

Активирующая подсистема – главная особенность интеллектуальной системы

А.В. Чечкин

Наличие активирующей подсистемы в Интеллектуальной Системе (ИС) является главной особенностью ИС, отличающей ее от Кибернетической Системы (КС). Активирующая подсистема в КС отсутствует так как КС сильноформализованная система. КС реализует постоянно действующий (всегда активный) алгоритм решения одного типа задач. КС – это, как правило, система управления с одной конкретной задачей управления.

ИС является принципиально слабоформализованной системой. Активирующая подсистема ИС в зависимости от ситуации, используя рефлексию ИС (собственное «Я»), временно активирует в ИС сильноформализованную (формальную) подсистему (системоквант) и тем самым осуществляет управление своим поведением. В этой статье мы обсудим процессы активации в ИС, опираясь на опыт проектирования сложных технических систем и согласуясь с процессами в биологических ИС.

1. Идентификация и классификация интеллектуальных систем

Интеллектуальная Система (рис. 1) – это целенаправленная система выбора (постановки) доминирующей (очередной) задачи из допустимого для данной ИС класса, поиск решения такой задачи, закрепление опыта решения и, если необходимо, изменение допустимого класса задач. В простейшем случае ИС является двухуровневой

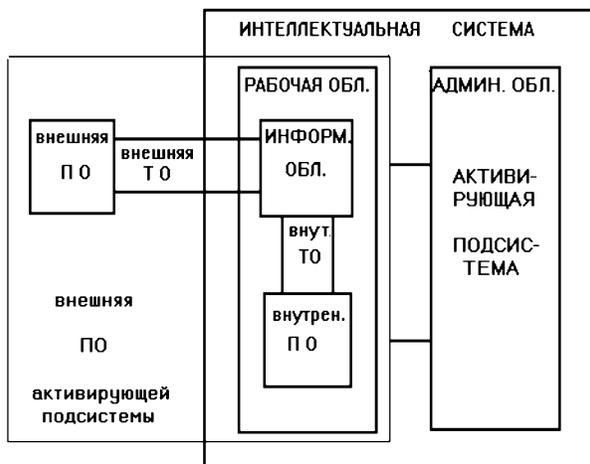


Рис. 1. Структура интеллектуальной системы.

системой. Первый уровень – это **рабочая область** ИС. В ней находятся средства решения задач. Второй уровень – это **административная область** ИС. Она организована в форме **активирующей подсистемы** ИС. Активирующая подсистема ИС отвечает за постановку очередной задачи, планирование ее решения, прогнозирование будущего результата, активирования запланированных средств в рабочей области в форме специально выделенного активного **системокванта** рабочей области ИС, контроля за функционированием системокванта, закрепление опыта решения задачи и расширение рабочей области ИС. Тем самым в ИС происходят следующие взаимодействующие процессы:

- **мотивация** – учет цели ИС и постановка доминирующей (очередной) задачи из допустимого класса, анализ этой задачи,
- **активация** – планирование будущего процесса решения и прогнозирование ожидаемого результата, активирование запланированных средств решения задачи,
- **самоорганизация** – попытка решения задачи,
- **адаптация** – коррекция очередной попытки решения и поиск успешной попытки решения задачи,

- **самообучение** – закрепление опыта решения задачи,
- **саморасширение** – изменение допустимого класса задач.

Теория интеллектуальных систем должна охватывать все классы ИС. С информационной точки зрения ИС различного назначения функционируют и устроены **одинаково**. Внешние различия ИС в **специализациях**, то есть в **классах** допустимых видов **задач**, а внутренние различия в **способах** решения таких задач. Если ИС специализируется на решении только **одного типа задач**, то нет необходимости в выборе типа (доминирующей) задачи. Если при этом еще задача алгоритмически разрешимая и в ИС имеется алгоритм ее решения, то нет необходимости в активирующей подсистеме. Такую простейшую (рефлекторную) ИС без активирующей подсистемы будем называть **Кибернетической Системой** (КС).

Пять основных классов (примеров) ИС

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ИС. Естественный интеллект индивидуума с его функциональным назначением, то есть имеющего генеральную цель своего существования. Человек или высшее животное.

