

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

А. В. КРЫЛОВ, М. Ю. ОХТИЛЕВ, В. А. СОБОЛЕВСКИЙ,
Б. В. СОКОЛОВ, В. А. УШАКОВ

*Санкт-Петербургский федеральный исследовательский центр Российской академии наук,
199178, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: sokolov_boris@inbox.ru*

Представлены методологические основы создания и использования интегрированных систем поддержки принятия решений (ИСППР), ориентированных на формирование и представление лицу, принимающему решения, упорядоченных вариантов управляющих воздействий на те или иные сложные объекты, функционирующие в различных предметных областях. Проведен анализ методических подходов к синтезу ИСППР и вырабатываемых ими решений. Показано, что в основу создаваемой методологии решения исследуемой проблемы положены результаты, полученные в междисциплинарной отрасли системных знаний, в рамках таких ее научных направлений, как системология, неокибernetика и информатика. В качестве базовых концепций построения и использования ИСППР предлагается использовать три фундаментальные системно-кибернетические концепции: концепцию комплексного (системного) моделирования сложных объектов, концепцию проактивного управления их структурной динамикой в изменяющихся условиях, вызванных воздействием возмущающей среды, а также концепцию интеллектуализации управления, предусматривающую необходимость применения новых интеллектуальных информационных технологий, направленных на достижение комплексной интеграции естественного и искусственного интеллекта. Предложены принципы решения сформулированных проблем и структура выбора решения в условиях неопределенности и многокритериальности.

***Ключевые слова:** интегрированная система поддержки принятия решений, полимодельное описание, проактивное управление, интеллектуальные информационные технологии*

Введение. В современных условиях важную роль в повседневной жизни любого человека и коллективов людей (субъектов) играют процессы принятия решений. Простые, привычные решения человек принимает легко, часто автоматически, практически не задумываясь. В сложных и ответственных ситуациях этого становится недостаточно. В настоящее время отмечается существенное усложнение объектов, с которыми человеку приходится сталкиваться, что породило на рубеже XX и XXI веков так называемую *проблему сложности*, имеющую множество аспектов и проявлений (структурная сложность, функциональная сложность, сложность развития, сложность моделирования и управления, сложность принятия решений и т.п.) [1—8].

Появление и широкое внедрение компьютеров, соответствующая разработка и широкое использование математических моделей и методов решения задач прогнозирования процессов функционирования сложных объектов (СЛО), а также планирования и управления ими в различных предметных областях привели к необходимости создания принципиально новых информационно-управляющих систем в указанной сфере, которые получили название систем поддержки принятия решений или СППР (Decision Support Systems — DSS) [1—5]. При этом, в отличие от автоматических систем управления СЛО, работающими на уровне поступающих от указанных объектов сигналов, СППР обеспечивает автоматизированное (интерактивное) формирование управляющих воздействий на организационном уровне принятия решений, где основным информационным элементом является документ. Интерактивные СППР позволяют руководителям получить полезные данные, информацию и знания из первоисточников, проанализировать их, а также выявить существующие тенденции и закономерности в конкретной предметной области. Как правило, СППР предназначены для решения двух комплексных задач: задачи многокритериального выбора наилучшего решения из множества возможных (задачи многокритериальной оптимизации); задачи целенаправленной генерации допустимых вариантов решений, а также их многокритериального анализа и упорядочения по предпочтительности (ранжирование).

В обеих задачах первым и наиболее принципиальным моментом является выбор совокупности критериев и соответствующих критериальных функций (показателей качества), на основе которых в дальнейшем будут оцениваться, анализироваться, сопоставляться, ранжироваться и выбираться наиболее предпочтительные многокритериальные решения (будем называть их также альтернативами). Система СППР помогает пользователю сделать такой выбор, предоставляя необходимую информацию. Однако окончательный выбор остается за субъектом — лицом, принимающим решения (ЛПР).

СППР помогают решать и более узкоспециализированные задачи, к числу которых можно, в первую очередь, отнести следующие [7—9]: многокритериальное оценивание и анализ значений выходных величин для заданного набора значений входных переменных, описывающих состояние СЛО; параметрический анализ („что, если...?“) — оценка поведения выходных величин при изменении значений входных переменных; анализ показателей надежности, живучести, эффективности, чувствительности СЛО — исследование поведения результирующих переменных в зависимости от изменения значений одной или нескольких входных переменных; анализ возможностей СЛО — определение значений входной переменной, которые обеспечивают желаемый результат (известен также под названием „поиск целевых решений“, „анализ значений целей“, „управление по целям“); анализ влияния СЛО — выявление для выбранной результирующей переменной всех входных переменных, влияющих на ее значение, и оценка степени изменения результирующей переменной при заданном изменении входной переменной; анализ данных — прямой ввод в модель (полиmodelное описание) СЛО ранее имевшихся данных и манипулирование ими при многовариантном прогнозировании; сравнение и агрегирование характеристик СЛО — сравнение результатов двух или более прогнозов, сделанных при различных входных предположениях, или сравнение предсказанных результатов с действительными, или объединение результатов, полученных при различных прогнозах или для разных моделей; многокритериальный анализ риска — оценка изменения выходных характеристик СЛО при случайных и нечетких изменениях входных величин; многокритериальная оптимизация — поиск значений управляемых входных переменных, обеспечивающих наилучшее значение одной или нескольких выходных характеристик СЛО.

