

## **Обоснование функциональных задач и структуры интеллектуализированной подсистемы проблемно-ориентированной системы управления на основе среды схем радикалов**

**Белавкин П.А.**

*Военная Академия ракетных войск стратегического назначения имени Петра*

*Великого,*

*Китайгородский проезд, 9, Москва, 109074, Россия.*

*e-mail: [petrix-130287@ya.ru](mailto:petrix-130287@ya.ru)*

### **Аннотация**

Проведено обоснование функциональных задач и структуры перспективной проблемно-ориентированной системы управления сложными динамическими объектами. Разработана концептуальная модель проблемно-ориентированной системы управления, направленная на решение актуальных вопросов обеспечения информационно-системной безопасности сложной проблемно-ориентированной системы управления в течение ее жизненного цикла, на базе среды схем радикалов.

**Ключевые слова:** проблемно-ориентированные системы управления, структура, системная интеграция, интеллектуальное управление, информационно-системная безопасность, среда схем радикалов, подсистема, функциональные задачи.

### **Введение**

Исследования и разработки в России и за рубежом в области *проблемно-ориентированных систем управления* сложными динамическими объектами (летательные аппараты (ЛА) различных классов и различного назначения)

направлены на развитие у данных объектов возможностей по решению новых функциональных задач. Это связано, в первую очередь, с необходимостью выполнения задач в неблагоприятных условиях функционирования ЛА. Данные условия требуют принятия комплекса мер по предотвращению негативных факторов воздействия на ЛА [1].

Важным этапом в решении задач данной предметной области явилась «Методика синтеза программ в алгоритмах управления движением гиперзвуковых аэробаллистических летательных аппаратов в условиях преодоления запретных зон», апробированной на международном межотраслевом молодежном научно-техническом форуме "Молодежь и будущее авиации и космонавтики". Целевой направленностью которой являлась реализация широкого спектра возможных маневров и траекторий обхода запретных зон, затруднению прогнозирования движения ЛА. В то же время, качественное решение задач управления динамическими объектами в условиях преодоления существующих и перспективных средств противодействия требует изучения и внедрения новых подходов к проектированию, созданию и модернизации проблемно-ориентированных систем управления [2]. Требующиеся функциональные возможности, обусловленные современными тенденциями к более компактной реализации систем и средств полезной нагрузки ЛА, приводят к *системной интеграции* разнородных проблемно-ориентированных систем, а так же их *интеллектуализации*, как к активно формирующейся и развивающейся области исследований и разработок на стыке современной теории управления и искусственного интеллекта. Данное направление, в свою очередь, обеспечивает

существенное повышение эффективности применения исследуемых объектов по назначению [3].

### **Обоснование концептуальной модели проблемно-ориентированной системы управления**

В соответствии с целью работы, сформулированной в контексте развития методов *интеллектуального управления* сложными динамическими объектами, рассматриваются условия достижимости, в первую очередь, требований по оперативности. Основным подходом по обеспечению таких требований является *интеллектуализация проблемно-ориентированных систем управления* сложными динамическими объектами [4]. Под интеллектуализацией понимается оснащение системы элементами интеллекта, придание ей специального информационно-программного окружения, обеспечивающего безопасность поведения этой системы в рамках её метасистемы на протяжении всего её жизненного цикла. Такое оснащение должно обеспечивать постоянную адаптацию сложной системы к изменяющимся внутренним и внешним условиям, проводить диагностику, контроль, анализ и синтез отдельных составляющих системы и функционирования системы в целом с учётом последствий этого функционирования [5].

В настоящее время, интеллектуализация сложных систем превалирует как базис основных процессов в современных высоких технологиях. Так, уже сейчас происходит интеллектуализация современных информационных, транспортных и коммуникационных, военных и гражданских, коммунальных, научно-производственных, технических (автомобилей, летательных аппаратов и т.д.)

систем. Признаками такого процесса является, например, компьютеризация и информатизация во всех сферах человеческой деятельности, переход от традиционных систем управления к адаптивным системам и многое другое [6].

Специализация проводимых исследований подразумевает расширение научно-методического аппарата обоснования функциональных требований к проблемно-ориентированным системам управления на основе методов и приемов системной интеграции.