ОРГАНИЗАЦИОННАЯ ИС. Фирма как ИС с ее функциональным назначением, то есть имеющая генеральную цель своего существования. Преобладание человеческого фактора в ИС.

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ ИС. Человеко-машинная система с ее функциональным назначением, то есть имеющая генеральную цель своего существования. Преобладание машинного фактора в ИС.

ИСКУССТВЕННАЯ ИС. Техническая интеллектуальная система с ее функциональным назначением, то есть имеющая генеральную цель своего существования и выполняющая функции естественной ИС.

КОНФЛИКТНАЯ ИС. Интеллектуальная система коллектива взаимодействующих между собой по единым правилам ИС, преследующих каждая свою цель.

Замечание об определении интеллекта. Определим сравнение ИС между собой. Если ИС-1 решает некоторую задачу быстрее другой

ИС-2 при прочих равных условиях (энергетических, материальных, финансовых и т.п.), то будем говорить, что ИС-1 **эффективнее** решает данную задачу, чем ИС-2. Если ИС-1 и ИС-2 имеют одну специализацию, то есть у них одно множество допустимых задач и ИС-1 решает все задачи не менее эффективно, чем ИС-2, то ИС-1 называется **не менее интеллектуальной**, чем ИС-2. Если при этом найдется хотя бы одна задача, которую ИС-1 решает эффективнее, чем ИС-2, то говорят, что ИС-1 **более интеллектуальная**, чем ИС-2. Для сравнения по интеллекту можно всегда считать, что две ИС имеют одно и то же множество допустимых задач. При этом те задачи, которые ИС не умеет решать будем оценивать бесконечным временем решения. Очевидно, не все ИС сравнимы по интеллекту. В рассматриваемом смысле **интеллект** – бинарное отношение частичного порядка (сравнение по интеллекту) на множестве всех ИС.

2. Базовые элементы интеллектуальных систем

Гипотеза о базовых элементах ИС. *Все системные организации рабочих и административной областей ИС строятся из базовых (однотипных) элементов ИС [7, 8].*

Исходя из базовых элементов, будем анализировать структурную организацию и поведенческие особенности ИС.

Предметная область – некоторые **объекты и отношения** между ними.

Интеллектуальный датчик – подсистема сбора семантической информации о части объектов предметной области, образующих, так называемое, **опорное (объектное) множество** объектов данного **интеллектуального датчика**.

Интеллектуальный исполнитель – подсистема изменения части объектов предметной области, образующих **опорное (объектное) множество** объектов данного **интеллектуального исполнителя**.

Локальная база данных – подсистема хранения семантической информации об объектах некоторого опорного множества. Таким

образом, локальная база данных всегда имеет свое опорное множество объектов предметной области внешних по отношению к ней. Основными понятиями теории локальных баз данных являются: *информация о точке, данные о точке, решетки и шкалы понятий, решетки и шкалы достоверностей, количество информации о точке, ультрамножество и др.* [7, 8].

Локальная база знаний – подсистема преобразования семантической информации об объектах некоторой предметной области. Всякая локальная база знаний имеет свою предметную область, свои входную и выходную локальные базы данных и так называемую **ультрасистему**, специальную подсистему – преобразователь данных. Основными понятиями теории локальных баз знаний являются *продукция, ультраоператор, информационная производная ультраоператора и др.* [7, 8].

Модели объектов и отношений предметной области – это системы любой природы, аналоги объектов и отношений предметной области. Адекватность моделей определяется относительно соответствующих интеллектуальных датчиков. Эти датчики должны собирать одинаковую семантическую информацию с сопоставимых внешних объектов, отношений и их моделей. Одни и те же объекты и отношения могут иметь в ИС серию (несколько) моделей разной адекватности. Модели в ИС образуют как бы **внутреннюю предметную область**, аналог внешней предметной области.