Для анализа и выработки предложений в СППР в настоящее время используются разные модели, методы и алгоритмы, базирующиеся на различных интеллектуальных информационных технологиях, среди которых наиболее известными являются следующие [6]: технологии информационного интеллектуального поиска и анализа данных; технологии поиска знаний в

базах данных; рассуждения на основе логического вывода и прецедентов; технологии математического, логико-алгебраического, логико-лингвистического, комбинированного моделирования; технологии эволюционных вычислений; технологии, базирующиеся на генетических алгоритмах, нейронных сетях, ситуационном анализе, когнитивном моделировании.

Следует особо подчеркнуть, что роль СППР состоит не в том, чтобы заменить руководителя (ЛПР), а в том, чтобы повысить эффективность его управленческой деятельности. Каждый руководитель обладает присущими только ему знаниями, способностями, интуицией, опытом и стилем работы. СППР должна обеспечивать поддержку руководителя, базируясь в ходе интерактивного взаимодействия на имеющихся у него явных и неявных знаниях, а также полученных ранее из других источников (в том числе, других ЛПР) данных и знаний о рассматриваемой предметной области, уметь распознавать неполноту, противоречивость поступающих данных и иметь средства для преодоления указанной неопределенности. Кроме того, каждая СППР должна обладать дружественным интерфейсом с ЛПР, обеспечивающим интерактивное взаимодействие на профессионально-ориентированном языке со специальным программно-математическим обеспечением решения различных классов управленческих задач. Другими словами, эффективность СППР оценивается по качеству (обоснованности) принятых управленческих решений и оперативности их формирования и реализации.

В настоящее время СППР рассматривается не как программный комплекс, ориентированный только на реализацию оптимальных методов принятия решений, а как комплексная система, поддерживающая все основные функции цикла управления, включая и собственно функции принятия решений. На рис. 1 представлены характерные точки принятия решений в общем цикле управления СЛО, где требуется использование СППР [8—11].

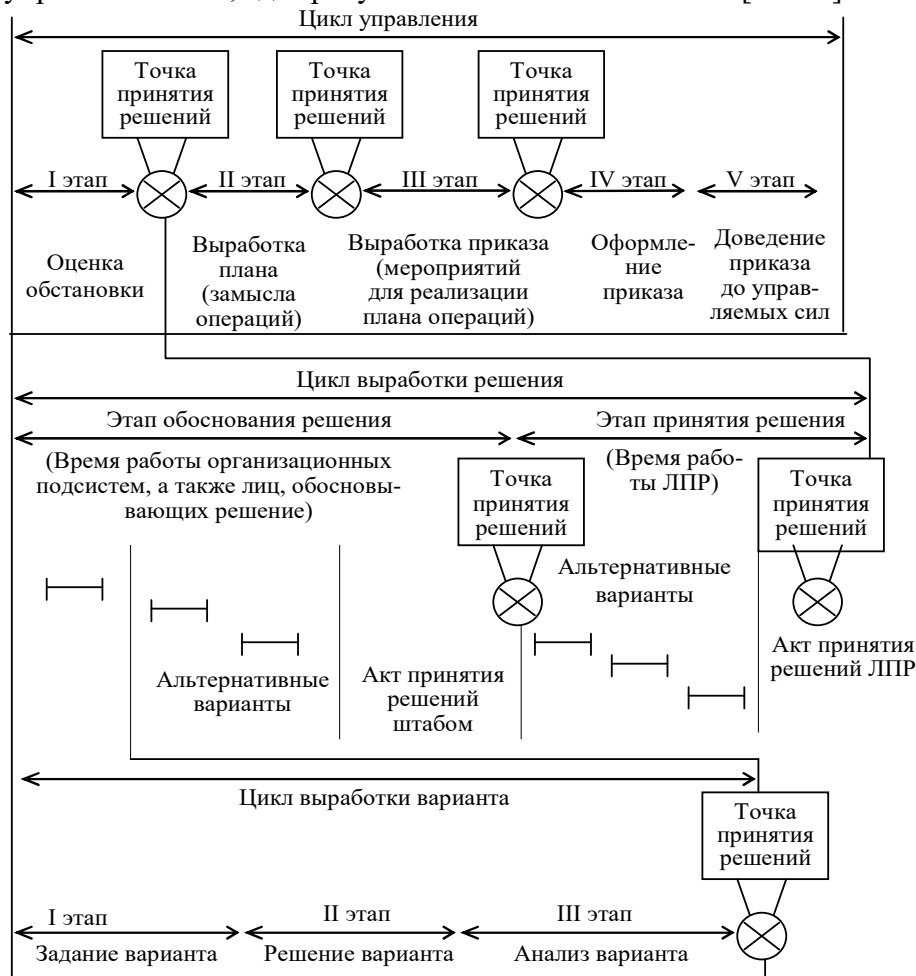


Рис. 1

В современных условиях СППР имеют весьма разнообразное материальное воплощение в зависимости от решаемых задач, требуемого информационного обеспечения, привлекаемых инструментально-технических средств, которые, в свою очередь, должны обеспечивать: эффективный доступ к данным, их целостность и защиту; развитые аналитические и вычислительные процедуры для обработки и анализа данных; транспортабельность, надежность, гибкость, возможность включения новых технологических процедур. При этом СППР должны обладать следующими специфическими чертами: возможностью выработки вариантов решений в специальных, неожиданных для ЛПР ситуациях; возможностью моделей, применяемых в системах, адаптироваться к конкретной, специфической реальности в результате диалога с пользователем; возможностью интерактивного генерирования моделей.

