

Предлагаемая ИТ [4], ориентированная на использование базы знаний (БЗ) ОУ, позволит существенно сократить сроки и расходы на создание или модификацию систем мониторинга и управления состояниями сложных технологических объектов и процессов. Суть ее состоит в предоставлении технологу (управленцу, аналитатору) удобного интеллектуального пользовательского интерфейса при создании и наполнении БЗ, а также при решении непосредственно задач МС.

Работу по созданию системы мониторинга при данном подходе можно представить следующей схемой (рис. 14, 15).

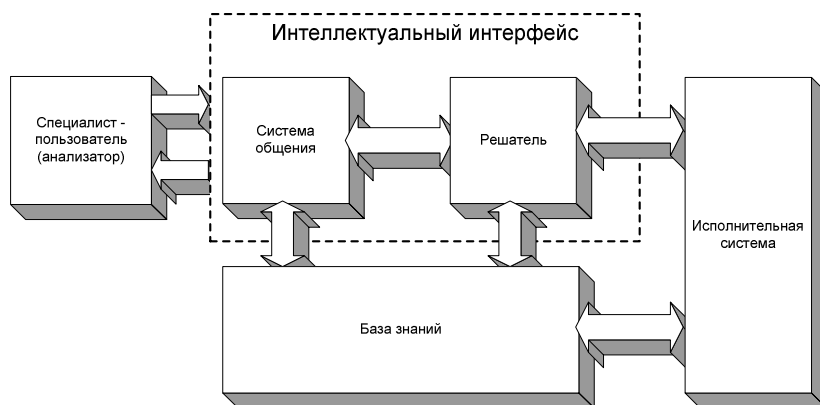


Рис. 14. Предлагаемая схема МС СОТО.



Рис. 15. Обобщенная схема интеллектуального интерфейса.

Предлагаемая ИТ имеет реализацию в виде программного комплекса состоящего из программы Автоматизированной Подготовки Исходных Данных и Знаний (АПИДЗ) и Исполнительной системы. При этом пользователю обеспечивается работа в рамках рассматриваемого интеллектуального интерфейса в ходе реализации нескольких этапов, перечень которых представлен на рис. 16.



Рис. 16. Этапы работы пользователя с системой АПИДЗ.

Работа пользователя при этом выполняется в следующей последовательности:

- проектирование структур и типов данных. На данном этапе описываются параметры, переменные, таблицы текстов и другие структуры данных, используемые при мониторинге;

- визуальное проектирование форм. Создаются мнемосхемы, диалоговые окна с которыми пользователь будет работать на этапе анализа;

- логическое проектирование программы мониторинга — наиболее важный этап проектирования системы мониторинга.

Пользователь, используя предлагаемую МПЗ, описывает ОА с его подсистемами и элементами на языке предметной области, — до необходимого уровня детализации.

Для каждого этапа работы пользователя имеется специализированный редактор, который наилучшим образом помогает решить поставленную задачу. Редактор мнемосхем обладает обширным и постоянно пополняемым набором примитивов, которые позволяют создать мнемосхему практически для любой предметной области и любой сложности. Сервисные функции редактора помогают сделать процесс разработки быстрым и удобным. *Использование когнитивной графики в примитивах повышает информативность мнемосхемы и качество восприятия информации.*

Редактор БЗ позволяет сформировать описание ОА и его состояний в соответствии с МПЗ на языке предметной области. Такое описание облегчает понимание и сопровождение созданных алгоритмов другими специалистами в этой предметной области, не требует привлечения специалистов по программированию на традиционных языках программирования. *Тем самым устраняется фактор недопонимания между специалистом в конкретной предметной области и программистом, так как обе эти функции может выполнить сам технолог (анализатор).*

Примеры специализированных редакторов приведены на рис. 17–19.

Описанные выше технологии были применены в различных проектах (космической промышленности, атомной энергетике и пр.). В частности, был реализован проект по оцениванию состояния ракеты-носителя «Союз–2» на активном участке траектории — в реальном масштабе времени. Примеры результатов функционирования ПрК мониторинга технического состояния РН «Союз–2» на активном участке траектории представлены на рис. 20–22.

Использование 3D графики позволяет отобразить модель ракеты и ее траекторию с привязкой к Земле, компоновку ее агрегатов и систем. Модель отображает реальные процессы на основе данных телеметрической информации.

Мнемосхемы позволяют отслеживать состояние и работоспособность различных систем, отображать состояния устройств, входящих в данную систему, и значения параметров, характеризующих их состояние. Это помогает получить целостную картину состояния систем, облегчает восприятие информации и позволяет сделать прогноз поведения систем и ОУ в целом.

В рамках предлагаемой ИТ ведутся протоколы наступивших событий, выдачи команд бортовой аппаратуры системы управления. На циклограмме полета отображаются контролируемые события с указанием времени их наступления. Контроль событий осуществляется не только по времени наступления, но и по достоверности.

Необходимо отметить, что основное достоинство предлагаемого подхода состоит в том, что с его помощью создаются («программируются») уникальные модули автоматизации систем оценивания состояния самими технологами без участия профессиональных программистов. Предлагаемый подход базируется на фундаментальных научных результатах, полученных к настоящему времени в топологии и алгебре, математической логике и теории искусственного интеллекта. Все это позволяет получить жизнеспособную (сопровождаемую) и надежную систему мониторинга технического состояния и управления СОТО [4].

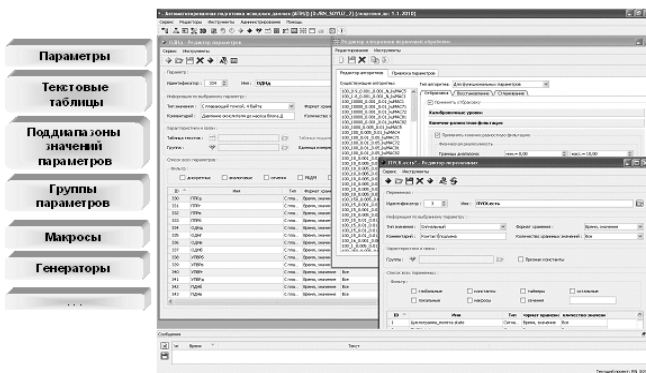


Рис. 17. Графическое окно редактора параметров.

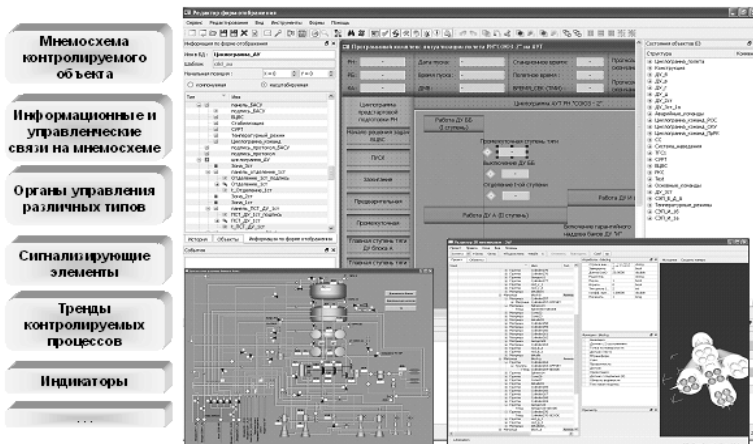


Рис. 18. Графическое окно редактора визуального проектирования.