3. Нейронная реализация базовых элементов в биологической интеллектуальной системе

В биологических ИС имеются структуры, выполняющие роль базовых элементов интеллектуальной системы [4]. Основная идея здесь заключается в следующем. Внешняя предметная область представлена в ИС в виде кодов – нейронов. Для каждого типа свойств объектов предметной области: запах, геометрическая форма, цвет, движение и т.д., имеются специфические нейронные структуры, названные

одноканальными (элементарными) сенсорными системами (ОСС). Упрощенно ОСС состоит из трех видов нейронов: **рецепторов, символьных нейронов и объектных нейронов.** На входе ОСС находится свое для данной ОСС поле рецепторов, например, обонятельные луковицы. Эти рецепторы в активном состоянии реагируют на некоторые исходные свойства предметной области. Далее в ОСС имеются **символьные нейроны** нескольких синаптических уровней. На первом уровне находятся квазирецепторы, каждый из которых связан с соответствующим ему одним рецептором при помощи синаптической связи. Таким образом квазирецептор кодирует одно исходное свойство внешней предметной области. Его активация означает, что рецептор фиксирует во внешней предметной области в данный момент соответствующее исходное свойство или же идет воображение или воспоминание об этом. Далее ОСС имеет символьные нейроны следующего синаптического уровня. Они уже связаны с несколькими квазирецепторами и являются комплексными. Каждый комплексный символьный нейрон кодирует уже не исходное, а комплексное свойство. Причем каждому комплексному нейрону соответствует своя логическая формула, связывающая его со своими исходными символьными нейронами при помощи операций конъюнкции, дизъюнкции и отрицания. Далее в ОСС располагаются комплексные символьные нейроны следующего синаптического уровня и так далее. Их логические формулы строятся рекурсивно по такому же принципу, но уже из имеющихся комплексных символьных нейронов предыдущих синаптических уровней. Какие комплексные нейроны есть в ОСС, каких нет определяется генетически и в процессе развития биологической ИС. Символьные нейроны ОСС образуют **булеву решетку** свойств внешней предметной области. ОСС может содержать не все возможные элементы такой решетки, а только те, которые требуются ИС в ее жизнедеятельности. Далее ОСС содержит **объектные** (указательные, именные, идентификационные, индивидуальные) **нейроны.** Объектные нейроны соответствуют отдельным объектам внешней предметной области и являются их кодами в ОСС. Каждый объектный нейрон связан по своей логической формуле при помощи синаптических связей с теми символьными нейронами, которые кодируют свойства именно объекта со-

ответствующего объектному нейрону. Эта связь напоминает анкету свойств объекта или соответствующую запись в локальной базе данных. При этом объектный нейрон играет роль индивидуального имени объекта (чья анкета). Множество объектных нейронов ОСС образуют, так называемое, **опорное множество элементарной сенсорной системы**. Какие именно объекты внешней предметной области закодированы в элементарной сенсорной системе в форме объектных нейронов определяется генетически и в процессе развития ИС. Таким образом, всякая ОСС состоит из трех частей: **поле рецепторов, решетка символьных нейронов и опорное множество объектных нейронов**. Добавим к сказанному еще, что каждый символьный и объектный нейрон ОСС имеет свою так называемую **типовую структуру** этого нейрона. Типовая структура нейрона навешивается к нему и состоит из дополнительных нейронов дублирующих те символьные нейроны, которые раскрывают его логическую формулу.

С точки зрения информатики ОСС представляет собой одновременно интеллектуальный датчик и соответствующую ему локальную базу данных. Работа ОСС как датчика осуществляется следующим образом. Сначала выделяется объект во внешней предметной области и с ним сопоставляется соответствующий объектный нейрон в ОСС. Далее через рецепторы регистрируются исходные свойства объекта. Эти свойства активируют по восходящим связям соответствующие символьные нейроны в ОСС сначала первого синаптического уровня затем второго и так далее. В конце образуются синаптические связи активированных символьных нейронов наивысших синаптических уровней с уже выделенным объектным нейроном. Тем самым в ОСС системе появляются сведения об объекте. Как бы заполняется анкета (вводится запись) свойств объекта.

Запрос сведений о некотором объекте предметной области в такой локальной базе данных происходит обратным путем. Сначала происходит активация соответствующего объектного нейрона в элементарной сенсорной системе и при помощи типовой структуры этого нейрона происходит активация по нисходящим связям тех символьных нейронов, которые логически связаны с этим объектным нейроном. Далее таким же способом через типовые структуры сим-

вольных нейронов можно активировать их составляющие и так далее до любой имеющейся в ОСС степени детализации свойств объекта. С точки зрения информатики можно сказать, что в ОСС системе реализована, так называемая, **гипертекстовая** технология извлечения сведений. Математической моделью локальной базы данных является ультрамножество [7, 8].

