

# Методология и технология поддержки принятия управленческих решений на различных этапах жизненного цикла сложных организационно-технических объектов

*Б.В. Соколов,  
зам. дир. по научн. работе, д.т.н., проф., sokol@iias.spb.su,  
М.Ю. Охмилев  
г.н.с., д.т.н., проф., oxt@mail.ru,  
В.В. Бураков,  
в.н.с., д.т.н., проф.,  
СПИИРАН, г. Санкт-Петербург  
Д.А. Иванов  
проф. каф., д.э.н., проф., dmitry\_ivanov@mail.ru,  
Берл. школа экон. и права, г. Берлин, ГЕРМАНИЯ*

В докладе предлагается новая интеллектуальная информационная технология (ИИТ), и унифицированная программная платформа, ориентированные на решение задач принятия решений в АСУ сложными организационно-техническими объектами (СОТО). 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 доклада, является теория управления структурной динамикой автоматизированных систем (АС), решающих задачи мониторинга и управления сложными объектами. В рамках данной теории с единых позиций можно подойти как к решению задач структурно-функционального синтеза облика указанных АС, так и оперативному решению задач конфигурирования и реконфигурации их структур в динамически изменяющейся обстановке.

The suggested intelligent information technology (IIT) and unified program platform (UPP) of complexity objects monitoring and control are based on interdisciplinary methodology of creation and application of any information technology and many applied theories such as structure dynamics control theory, operation research, artificial intelligence. Besides, it lets consider functioning dynamics and possible structure degradation of complex objects in critical situations, and operate structural dynamics of complex objects.

## Введение

В настоящее время информация и знания все в большей мере становятся стратегическим ресурсом общества, его движущей производительной силой. На смену индустриальному этапу развития общества пришла новая эволюционная фаза, фаза информатизации и соответствующая общественно-экономическая формация – информационное общество, при котором наиболее эффективное и динамичное его развитие возможно на основе максимально полного использования имеющихся информационных ресурсов и средств их обработки, составляющих основу соответствующих информационных пространств. Главным ресурсом ускоренного развития современного информационного общества становятся знания, главным механизмом развития – цифровая экономика, основанная на знаниях. Главными технологиями цифровой экономики становятся новые информационные и коммуникационные технологии (ИКТ), которые уже фактически являются технологиями общего назначения также как технологии производства тепла и электроэнергии. Главной компонентой цифрового производства и в целом цифровой экономики станут разнообразные классы кибер-физических систем. Их повсеместное внедрение приведет к гораздо большему изменению, чем появление компьютеров и Интернета.

В перспективных КФС наряду с функциями позиционирования, контроля и диагностики также будут реализованы функции автоматического составления отчетов о состоянии соответствующей подсистемы контролируемого оборудования, в том числе, данных о всех возникающих неисправностях; об остатке ресурса изнашиваемых деталей; о ресурсе расходных материалов; загрузке оборудования и режиме его эксплуатации. Указанные возможности открывают широчайшие перспективы по автоматизации и интеллектуализации как самого цифрового производства продукции, так и ее обслуживания и эксплуатации во время послепродажного функционирования.

Ключевым элементом предлагаемого электронного обслуживания (e-maintenance) будет являться базирующееся на Web-технологиях дистанционное администрирование, мониторинг, тестирование, диагностика, прогнозирование состояния эксплуатируемых изделий, реконфигурация их структур, в случае возникновения аварийных и нестандартных ситуаций и отсутствии необходимых резервов.

Характерной особенностью современных сложных организационно-технических объектов (СОТО), в состав которых повсеместно войдут КФС, является наметившаяся устойчивая негативная тенденция, вызванная дальнейшим обострением одного из основных противоречий технико-экономической сферы в XXI веке, связанного с разрывом между уровнем и масштабами общественного производства и уровнем управления этим производством [1-9,12]. Это объясняется, прежде всего, нарастающим усложнением объектов и процессов управления и, соответственно, повышением меры ответственности за принимаемые решения (выбираемые управляющие воздействия), что настоятельно требует строгой регламентации и структуризации технологии управления или, другими словами, индустриализации управления на основе дальнейшей комплексной автоматизации всех видов деятельности, создания различных классов автоматизированных и информационных систем. При этом автоматизация предполагает применения комплекса технических, программных, организационных и прочих методов и средств с целью полного или частичного высвобождения человека от непосредственного участия в получении, передаче, хранении, обработке и использовании материалов, энергии и информации [10-11].

