

# ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ И АРХИТЕКТУРА САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Владимир Викторович ДРОЖДИН,  
Роман Егорович ЗИНЧЕНКО

## PREMISES FOR CREATION AND THE ARCHITECTURE OF SELF-ORGANIZING INFORMATION SYSTEMS

Vladimir V. Drozhdin,  
Roman E. Zinchenko

**РЕЗЮМЕ.** Информационные системы получили широкое распространение в различных сферах деятельности человека. Однако в последние годы в организации таких систем не появляется ничего принципиально нового. В связи с этим предлагается рассмотреть эволюцию архитектуры информационных систем от систем с файловой организацией данных до самоорганизующихся информационных систем. Приводятся определение и свойства самоорганизующейся информационной системы, характеристики ее основных компонентов и поведение в различных ситуациях. Показана целесообразность взаимодействия самоорганизующейся информационной системы с системой иерархически организованных пользователей для запуска процесса коэволюции систем и создания системы более высокого уровня. Указаны имеющиеся предпосылки для создания самоорганизующихся информационных систем.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** общая теория систем, синергетика, информационная система, самоорганизующаяся система, архитектура информационной системы, модель предметной области, база данных, эволюционная модель данных.

**ABSTRACT.** Computer information systems got wide distribution in different areas of human activity. But nevertheless, in recent years there were no significant progress in developing information systems architecture. The article covers evolution of information systems architecture beginning from file-structured systems up to self-organizing information systems. The definition and properties of self-organizing information system are given; its main components characteristics and its behavior in different situations are described. Appropriateness of self-organizing information systems interaction with the system of hierarchically organized users is shown. This allows launching co-evolution process and forming a system of higher hierarchical level. The premises for creation of self-organizing information systems are given.

**KEYWORDS:** general systems theory, synergetics, information system, self-organizing system, information system architecture, data domain model, database, evolutionary data model.

## 1. Введение

Наши исследования, посвященные созданию самоорганизующихся информационных систем, лежат на стыке информатики, общей теории систем и синергетики.

Как показано в [1], синергетическое понятие “самоорганизация” является аналогом Аристотелевской *causa formalis* как “формообразующей” по причине необходимости постоянного гомеостатического поддержания некоторой вещественной формы. Кроме этого, в свете нео-Аристотелизма при самоорганизации имеет место четко выраженная триадичность состояний системы – последовательная смена трех сфер целостных автономных жизненных процессов: двух противоположных (полярных) циклов – порядка и хаоса, и промежуточного состояния фазового перехода (перехода от порядка к хаосу и наоборот). Процесс самоорганизации в открытой системе призван обеспечить более высокую пропускную способность поступающих на ее вход в процессе взаимодействия со средой вещества, энергии и информации. Это требует повышения неравновесности системы. Вследствие чего прежние взаимосвязи между элементами системы, определяющие ее структуру, разрушаются и возникают новые связи, когерентные поля, приводящие к кооперативным процессам, т.е. к согласованному коллективному поведению ее элементов. Как показывают наши исследования [2, 3] формирование подсистем и уровней организации самоорганизующейся информационной системы осуществляется на основе взаимозависимого взаимодействия составляющих ее автономных компонентов, согласование между которыми осуществляется на основе двух основных принципов: достаточной свободы в организации и функционировании автономных компонентов, и поддержке соответствия между ними в форме системного изоморфизма [4]. Это позволяет порождать рабочие и регуляторные механизмы и запускает процесс коэволюции компонентов внутри системы.

Хотя самоорганизация систем осуществляется за счет внутренних способностей и средств системы [5], однако достраивание и совершенствование системы управляются из будущего, некоторой структурой-аттрактором [6]. Поэтому разработка архитектуры самоорганизующихся информационных систем, допускающей самостоятельное формирование системой своей внутренней организации на основе имеющихся эмпирических знаний о себе и о внешней среде, является существенным шагом как к более точному пониманию процессов, происходящих во вселенной, так и к созданию принципиально новых систем и устройств.

Биокосмология, общая теория систем и синергетика, позволяющие выявлять фундаментальные принципы и законы мироздания, являются надежной основой исследований в области создания самоорганизующихся систем.

## 2. Эволюция архитектуры информационных систем

История развития автоматизированных информационных систем (АИС) составляет уже более полувека и, возможно, вплотную приблизилась к созданию самоорганизующихся информационных систем (СИС).

До настоящего времени было создано несколько поколений АИС:

1) АИС с базой данных в виде набора независимых файлов, при этом программное обеспечение (ПО) поддерживало модель обработки записей на основе файлов (1950–1960-е гг.);

2) появление первых систем управления базами данных (СУБД) – иерархическая IMS и сетевая IDS (середина 1960-х гг.);

3) появление DBTG-систем (конец 1960-х – начало 1970-х гг.);

4) разработка архитектуры ANSI-SPARC (1975 г.) и АИС на ее основе (середина 1970-х – середина 1990-х);

5) усовершенствование архитектуры ANSI-SPARC и появление современных информационных систем (середина 1990-х – настоящее время).