В настоящее время существуют различные формы реализации СППР. К ним относятся следующие системы [3, 12—17]: расчетно-логические; экспертные; оперативной аналитической обработки (On-Line Analysis Processing — OLAP); интеллектуального анализа данных (Data Mining — DM); интеллектуального анализа текстов (Text Mining — TM); образно-когнитивные; геоинформационные; комплексные интегрированные; информационные системы для руководителей (Executive Information Systems — EIS); планирования ресурсов предприятия (Enterprise Resource Planning — ERP); системы, основанные на моделях (Model-Driven DSS), знаниях (Knowledge-Driven DSS), документах (Document-Driven DSS), Web-based DSS и др. Наличие большого количества разнообразных СППР, каждая из которых обеспечивает решение относительно узкого перечня прикладных задач, приводит к необходимости их интеграции. На рис. 2 представлен пример обобщенной структуры интегрированной СППР (ИСППР), ориентированной на решение задач управления СЛО.

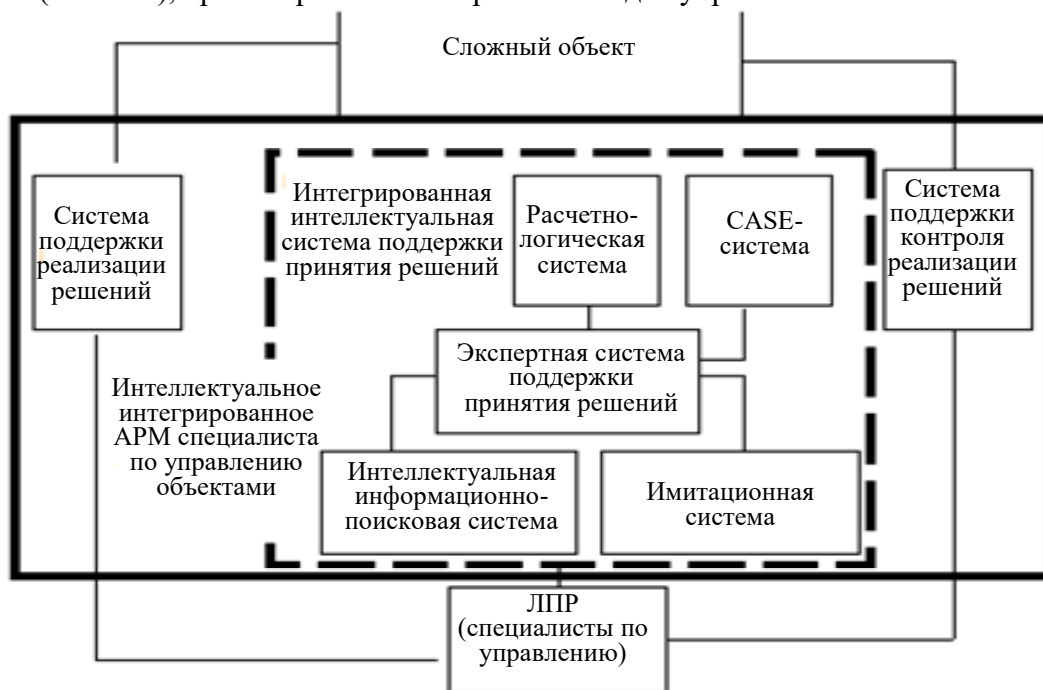


Рис. 2

Следует подчеркнуть, что к настоящему времени в рамках разработок, выполненных в России и за рубежом, создано большое количество моделей, методов и алгоритмов, базирующихся на использовании разнотипного математического аппарата теории систем, исследования операций, искусственного интеллекта, теории принятия решений, теории управления, теории прогнозирования и т.д. При этом до последнего времени при синтезе СППР объединение разнотипного модельно-алгоритмического обеспечения, построенного с использованием перечисленных теорий, производилось, как правило, на программно-техническом уровне, когда выходные данные (результаты), полученные для одной модели, передавались в качестве

входных данных для другой модели. Однако для корректности использования разнотипных моделей, описывающих различные аспекты функционирования СЛО как объектов управления, необходимо было обеспечить согласование причинно-следственных связей (отношений), описывающих специфику моделируемой предметной области в каждой из моделей. Такого рода процедур при создании СППР, к сожалению, до сих пор в большинстве случаев не проводилось, что не позволяло, в конечном счете, обеспечить полноту, замкнутость и непротиворечивость рекомендаций, вырабатываемых с использованием СППР [18]. Поэтому на практике к рекомендациям, полученным с помощью существующих СППР, относятся с осторожностью, особенно в тех предметных областях, где используются СЛО, входящие в состав критических инфраструктур.