К СОТО, обладающим вышеперечисленными характеристиками, в настоящее время, безусловно, можно отнести существующие и проектируемые территориально распределённые производственные и сервисные системы, входящие в состав международных корпораций и холдингов, многочисленные транспортные и логистические системы, городское хозяйство и государственные структуры, органы военного управления, вооружение и техника и пр., так как все они 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 на каждом из их уровней, территориальную распределённость и мобильность компонентов, наличие, как правило, режима функционирования в реальном времени (зачастую, в жестком реальном времени) [8].

Временные задержки и ошибки в управлении, вызванные неверным решением задачи анализа состояний и выдачи управляющих воздействий СОТО, могут привести к необратимым негативным последствиям – срыву боевой задачи, отказам, различным по своим последствиям авариям и даже катастрофам (примеры – катастрофа на Чернобыльской АЭС, гибель АПЛ «Курск», многие авиакатастрофы). В наибольшей степени эта проблема обостряется при возникновении нештатных ситуаций – отклонении поведения СОТО от ожидаемого, вызванного различными внешними и внутренними факторами. В большинстве случаев процедуры анализа состояния и формирования управляющих воздействий СОТО в таких ситуациях не автоматизированы. Решение этой задачи возлагается на операторов.

Практика управления различными СОТО показывает, что именно в этих ситуациях операторы не справляются с задачей оценки и контроля функциональных состояний СОТО, что и приводит к различным негативным последствиям [3-7]. Увеличение количества контролируемых параметров и требование обеспечить управление СОТО в реальном масштабе времени (РМВ), в том числе при возникновении нештатных ситуаций, обуславливают необходимость постоянного совершенствования процессов сбора, обработки, интерпретации и анализа (технологии мониторинга) измерительной информации, а также – создания специальных, принципиально новых по идеологии построения и функциональным возможностям комплексов автоматизированной интеллектуальной обработки и анализа информации, функционирующих в РМВ. Создание и внедрение таких комплексов в наибольшей степени актуально там, где мониторинг состояний СОТО осуществляют операторы по показаниям многочисленных датчиков, при анализе донесений и пр. При этом в условиях ограниченных финансово-временных ресурсов особо актуальными становятся вопросы проектирования и внедрения унифицированных языковых инструментальных средств и методов представления и обработки данных, информации и знаний о процессах функционирования СОТО в РМВ, использование которых позволит в масштабах, например, Вооруженных сил, создать единый многофункциональный комплекс автоматизации, заменяющий все существующие ныне узкоспециализированные программные системы анализа и контроля состояния СОТО.

Всё это обуславливает необходимость оперативного формирования таких процедур проактивного мониторинга и управления (ПМУ), при которых обнаружение, локализация и ликвидация сбоев, отказов нештатных аварийных ситуаций будет происходить значительно раньше, чем станут проявляться возможные их последствия.

### **Методологические и технологические основы поддержки принятия решений на различных этапах жизненного цикла СОТО**

Центральная роль в обеспечении необходимого качества управления СОТО принадлежит интегрированным системам поддержки принятия решений (СППР) и их ядру – специальному программно-математическому обеспечению (СПМО) поддержки принятия решений. СППР предназначена для информационной, методической и инструментальной поддержки процессов подготовки и принятия решений лицами, принимающими решение (ЛПР) на всех этапах управления.

Целью внедрения СППР является повышение оперативности, обоснованности и эффективности деятельности органов управления за счет использования передовых ИТ, оперативного формирования на их основе комплексной аналитической информации, необходимой для выработки и принятия решений.