#### *а) перспективные функциональные задачи*

При разработке перспективных *проблемно-ориентированных систем управления* сложными динамическими объектами важно учитывать, как уже выше было сказано, возможность выполнения ими новых функциональных задач. В настоящее время, с все больше возрастающей ролью авиации и космонавтики в жизни человечества, ошибки управления, а зачастую и неблагоприятные условия функционирования, могут нанести не только значительные финансовые потери, но и невозполнимые человеческие потери – это и многое другое говорит о том, что чем сложнее система, тем важнее для нее проблема обеспечения *информационно-системной безопасности* (ИСБ) в течение ее жизненного цикла.

В таких условиях, с целью обеспечения ИСБ и гарантированного выполнения задач по предназначению, необходимо создание специального информационного представления проблемной области сложной системы и специального информационно-программного оснащения этой системы, а так же иметь возможность по предоставлению лицу принимающему решение возможные варианты развития событий исходя из сложившейся обстановки и базы знаний.

Частным случаем создания специального информационного представления проблемной области может быть построение запретных зон для функционирования объекта управления в реальном времени в навигационно-измерительной системе, для их дальнейшего обхода. А возможным вариантом развития событий может быть группировка или разгруппировка объектов управления в случае управления группой объектов [7].

**б) структура концептуальной модели проблемно-ориентированной системы управления**

Концептуальная модель проблемно-ориентированной системы управления, основанная на интеграции географических информационных технологий и искусственного интеллекта, представлена на рис.1.