В этих условиях особую актуальность приобретают вопросы разработки методологических и методических основ создания и использования интегрированных СППР.

Методологические основы создания и использования интегрированных СППР.

В основу создаваемой методологии решения исследуемой проблемы положены результаты, полученные к настоящему времени в междисциплинарной отрасли системных знаний [7], в рамках таких ее научных направлений, как системология, некибернетика и информатика. В качестве базовых концепций построения и использования ИСППР предлагается использовать три фундаментальные системно-кибернетические концепции.

1. **Концепция комплексного (системного) моделирования СЛО.** Эта концепция предполагает разработку и реализацию новых принципов полимодельного логико-динамического описания различных вариантов построения и использования СЛО, а также разработку и комбинированное использование методов, алгоритмов и методик многокритериального анализа, синтеза и выбора наиболее предпочтительных проактивных управленческих решений (в том числе, ориентированных на их реконфигурацию), связанных с созданием, использованием и развитием рассматриваемых объектов в различных условиях динамически изменяющейся внешней и внутренней обстановки.

2. **Концепция проактивного управления структурной динамикой СЛО.** Эта концепция актуальна для изменяющихся условий, вызванных воздействием возмущающей среды. Проактивное управление, в отличие от традиционно используемого на практике реактивного управления СЛО, ориентированного на оперативное реагирование на уже произошедшие негативные события и недопущение их последующего развития, предполагает упреждающее предотвращение причин возникновения инцидентов за счет создания (либо целенаправленного поиска) новых системно-функциональных резервов в соответствующей системе проактивного мониторинга и управления. Создание таких резервов позволит обеспечить динамическое формирование принципиально новых возможностей по парированию расчетных и нерасчетных нештатных и аварийных ситуаций с использованием методологии и технологий системного (комплексного) моделирования, а также многовариантного ситуационно-адаптивного прогнозирования. В работах [8, 13] представлены конструктивные пути реализации данной концепции на основе построения и использования многомерных аппроксимированных областей достижимости логико-динамических моделей, описывающих рассматриваемую предметную область в пространстве системотехнических параметров.

3. **Концепция интеллектуализации управления.** Эта концепция предусматривает в качестве условий эффективного управления СЛО необходимость применения интеллектуальных инструментов управления (новых интеллектуальных информационных технологий), носящих ярко выраженный инновационный характер и направленных на достижение комплексной интеграции естественного и искусственного интеллекта.

Наряду с перечисленными концепциями были предложены три группы принципов, которые требуется соблюдать при создании и применении ИСППР [8, 13, 14, 16]. К числу **методологических принципов создания и функционирования ИСППР** следует отнести принципы

неокончателных решений, поглощения разнообразия, иерархической компенсации, дополнителности, полимодельности и многокритериальности, самоподобного рекурсивного описания и моделирования объектов исследования, гомеостатического баланса взаимодействия; преодоление принципа разделения; принципы, положенные в основу создания онтологий; принципы Ле Шателье — Брауна (любое внешнее воздействие порождает ответную реакцию самоорганизации, направленную на ослабление этого эффекта); принципы декомпозиции и агрегирования; принцип рационального многокритериального компромисса при наличии неустранимых пороговых информационных и временных ограничений; принцип интерактивного итерационного формирования решения в условиях неопределенности и противоречивости исходной информации.

К числу *технологических принципов создания и функционирования ИСППР* следует отнести объектно-ориентированный подход к описанию предметной области ИСППР; сервисно-ориентированные технологии построения систем сбора, обработки, анализа данных, информации и дистрибуции знаний; персонифицированный 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 возможностей клиентских устройств; организационное, информационное и функциональное единство в рамках 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 предметной области, 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 ИСППР* следует отнести принципы системности, модульности, адаптируемости (гибкость), непрерывности развития (открытости), стандартизации и унификации, „новых задач“, надежности, совместимости, однократности ввода данных и информации, „дружелюбности“, эффективности (окупаемость), безопасности.

Конкретизация предложенных концепций и принципов должна осуществляться на уровне соответствующего специального модельно-алгоритмического обеспечения ИСППР.

Методические основы создания и использования интегрированных СППР. Проведенные исследования показали, что при решении задач создания и использования ИСППР целесообразно ориентироваться на фундаментальные и прикладные результаты, полученные к настоящему времени в рамках трех активно развиваемых теорий [8, 13, 14]: теории мониторинга состояния СЛО на основе интеллектуальных информационных технологий, теории проактивного управления структурной динамикой СЛО, а также дополняющей их теории многокритериального оценивания и выбора наиболее предпочтительных моделей и полимодельных комплексов, описывающих функционирование СЛО и соответствующих информационно-аналитических систем, реализующих проактивное управление ими на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ). При этом центральной проблемой при создании и применении ИСППР была и остается проблема согласования (координации) моделей, методов и алгоритмов, используемых при формировании и реализации соответствующих управляющих воздей-