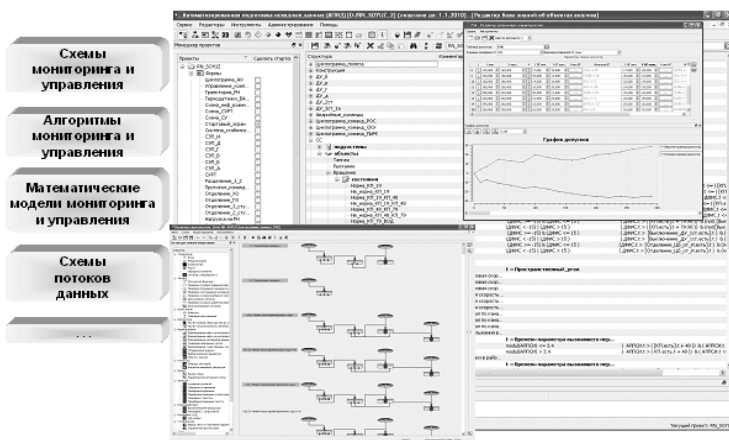


Рис. 19. Графическое окно редактора логического проектирования (схем анализа).

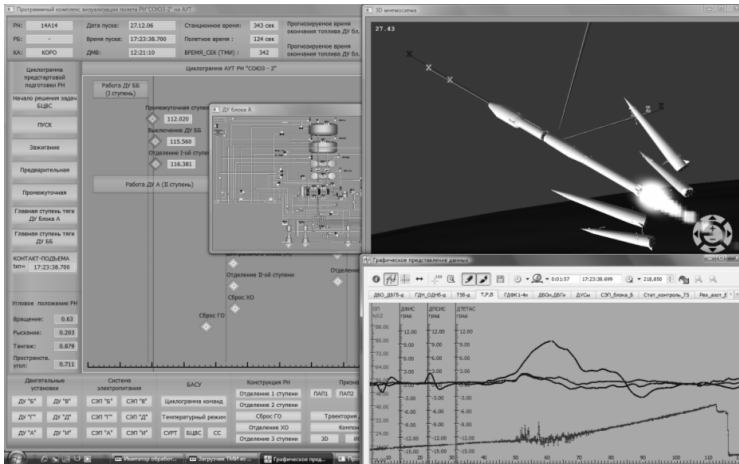


Рис. 20. Представление пользователям результатов контроля технического состояния РКН “Союз - 2” в полете (вариант 1).

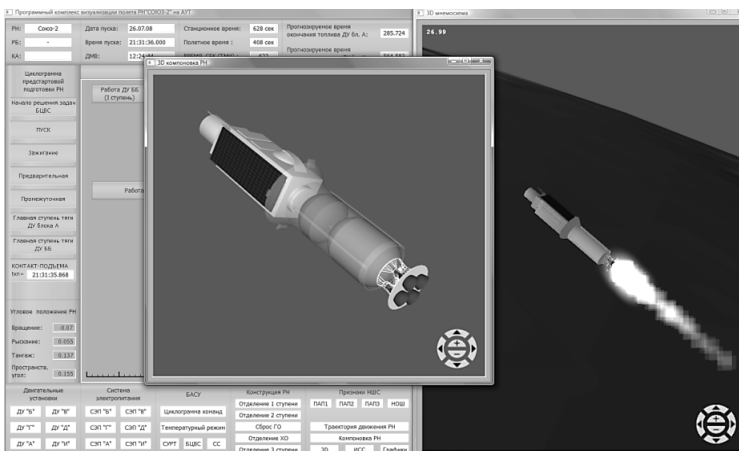


Рис. 21. Представление пользователям результатов контроля технического состояния РКН “Союз - 2” в полете (вариант 2).

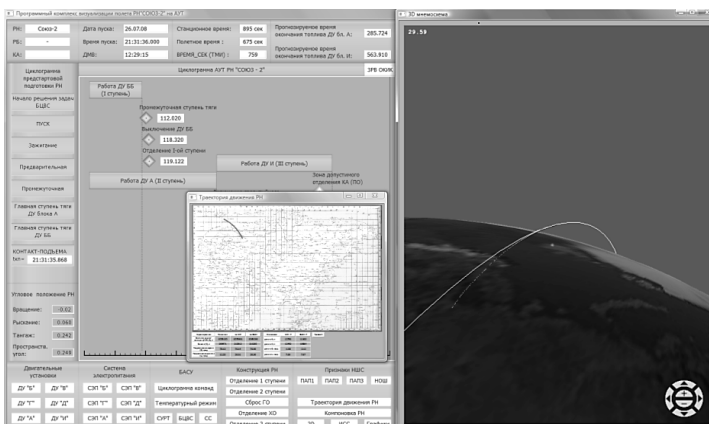


Рис. 22. Представление пользователям результатов контроля технического состояния РКН “Союз - 2” в полете (вариант 3).

4.2. Использование интеллектуальной информационной технологии при решении задач наземно-космического мониторинга состояний сложных объектов в кризисных ситуациях. Сложность взаимосвязей, взаимозависимостей и взаимодействие различных сфер жизни и деятельности человека стремительно растет. Наиболее остро эти аспекты проявляются 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.

В современных условиях принято выделять три следующие группы событий, несущих в себе потенциальную угрозу интересам национальной безопасности в связи с возможным нарушением устойчивости управления народно-хозяйственным комплексом и связанными с этим материальными и людскими потерями различного масштаба.

1. **Природные катаклизмы:** землетрясения, наводнения, ливни и снежные заносы, ураганы, засухи, лесные и степные пожары, лавины и оползни, аномальные сезонные колебания температуры воздуха.

2. **Техногенные катастрофы:** аварии и пожары на магистральных нефте- и газопроводах и хранилищах; повреждения линий электропередач; выбросы вредных веществ в окружающую среду; обрушение жилых, производственных и общественных зданий; выход из строя систем связи и электронных средств коммуникаций; аварии и пожары

на предприятиях промышленности и энергетики, аварии на транспортных магистралях и в аэропортах, других объектах инфраструктуры.

3. Социально-экономические и военно-политические кризисы: эпидемии и пандемии; сокращение импортных поставок сырья, электроэнергии и энергоносителей; межнациональные и межконфессиональные конфликты; террористические акты и угрозы их совершения; крупномасштабные забастовки; инфильтрация враждебных элементов с целью дестабилизации внутренней обстановки; массовое недовольство населения и уличные беспорядки; военно-политическая напряженность на государственных границах; захват заложников; активизация организованной преступности, алкоголизма и наркомании; волнения и беспорядки в исправительных учреждениях; угрозы продовольственной безопасности; экономические санкции со стороны других государств; бойкот национального экспорта; массовая нелегальная миграция и трафик наркотиков.

Отдельные события из перечисленных групп могут быть причиной возникновения целого комплекса других лавинообразно развивающихся негативных событий, что, в случае непринятия оперативных мер по стабилизации первичной чрезвычайной ситуации, может привести к неконтролируемому разрастанию её масштабов и негативных последствий и создавать реальные угрозы национальной безопасности.

В условиях существования реальных угроз интересам национальной безопасности решающее значение приобретают организационные механизмы, информационные технологии и системы оперативного формирования, принятия и реализации решений по управлению всеми видами ресурсов, находящихся в распоряжении органов государственной власти и управления.

Для нейтрализации угроз и минимизации потерь, вызываемых чрезвычайными ситуациями, органы государственной власти и уполномоченные ими структуры в РФ повсеместно вынуждены создавать ситуационные центры (СЦ) поддержки принятия решений. В настоящее время в мире насчитывается несколько сотен СЦ и количество их продолжает увеличиваться [29–30]. СЦ — это самая современная форма реализации систем поддержки принятия решений, основанная на технологиях моделирования и анализа ситуаций, предельно концентрированном (визуальном) представлении информации и обеспечивающая интегральное управление организацией, отраслью, регионом, страной на самом верхнем уровне. С другой стороны, СЦ представляет собой информационно-аналитическую систему, позволяющую оценить реальное состояние объекта управления, уловить развитие внутренних

и внешних тенденций, рассмотреть возможные последствия действий. Встречаются различные названия ситуационных центров: центры стратегического управления, ситуационные комнаты, центры сбора, обработки и отображения информации и другие. По своим функциональным возможностям СЦ можно разделить на четыре основных класса: системы мониторинга состояния предметной области (СМС), системы ситуационного отображения информации (ССОИ), системы динамического моделирования ситуаций (СДМС), аналитические и прогностические ситуационные системы (АПСС).