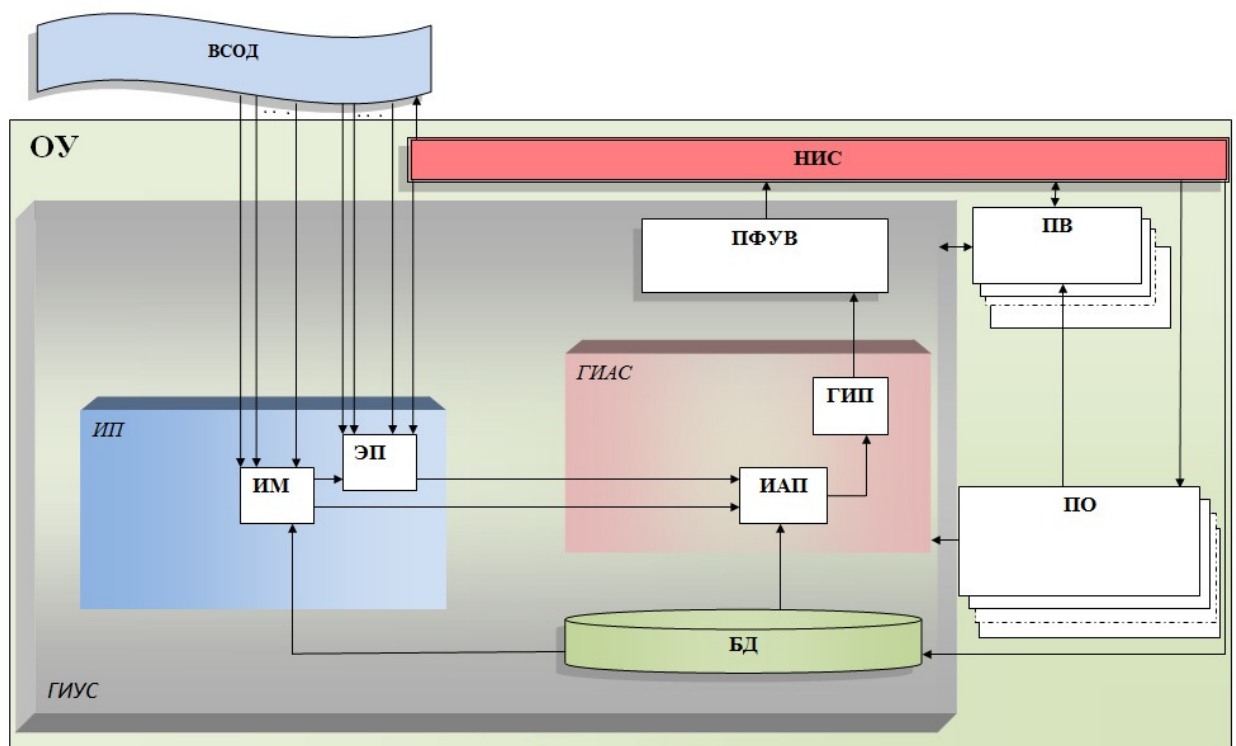


Рис.1. Структура концептуальной модели системы

При создании модели системы был использован метод системной интеграции. Географическая информационная система (ГИС) была объединена с аналитической и информационно-управляющей системой, а так же с технологиями интеллектуализации сложно-динамического объекта управления. При интеграции данных систем была получена географическая информационно-управляющая система (ГИУС) в которую вошли интеллектуальная подсистема (ИП) и географическая информационно-аналитическая система (ГИАС). С помощью ГИУС, значительно расширяется круг задач решаемых в реальном масштабе времени и увеличиваются функциональные возможности объекта управления (ОУ). Для того чтобы лицо, принимающее решение могло оперативно вносить коррективы и получать необходимую информацию, система имеет возможность взаимодействовать с внешней системой обмена данными (ВСОД).

#### ***в) описание структуры модели и решаемые задачи***

Таким образом, в рамках одной проблемно-ориентированной системы (ГИУС) объединяются инструментальные подсистемы (ИП и ГИАС), которые реализуют разные технологические блоки и решают отдельные фрагменты задачи на разных этапах. С помощью интеграции предполагается общее применение разных систем в рамках одной системы, а не применение отдельных систем.

Интеллектуальная подсистема составляет интеллектуальную часть системы, и состоит из двух подсистем это экспертная подсистема (ЭП) и интеллектуальный модуль (ИМ). ЭП позволяет оценивать данные полученные от навигационно-измерительной системы и ВСОД для оценки степени возникающих угроз, а также формировать решение на их ликвидацию. ИМ - специальное оснащение сложной

системы, является своего рода мозгом сложной проблемно-ориентированной системы, который обеспечивает ее ИСБ, используя моделирование, анализ и синтез системы в целом и ее составляющих, ее характеристик, адаптацию и прогнозирование поведения системы, и многое другое.

Географическая информационно-аналитическая система в свою очередь, состоит тоже из двух подсистем, в которую входят информационно-аналитическая подсистема (ИАП) и географическая информационная подсистема (ГИП). ИАП предназначена для решения различных аналитических задач, на основе данных поступающих из ИМ, таких как, например, построение запретных зон для функционирования ОУ. ГИП позволяет осуществлять географический анализ картографической информации и информации полученной от ИАП, для их сопоставления и выработки, при необходимости, новых маршрутов движения. Эта информация поступает в подсистему формирования управляющего воздействия (ПФУВ), которая передает ее уже в навигационно-измерительную систему (НИС).

Каждая подсистема в данной схеме выполняет собственные специфические функции. При этом взаимодействие между разнородными подсистемами реализуется путем обмена данными или доступа к одним и тем же информационным ресурсам (базам данных (БД)). Взаимодействие по данным наиболее часто встречающийся принцип, позволяющий объединять практически самостоятельные подсистемы в интегрированную проблемно-ориентированную систему. Объединяются функциональные возможности разных подсистем. Таким образом, способность ИМ и ЭП к интеллектуальному анализу данных и конструктивной поддержке принятия решений дополняет функции

пространственного моделирования ГИАС.

Взаимодействие по данным предполагает механическое объединение двух и больше подсистем в интересах одной функциональной задачи. Суть такой интеграции можно представить в виде:

$$f_i = \|f(x_i)f(y_i)f(z_i)f(l_i)\{a_i\}\|,$$

которая обеспечивает выполнение новых, требуемых функциональных задач

$$f_i = f_{\text{треб.ф.з.}},$$

при  $t \leq t_{\text{зад}}$ , для выполнения  $f(x_i); f(y_i); f(z_i); f(l_i)$ ,

где  $f(x_i)f(y_i)f(z_i)f(l_i)\{a_i\}$  - значения, полученные при выполнении функциональных задач ИМ, ЭП, ИАП, ГИП и значения БД в  $i$  момент времени.

Взаимодействие с другими системами ОУ подразумевается вести при помощи подсистем взаимодействия (ПВ) и подсистем обеспечения (ПО).

### **Интеллектуализация проблемно-ориентированной системы управления на базе среды схем радикалов. Обеспечение ИСБ на всех этапах жизненного цикла**

Решение конкретных задач создания интеллектуальных систем (интеллектуальных подсистем) чрезвычайно осложняется тем, что они описываются количественными и качественными признаками с преобладанием последних и в условиях неполной информации об объекте исследования и или управления и внешней среде.