ствий. Для конструктивного решения данной проблемы предлагается следующее описание структуры выбора в условиях неопределенности и многокритериальности. Предлагаемое описание обобщает все известные формальные постановки задач принятия решений, к числу которых, в первую очередь, можно отнести задачи группового выбора, задачи векторной оптимизации, задачи многоуровневого, многоэтапного выбора, задачи игрового выбора (антагонистические, бескоалиционные, коалиционные, кооперативные, рефлексивные, комбинированные игры), традиционные задачи оптимизации, рассматриваемые в исследовании операций и теории оптимального управления [7, 8, 16]:

$$\left\{ \mathbf{Q}^{(\xi)}(s, (\mathbf{\Omega}, \mathbf{F}, \lambda_{\mu})), \{\Delta_{\rho}^{(\xi)}(\omega)\}_{\rho \in \Xi_2}, \{\Delta_{\eta}^{0(\xi)}(\omega)\}_{\eta \in \Xi_3}, \{\mathbf{r}_{i_1}^{\alpha(\xi)}(\omega)\}_{i_1 \in \Gamma_1}, \{\mathbf{r}_{i_2}^{\beta(\xi)}(\omega)\}_{i_2 \in \Gamma_2}, \right. \\ \left. \{\mathbf{W}_l\}_{l \in \Phi_1}, \{\tilde{\mathbf{W}}_k\}_{k \in \Phi_2}, \{\mathbf{F}_v^k(\xi)(\omega)\}_{v \in \Gamma_3} \right\}_{\xi \in \Xi_1},$$

где $\left\{ \mathbf{Q}^{(\xi)}(s, (\mathbf{\Omega}, \mathbf{F}, \lambda_{\mu})) \right\}_{\xi \in \Xi_1}$ — множество исходных математических структур типов s , каждая из которых задает определенный класс моделей выбора $\xi \in \Xi_1$, Ξ_1 — множество номеров используемых (конструируемых) классов моделей (например, математических, логико-алгебраических, логико-лингвистических моделей; статических, динамических моделей; детерминированных моделей и моделей, в которых учитываются факторы неопределенности и т.п.); $\mathbf{\Omega}$ — пространство элементарных событий (множество неопределенности), $\omega \in \mathbf{\Omega}$ — элементарное событие; \mathbf{F} — сигнатура, $\sigma = \langle \mathbf{\Omega}, \mathbf{F} \rangle$ — алгебра событий; λ_{μ} — мера, заданная на $(\mathbf{\Omega}, \mathbf{F})$, индекс „ μ “ задает номер используемой меры (соответственно для вероятностного, статистического и нечетко-возможностного пространств); $\{\Delta_{\rho}^{(\xi)}(\omega)\}_{\rho \in \Xi_2}$ — связанная с множеством математических структур $\mathbf{Q}^{(\xi)}(s, (\mathbf{\Omega}, \mathbf{F}, \lambda_{\mu}))$ совокупность базисных множеств элементов (альтернатив) выбора; $\{\Delta_{\eta}^{0(\xi)}(\omega)\}_{\eta \in \Xi_3}$ — совокупность вспомогательных множеств альтернатив выбора, используемых, прежде всего, в задачах координационного выбора; $\{\mathbf{r}_{i_1}^{\alpha(\xi)}(\omega)\}_{i_1 \in \Gamma_1}$ — множество отношений предпочтения, используемых для выбора наилучших альтернатив с использованием математических структур выбора $\{\mathbf{Q}_{\rho}^{(\xi)}\}_{\xi \in \Xi_1}$; $\{\mathbf{r}_{i_2}^{\beta(\xi)}(\omega)\}_{i_2 \in \Gamma_2}$ — множество отношений, ограничивающих выбор в соответствии с конкретными условиями использования заданного объекта; $\{\mathbf{W}_l\}_{l \in \Phi_1}$, $\{\tilde{\mathbf{W}}_k\}_{k \in \Phi_2}$ — схемы конструкций, соответствующие l -й входной и k -й выходной ступеням шкалы множеств выбора, с использованием базисных множеств $\{\Delta_{\eta}^{0(\xi)}(\omega)\}_{\eta \in \Xi_3}$ с помощью операций взятия декартовых произведений и булеанов; $\{\mathbf{F}_v^k(\xi)(\omega)\}_{v \in \Gamma_3}$ — множество правил построения на выходных ступенях шкалы множеств выбора результирующих функций выбора и/или отношений предпочтения; кроме того, нижние индексы и множества в каждом из компонентов формулы задают соответственно текущий номер и множество всех возможных номеров структур, отношений и правил: так, например: Φ_1 — множество номеров входных ступеней шкалы множеств выбора; Φ_2 — множество номеров выходных ступеней шкалы множеств выбора; Ξ_2 — множество номеров базисных множеств альтернатив выбора; Ξ_3 — множество номеров вспомогательных множеств альтернатив выбора; Γ_1 — множество номеров отношений предпочтения; Γ_2 — множество номеров отношений, ограничивающих выбор.