В настоящее время в большинстве существующих СЦ системы мониторинга состояний и ситуационного отображения информации являются системообразующими компонентами, в то время как функции СДМС и АПСС, из-за их слабой теоретической и методологической обеспеченности, выполняются непосредственно персоналом центров и лицами, принимающими решения и, следовательно, эффективность их реализации существенно зависит от множества субъективных факторов.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день **отсутствует единая научно обоснованная методология комплексного решения задач динамического моделирования и анализа ситуаций и создания СЦ в целом**. В результате каждый действующий сегодня СЦ – продукт уникальный, с самого начала своего создания ориентированный на специфику только своей предметной сферы и использование оригинальных концептуальных подходов. В связи с этим возникают естественные проблемы с тиражированием полученных решений в каждом конкретном СЦ на другие предметные области и объединением различных СЦ в единую систему анализа ситуаций и принятия решений на более высоком в соответствующей иерархии уровне управления. В масштабе страны, региона или отрасли такой «индивидуальный» и нескоординированный подход к созданию ситуационных центров приводит к неоправданно высоким и недостаточно эффективным затратам интеллектуальных, временных и материальных ресурсов и, в целом, существенно замедляет процесс удовлетворения растущих потребностей в создании СЦ для управления СОТС в кризисных и чрезвычайных ситуациях.

Предварительный анализ проблем и задач, которые необходимо решать в чрезвычайных ситуациях в различных предметных областях, и существующих теоретических методов и подходов их решения показывает, что рамках существующих теорий и методологий управления сложными системами эти вопросы, как отдельный предмет исследова-

ний, с позиций единой общесистемной точки зрения практически не рассматриваются. При этом покрывающая их предметная область имеет целый ряд существенных особенностей, кардинально отличающих её от предмета исследования существующих теорий управления сложными системами. Среди них можно указать, в частности следующие особенности: *чрезвычайные и катастрофические ситуации, как правило, трудно предсказуемы и возникают внезапно (временная неопределенность в обеспечении готовности к управлению); масштабы связанных с ними негативных последствий также трудно предсказуемы; они могут быстро увеличиваться со временем и иметь различные отдаленные негативные последствия для разнородных, в том числе территориально распределенных объектов (неопределенность границ и содержания предметной области); информация о таких ситуациях, как правило, имеет противоречивый и плохо предсказуемый по своему составу и объему характер и поступает в систему управления с различными временными задержками (неопределенность в идентификации текущих состояний и ситуаций); принятие решений в таких ситуациях осуществляется в условиях жесткого лимита времени, рисков и различных ограничений в возможностях выбора и реализации управляющих воздействий и т. п.*

Учет этих и целого ряда других специфических особенностей процессов управления сложными системами в чрезвычайных и катастрофических ситуациях требует разработки **принципиально новых, специальных принципов и методов** мониторинга, анализа и прогнозирования ситуаций, разработки вариантов управляющих решений, процедур их выбора и реализации.

Так, например, анализ показывает, что принципы и методы традиционных диагностических систем концептуально являются констатирующими отказы, неисправности, дефекты и ориентированы на диагностику штатного режима. При этом не учитывается ряд важнейших свойств динамики функционирования сложных объектов в условиях нештатных и критических ситуаций. В частности, не учитываются специфика их вероятностных свойств, возможность внезапного появления динамического хаоса в виде неупорядоченных процессов в детерминированных системах, «тонкая» структура динамики механизмов нагружения, старения и разрушения материалов и конструкций, а также ряд других практически важных свойств динамики нештатных и критических ситуаций [70]. Остаются открытыми множество концептуальных проблем, связанных с управлением структурной динамикой сложных систем при их различных деградациях, оценки и прогнозиро-

вания рисков возникновения нештатных и критических ситуаций, а также рисков выбора и реализации соответствующих управленческих решений и т. п. [9–10, 102].

Потребности общества в решении этих проблем чрезвычайно велики, т. к. от этого сегодня во многом зависит способность в предотвращении и локализации различных критических ситуаций, а, следовательно, и его благополучие. Общесистемный анализ существующих подходов к решению этих и других задач, составляющих рассматриваемую проблему, показывает, что в настоящее время уже сформировались необходимые условия для разработки **нового междисциплинарного научного направления — теории управления сложными организационными и организационно-техническими системами в кризисных ситуациях**, предметом исследований которой являются объекты и процессы, характеризующиеся перечисленными выше особенностями.

Разработка такой теории позволит создать **единую методологию построения систем управления СОТС в кризисных и чрезвычайных ситуациях и на основе этой методологии — перейти к разработке соответствующих информационных технологий и инженерных методик создания интеллектуальных ситуационных центров XXI века.**

Возможность создания такой теории и методологии обусловлена общностью проблем, задач, различных критериев, признаков, параметров и других особенностей, характеризующих процессы и цели управления СОТС в кризисных и чрезвычайных ситуациях при рассмотрении их на некотором общесистемном уровне, на котором еще не проявляются узко специфические особенности конкретных предметных областей. Последовательная детализация таких особенностей позволит **в рамках единой методологии** сформировать **методики** решения указанных выше задач применительно к группам соответствующих им предметных областей.

Такой концептуальный подход к созданию СЦ позволит осуществлять **естественную координацию и системную совместимость** соответствующих работ на основе потребностей и возможностей экономики ресурсов за счет использования готовых методик и информационных технологий, а не путем жесткого административного управления этими процессами с присущими ему недостатками.

Следует специально отметить, что чрезвычайные и катастрофические события могут не ограничиваться рамками одного какого-то региона или даже страны, как это получилось с Чернобыльской АЭС.

Это обстоятельство обуславливает объективную необходимость в подготовке и поддержании постоянной готовности **системы международной координации** совместных действий в предотвращении и локализации развития последствий таких ситуаций. Наиболее благоприятной основой для разработки такой системы представляется консолидация ученых и научных организаций еще на этапе создания указанных выше теории и методологии в рамках Международных программ приграничного сотрудничества с Прибалтийскими государствами (Латвия, Литва, Эстония), с Белоруссией и Украиной. Большая территориальная распределенность технико-экологических объектов мониторинга, которые находятся на приграничных территориях, делают весьма актуальной постановку и решение задач наземно-космического мониторинга указанных объектов.

В настоящее время в РФ широким фронтом ведутся работы по внедрению результатов космической деятельности (РКД) во все сферы жизнедеятельности. Главное направление работ по использованию РКД — максимальная интеграция результатов космической деятельности с реальными социально-экономическими процессами, протекающими в регионах, создание качественно новой региональной навигационно-информационной инфраструктуры, обеспечивающей объективный и комплексный мониторинг основных отраслей экономики — сельское, водное, лесное хозяйства, транспорт, строительство, природопользование, территориальное планирование, градостроительство, жилищно-коммунальный и топливно-энергетический комплекс и другие.

Вклад космических систем в развитие различных отраслей может составлять от 50% (мониторинг сельского хозяйства, лесного хозяйства) до 95% (при использовании единого навигационного поля, системы единого времени в таких отраслях хозяйства, как транспортные интермодальные перевозки, управление в чрезвычайной обстановке).

Использование РКД в общем случае включает: использование данных дистанционного зондирования земли (ДЗЗ); использование спутниковой навигации; использование систем космической связи; использование космической инфраструктуры.