Кроме одноканальных сенсорных систем в биологической ИС имеются Многоканальные Сенсорные Системы (МСС). Например, такой является зрительная система. В ней для одних и тех же объектных нейронов сходятся несколько ОСС (цвет, форма, движение и т.д.). МСС также является локальной базой данных и описывается математически ультрамножеством. Только в этом случае булева решетка свойств представляет произведение решеток (атрибутов) одноканальных свойств.

Простейшая локальная база знаний в биологической ИС образуется, если две сенсорные системы (ОСС или МСС) соединяются, так называемыми, **боковыми** (ассоциативными) синаптическими связями. При этом, если боковые связи таковы, что активация некоторого сведения из одной (входной) элементарной сенсорной системы влечет активацию некоторого сведения из другой (выходной) элементарной сенсорной системы, то это есть нейронная реализация продукции (если-то). Набор различных продукций такого типа образуют ультрасистему (одностороннюю продукционную систему) или локальную базу знаний. Какие именно боковые связи имеются в биологической ИС определяется генетически и в процессе развития ИС.

В целом сенсориум биологической ИС представляет собой распределенную базу данных и знаний о внешней предметной области.

Аналогично можно рассмотреть нейронные эффекторные системы, реализующие разнообразные интеллектуальные исполнители в биологической ИС.

Для удобства будем называть все нейроны разнообразных элементарных сенсорных систем и эффекторных систем **рабочими нейронами биологической интеллектуальной системы**.

4. Радикалы интеллектуальных систем

Простейшая ИС – это двухуровневая система (рис. 1). Первый уровень – это **рабочая (рациональная) область** интеллектуальной системы. Она имеет средства решения задач, связанные только с объектами **внешней и внутренней** предметной области. Вторым уровнем – это **активирующая подсистема (административная область) интеллектуальной системы**. Ее главная функция – активировать средства из рабочей области, ориентируясь на задачу. Рабочая область ИС представляет собой сеть **базовых элементов**. Эти элементы объединены в **ансамбли (оперативные схемы)**, названные **радикалами**. Различные радикалы могут иметь одни и те же элементы. Радикалы могут находиться в двух состояниях, **пассивном (свободном) и активном (рабочем)**. Эти состояния определяются активирующей подсистемой ИС. Базовые элементы одного радикала либо **все** пассивны, либо **все** активны. Таким образом рабочая область интеллектуальной системы есть **среда радикалов**. Перемена активности в среде радикалов по сути означает переключение элементов в различные схемы, то есть **коммутацию** базовых элементов.

ИС в общем случае является многоуровневой (вложенной) системой, которая получается из простейшей ИС заменой некоторых ее базовых элементов на соответствующие им интеллектуальные подсистемы.

Рабочая область ИС, то есть среда радикалов, распадается на три части (рис. 1).

- **Ультра среда** – это **информационная** область, где хранится в базах данных и преобразуется в базах знаний семантическая информация.
- **Терминальная (сенсорная) среда** – это область, где происходит **сбор и использование** семантической информации.
- **Опорная среда** – это внутренняя предметная область, то есть область **моделей** внешней предметной области для прогнозирования процессов во внешней предметной области и внутреннего экспериментирования.

О(опорная)-среда ИС – это область моделей, аналогов внешней предметной области. Она предназначена для прогнозирования процессов вне ИС и внутренней эмпирической деятельности. Базовые элементы О-среды можно себе представить в виде аудио и видео записей, аналоговых и имитационных моделей, математических и компьютерных моделей, различного рода экспериментальных установок (аэродинамических труб, испытательных стендов, тренажеров и т.д.), эталонных и тестовых примеров (образцов, предметов, систем, процессов и т.д.).

У(ультра)-среда ИС или информационная область предназначена для хранения и преобразования информации. Базовые элементы У-среды можно себе представлять в виде локальных баз данных и узко специализированных локальных баз знаний, ориентированных на соответствующие части внешней предметной области и О-среды.

Т(терминальная)-среда (внешняя и внутренняя) ИС – это связующая среда, которая предназначена для взаимодействия У-среды с внешней и внутренней предметными областями. Базовые элементы Т-среды можно себе представлять в виде датчиков и исполнителей (сенсорных элементов). Датчики снимают показания (данные) с объектов предметной области для соответствующих локальных баз данных У-среды. Исполнители обеспечивают выбор объектов и отношений внешней предметной области или конкретизацию моделей О-среды для проведения внутренних экспериментов по запросам из У-среды.