Говоря о методологических основах проектирования и использования современных и перспективных СППР, целесообразно остановиться на принципах создания и функционирования СППР, объединив их исходя из уровня обобщения в три группы: методологические, технологические и организационно-технические [12-14].

К числу методологических принципов создания и функционирования СППР следует отнести принципы неокончательности решений, поглощения разнообразия, иерархической компенсации, дополнительности, полимодельности и многокритериальности, самоподобного рекурсивного описания и моделирования объектов исследования, гомеостатического баланса взаимодействия; преодоление принципа разделения; принципы, положенные в основу создания онтологий; принципы Ле-Шателье–Брауна (любое внешнее воздействие порождает ответную реакцию самоорганизации, направленную на ослабление этого эффекта); принципы декомпозиции и агрегирования; принцип рационального многокритериального компромисса при наличии неустраняемых пороговых информационных и временных ограничений; принцип интерактивного итерационного формирования решения в условиях неопределенности и противоречивости исходной информации.

К числу технологических принципов создания и функционирования СППР следует отнести объектно-ориентированный подход к описанию предметной области (ПрО) СППР и соответствующего регионального СЦ; сервисно-ориентированные технологии построения систем сбора, обработки, анализа данных, информации и дистрибуции знаний; персонализированный пользовательский интерфейс, автоматически настраиваемый к условиям используемого числа распределенного аудио-, видеозаписывающего оборудования телеконференцсвязи и формирующий мультимедийный вывод с учетом информационной значимости передаваемых потоков, технического оснащения зала ситуационного центра и возможности клиентских устройств; организационное, информационное и функциональное единство в рамках единого информационного пространства и унифицированной программной платформы на базе единой модели представления данных; технологии распределенной разработки, непосредственное участие экспертов (аналитиков) и инженеров по знаниям в концептуальном и логическом проектировании онтолого-ориентированных баз знаний, построении сценариев интеллектуальной оперативно-аналитической обработки информации с опорой на принцип «программирование без программирования»; комплексное (системное) субъектно-объектное моделирование исследуемой ПрО, а также развивающихся в ней

ситуаций, с широким набором описательных и предсказательных моделей (комбинированное использование аналитико-имитационных, логико-лингвистических, логико-вероятностных, логико-алгебраических, гибридных моделей и полимодельных комплексов); открытый исходный код и отсутствие лицензионных отчислений зарубежным производителям; кросс-платформенная поддержка.

К организационно-техническим принципам создания и функционирования СППР следует отнести системности, модульности, адаптируемости (гибкость), непрерывности развития (открытости), стандартизации и унификации, «новых задач», надежности, совместимости, однократность ввода данных и информации, «дружелюбность», эффективности (окупаемость), безопасности.

В целом научные основы создания современных и перспективных СППР должны разрабатываться в рамках интенсивно развиваемой в настоящее время некибернетики, под которой понимается междисциплинарная наука, ориентированная на разработку методологии постановки и решения проблем анализа и синтеза интеллектуальных процессов и систем управления сложными объектами произвольной природы, обладающие свойством избирательности и операциональной замкнутости, а также способностью моделировать среду и себя в ней (кибернетика наблюдения, включающего и самого наблюдателя). [12-14]. Предмет исследования некибернетики является разработка научных основ формализации и решения проблем структурно-функционального анализа, мониторинга и синтеза адаптивных и самоорганизующихся интеллектуальных технологий и систем управления (АДИССУ) сложными объектами произвольной природы (СОПП), а целями исследования - создание кибернетических систем нового поколения, обладающих следующими основными свойствами: самосознание и проактивность, способностями к переконфигурированию (самоконфигурированию), самосовершенствованию, самооптимизации, самолечению, самосохранению, обладающие общественным поведением, коммуникабельностью, благожелательностью и правдивостью.