Эффективная реализация РКД предполагает переход от внедрения **отдельных** космических технологий, продуктов и услуг к их **интеграции** не только между собой, но и с существующими наземными системами мониторинга СОТО. В настоящее время координирующая роль по внедрению результатов космической деятельности возложена на Федеральное космическое агентство (Роскосмос), а решение непосред-

ственных вопросов организации использования РКД — на ОАО «НПК РЕКОД» [114]. На рис. 23 представлена концепция организации наземно-космического мониторинга СЛО в кризисных ситуациях, сформированная ОАО «НПК РЕКОД». Данная концепция [114] предполагает формирование в рамках СЦ информационного ресурса (Центра

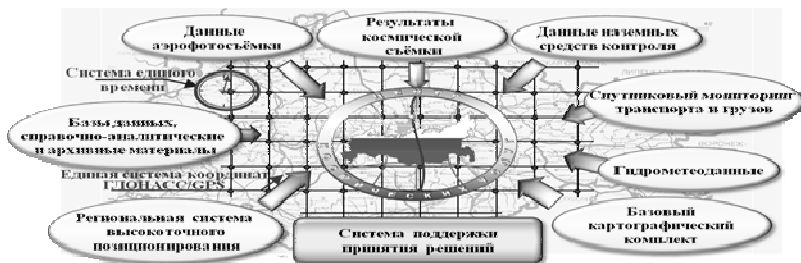


Рис. 23. Состав и структура информационных ресурсов Ситуационного центра регионального уровня.

космических услуг), интегрированного с электронными картами; позиционированного в пространстве и времени в единой системе координат ГЛОНАСС/GPS; структурированного по отраслям экономики и территориям; обновляемого с использованием космических и других систем дистанционного зондирования; предоставляемого руководителям и любым другим пользователям в простой и удобной форме.

СПИИРАН совместно с профессорско-преподавательским составом Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения (ГУАП), и сотрудниками производственного предприятия, специализирующегося на разработке систем мониторинга (ЗАО Специализированное конструкторское бюро «Орион») в период с 2003 по 2012 гг. выполнили большой объем фундаментальных и прикладных НИР, НИОКР по проблематике мониторинга и управления СОТО в рамках грантов РФФИ № 02-07-90463-в, 05-07-90088-в, 05-08-18111-а, 07-07-00169-а, 08-08-00403-а, 09-07-11004-ано, 10-07-00311-а, 10-08-90027-Бел_а, 11-08-01016-а, Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проекты 2.3, 2.5. 2.11), проекта с Секцией прикладных проблем при Президиуме РАН (проект № 1331), Международных проектов CRDF Project №Rum2-1554-ST-“Intelligent

Networks for Secured/Survivable Power Systems” (2006 г.), проект приграничного сотрудничества «ESTLATRUS 2.1/ELRI-184/2011/14 «Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems» (2012-2013 г.), и проект приграничного сотрудничества «ESTLATRUS/1.2./ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform» (2012–2014 гг.). В частности, совместно с Объединенным институтом проблем информатики НАН Беларуси в рамках проекта РФФИ-БФФИ 10-08-90027-Бел_а в 2010–2012 гг. были разработаны и реализованы в виде программных прототипов и комплексов: методы формирования структурированных моделей процессов функционирования и управления СОТО по их исходным описаниям; методы системного анализа потенциально возможных нештатных ситуаций; методы интеграции данных, информации и знаний при описании и прогнозировании ситуаций; методы полимодельного многокритериального описания вариантов функционирования СОТО и соответствующей системы мониторинга их состояния в сложных условиях обстановки; унифицированные модели представления слабо формализуемых знаний о состоянии СОТО; методы автоматического синтеза программ мониторинга состояний СОТО по заданной цели анализа, с возможностью их верификации и оптимизации; модельно-алгоритмическое обеспечение комплексного моделирования процессов создания и функционирования системы мониторинга состояния СОТО; методы формирования и принятия решений по управлению СОТО в нештатных ситуациях; методы выработки обоснованных вариантов реконфигурации структур СОТО в условиях априорной неопределенности и возникающих нештатных ситуаций. Также была разработана и обоснована система показателей безопасности, рисков и эффективности функционирования СОТО в сложных условиях обстановки.

На рис. 24 представлены состав и структура операционной среды, созданной на основе предлагаемой ИИТ, которая в настоящее время широко используется при мониторинге и поддержке принятия решений при управлении различными классами Сло.



Рис. 24. Структура операционной среды АС МСV СОТО в РВ.

В рамках другого международного проекта приграничного сотрудничества выполняемого в настоящее время с Рижским техническим университетом «Project ESTLATRUS 2.1/ELRI -184/2011/14 «Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems» предполагается интеграция данных, поступающих от наземных и космических средств дистанционного зондирования Земли, на основе разработки и реализации соответствующей интеллектуальной информационной платформы. При этом планируется осуществить адаптацию существующих аппаратно-программных средств, обеспечивающих решение частных задач наземно-космического мониторинга, разработанных такими организациями как ИТЦ «СканЭкс», НПК «РЕКОД», а также разработку (адаптацию) под рассматриваемые задачи собственного модельно-алгоритмического, информационного, программного обеспечения, о котором речь шла

ранее в статье. В качестве целевых объектов в рамках рассматриваемого проекта приграничного сотрудничества на настоящий момент выбраны порты с Латвийской и Российской стороны (проблемы загрязнения акваторий, весенних паводков, безопасности движения), агропромышленные комплексы, малые и большие ГЭС в приграничной полосе. На рис. 25 представлена упрощенная схема, иллюстрирующая основную концепцию выполняемого проекта приграничного сотрудничества.



Рис. 25. Иллюстрация концепции проекта «Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems».

В целях дальнейшей интеграции организаций, участвующих в Санкт-Петербурге в решении актуальных задач наземно-космического мониторинга СлО, в 2010–2012 гг. был сформирован Северо-Западный Центр аэрокосмического мониторинга. На рис. 26 представлен состав и структура данного Центра, а также те организации, с которыми он взаимодействует в процессе своей деятельности.



Рис. 26. Состав и структура Северо-Западного Центра аэрокосмического мониторинга.

Как показывает анализ, потенциал организаций — участниц центра позволяет решать самые сложные задачи информационного обеспечения управления с использованием РКД. В этих условиях практически реализуемой становится перспективная интегрированная технология получения, обработки и анализа космической информации, которая в данном случае будет включать в себя как создание космических аппаратов дистанционного зондирования Земли новых поколений, так и специальных аппаратно-программных средств, обеспечивающих тематическую обработку снимков в различных диапазонах.

В настоящее время к числу первоочередных управленческих задач, безусловно, относится разработка средств и технологий информационно-аналитического обеспечения функционирования ситуационных центров различного уровня и принадлежности (для органов государственной власти, МЧС, нефтегазовой отрасли, других потенциально опасных объектов критических инфраструктур, и т. д.). Поэтому основное тематическое направление деятельности создаваемого центра формулируется как обеспечение органов управления: тематическими

космическими снимками; научно-обоснованной методологией мониторинга и ситуационного управления на базе междисциплинарного подхода; комплексом новых информационных технологий поддержки принятия решений с использованием данных, полученных от наземных измерительных средств, а также аэрокосмической информации; подготовленным персоналом.

Особо необходимо отметить, что в рамках создаваемого Центра появляется возможность подготовки уникальных специалистов — системных аналитиков в области комплексного использования космической информации в системах поддержки принятия решений как для ситуационных центров, так и других областей деятельности в XXI веке.

5. Заключение. В представленной статье были описаны методологические и методические основы теории мониторинга и управления структурной динамикой СОТО, включающие в себя полимодельные комплексы, комбинированные методы, алгоритмы, а также были предложены новая интеллектуальная информационная технология, прикладные методики и инструментальные средства, её поддерживающие и предназначенные для автоматизированного проектирования систем наземно-космического мониторинга и управления СОТО в различных условиях изменения обстановки, которые уже в настоящее время находят широкое применение на практике. В статье конструктивность разработанного концептуального и модельно-алгоритмического обеспечения проиллюстрирована применительно к задачам автоматизированного оценивания и анализа измерительной информации, используемой при подготовке и пуске ракет-носителей космического назначения, при организации наземно-космического мониторинга эколого-технологических объектов.