Интеллектуализация - основной подход к обеспечению ИСБ сложной системы.

Термином интеллектуализация подчеркивается свойство такого оснащения развиваться и расширять круг решаемых им штатных задач ИСБ за счет обучения решению некоторых нештатных для него задач. Чем больше разнообразных и более трудных нештатных задач может решать такая интеллектуальная система, тем более она интеллектуальная

*а) специальное информационное представление проблемной области сложной системы (интеллектуального модуля) с помощью нейрорадикалов*

Понятие *радикала* является главным понятием теории интеллектуальных систем и, по-видимому, всей дискретной математики [9].

Под радикалом понимается любая функциональная система, имеющая два доступных извне состояния: активное и пассивное. Активный радикал функционирует, согласно своему предназначению, а пассивный радикал нет. Он как бы выключен. Множество радикалов со связями между собой является *средой радикалов*. Все активные радикалы образуют, так называемый, *системоквант*, который определяет квант поведения среды на данный момент.

Любой объект управления имеет различные состояния (фазовые координаты) в зависимости от параметров управления. Наборы возможных управляющих параметров образуют среду радикалов, а заданные в данный момент значения таких параметров образуют системоквант в этой среде.

Другими примерами радикалов являются:

1. Точки непустого множества являются радикалами, если их выбирают для оценивания по некоторому критерию или, если они участвуют в алгебраических операциях в качестве образующих и т.д.

2. Буквы алфавита - радикалы. Они предназначены для составления из них слов (системоквантов). Та буква, которая используется в данном слове, является активной, а та, которая нет, является пассивной.

И др.

Понятие радикала позволяет взглянуть на всю проблемную область сложной системы, то есть на сложную систему с учетом ее жизненного цикла, как на среду радикалов. Радикалами такой среды являются составляющие сложной системы и ее окружения, их связи, задачи жизненного цикла, средства и методы решения таких задач и многое другое. При таком подходе создаваемый интеллектуальный модуль сложной проблемно-ориентированной системы должен определять системокванты поведения сложной системы с надежным обеспечением ИСБ системы на протяжении всего ее жизненного цикла.

Интеллектуальный модуль сложной проблемно-ориентированной системы будем строить из двух частей, рабочей и активирующей, рис.2. Рабочая подсистема будет формализованным представлением в ИМ радикалов проблемной области сложной системы, то есть будет информационной моделью проблемной области. Активирующая подсистема должна содержать средства анализа, синтеза и активации рабочей области. Элементы рабочей области будем называть нейрорадикалами. Таким названием хочется подчеркнуть принципиальную связь строения рабочей области ИМ с элементарным сенсориумом естественного мозга из

нейронов [10]. Тем самым рабочая подсистема ИМ является средой нейрорадикалов. Активирующая подсистема отвечает за создание системокванта в рабочей области, который, в свою очередь, определяет поведение сложной системы.