В целом при разработке и развитии СППР для обеспечения технологической независимости российских разработчиков от зарубежных производителей в области проектирования, создания, эксплуатации и модернизации модельно-алгоритмического, технического, информационного и программного обеспечения систем управления целесообразно ориентироваться на методологию и системотехнические решения, реализованные к настоящему времени при создании национальной интеллектуальной аналитической платформы (НИАП), в основу которой положена единая доверенная унифицированная многофункциональная информационно-коммуникационной инфраструктура проектирования, разработки, развертывания и эксплуатации распределенных систем поддержки принятия решений в АСУ СОТО.

Новизна предлагаемой технологии использования НИАП при построении прикладных СППР обеспечивается внедрением интеллектуальных технологий аналитической обработки и анализа данных и знаний, интеллектуальных систем поддержки принятия решений; реализацией концепции единых информационных ресурсов, единого информационного пространства, обеспечивающих интеграцию разнородной полной, непротиворечивой, достоверной и актуальной информации; развертыванием систем сбора и хранения разнородной информации на основе оперативно-аналитической и интеллектуальной обработки данных с использованием технологий потоковой обработки; использованием единых стандартов сбора, передачи, хранения, обработки и анализа данных и знаний, ориентация на национальные и международные стандарты и протоколы.

Технология обработки и анализа данных при решении задач СППР СОТО на базе НИАП предполагает реализацию следующих основных этапов:

1. Количественная и качественная параметризация разнородных данных, консолидация данных;
2. Предметная ориентация, формирование онтологии предметной области;
3. Поиск, извлечение, интерпретация знаний, формирование репозитария знаний;
4. Построение системы моделей объектов предметной области;
5. Разработка и проверка гипотез, имитационное моделирование;
6. Формирование модельных оценок.

Архитектура СППР АСУ СОТО на базе НИАП предполагает наличие следующих основных элементов, выполняющих соответствующие функции:

1. Подсистема сбора – загрузка и консолидация данных из разнородных ре-сурсов:
  - сбор и структуризация нечетких сведений;
  - загрузка событийных данных;
  - загрузка данных приложений, корпоративных и наследуемых систем;
  - измерительная информация объектов контроля в РМВ.
  - извлечение данных из различных источников;
  - выделение наиболее значимых данных;
  - очистка (фильтрация), повышение качества, достоверности данных, сжатие (формирование существенных) наборов данных.
2. Подсистема хранения – оперативное и долговременное хранение:
  - разделение данных для оперативной обработки и решение задач интеллек-туального анализа;
  - оптимизация структур данных;
  - формирование данных на основе единой модели данных (метаданные);
  - формирование базы данных информации;
  - наполнение базы знаний;
  - использование единой системы справочников, классификаторов.
3. Подсистема обработки и анализа – интеллектуальный анализ данных (ИАД):
  - информационно-поисковый анализ;
  - оперативная аналитическая обработка (OLAP – On-line Analytical Processing);
  - интеллектуального анализа данных (DM – Data mining);
  - полимодельное исследование;
  - комплексное имитационное моделирование;
  - автоматический синтез алгоритмов и схем программ ИАД.
4. Подсистема прогнозирования – предиктивная аналитика:

- анализ текущих и исторических данных с целью прогноза;
  - определение параметров (сущностей), влияющих на прогнозируемые со-бытия;
  - формирование модели предиктивной аналитики;
  - аналитика «по запросу».
5. Подсистема генерации решений – генерация и выбор решений, генерация планов, объяснительная возможность:
- логический вывод рекомендаций на основе онтологии предметной области;
  - выбор оптимальных/квазиоптимальных альтернатив решений;
  - обоснование /объяснение сформированных выводов и решений.
6. Подсистема визуализации и отчетности – интерпретация знаний:
- интерактивная визуализация (инфографика), таблицы, тренды, диаграммы, 2D-, 3D-мнемосхемы;
  - пространственная визуализация (интеграция с ГИС);
  - использование инструментальных панелей;
  - использование типовых и настраиваемых корпоративных шаблонов.
- Тем самым, НИАП СОТО призвана сформировать единую информационно-технологическую инфраструктуру проектирования, разработки, развертывания и эксплуатации СППР АСУ СОТО на базе отечественных технологий и на основе внедрения технологической цепочки «данные – информация – знания – решения».