Литература

1. Актуальные проблемы неразрушающего контроля качества космической техники: монография / Ю.Н. Макаров, А.А. Лухвич, В.Г. Шипша и др.; под общ. ред. Ю.Н. Макарова, В.Е. Прохоровича, А.И. Птушкина. СПб.: Альтеор, 2008. С. 289–331.
2. *Алферова З.В.* Теория алгоритмов: Учебное пособие для вузов. М.: Статистика, 1973. 164 с.
3. *Ахо А., Ульман Дж.* Теория синтаксического анализа, перевода и компиляции / Пер. с англ. В.Н. Агафонова; Под ред. В.М. Курочкина. В 2-х томах. М.: Мир, 1978.
4. *Бакаев В.В., Судов Е.В., Гомозов В.А. и др.* Информационное обеспечение, поддержка и сопровождение жизненного цикла изделия. М.: Машиностроение, 2005. 624 с.
5. *Балашов Е.П.* Эволюционный синтез систем. М.: Радио и связь, 1985. 328 с.

6. Бармин И.В., Соколов Е.И., Прохорович В.Е., Петров Г.Д. О разработке систем мониторинга и прогнозирования состояния оборудования при проектировании стартовых комплексов космического назначения // В мире неразрушающего контроля. 2001, № 4(14). С. 12–15.
7. Бармин И.В., Юсуфов Р.М., Прохорович В.Е., Птушкин А.И. Концепция управления состоянием сложных технических комплексов за пределами плановых сроков эксплуатации // Информационные технологии. 2000. №5. С. 5–8.
8. Биркгоф Г., Барти Т. Современная прикладная алгебра / Пер. с англ. Ю.И. Манина. М.: Мир, 1976. 400 с
9. Будзко В.И., Беленков В.Г., Кейер П.А. К выбору варианта построения катастрофоустойчивых информационно-телекоммуникационных систем // Системы и средства информатики. 2003. вып 13. М.: Наука, 2003. С. 16–40.
10. Будзко В.И., Беленков В.Г., Кейер П.А. Проблемы создания катастрофоустойчивых автоматизированных систем банковских расчетов // Системы и средства информатики. 2002. Вып 12. М.: Наука, 2002. С. 48–57.
11. Браверман Э.М., Мучник И.Б. Структурные методы обработки эмпирических данных. М.: Наука, 1983. 464 с.
12. Брук П.А. Управление жизненным циклом изделия в судостроении. Система PLM Teamcenter Enterprise компании EDS // Судостроение, СПб, 2002. № 6.
13. Брук П.А., Стародубов В.А. PLM — от аналитики к практике//CAD/CAM/CAE Observer. Рига, 2004. №2. С. 8–11.
14. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Теория и системы управления. 2001. № 1. С. 5–22.
15. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Теория и системы управления. 2001. № 2. С. 5–21.
16. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунев Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М.: Физматлит, 2000.
17. Введение в топологию / Ю.Г. Борисович, Н.М. Близняков, Я.А. Израилевич, Т.Н. Фоменко. – М.: Физматлит, 1995. 416 с.
18. Велихов Е.П., Бетелин В.Б., Кушниренко А.Г. Промышленность, инновации, образование и наука в России/ Е.П. Велихов, В.Б. Бетелин, А.Г. Кушниренко; Научно-исследовательский институт системных исследований РАН. М.: Наука, 2009. 141 с.
19. Военно-космическая деятельность России - истоки, состояние, перспективы. Труды научно-практической конференции. СПб.: Изд-во «Левша. Санкт-Петербург», 2005. 122 с.
20. Вонт Р., Перинг Т., Тенненхау Д. Адаптивные и проактивные компьютерные системы // Открытые системы, октябрь, 2003.
21. Гаврилов Д.А. Управление производством на базе стандарта MRPII: Принципы и практика. СПб.: Питер, 2002. 250 с.
22. Гладкий А.В. Формальные грамматики и языки. М.: Наука, 1973. 368 с.
23. ГОСТ Р ИСО 10303-11-2000. Системы автоматизации производства и их интеграция. Представление данных об изделии и обмен этими данными. Часть 11. Методы описания. Справочное руководство по языку EXPRESS.
24. Городецкий В.И., Карсаев О.В., Самойлов В.В., Серебряков С.В. Инструментальные средства для открытых сетей агентов.- Известия РАН. Теория систем и управления.- М.: Наука. 2008, вып. 3 – с.106-124.
25. Демин В. ERP-системы: российская специфика // «Сетевой журнал». 2001. №5. С. 15–20.
26. Дзюбановский С.А., Озерянный Н.А. Системы автоматического управления с реконфигурацией // Измерение, контроль, автоматизация. 1990. № 4(76). С. 62–80.

27. *Дирк ван дер Верф, Фолькнер Ронге.* Мониторинг в России. М.: Интердизайн, 1998. 188 с.
28. *Дмитров А.* Сервисно-ориентированная архитектура в современных моделях бизнеса. М.: Наука. 2006. С. 224.
29. *Зацаринный А.А., Шабанов А.П.* Ситуационные центры: информация – процессы – организация // Элетросвязь. 2011. №6. С. 42–46
30. *Ильин Н.И., Демидов Н.Н., Новиков Е.В.* Ситуационные центры. Опыт, состояние, тенденции развития. М.: МедиаПресс, 2011. 336 с.
31. *Калинин В.Н.* О задаче оптимального управления активными подвижными объектами // Дифференциальные уравнения. 1981. №12. С. 2136–2143.
32. *Калинин В.Н., Соколов Б.В.* Оптимальное планирование процесса взаимодействия активных подвижных объектов // Дифференциальные уравнения. 1985. №5. С. 752–757.
33. *Калинин В.Н., Соколов Б.В.* Динамическая модель и алгоритм оптимального планирования комплекса работ с запретами на прерывание // Автоматика и телемеханика. 1987. №1. С. 106–114.
34. *Калинин В.Н.* Теоретические основы управления космическим аппаратом на основе концепции активного подвижного объекта. СПб.: ВИКУ им. А.Ф. Можайского. 1999. 190 с.
35. *Калинин В.Н., Соколов Б.В.* Многомодельное описание процессов управления космическими средствами // Теория и системы управления. 1995. №1. С. 149–156.
36. *Каргин В.А., Майданович О.В., Охтилев М.Ю.* Автоматизированная система информационной поддержки принятия решений по контролю в реальном времени состояния ракетно-космической техники // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. Т. 53. № 11. С. 20–23.
37. *Каргин В.А., Майданович О.В., Россиев А.Ю.* Автоматизированная система управления подготовкой и пуском ракет космического назначения как корпоративная информационная система // Информационно-измерительные и управляющие системы. №7. Т. 8. 2010. С. 78
38. *Клир Дж.* Системология. Автоматизация решения системных задач. М.: Радио и связь, 1990.
39. *Коберн А.* Современные методы описания функциональных требований к системам: Пер. с англ. – М.: Издательство «ЛЮРИ», 2002. 264 с.
40. *Колчин А.Ф., Овсянников М.В., Стрекалов А.Ф., Сумароков С.В.* Управление жизненным циклом продукции. М.: Анахарсис, 2002. 304 с.
41. Компас в мире сервис-ориентированной архитектуры (SOA): ценность для бизнеса, планирования и план развития предприятия / Н.Бьерштейн, С.Боуз, К.Джонс и др.: пер. с англ. – М.: КУДИЦ-ПИРЕСС, 2007.
42. *Круглов Г.А., Кутин А.М.* Мониторинг и ресурсосбережение в системах отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Челябинск: РЕКПОЛ, 1998. 192 с.
43. *Крымская А.С., Гранкина Е.Ю.* Управление знаниями: аннотированный библиографический указатель (1993-2007) / отв. ред. Р.С. Гилдревский – СПб.-Изд-во “Европейский Дом”, 2009. 332 с.
44. *Кульга К.С.* Автоматизация технической подготовки и управления производством на основе PLM — системы / К.С. Кульга. — М.: Машиностроение, 2008. 256 с.
45. *Кульга К.С.* Особенности внедрения на предприятиях и методы интеграции CAD/CAM/PDM/FRP/MRP/MES/PLM и ERP-систем // САПР и графика. 2008, №3. С. 91–94.
46. *Левин С.Ф.* Техническое обеспечение эксплуатации изделий авиационной и ракетно-космической техники / Конструкции из композиционных материалов. 2001. №4.