Рассмотрим основные характеристики АИС, соответствующие указанным этапам.

Использование АИС с моделью обработки записей на основе файлов (рис. 1), сопровождалось существенными неудобствами и недостатками.

*Во-первых*, в таких АИС для каждого приложения база данных представляла собой отдельную совокупность файлов. Следовательно, навигация (или манипулирование данными) в такой базе данных (БД) целиком возлагалась на разработчика программного обеспечения. Поэтому программист должен был знать структуру файлов, используемых в каждом конкретном приложении, а приложения в свою очередь получались полностью зависимыми от физической организации данных в файлах, так как физическая структура данных и способ хранения записей в файлах жестко фиксировались в программном коде приложений. Как следствие, обычным явлением была несовместимость форматов файлов, которые использовались в качестве БД для приложений, созданных на разных языках программирования и разными разработчиками.

*Во-вторых*, разработка приложений для таких систем была крайне трудоемкой по следующим причинам. Поскольку данные даже одного приложения могли размещаться в разных файлах, то это приводило к усложнению доступа к ним, а также к существенному повышению трудоемкости обработки данных вследствие необходимости их синхронной обработки в различных файлах. Кроме этого, обработка запросов и формирование отчетов осуществлялись на низком (физическом) уровне, что повышало трудоемкость разработки системы, приводило к сокращению типов запросов и увеличению количества файлов и приложений. Это неизбежно негативно сказывалось на адекватности АИС информационным потребностям пользователей.

*В-третьих*, неразрешимыми оставались проблемы с поддержкой целостности данных и обеспечением безопасности АИС. Дело в том, что

децентрализованное размещение и обработка данных неизбежно приводили к постоянному и многократному дублированию информации, поэтому в АИС постоянно накапливались многочисленные противоречия. Проблемы с обеспечением безопасности усугублялись тем, что средства аварийного восстановления системы после сбоев программного или аппаратного обеспечения практически отсутствовали.

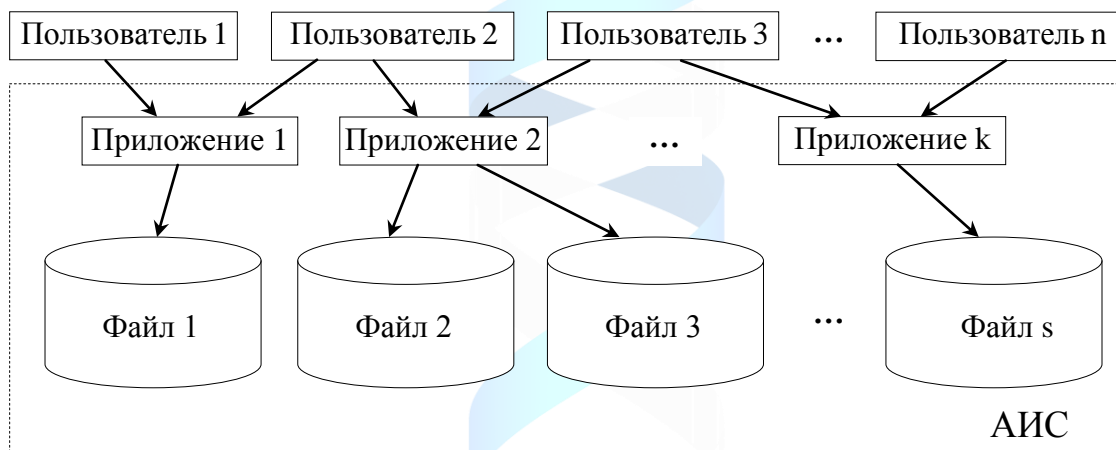


Рисунок 1. Архитектура информационной системы с поддержкой модели обработки записей на основе файлов.

По-видимому, единственным решением для устранения всех или части указанных недостатков было создание некоторого промежуточного ПО, которое бы разместилось в архитектуре между приложением и базой данных. По крайней мере, это позволило бы исключить из прикладных программ определение организации данных и низкоуровневую обработку данных в БД.

Именно по этому пути и пошло дальнейшее развитие архитектуры АИС.

Первые СУБД, которые позволили решить часть проблем и снять с приложений трудоемкую задачу манипулирования файлами, были системы IMS и IDS, разработанные в США в середине 1960-х годов. IMS была реализована в рамках иерархической модели данных, а IDS – в рамках сетевой модели данных. IDS примечательна тем, что на ее основе были разработаны первые стандарты для СУБД. Хотя сформированная для этих целей рабочая группа DBTG (Database Task Group) выработала некоторые определения спецификаций среды для разработки баз данных и управления данными, однако DBTG-системы (АИС, создававшиеся по этим спецификациям) также обладали существенными недостатками. Например, даже для выполнения простых запросов с использованием переходов и доступом к определенным записям необходимо было создавать достаточно сложные программы, что обеспечивало слабую независимость программ от данных.