Выделяются три типа радикалов: О-, У-, Т-радикалы соответственно в опорной, ультра и терминальной средах.

О-радикал является оперативной схемой из базовых элементов О-среды и представляет комплексную модель некоторой части внешней предметной области для проведения оперативных внутренних экспериментов. С точки зрения лингвистики пассивный О-радикал соответствует семантической сети. Активный О-радикал позволяет осуществлять во внешней предметной области принцип «гештальта», то есть реализовать выбор «объект–фон» и «отношение–фон». При таком выборе ИС осуществляет слежение за частью объектов и отношений во внешней предметной области, а остальное является как бы фоном. О-радикал часто позволяет неоднократно повто-

рять внутренний эксперимент в обычном, ускоренном, замедленном, обратном времени или делать стоп-кадр с целью получения новых данных для решения информационных задач в $У$ -среде и получения новых знаний в режиме саморасширения ИС.

У-радикал является оперативной экспертной системой, предметно ориентированной распределенной базой данных и знаний в форме сети накопителей и преобразователей данных. Накопитель – это локальная база данных. Преобразователь или ультрасистема – это локальная база знаний.

Т-радикал является оперативной контрольно-измерительной системой в форме сети интеллектуальных датчиков и исполнителей.

Замечание. Наряду с O -, $У$ -, T -радикалами в среде радикалов могут быть комплексные радикалы, в которых участвуют базисные элементы различного назначения. Комплексные радикалы образуют более сложные подсистемы интеллектуальных систем такие как **экспертные системы, системы управления** и т.д. В настоящее время в практической информатике наметилась тенденция организации сред радикалов на основе глобальных информационных сетей, например, интернет. Такие среды включают большое число профессионально ориентированных локальных баз данных и локальных баз знаний, экспертных систем, многочисленные модели разнообразных предметных областей.

5. Нейронная реализация радикалов в биологической интеллектуальной системе

Выскажем **гипотезу** об организации радикалов в биологических ИС при помощи **командных** нейронов. Возможны другие гипотезы об организации радикалов, но в предлагаемой нами гипотезе используется тот же природный нейронный механизм, что и в элементарной сенсорной системе. Кроме этого командные нейроны имеются в эффекторной нейронной системе. Они активируют последовательно группы мышц при сложных движениях тела. Каждый радикал образуется генетически или в процессе обучения и развития при помощи специального радикала образующего командного нейрона по следу-

ющему правилу. Рассмотрим некоторую сеть из нейронов ОСС. Для организации радикала из этой сети выделяется специальный нейрон вне ОСС, который связывается при помощи синапсов с каждым нейроном выделенной сети по логической формуле конъюнкции. Такой нейрон будем называть **командным**. Он играет роль командира (начальника) сети. Теперь без активации (команды) этого командного нейрона функционирование выделенной сети невозможно, то есть появился радикал. Пассивное и активное состояние этого радикала определяется его командным нейроном. Пусть теперь необходимо организовать новый радикал из другой сети нейронов ОСС и пусть среди нейронов новой сети встречаются нейроны уже имеющегося радикала. Тогда снова выделяется другой специальный нейрон вне ОСС и он соединяется синаптическими связями с каждым нейроном новой подсхемы по логической формуле конъюнкции. При этом для тех нейронов, к которым подходят связи от двух командных нейронов логическая формула должна быть конъюнкцией с дизъюнктом обоих сигналов от каждого из этих командных нейронов. Тем самым активация хотя бы одного из командных нейронов открывает возможность функционирования соответствующего нейрона.