47. Леньшин В.Н., Куминов В.В. Производственные исполнительные системы (MES) – путь к эффективному предприятию // Мир компьютерной автоматки. 2002. №1–2. С. 53–59.
48. Луцкий С.Я. и др. Корпоративное управление техническим перевооружением фирм: Учебное пособие / С. Я. Луцкий, А. Я. Ландсман. Под ред. А. Г. Поршнева. — М.: Высшая школа, 2003. 319 с.
49. Майданович О.В. Новая интеллектуальная информационная технология мониторинга состояния и управления космическими средствами в реальном масштабе времени // Сборник трудов XXVII Межведомственной научно-технической конференции космодрома Плесецк «Научно-технические аспекты совершенствования эксплуатации существующих и испытаний перспективных образцов ракетно-космической техники в современных условиях». Космодром «Плесецк». 2010. С. 39–44.
50. Майданович О.В., Каргин В.А. Автоматизированная система информационной поддержки принятия решений по контролю в реальном времени состояния ракетно-космической техники // Известия ВУЗОВ. Приборостроение. 2010. №11. С. 20–23.
51. Майданович О.В., Охтилев М.Ю., Куссуль Н.Н., Соколов Б.В., Цивирко Е.Г., Юсупов Р.М. Междисциплинарный подход к оцениванию и анализу эффективности информационных технологий и систем // Приборостроение. 2010. Т. 53. № 11. С. 7–16.
52. Майданович О.В., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В. Методологические и методические основы создания единой информационно-вычислительной среды для системы воздушно-космической обороны // Сборник материалов Пятой Всероссийской научно-практической конференции «Перспективные системы и задачи управления». М., 2010. С. 172–175.
53. Майданович О.В., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М., Цивирко Е.Г. Количественное и качественное оценивание влияния информационных технологий на эффективность систем управления сложными объектами // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды Международной научной школы МА БР-2010 (Санкт-Петербург, 6–10 июля, 2010 г.) СПб.: ГУАП, 2010. С. 79–84.
54. Майданович О.В., Соколов Б.В., Охтилев М.Ю. Новый подход к созданию интеллектуальных информационных технологий проектирования систем мониторинга состояния сложных объектов // XI международная научно-техническая конференция 12–14 мая 2010 г. «Кибернетика и высокие технологии XXI века»: Сборник докладов в 2-х томах. Воронеж: НПФ «Саквее», 2010. Т. 2. С. 601–608
55. Майданович О.В., Соколов Б.В., Птушкин А.И., Охтилев М.Ю. Интеллектуальные информационные технологии управления жизненным циклом сложных технических объектов / Региональная информатика «РИ-2010». XII Санкт-Петербургская Международная Конференция. Санкт-Петербург, 20-22 октября 2010 г. Труды конференции \ СПОИСУ. – СПб, 2010. С. 64–65.
56. Майданович О.В., Соколов Б.В., Птушкин А.И., Потрясаев С.А., Охтилев М.Ю. Организация и научно-методические основы снижения риска возникновения аварий на промышленных объектах на основе внедрения замкнутой системы управления их жизненным циклом // Моделирование и анализ безопасности и риска в сложных системах: Труды Международной научной школы МА БР-2010 (Санкт-Петербург, 6–10 июля, 2010 г.) СПб.: ГУАП, 2010. С. 79–84.
57. Мануйлов Ю.С., Калинин В.Н., Гончаревский В.С. и др. Управление космическими аппаратами и средствами наземного комплекса управления (Учебник). СПб., ВКА имени А.Ф.Можайского, 2010. 346 с.

58. *Мартынов Д.* Проблемы быстрорействия систем ERP — системный кризис // Автоматизация управления компаниями. 2007. №10. С. 10–15.
59. *Мертенс П.* Интегрированная обработка информации. Операционные системы в промышленности. Учебник/пер. с нем. М.А.Костровой. М.: Финансы и статистика, 2007. 424 с.
60. *Миронов А.Н.* Теоретические основы многомодельного прогнозирования долговечности комплексов. СПб: ВИКУ им. А.Ф. Можайского, 2001. 250 с.
61. Мониторинг геотехнологических систем в газодобывающих регионах: задачи, особенности и методология выполнения / А. И. Березняков и др. М: Газпром, 1998..
62. *Морозов В.П., Дымарский Я.С.* Элементы теории управления ГАП: Математическое обеспечение. Л.: Машиностроение, 1984. 245 с.
63. *Москвин Б.В., Павлов А.Н., Соколов Б.В., Колтин М.А.* Комбинированные модели и алгоритмы планирования децентрализованной обработки информации // Научно-технический семинар «Управление в распределенных сетевых системах» и мультиагентных системах», Россия, Санкт-Петербург, 12–14 октября 2010 г. Материалы семинара. СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2010. С. 67–69.
64. *Николаев В.И., Брук В.М.* Системотехника: методы и приложения. Л.: Машиностроение, 1985. 210 с.
65. *Охтилев М.Ю.* Один из подходов к проблеме автоматизации анализа измерительной информации в реальном времени // Программирование. 2001. № 6. С.329–335.
66. *Охтилев М.Ю.* Основы теории автоматизированного анализа измерительной информации в реальном времени. Синтез системы анализа. – СПб.: ВИКУ им. А.Ф.Можайского, 1999. 160 с.
67. *Охтилев М.Ю., Соколов Б.В.* Теоретические и прикладные проблемы разработки и применения автоматизированных систем мониторинга состояния сложных технических объектов //Труды СПИИРАН. Отделение информационных технологий и вычислительных систем. СПб., 2002. Вып.1. Т.1. С. 167–180.
68. *Охтилев М.Ю.* Использование топологического пространства вычислений при оценивании технических состояний объектов управления // Изв. вузов. Приборостроение. 2000.Т.43. №7. С27–30.
69. *Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
70. *Охтилев М.Ю., Соколов Б.В.* Методологические проблемы комплексного моделирования жизненных циклов мобильных интеллектуальных информационных технологий. //В кн. Фундаментальные основы информационных технологий и систем: программа фундаментальных исследований Отделения информационных технологий и вычислительных систем. Труды Института системного анализа РАН. Т.9. М.: Едиториал, УРСС, 2005. С. 186–193.
71. *Панкратова Н.Д., Курилин Б.И.* Концептуальные основы системного анализа рисков в динамике управления безопасностью сложных систем // Проблемы управления и информатики. 2000. №6 С. 120–132
72. *Перминов А.Н., Пеньков М.М., Птушкин А.И.* Методика оптимального распределения средств на модернизацию сложных технических комплексов // Ремонт, восстановление, модернизация. 2005. №3. С. 12–15.
73. *Перминов А.Н., Прохорович В.Е., Птушкин А.И.* От мониторинга технического состояния ракетно-космической техники к мониторингу ее жизненного цикла // В мире НК. 2004. №4(26). С. 8–11.
74. *Перминов С.Б.* Информационные технологии как фактор экономического роста / С.Б.Перминов: [отв.ред. Е.Н.Егорова]; Центр.экон.-мат. Институт РАН. М.: Наука, 2007. С. 195.