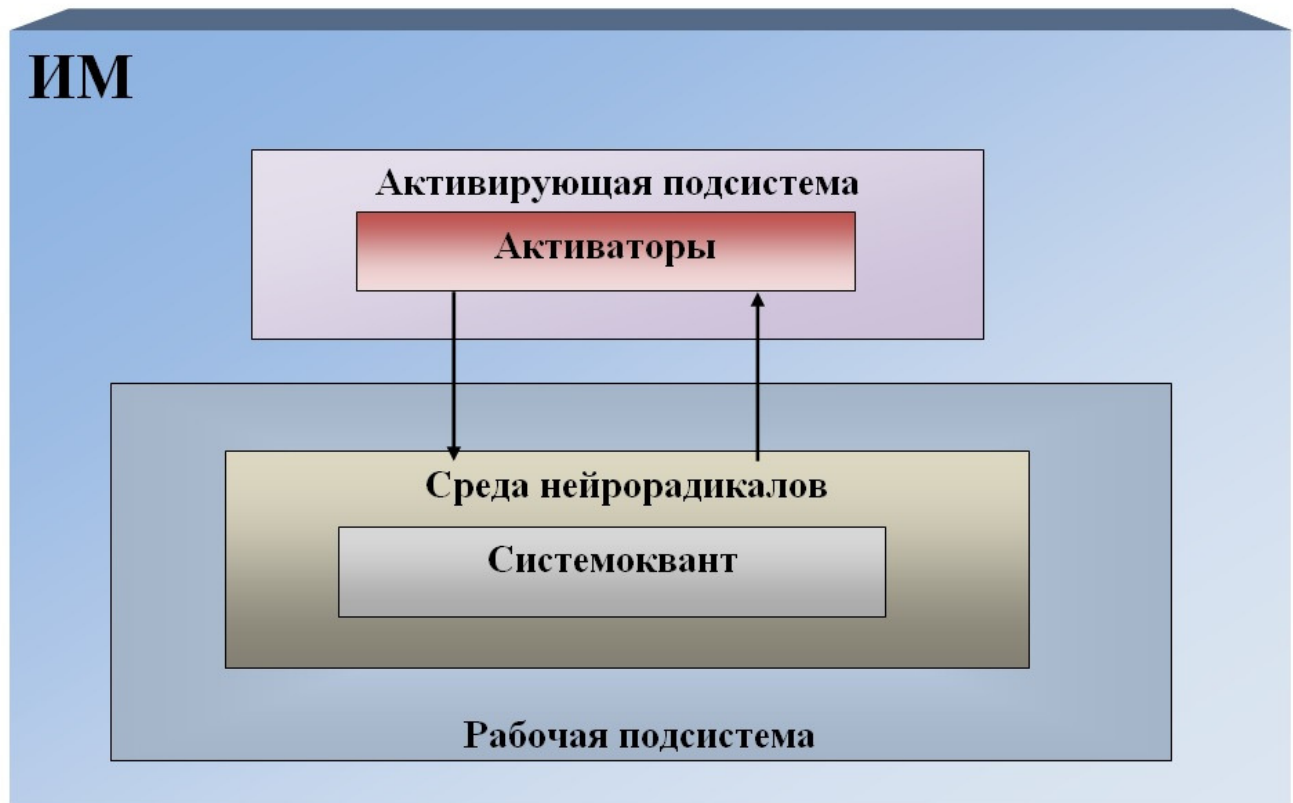


Рис.2. Интеллектуальный модуль сложной проблемно-ориентированной системы

*б) функционирование интеллектуального модуля на этапах жизненного цикла*

Работа ИМ, являющейся информационно-программным оснащением сложной системы для обеспечения ее ИСБ, определяется активирующей подсистемой. В этой статье нет детализированной структуры активирующей подсистемы [11]. Хочется отметить только то, что главную роль здесь играют активаторы, которые являются

сами радикалами и предназначены для осуществления следующих основных этапов функционирования ИС.

Этап 1. Системный анализ. В результате системного анализа очередного этапа жизненного цикла сложной системы в ИС проводится оценивание каждого действия сложной системы с целью обеспечения ее ИСБ. Всякая задача оценивания сначала исследуется ИС на предмет, является ли она штатной или нештатной для ИС. Этот этап можно назвать мотивацией ИС, рис.3.