Кратко остановимся на интерпретации основных элементов, входящих в состав предложенной обобщенной структуры выбора. Прежде всего, отметим, что при формулировке и решении задач выбора управляющих воздействий в рамках рассматриваемых ИСППР при проактивном управлении СЛО в условиях неопределенности будем основываться, как указывалось ранее, на концепции комплексного (системного) моделирования. Исходя из принятой классификации математических структур [7], будем различать выбор на полностью определенных математических структурах и на математических структурах с неопределенностью (вероятностные, статистические, нечеткие неслучайные, нечеткие вероятностные и нечеткие статистические структуры и их комбинации). Отличия каждой конкретной структуры с неопределенностью будут определяться заданием множеств Ω , \mathbf{F} и меры λ_μ ($\mu = 1, 2, 3$). Для вероятностных структур ($\mu = 1$) имеем вероятностное пространство по Колмогорову, где $\lambda_\mu = P$ — вероятностная мера, удовлетворяющая соответствующей аксиоматике. Для статистических и нечетких структур ($\mu = 2, 3$) вместо пространства элементарных событий Ω и вероятностной меры P вводятся соответственно пространство наблюдений \mathbf{Y} и пространство с нечеткой мерой, а также \mathbf{R} — семейство вероятностных распределений (вероятностных мер) и нечетких мер [7]. Другим источником неопределенности при задании структуры выбора может быть неопределенность, возникающая при самой постановке задач выбора, т.е. неопределенность при задании множеств $\{\Delta_\rho^{(\xi)}(\omega)\}_{\rho \in \Xi_2}$, $\{\Delta_\eta^{0(\xi)}(\omega)\}_{\eta \in \Xi_3}$, $\{\mathbf{r}_{i_1}^{\alpha(\xi)}(\omega)\}_{i_1 \in \Gamma_1}$, $\{\mathbf{r}_{i_2}^{\beta(\xi)}(\omega)\}_{i_2 \in \Gamma_2}$. Наиболее характерными при этом являются классы задач нечеткого выбора, выбора с неполной информированностью (четкого и нечеткого) и рандомизированного (четкого и нечеткого) выбора.

Анализ предложенной структуры выбора с несколькими отношениями предпочтения (мультипредпочтением) показывает, что задачи принятия решений, формулируемые в рамках данной структуры даже в условиях, когда отсутствует влияние неопределенных факторов, связанных с воздействием на систему внешней среды, содержат также специфическую неопределенность, проявляющуюся в необходимости согласовывать различные отношения предпочтения. Этот вид неопределенности иногда называют критериальной неопределенностью. Более того, можно показать, что задачи выбора с неопределенностью, вызванной воздействием возмущающих факторов, могут также рассматриваться и как задачи выбора с многими отношениями предпочтения. Так, например, в классических задачах стохастического программирования с одним предпочтением отношение предпочтения $\mathbf{r}^\alpha(\omega)$ и представляющая его функция $f^\alpha : \Delta^{(\xi)} \times \Omega \rightarrow \mathbf{R}^1$ могут, соответственно, рассматриваться как множество отношений предпочтения $\{\mathbf{r}_\omega^\alpha\}_{\omega \in \Omega}$ и множество функций $\{f_\omega^\alpha \mid f_\omega^\alpha : \Delta^{(\xi)} \rightarrow \mathbf{R}^1\}$. Это означает, что для решения задач выбора с одним отношением предпочтения в условиях неопределенности воздействия внешней среды могут быть привлечены методы решения задач выбора с многими отношениями предпочтения на одном базисном множестве Δ .

Центральная роль в решении указанных задач отводится согласующим правилам $\{\mathbf{F}_v^{k(\xi)}(\omega)\}_{v \in \Gamma_3}$, обеспечивающим как преодоление критериальной неопределенности, так и учет информации об отношении ЛППР к различным ситуациям, связанным с управленческим риском.

В целом, используя данное обобщенное описание, можно на конструктивном уровне установить взаимосвязи между различными видами и родами моделей выбора, а также сравнить и упорядочить данные модели, что является весьма актуальным в квалиметрии моделей и полимодельных комплексов. В работах [4—8, 13—18] на конкретных примерах с заданием разных вариантов (схем) формирования входных и выходных ступеней шкалы множеств, образуемых в рамках общей постановки задач выбора с мультипредпочтением в условиях неопре-

деленности, для различных прикладных задач были синтезированы как структуры модельно-алгоритмического, так и программно-информационного обеспечения. При этом приведенная выше формула позволяет на этапах концептуального моделирования заданной предметной области и формирования объектно-ориентированной спецификации ее описания обоснованно определить как состав и структуру создаваемой ИСППР и ее программно-математического обеспечения, так и состав и структуру запросов к соответствующей базе знаний моделей и полимодельных комплексов [16].

Заключение. В целом научная новизна и практическая значимость разработанных методологических и методических основ создания и использования ИСППР заключается в возможности осуществить переход от известных эвристических методов описания этих процессов (например, на базе различного рода имитационных и мультиагентных моделей и алгоритмов принятия решений) к последовательности целенаправленных теоретически и практически обоснованных этапов построения моделей, методов и алгоритмов анализа и проактивного управления СЛО, используя результаты, полученные в рамках разработанных теории мониторинга состояния СЛО на основе интеллектуальных информационных технологий, теории проактивного управления структурной динамикой СЛО, а также дополняющей их теории многокритериального оценивания и выбора наиболее предпочтительных моделей и полимодельных комплексов, описывающих функционирование СЛО.