Рассмотренные нами радикалы образуют первый синаптический уровень радикалов. Эти радикалы образованы непосредственно из рабочих нейронов элементарных сенсорных систем и эффекторных систем. Радикалы следующего синаптического уровня образуются по тому же принципу. Теперь командные нейроны первого уровня объединяются в схемы при помощи командных нейронов второго уровня. Очевидно, что активация командного нейрона второго уровня вызывает сначала активацию соответствующих командных нейронов первого уровня, а затем разрешение на функционирование соответствующих рабочих нейронов, составляющих собственно тот радикал, за который отвечает командный нейрон второго уровня. Также определяются радикалы более высоких синаптических уровней. Всего возможное число радикалов в среде радикалов интеллектуальной системы определяется по той же формуле как и число элементов в полной решетке символьных нейронов сенсорной системы. При этом число возможных атомарных радикалов составляет число всех рабочих нейронов, то есть рецепторов, символьных нейронов

и объектных нейронов во всех элементарных сенсорных системах, а так же нейронов всех эффекторных систем интеллектуальной системы. В интеллектуальной системе среда радикалов может содержать не все возможные радикалы, а только часть из них, которые определяются генетически или в процессе обучения и развития.

Рассмотрим пример. Выделим сеть из некоторых объектных нейронов и образуем из нее радикал при помощи командного нейрона первого уровня. Тем самым мы получим опорный радикал, он моделирует связи между соответствующими объектами во внешней предметной области, то есть является моделью части внешней предметной области. Если мы имеем несколько опорных радикалов, то есть несколько моделей различных частей внешней предметной области, то при помощи командного нейрона второго уровня мы можем организовать комплексный радикал из имеющихся. Такой комплексный радикал будет моделью уже более сложной части внешней предметной области. Аналогично можно рассмотреть любые другие радикалы биологической интеллектуальной системы.

Гипотеза о языковой системе человека. У человека имеются две как бы параллельные нейронные системы [4], сенсорная и языковая. В связи с выделением факта существования и роли РАДИКАЛОВ в сенсорной нейронной системе, естественно сделать предположение, что КОМАНДНЫЕ НЕЙРОНЫ таких радикалов соответствуют СЛОВАМ (ПОНЯТИЯМ). Лексике языка соответствует множество всех (сеть) командных нейронов.

6. Системокванты интеллектуальных систем

Понятие **системокванта** в физиологии и психологии ввел К.В. Судаков [6] в развитие и уточнение теории **функциональных систем** П.К. Анохина [3]. Системоквант определяется как целенаправленная физиологическая подсистема живого существа, активируемая для удовлетворения некоторой его потребности и, вызывающая соответствующие поведенческие акты со стороны этого живого существа. Наличие системоквантов наблюдается у всех живых существ.

Построение системоквантов в любой ИС осуществляется на основе **синергетического принципа**. Активирующая подсистема ИС, согласуясь с генеральной целью ИС, выбирает доминирующую задачу (**мотивация ИС**) из допустимого класса и, в зависимости от задачи, задает в среде радикалов **потенциалы активности радикалов**, например, вероятностную меру. Радикалы с наибольшим потенциалом активности активируются (**активация ИС**). Из **активных радикалов** образуется начальный **системоквант (рабочая сеть)** для попытки решения требуемой задачи. Такой системоквант представляет собой временную активную **Кибернетическую Систему (КС)**, которая является тактической для решения выбранной задачи. **Результат** решения задачи системоквантом оценивается в активирующей подсистеме ИС. Если задача не решена, то происходит саморасширение системокванта по заданным правилам с учетом потенциалов активности радикалов и продолжается решение задачи расширенным системоквантом. После успешного решения задачи среда радикалов переходит в пассивное состояние, системоквант распадается на радикалы. Процесс функционирования системокванта и его саморасширение, то есть попытку решения им задачи можно назвать **самоорганизацией ИС**.

Вмешательство активирующей подсистемы ИС в процесс самоорганизации с целью коррекции потенциала активности радикалов, то есть поиск новой более успешной (эффективной) попытки решения можно назвать **адаптацией ИС**. После успешного или неуспешного решения задачи происходит оценивание **процесса решения** и активирующая подсистема, если надо, меняет радикалы (**самообучение**) и базисные элементы (**саморасширение**).

Каждый радикал среды может находиться в одном из двух состояний, пассивном или активном. Активное состояние означает готовность радикала к выполнению работы. Например, активный У-радикал означает состояние готовности к обработке им запроса. Активный О-радикал означает состояние проведения внутренних экспериментов, например, имитационного моделирования и т.д. Активный Т-радикал означает состояние проведения контрольно-измерительных работ и работ по управлению определенной частью объектов внешней предметной области или О-среды.