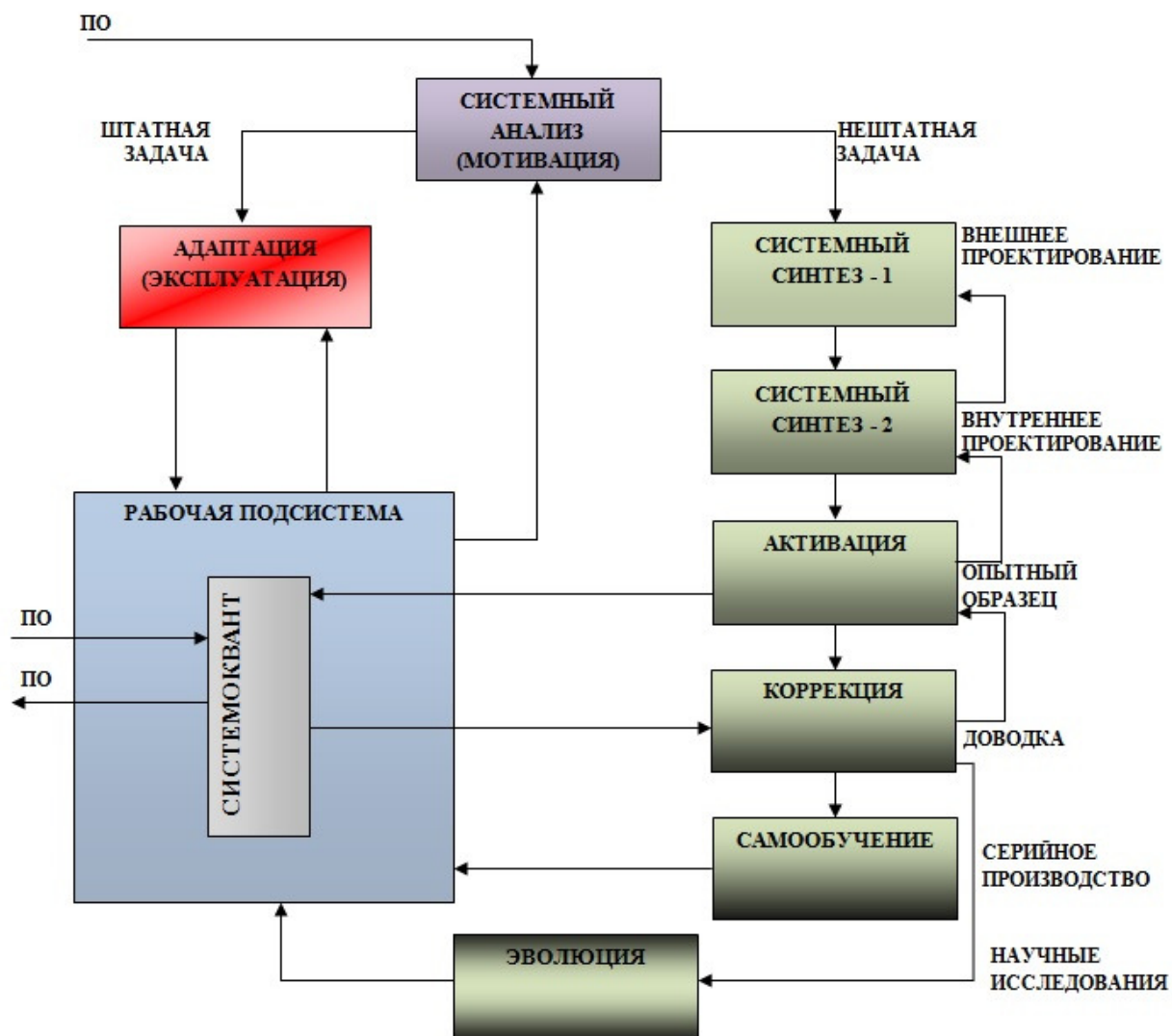


Рис.3. Функционирование интеллектуального модуля

Этап 2а. Адаптация. Если задача штатная для ИС, то далее происходит активирование в рабочей подсистеме соответствующих нейрорадикалов системокванта, который решает задачу оценивания. Если результат решения задачи оценивания будет эффективно использован для адаптации поведения сложной системы, то ИС выполнила поставленную задачу и переходит к следующей очередной задаче. Этот этап можно назвать эксплуатацией.

Этап 2б. Если результат решения штатной задачи оценивания не приводит к удовлетворительной адаптации поведения сложной системы, то задача оценивания объявляется нештатной и далее происходит творческий процесс (см. этапы 3-5) поиска подходящих нейрорадикалов.

Этап 3. Системный синтез. Если задача нештатная, то происходит анализ условий задачи с учетом имеющихся радикалов (опыта) и ограничений к сложности (затратам) будущего системокванта. Тем самым происходит обоснование и выработка как бы тактико-технического задания (ТТЗ) на системоквант. Этот этап можно назвать системным синтезом-1 или внешним проектированием системокванта, рис.3.

Далее на этом этапе идет системный синтез-2. Разработка метода и алгоритма решения задачи с требуемой эффективностью в форме сетевого плана активации имеющихся нейрорадикалов (заготовок), включая выработку признака окончательного результата, то есть условия останова решения. Тем самым происходит создание проекта системокванта. Этот этап можно назвать внутренним проектированием, рис. 3.

Этап 4. Активация (самоорганизация среды нейрорадикалов). Реализация процесса решения задачи в форме активации системокванта в режиме самоорганизации среды нейрорадикалов. Этот этап можно назвать созданием опытного образца системокванта, рис. 3.

Этап 5. Коррекция. С учетом оценивания хода решения задачи и проверки условия останова системокванта производится модификация системокванта. Если надо, то производится несколько попыток модификации системокванта. Этот этап можно назвать доводкой (отладкой, настройкой) системокванта, рис. 3.