К настоящему времени на базе перечисленных теорий и созданной отечественной информационно-аналитической платформы разработаны и успешно внедрены конкретные варианты ИСППР в Госкорпорациях „Роскосмос“ и „Росатом“, а также на объектах отечественной гражданской авиации [18].

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (гранты № 19-08-00989, 19-37-90112, 19-38-90221), в рамках бюджетной темы № 0073-2019-0004, а также при финансовой поддержке проекта Программы Союзного государства „Разработка комплексных технологий создания материалов, устройств и ключевых элементов космических средств и перспективной продукции других отраслей“ (в рамках СЧ НИР „Технология-СГ-3.3.3.1“).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вагин В. Н., Еремеев А. П. Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Изв. 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 // Тр. Междунар. 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. Геловани В. А., Башлыков А. А., Бритков В. Б., Вязилов Е. Д. Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды. М.: Эдиториал УРСС, 2001. 304 с.
7. Калинин В. Н., Резников Б. А. Теория систем и управления (структурно-математический подход). Л.: ВИКИ, 1987. 417 с.
8. Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных объектов. М.: Наука, 2006. 410 с.
9. Попов Э. В., Фоминых И. Б., Кисель Е. Б., Шапот М. Д. Статические и динамические экспертные системы. М.: Финансы и статистика, 1996. 320 с.

10. *Ростовцев Ю. Г.* Основы построения автоматизированных систем сбора и обработки информации. СПб: ВИКИ, 1992. 717 с.
11. *Ростовцев Ю. Г., Юсупов Р. М.* Проблема обеспечения адекватности субъектно-объектного моделирования // Изв. вузов СССР. Приборостроение. 1991. Т. 34, № 7. С. 7—14.
12. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. М.: Радио и связь, 1993. 350 с.
13. *Юсупов Р. М., Соколов Б. В., Охтилев М. Ю.* Теоретические и технологические основы концепции проактивного мониторинга и управления сложными объектами // Изв. ЮФУ. Технические науки. 2015. № 1(162). С. 162—174.
14. *Ivanov D., Sokolov B.* Dynamic coordinated scheduling in the supply chain under a process modernization // Intern. Journal of Production Research. 2013. Vol. 51, iss. 9. P. 2680—2697. DOI: 10.1080/00207543.2012.737950.
15. *Wolf W.* Cyber-physical systems // Computer. 2009. N 3. P. 88—89.
16. *Микони С. В., Соколов Б. В., Юсупов Р. М.* Квалиметрия моделей и полимодельных комплексов. М.: Изд-во РАН, 2018. 314 с.
17. *Ivanov D., Sokolov B.* Control and system-theoretic identification of the supply chain dynamics domain for planning, analysis, and adaptation of performance under uncertainty // European Journal of Operational Research. 2013. N 224(2). P. 313—323.
18. <http://litsam.ru>

Сведения об авторах

- Алексей Валерианович Крылов** — СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; мл. научный сотрудник; E-mail: KrAlex98@yandex.ru
- Михаил Юрьевич Охтилев** — д-р техн. наук, профессор; СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; гл. научный сотрудник; E-mail: oxt@mail.ru
- Владислав Алексеевич Соболевский** — аспирант; СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; E-mail: Arguzd@yandex.ru
- Борис Владимирович Соколов** — д-р техн. наук, профессор; СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; гл. научный сотрудник; E-mail: sokolov_boris@inbox.ru
- Виталий Анатольевич Ушаков** — аспирант; СПбФИЦ РАН, СПИИРАН, лаборатория информационных технологий в системном анализе и моделировании; E-mail: mr.vitaly.usakov@yandex.ru

Поступила в редакцию
02.10.2020 г.

Ссылка для цитирования: *Крылов А. В., Охтилев М. Ю., Соболевский В. А., Соколов Б. В., Ушаков В. А.* Методологические и методические основы создания и использования интегрированных систем поддержки принятия решений // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 11. С. 963—974.

**METHODOLOGICAL AND METHODICAL BASES
FOR CREATING AND USING INTEGRATED SYSTEMS OF DECISION-MAKING SUPPORT**

A. V. Krylov, M. Yu. Okhtilev, V. A. Sobolevsky, B. V. Sokolov, V. A. Ushakov

*St. Petersburg Federal Research Center of the RAS,
199178, St. Petersburg, Russia
E-mail: sokolov_boris@inbox.ru*

Methodological foundations for creation and use of integrated system of decision-making support aimed at formation and presentation to the decision maker of ordered options for control actions on certain complex objects functioning in various areas are presented. Various methodical approaches to synthesis of integrated system of decision-making support are analyzed. The developed methodology for solving the problem under study is based on results obtained in an interdisciplinary field of system knowledge, within the framework of such scientific areas as systemology, neocybernetics, and informatics. It is proposed to

use three fundamental systemic-cybernetic concepts as basic concepts for the construction and use of integrated system of decision-making support: the concept of complex (systemic) modeling of complex objects, the concept of proactive control of their structural dynamics in changing conditions caused by the influence of the disturbing environment, as well as the concept of intellectualization of control, which provides for the need to use new intelligent information technologies aimed at achieving complex integration of natural and artificial intelligence. Basic principles of solving the formulated problems and the structure of the choice of the solution in the conditions of uncertainty and multi-criteria are proposed.