Активацию в среде радикалов вызывает **активирующая подсистема** интеллектуальной системы в форме своеобразного приказа радикалам с наибольшим потенциалом активности решить **задачу**. В среде радикалов появляется начальный активный участок, **начальный системоквант** рабочей среды. В системокванте происходит попытка решения этой задачи, то есть подготовка ответа на запрос или выполнение приказа. Результат решения оценивается. Если задача не решена, то происходит потактовое самонаращивание начального системокванта сети другими радикалами из пассивных с учетом потенциалов активности по определенным правилам **самоорганизации** и продолжается попытка решения задачи. Происходит процесс распространения активности в среде радикалов.

В случае когда требуется сменить попытку решения задачи, то есть вмешаться в процесс самоорганизации, активирующая подсистема изменяет распределение потенциалов активности радикалов. Происходит **адаптация** интеллектуальной системы и корректировка распространения активности в среде радикалов.

Самоорганизация ИС – это попытка решения задачи, поставленной **активирующей подсистемой**. Без задачи среда радикалов находится в пассивном состоянии. При поступлении задачи (приказа) в среде радикалов задается потенциал активности, соответствующий этой задаче и самоорганизуется системоквант, где происходит попытка решения задачи. **Адаптация ИС** – это корректировка процесса самоорганизации ИС со стороны активирующей подсистемы.

После завершения работы системокванта каждый раз происходит **оценивание** результата **активирующей подсистемой** и вырабатывается установка на продолжение попытки решения задачи (**самоорганизация**) или на изменение попытки решения (**адаптация**) или на изменение радикалов (**самообучение**). В рабочей области происходит изменение, рождение и уничтожение радикалов (учет опыта). Затем интеллектуальная система переходит в пассивное состояние. Если системоквант охватывает все базовые элементы ИС, то есть появляется максимально большой системоквант и задача не будет решена, то активирующая подсистема вырабатывает установку на **саморасширение** ИС. После чего интеллектуальная

система переходит в режим саморасширения, то есть изменения своих базовых элементов и, тем самым изменяется **класс** допустимых задач ИС. Затем процесс решения задачи снова возобновляется. И так далее.

Самообучение ИС – это режим изменения радикалов, в котором не появляются новые и не уничтожаются старые базовые элементы, а появляются новые и уничтожаются старые схемы из базовых элементов. Тем самым происходит закрепление **опыта**, привитие **навыков**, получение **эвристик**, которые используются в дальнейшем при самоорганизации ИС, то есть при очередной попытке решения задачи или при реализации стратегии адаптации (выбора) в среде радикалов (поисковом пространстве).

Саморасширение ИС – это режим эволюции ИС, изменения внешней и внутренней предметных областей, пополнения старых и получение новых знаний и данных, то есть создание новых и уничтожение старых базовых элементов ИС.

7. Активирующая подсистема интеллектуальных систем

В отличие от Кибернетической Системы (КС), генеральная цель существования ИС слабоформализованная, то есть не настолько конкретная, чтобы она соответствовала одному типу задач. Каждый раз ИС должна выбирать очередную доминирующую конкретную задачу, исходя из постоянно меняющейся внешней к ИС ситуации. Для выбранной задачи ИС должна в рабочей области организовать системоквант, то есть ту оперативную КС, которая будет решать выбранную задачу и вести контроль за ходом решения.

Смена внешней ситуации приводит к смене доминирующей задачи в ИС и, следовательно, к смене оперативной КС ее решающей. Такое переключение осуществляет активирующая подсистема ИС.

ПРИНЦИПЫ АКТИВАЦИИ ИС. В активирующей подсистеме ИС реализуются следующие взаимодействующие процессы:

- **Рефлексия.** *Моделирование поведения ИС, то есть формализация процесса решения задач, определение показателей эф-*



Рис. 2. Функционирование активирующей подсистемы ИС.

фективности решения, составление модели решения задач. Тестирование модели. (Внешнее проектирование).

- **Мотивация.** Выбор доминирующей задачи, соответствующей генеральной цели ИС и обоснование условий задачи. (Формирование требований к решению. Выработка тактико-технического задания).
- **Декомпозиция.** Анализ и декомпозиция задачи. Планирование (принятие) графика ее решения. Выбор метода решения с учетом условий задачи. (Предварительное и эскизное проектирование решения).
- **Самонастраивание.** Выбор алгоритма решения задачи и определение портрета (шаблона) будущего результата решения задачи. (Рабочий проект решения).
- **Активация.** Возбуждение начального системокванта в рабочей области ИС, соответствующего выбранному алгоритму.