Этап 6. Самообучение. В случае успешного решения нештатной задачи ИС закрепляет полученный опыт в форме создания новых нейрорадикалов из системокванта или отдельных его частей. При каждом последующем решении той же задачи ИС имеет уже дело со штатной задачей, для которой имеется готовый радикал ее решения. Этот этап можно назвать серийным производством системокванта в форме нейрорадикалов, рис. 3.

Этап 7. Эволюция. В случае безуспешных попыток решения нештатной задачи, ИС исследует причины неудачи и организует создание новых и уничтожение старых нейрорадикалов. Этот этап можно назвать фундаментальными научными исследованиями.

### **Заключение**

Разработана концептуальная модель проблемно-ориентированной системы управления сложными динамическими объектами. При разработке были учтены современные требования по выполнению ими новых функциональных задач, в

частности информационно-системной безопасности. Основным подходом по обеспечению таковых требований явилась интеллектуализация проблемно-ориентированных систем управления сложными динамическими объектами, а также метод системной интеграции разнородных проблемно-ориентированных систем. При этом, чем сложнее становилась система, тем важнее для нее становилась проблема обеспечения информационно-системной безопасности в течение ее жизненного цикла. Данную проблему, в свою очередь, представляется возможным решать при помощи нейрорадикалов.

С помощью среды схем радикалов однозначно и наглядно представляются (могут быть представлены) все объекты и связи проблемной области сложной системы, все процессы протекающие в ней. Удобно представляются системы и подсистемы, компоненты всех видов обеспечений (программного, технического и других), решаемые задачи.

С помощью интерфейса среды радикалов удобно наблюдать за изменяющейся проблемной областью, используя различные ее «сечения» («точки зрения»), «масштабы» для нормализованной среды радикалов. Удобно управлять решением задач, используя типизированные сообщения в целях обеспечения ИСБ.

Практическое использование полученных результатов показало их эффективность на всех этапах жизненного цикла сложной системы.

### **Библиографический список**

1. Разоренов Г.Н. Введение в теорию оптимального управления динамическими системами. М: МО СССР, 1991,-279 с.

2. Рожнов А.В., Шевцов С.Н. Обоснование методов управления и наведения при одновременной навигации, динамическом построении и обработки данных многоструктурных систем управления БПЛА / Всероссийская научно-техническая конференция "Навигация, наведение и управление летательными аппаратами". Тезисы докладов. Научтехлитиздат, 2012. Москва-Раменское: Научтехлитиздат, 2012. С. 158-159.

3. Васильев С.Н., Жерлов А.К., Федосов Е.А., Федунцов Б.Е. Интеллектуальное управление динамическими системами. М: ФИЗМАТЛИТ, 2000,-352 с.

4. Рожнов А.В., Энеев О.О. Основы формирования новых методов интеллектуальной обработки данных ИУС // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2003, № 2, с. 22-28.

5. Рожнов А.В., Жарков И.Д. Алгоритмизация интеллектуальной обработки данных в задачах самообучения слабоформальных систем // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2008, № 1-2, с. 35-42.

6. Язык схем радикалов. Методы и алгоритмы / под ред. А.В. Чечкина и А.В. Рожнова. Коллективная монография. – М.: Радиотехника, 2008, -200 с.

7. Ходаков В.Е., Жарикова М.В. Интеграция информационных технологий при создании системы поддержки принятия решений инженера лесного хозяйства // Вісник донецького національного університету, Сер. А: Природничі науки. 2008, № 2, с.490-493.

8. Чечкин А.В. Информационно-системная безопасность сложной системы. Сб. Математические методы решения инженерных задач. М.: МО РФ, 2006, -203 с.



9. Соболева Т.С., Чечкин А.В. Дискретная математика. М.: Издательский центр АКАДЕМИЯ, 2006, -293 с.

10. Воронков Г.С. Механизмы решения задач в элементарном сенсориуме. // Нейрокомпьютеры: разработка и применение. 2004, № 2-3, с.93-100.

11. Чечкин А.В., Пирогов М.В. Интеллектуализация сложной системы, как средство обеспечения ее информационно-системной безопасности // Фундаментальная и прикладная математика. 2009, Т. 15, № 3, с. 225–239.