75. *Потрясаев С.А.* Решение задачи комплексного планирования реконфигурации катастрофоустойчивых систем // Известия Вузов. Приборостроение. 2006. Т.49. №11. С. 54–59.
76. *Потрясаев С.А., Петрова И.А., Иконникова А.В., Соколов Б.В.* Динамическая модель комплексного планирования модернизации и функционирования информационной системы // Известия Вузов. Приборостроение. 2008. Т.51. №11. С. 62–68.
77. *Потрясаев С.А., Петрова И.А., Иконникова А.В., Зайчик Е.М.* Комбинированный алгоритм многокритериального синтеза технологий управления информационной системой виртуального предприятия / Труды института системного анализа РАН. Поддержка принятия решений. Под ред. А.Б. Петровского. М.: Издательство ЛКИ, 2008. Т.35. С. 8–15.
78. *Резников Б.А.* Системный анализ и методы системотехники. М.: МО СССР, 1990. 522 с.
79. *Савельева Е.А.* Аналитический обзор методов анализа и оптимизации сети мониторинга. Препринт №IBRAE – 2000-03. М.: Институт безопасности развития атомной энергетики РАН, 2000. 39 с.
80. *Сандип Лахари.* RFID. Руководство по внедрению. Пер. с англ. - М.: КУДИС-ПРЕСС, 2007. 312 с.
81. *Словарь терминов и их определений по космическим средствам.* М.: МО СССР, 1983.
82. *Смирнов А.К., Твердохлебов В.А.* Управление жизненными циклами сложных систем. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2000.
83. *Соколов Б.В., Дилоу-Рагния Э.А., Колтин М.А., Семенов О.И., Григорьев К.Л.* Полиmodelное описание процесса модернизации унаследованной информационной системы на основе сервис-ориентированного подхода // Приборостроение, 2010. Т. 53. № 11. С. 46–55.
84. *Соколов Б.В.* Комплексное планирование операций и управление структурами в АСУ активными подвижными объектами. М.: МО СССР, 1992. 232 с.
85. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Комплексное моделирование функционирования автоматизированной системы управления навигационными космическими аппаратами // Проблемы управления и информатики. 2002. №5. С. 24–41.
86. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Концептуальные основы оценивания и анализа качества моделей // Теория и системы управления. 2004. №6. С. 5–16.
87. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Роль и место некибернетики в современной структуре системных знаний // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. №6. С. 11–21.
88. *Соколов Б.В., Юсупов Р.М.* Квалиметрия моделей и полиmodelных комплексов: концептуальные основы и пути развития // Мехатроника, автоматизация, управление. 2004. №12. С. 2–10.
89. *Соловьева И.В., Соколов Б.В.* Постановка задачи коррекции планов работы корпоративной информационной системы с использованием метода позиционной оптимизации // Приборостроение. 2010. Т.53, №11. С. 67–73.
90. *Соломенцев Ю.М.* Современное автоматизированное производство // Вестник МГТУ “Станкин”. 2008. №4. С. 125–132.
91. *Стародубов В.А.* Единое информационное пространство на платформе. PLM//CAD/CAM/CAE Observer. 2005. №3.
92. *Стародубов В.А.* Сила и слабость PLM // CAD/CAM/CAE Observer. 2005. №1.
93. *Стародубов В.А.* Управление жизненным циклом изделий, от концепции до реализации. СПб.: ЗАО “Стерлинг Групп СПб”, 2006. 120 с.
94. *Судов Е.В.* Интегрированная информационная поддержка жизненного цикла машиностроительной продукции. Принципы. Технологии, Методы, Модели. М.: ООО Издательский дом «МВМ», 2003. 264 с.

95. *Теллин С.* Интернет и Адаптивные Инновации: переход от управления к координации в современных организациях // СУБД № 5–6, 1996. С. 68–79.
96. *Ту Дж., Гонсалес Р.* Принципы распознавания образов / Пер. с англ. И.Б. Гуревича; Под ред. Ю.И. Журавлева. – М.: Мир, 1978. 411 с.
97. Федеральный закон «О промышленной безопасности опасных промышленных объектов» №116-ФЗ (с изменениями, внесенными Федеральным законом от 7.08.2000 № 122-ФЗ).
98. *Финкенцеллер, Клаус.* Справочник по RFID. Теоретические основы и практическое применение индуктивных радиоприборов, транспондеров и бесконтактных чип-карт / К. Финкенцеллер; пер. с нем. Софунханова Н.М. – М.: Додэка–XXI, 2008. 496 с.
99. *Черняк Л.* SOA – шаг за горизонт // Открытие системы. 2003. №9. С. 34–40.
100. *Черняк Л.* Адаптируемость и адаптивность // Открытые системы. 2004. №9. С. 30–35.
101. *Черняк Л.* От адаптивной инфраструктуры к адаптивному предприятию // Открытые системы. 2003. №10. С. 32–39.
102. *Шехтман Л.И.* Системы телекоммуникации: проблемы и перспективы. М.: «Радио и связь», 1998.
103. *Юсупов Р.Ф., Соколов Б.В.* Комплексное моделирование рисков при выработке управленческих решений в сложных организационно-технических системах // Проблемы управления и информатики. 2006. №1–2. С. 39–59.
104. *Юсупов Р.Ф.* Наука и национальная безопасность. СПб.: Наука, 2006 290 с.
105. *Boris Sokolov, Rafael Yusupov, Michael Okhtilev, Oleg Maydanovich.* Influence Analysis of Information Technologies on Progress in Control Systems for Complex OBJECTS // New Trends in Information Technologies. Proceedings of International Conference Information-Interaction-Intellect (iii2010), Varna, Bulgaria, June 23–27. P. 78–91.
106. Building an adaptive enterprise. Linking business and IT, October 2003, Hewlett-Packard.
107. *Deltorf B.* Disponibilité des moyens sol de la base de lancement d'Ariane: le compte est bon // Qual.espace mag. 2004. №41. P. 44–51.
108. HP Utility Data Center. Technical White paper, October 2001.
109. HP virtualization. Computing without boundaries or constraints. Enabling an adaptive enterprise, 2003, Hewlett-Packard.
110. IBM, “Autonomic Computing: IBM’s Perspective on the State of Information Technology”.
111. Life-Cycle Management: State of the art theory and practice // International Journal of life cycle assessment. V.7. №6. 2002.
112. *Sokolov B.V., Yusupov R.M.* Influence of Computer Science and Information Technologies on Progress in Theory and Control Systems for Complex Plants // Keynote Papers of the 13th IFAC Symposium on Information Control Problems in Manufacturing, Moscow, Russia, June 3–5, 2009. P. 54–69.
113. *Sokolov B., Ivanov D., Kaeschel J.* A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations with structure dynamics considerations // European Journal of Operational Research. 2010. 200(2). P. 409–420.
114. *Sokolov B., Ivanov D.* Adaptive Supply Chain Management. London: Springer, 2010. 269 p.
115. <http://npkrekod.ru/>

Зеленцов Вячеслав Алексеевич — д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории информационных технологий в системном анализе и моделировании СПИИРАН. Область научных интересов: системный анализ, теория надежности, модели и методы принятия решений в сложных организационно-технических системах с использованием аэрокосмических данных. Автор 250 научных трудов, в том числе 3 монографий и 3 учебников. v.a.zelentsov@gmail.ru, www.litsam.ru; СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; р.т. +7(812) 328–0103, факс +7(812) 328–4450.

Zelentsov Viacheslav Alekseevich — Doctor of Sciences (Tech), Prof., Leading researcher, Laboratory for Information Technologies in Systems Analysis and Modeling, SPIIRAS. Research interests: analyses of systems, reliability theory, mathematical models and methods of decision-making support in complex technical-organizational systems with the use of aerospace data. The number of publications 250, including 3 monograph and 3 textbook. v.a.zelentsov@gmail.ru, www.litsam.ru; SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812) 328–0103, fax +7(812) 328–4450.