(Пробное, опытное решение задачи).

- **Контроль.** *Оценивание хода решения задачи в рабочей области на соответствие прогнозируемому решению. Расширение системокванта с целью получения приемлемого результата решения. (Испытания опытного решения).*
- **Адаптация.** *В случае неэффективной работы системокванта производится ревизия радикалов в рабочей области, возвращение к этапу принятия решения и выбор нового алгоритма решения задачи. (Доводка опытного решения).*
- **Самообучение.** *В случае эффективной работы системокванта производится его оптимизация и создание нового радикала в рабочей области. (Серийное производство успешного решения).*
- **Саморасширение.** *В случае невозможности решения задачи имеющимися в рабочей области ИС средствами происходит создание новых базовых элементов ИС. (Поисковые, фундаментальные и прикладные исследования).*

Замечание о теории исследования операций и теории функциональных систем.

В формулировках принципа активации нашла свое отражение теория и практика организационных и автоматизированных ИС и, в первую очередь, практика и теория проектирования сложных технических систем, управления проектами, в частности, практика и теория управления войсками и оружием. Эта область знаний объединяется термином **теория исследования операций** [1, 2]. Кроме этого.

Для биологической ИС принцип активации изучается на уровне нейронной системы в **теории функциональных систем** П.К. Анохина, К.В. Судакова [3, 5, 6]. При этом

- **афферентный синтез** соответствует процессу рефлексии и мотивации,
- **принятие решения** в теории функциональных систем соответствует процессу декомпозиции и самонастраиванию в принципе активации,

- **эфферентный синтез** соответствует процессу активации,
- **акцептор результатов действия** соответствует контролю решения и адаптации.

В теории функциональных систем процессы самообучения и саморасширения изучаются без выделения специфических этапов функционирования [5].

Вывод о проблеме математического моделирования ИС как проблеме не алгоритма

Процесс функционирования ИС, по-видимому, в общем случае не является **алгоритмическим**. Построение математической модели ИС потребует разработки нового математического понятия, которое можно назвать **слабоформальной системой**. Особенностью такой системы является

- 1) **самонастраивание** слабоформальной системы в зависимости от класса входной задачи до такой **формальной системы** [9], в которой бы эта задача была алгоритмически разрешима,
- 2) **самообучение** слабоформальной системы, то есть пополнение слабоформальной системы опытом, навыками наиболее успешного решения задач,
- 3) **саморасширение** слабоформальной системы для решения нового класса задач, то есть слабоформальная система должна быть открытой системой.

Проблема не алгоритма. *Существуют ли алгоритмически неразрешимые проблемы, которые решаются в рамках слабоформальных систем?*

Список литературы

- [1] Катулев А.Н., Северцев Н.А. Исследование операций. Принципы принятия решений и обеспечение безопасности. М.: Наука, 2000.

- [2] Надежность и эффективность в технике. Справочник в десяти томах. Эффективность технических систем. Том 3. М.: Машиностроение, 1988.
- [3] Анохин П.К. Очерки по физиологии функциональных систем. М.: Медицина, 1975.
- [4] Воронков Г.С., Чечкин А.В. Проблемы моделирования сенсориума и языковой системы естественного интеллекта индивидуума // Интеллектуальные системы. 1997. Т. 2. Вып. 1–4. С. 35–54.
- [5] Судаков К.В. Теория функциональных систем. М., 1996.
- [6] Системокванты физиологических процессов / под ред. К.В. Судакова. М.: Международный гуманитарный фонд арменоведения им. академика Ц.П. Агаяна, 1997.
- [7] Чечкин А.В. Математическая информатика. М.: Наука, 1991.
- [8] Чечкин А.В. Синергетический принцип и основные понятия математической информатики // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. М.: ВИНТИ, 1999. №4. С. 14–22.
- [9] Гильберт Д., Бернайс П. Основания математики. Логические исчисления. М.: Мир, 1978. Основания математики. Теория доказательств. М.: Мир, 1982.