Keywords: integrated system of decision-making support, poly-model description, proactive management, intelligent information technology

REFERENCES

1. Vagin V.N., Ereemeev A.P. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2001, no. 6(40), pp. 953–961. (in Russ.)
2. Vasil'ev S.N. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2001, no. 1(40), pp. 1–18; no. 2(40), pp. 169–185. (in Russ.)
3. Gavrilov A.V. *Gibridnyye intellektual'nyye sistemy* (Hybrid Intelligent Systems), Novosibirsk, 2003, 164 p. (in Russ.)
4. Gavrilova T.A. *Iskusstvennyy intellekt v XXI veke* (Artificial Intelligence in the XXI Century), Proceedings of the International Congress, Divnomorskoye, 2001, pp. 21–32. (in Russ.)
5. Gorodetskiy V.I. *Novosti iskusstvennogo intellekta* (Artificial Intelligence News), 1996, no. 4, pp. 44–59. (in Russ.)
6. Gelovani V.A., Bashlykov A.A., Britkov V.B., Vyazilov E.D. *Intellektual'nyye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy v neshtatnykh situatsiyakh s ispol'zovaniyem informatsii o sostoyanii prirodnoy sredy* (Intelligent Decision Support Systems in Emergency Situations Using Information about the State of the Natural Environment), Moscow, 2001, 304 p. (in Russ.)
7. Kalinin V.N., Reznikov B.A. *Teoriya sistem i upravleniya (strukturno-matematicheskiiy podkhod)* (Systems and Control Theory (Structural and Mathematical Approach)), Leningrad, 1987, 417 p. (in Russ.)
8. Okhtilev M.Yu., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Intellektual'nyye tekhnologii monitoringa i upravleniya strukturnoy dinamiko slozhnykh ob'yektov* (Intelligent Technologies for Monitoring and Controlling the Structural Dynamics of Complex Objects), Moscow, 2006, 410 p. (in Russ.)
9. Popov E.V., Fominykh I.B., Kisel E.B., Shapot M.D. *Sticheskiye i dinamicheskiye ekspertnyye sistemy* (Static and Dynamic Expert Systems), Moscow, 1996, 320 p. (in Russ.)
10. Rostovtsev Yu.G. *Osnovy postroyeniya avtomatizirovannykh sistem sbora i obrabotki informatsii* (Fundamentals of Building Automated Systems for Collecting and Processing Information), St. Petersburg, 1992, 717 p. (in Russ.)
11. Rostovtsev Yu.G., Yusupov R.M. *Journal of Instrument Engineering*, 1991, no. 7, pp. 7–14. (in Russ.)
12. Saaty T.L. *Decision Making for Leaders: The Analytical Hierarchy Process for Decisions in a Complex World*, Wadsworth, 1982.
13. Yusupov R.M., Sokolov B.V., Okhtilev M.Yu. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2015, no. 1(162), pp. 162–174. (in Russ.)
14. Ivanov D., Sokolov B. *International Journal of Production Research*, 2013, no. 9(51), pp. 2680–2697, DOI:10.1080/00207543.2012.737950.
15. Wolf W. *Computer*, 2009, no. 3, pp. 88–89.
16. Mikoni S.V., Sokolov B.V., Yusupov R.M. *Kvalimetriya modeley i polimodel'nykh kompleksov* (Qualimetry of Models and Polymodel Complexes), Moscow, 2018, 314 p. (in Russ.)
17. Ivanov D., Sokolov B. *European Journal of Operational Research*, 2013, no. 2(224), pp. 313–323.
18. <http://litsam.ru>.

Data on authors

- | | |
|--------------------------------|--|
| Alexey V. Krylov | — St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; Junior Researcher; E-mail: KrAlex98@yandex.ru |
| Mikhail Yu. Okhtilev | — Dr. Sci., Professor; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; Chief Researcher; E-mail: oxt@mail.ru |
| Vladislav A. Sobolevsky | — Post-Graduate Student; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; E-mail: Arguzd@yandex.ru |
| Boris V. Sokolov | — Dr. Sci., Professor; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; Chief Researcher; E-mail: sokolov_boris@inbox.ru |

Vitaly A. Ushakov

— Post-Graduate Student; St. Petersburg Federal Research Center of the RAS, St. Petersburg Institute for Informatics and Automation of the RAS, Laboratory of Information Technologies in System Analysis and Modeling; E-mail: mr.vitaly.ushakov@yandex.ru

For citation: Krylov A. V., Okhtilev M. Yu., Sobolevsky V. A., Sokolov B. V., Ushakov V. A. Methodological and methodical bases for creating and using integrated systems of decision-making support. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 11. P. 963—974 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-11-963-974