### Заключение

В докладе представлены научные и практические результаты, полученные его авторами за последние 10 лет в рамках активно развиваемой ими прикладной теории проактивного мониторинга и управления структурной динамикой сложных организационно-технических объектов (СОТО) и которые, как показали исследования могут использоваться в различных предметных областях (космонавтика, атомная энергетика, логистика, государственное управление и т.п.).

Новизна указанной теории состоит в том, что ее авторам удалось, базируясь на сформулированных ими концепциях проактивной управляемой структурной динамики СОТО и инвариантности состояний СОТО и состояний распределенного асинхронного вычислительного процесса, их описывающих, осуществить переход от эвристических методов алгоритмизации этих процессов к последовательности целенаправленных теоретически и методически обоснованных и взаимосвязанных этапов построения как алгоритмов анализа многоструктурных макро и микросостояний СОТО, так и алгоритмов проактивного управления ими.

*Исследования, выполненные по данной тематике, проводились при финансовой поддержке ведущих университетов Российской Федерации: СПб ГПУ (мероприятие 6.1.1), ИТМО (субсидия 074–У01), Программы НТС Союзного государства «Мониторинг-СГ» (проект 1.4.1-1), грантов РФФИ (№№15-07-08391, 15-08-08459, 16-07-00779, 16-08-00510, 16-08-01277, 16-29-09482-офи-м, 17-08-00797, 17-06-00108, 17-01-00139, 17-20-01214, 17-29-07073- офи-м), госзадания Министерства образования и науки РФ №2.3135.2017/4.6, результаты, представленные во втором разделе доклада, получены при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 16-19-00199).*

### Литература

1. Вагин В.Н., Еремеев А.П. Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Изд. РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 6. – С. 114-123.
2. Васильев С.Н. От классических задач регулирования к интеллектуальному управлению // Теория и системы управления. – 2001. – № 1. – С. 5-22; № 2. – С. 5-21.
3. Гаврилов А.В. Гибридные интеллектуальные системы. – Новосибирск.: Изд-во НГТУ, 2003. – 164 с.
4. Гаврилова Т.А. Использование онтологий в системах управления знаниями // Труды Международного конгресса «Искусственный интеллект в XXI веке». Дивноморское, 2001. – С. 21-32.
5. Городецкий В.И. Многоагентные системы: современное состояние исследований и перспективы применения // Новости искусственного интеллекта. – 1996. –№ 4. – С. 44-59.
6. Калинин В.Н., Соколов Б.В. Многомодельный подход к описанию процессов управления космическими средствами //Теория и системы управления. -.1995.-№1. – с. 56 – 61.
7. Калинин В.Н., Резников Б.А. Теория систем и управления (структурно-математический подход). – Л.: ВИКИ, 1987.
8. Попов Э.В., Фоминых И.Б., Кисель Е.Б., Шапот М.Д. Статические и динамические экспертные системы. – М.: Финансы и статистика, 1996.
9. Ростовцев Ю.Г. Основы построения автоматизированных систем сбора и обработки информации. – СПб.: ВИКИ, 1992. – 717 с.
10. Ростовцев Ю.Г., Юсупов Р.М. Проблема обеспечения адекватности субъектно-объектного моделирования // Известия ВУЗов. Приборостроение. – 1991. – № 7. – С. 7-14.
11. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993. – 350 с.
12. Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. М.: Наука, 2006.
13. Охтилев М.Ю., Мустафин Н.Г., Миллер В.Е., Соколов Б.В. Теоретические основы проактивного управления сложными объектами // Известия ВУЗОВ. Приборостроение. 2014. Т. 57. №11. С. 7–15.
14. Автамонов П.Н., Охтилев М.Ю., Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Актуальные научно-технические проблемы разработки и внедрения взаимосвязанного комплекса унифицированных интегрированных систем поддержки принятия решений (СППР) в АСУ объектами военно-государственного управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2014. №3(152). Таганрог: Технологический институт Южного федерального университета, 2014. С.14–26.