Ковалев Александр Павлович — д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ; советник Генерального директора Федерального государственного унитарного предприятия КБ "Арсенал" им. М.В.Фрунзе. Область научных интересов: системный анализ, теория надежности, модели и методы принятия решений в сложных организационно-технических системах с использованием аэрокосмических данных. Автор 160 научных трудов. kbarsenal@peterlink.ru, http://www.kbarsenal.ru; КБ "Арсенал" им. М.В.Фрунзе, ул. Комсомола, д. 1-3, Санкт-Петербург, 195009, РФ; р.т. факс +7(812)542-20-60

Kovalev Alexander Pavlovich — Doctor of Sciences (Tech), Prof., Honored scientist of Russian Federation; Adviser to General Director, The Arsenal Design Bureau named after M.V. Frunze Federal State Unitary Enterprise. Research interests: analyses of systems, reliability theory, mathematical models and methods of decision-making support in complex technical-organizational systems with the use of aerospace data. The number of publications 160. kbarsenal@peterlink.ru, http://www.kbarsenal.ru; The Arsenal Design Bureau named after M.V. Frunze, 1-3 Komsomola street, 195009, St. Petersburg, Russia; office phone, fax +7(812) 542–2060.

Охтилев Михаил Юрьевич — д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ; заместитель генерального конструктора Закрытого акционерного общества "Специального конструкторского бюро «ОРИОН» («СКБ «ОРИОН»»). Область научных интересов: системы поддержки принятия решений, теория программирования (Computer Science), теория алгоритмов, системы реального времени, математическая логика, математическая лингвистика, системы искусственного интеллекта. Автор более 190 научных трудов. oxt@mail.ru; ЗАО «СКБ «ОРИОН», ул. Тобольская, д. 12, Санкт-Петербург, 194044, РФ; р.т. +7(812) 327–1056, факс +7(812) 327–1056.

Okhtilev Mikhail Yurjevich — Doctor of Sciences (Tech), Prof., Honored scientist of Russian Federation; Deputy general designer of Special design organization «Orion» (SDO «Orion»). Research interests: systems of support of decision-making, theory of programming (Computer Science), theory of algorithms, systems of real time, mathematical logic, mathematical linguistics, systems of artificial intelligence. Author more than 190 publications. oxt@mail.ru; SDO «Orion», Tobolskaya str., 12, St.Petersburg, 194044, Russia; office phone +7(812) 327–1056, fax +7(812) 327–1056.

Соколов Борис Владимирович — д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ; заместитель директора по научной работе СПИИРАН. Профессор Соколов Б.В. специалист в области системного анализа и исследования операций. Область научных интересов: разработка научных основ теории управления структурной динамикой сложных организационно-технических систем. Автор 320 научных трудов, в том числе 3 монографий и 4 учебников. sokol@iias.spb.su; СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; p.t. +7(812) 328–0103, факс +7(812) 328–4450.

Sokolov Boris Vladimirovich — Doctor of Sciences (Tech), Prof., Honored scientist of Russian Federation; Deputy-Director for Research, SPIIRAS. Prof. Sokolov B.V. is a specialist in the field of systems analysis and operations research. Research interests: development of research fundamentals for the control theory by structural dynamics of complex organizational-technical systems. The number of publications 320, including 3 monograph and 4 textbook. sokol@iias.spb.su; SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812) 328–0103, fax +7(812) 328–4450.

Юсупов Рафаэль Мидхатович — член-корреспондент РАН, д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки и техники РФ, директор СПИИРАН, президент НП «НОИМ». Область научных интересов: теория управления, информатика, теоретические основы информатизации и информационного общества, информационная безопасность. Число научных публикаций — 390. СПИИРАН, 14-я линия, д. 39, Санкт-Петербург, 199178, РФ; тел. +7(812) 328–3311, +7(812) 328–3411, факс +7(812) 328–4450, e-mail: yusupov@iias.spb.su; www.spiiras.nw.ru.

Yusupov Rafael Midkhatovich — Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Sciences (Tech), Professor, Director, SPIIRAS, Honored scientist of Russian Federation, President of NP «NSS». Research interests: control theory, informatics, theoretic basics of informatization and information society, information security. Number of research publications: 390. SPIIRAS, 14th Line, 39, St.Petersburg, 199178, Russia; office phone +7(812)328–3311, +7(812)328–3411, fax +7(812) 328–4450, e-mail: yusupov@iias.spb.su; www.spiiras.nw.ru.

Поддержка исследований. Данная работа была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (гранты №№ 11-08-01016, 11-08-00767, 12-07-13119-офи-м-РЖД, 12-07-00302, 13-07-00279, 13-08-00702, 13-08-01250), Программы фундаментальных исследований ОНИТ РАН (проект №2.11), проекта ESTLATRUS 2.1/ELRI –184/2011/14 «Integrated Intelligent Platform for Monitoring the Cross-Border Natural-Technological Systems» (2012–2013 гг.), проекта ESTLATRUS/1.2/ELRI-121/2011/13 «Baltic ICT Platform».

Рекомендовано СПИИРАН, директор Юсупов Р.М., чл.-корр. РАН.
Статья поступила в редакцию 27.04.2013.

РЕФЕРАТ

Зеленцов В.А., Ковалев А.П., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М.
Методология создания и применения интеллектуальных информационных технологий наземно-космического мониторинга сложных объектов.

В статье предлагается новая интеллектуальная информационная технология (ИИТ), ориентированная на решение задач наземно-космического мониторинга сложных объектов. Данная технология базируется на междисциплинарной методологии и включает в себя результаты, полученные в различных фундаментальных и прикладных теориях. Одной из таких прикладных теорий, разрабатываемых авторами статьи, является теория управления структурной динамикой информационных систем, решающих задачи наземно-космического мониторинга сложных объектов. В рамках данной теории с единых позиций можно подойти как к решению задач структурно-функционального синтеза указанных информационных систем, так и оперативному решению задач конфигурирования и реконфигурации их структур в динамически изменяющейся обстановке. Более того, в отличие от широко представленных на практике существующих специализированных узких подходов и технологий решения задач мониторинга и управления сложными объектами, предлагаемая методология и методические основы интеллектуального интерактивного мониторинга сложных объектов получила широкую и успешную реализацию в различных предметных областях (космонавтика, атомная энергетика, экология, логистика и т. п.). В статье приводятся примеры реализации данной технологии при подготовке и пуске ракет-носителей и при проведении наземно-космического мониторинга сложных объектов в кризисных ситуациях. Открываются интересные перспективы по использованию данной технологии и соответствующих систем наземно-космического мониторинга в решении приграничных и глобальных экологических проблем. В настоящее время рассматривается возможность реализации ИИТ в проекте создания глобальной системе аэрокосмического мониторинга (проект МАКСМ).

SUMMARY

Zelentsov V.A., Kovalev A.P., Okhtilev M.Y., Sokolov B.V., Yusupov R.M.
Creation and application methodology of the intelligent information technology of complexity objects space and ground based monitoring.

The suggested intelligent information technology (IIT) of complexity objects land-to-space monitoring is based on interdisciplinary methodology of creation and application of any information technology. Besides, it lets consider functioning dynamics and possible structure degradation of complex objects in critical situations, and operate structural dynamics of complex objects. Moreover methodological and techniques foundations of structural dynamics control theory for structure-functional synthesis of informational monitoring systems are proposed in the paper. Unlike existing systems, the IIT is universal, it includes the combined methods and algorithms of decision making in various classes of monitoring problems, forecasting and safety control of complex objects regardless to their appointment. Now IIT is successfully implemented in monitoring systems serving ground and space branch, nuclear engineering, and the chemical industry. In the paper short review of existed land-to-space monitoring technologies are considered. IIT also can find applications in the situational centers, decision-support systems for management of emergency situations, monitoring of the difficult natural processes requiring processing and visualization of a considerable quantity of the diverse data.

The possibility of creation distributed, cross-border monitoring solutions for global ecosystems is supported by the IIT. The monitoring system mentioned is being used for the forecasting and the risk reducing of natural and anthropogenic accidents impacts. This is the reason for use the IMT as foundation of the actually nascent International Global Monitoring Aerospace System (IGMASS).