Такое положение вещей не могло удовлетворять специалистов, и в середине 1970-х годов была предпринята еще одна попытка разработки нового стандарта для преодоления оставшихся проблем. В 1975 году комитет ANSI/X3/SPARC американского института ANSI провел работу и предложил архитектуру АИС с трехуровневой организацией данных. Предложенная

архитектура предполагала наличие трех уровней представления данных: внешнего, концептуального и внутреннего (рис. 2).

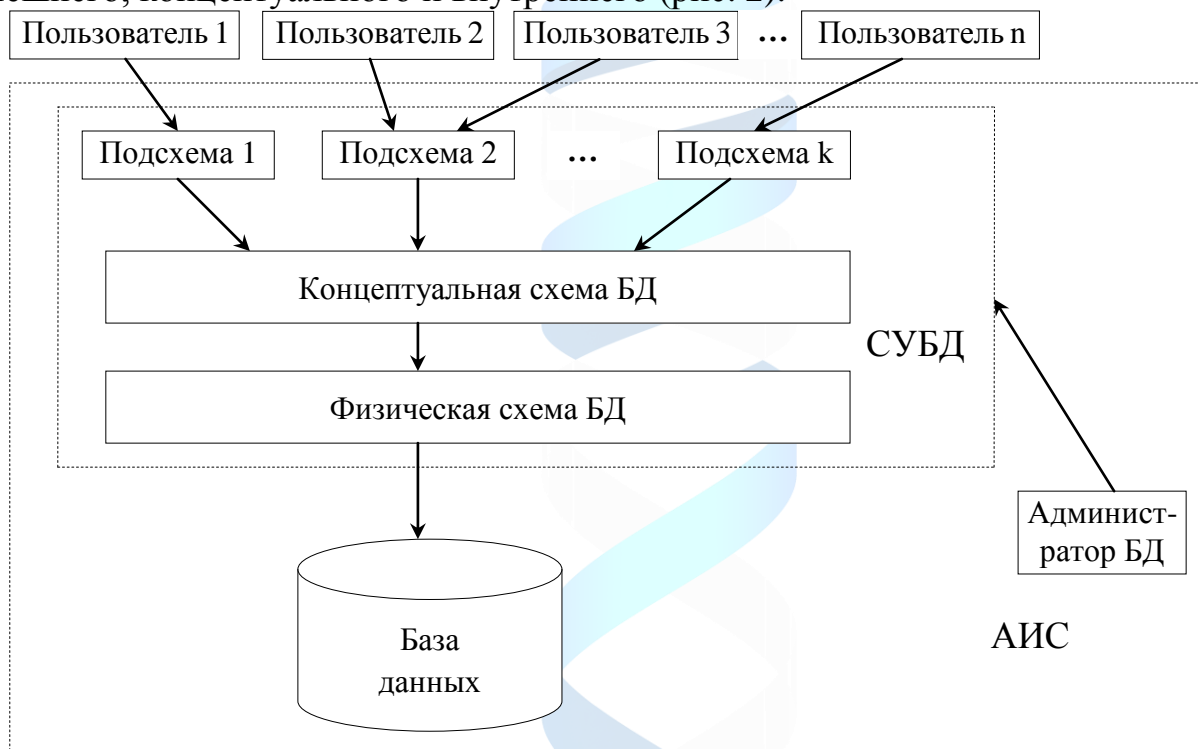


Рисунок 2. Архитектура ANSI-SPARC.

АИС, разработанные по данной спецификации, обладали рядом существенных преимуществ по сравнению с предшествующими поколениями информационных систем.

*Во-первых*, за счет отображений «внешний – концептуальный» и «концептуальный – внутренний» снизилась (практически до полного исчезновения) зависимость прикладных программ от данных и их организации на физическом уровне.

*Во-вторых*, была достигнута минимальная избыточность данных, а также стабильность БД и простота использования данных внешними системами.

Кроме этого, стала возможной синхронность изменения данных для всех пользователей, а затраты на ведение БД оказались минимальными.

Однако у таких АИС были и недостатки. Оставался открытым вопрос обеспечения физической и логической целостности БД, а также защиты БД от несанкционированного доступа. Кроме того, возникла проблема разрешения коллизий при одновременном обращении нескольких пользователей к одним и тем же данным. Наиболее важным является необходимость в проектировании БД, результатом которого является концептуальная модель предметной области (ПрО) и ее реализация в виде подсхем пользователей и концептуальной схемы БД, в рамках некоторой даталогической модели данных, поддерживаемой СУБД.

В рассмотренных моделях отсутствовали действия (операции) и их последовательности, моделирующие протекание процессов в предметной



области. Данная ситуация привела к необходимости усовершенствования архитектуры ANSI-SPARC, которое заключалось в замене пользовательского (внешнего) уровня программным приложением, поддерживающим представления пользователей и бизнес-процессы ПрО, и переходом к двухуровневой организации данных, поддерживаемой СУБД. Так появилась архитектура современных АИС (рис. 3).

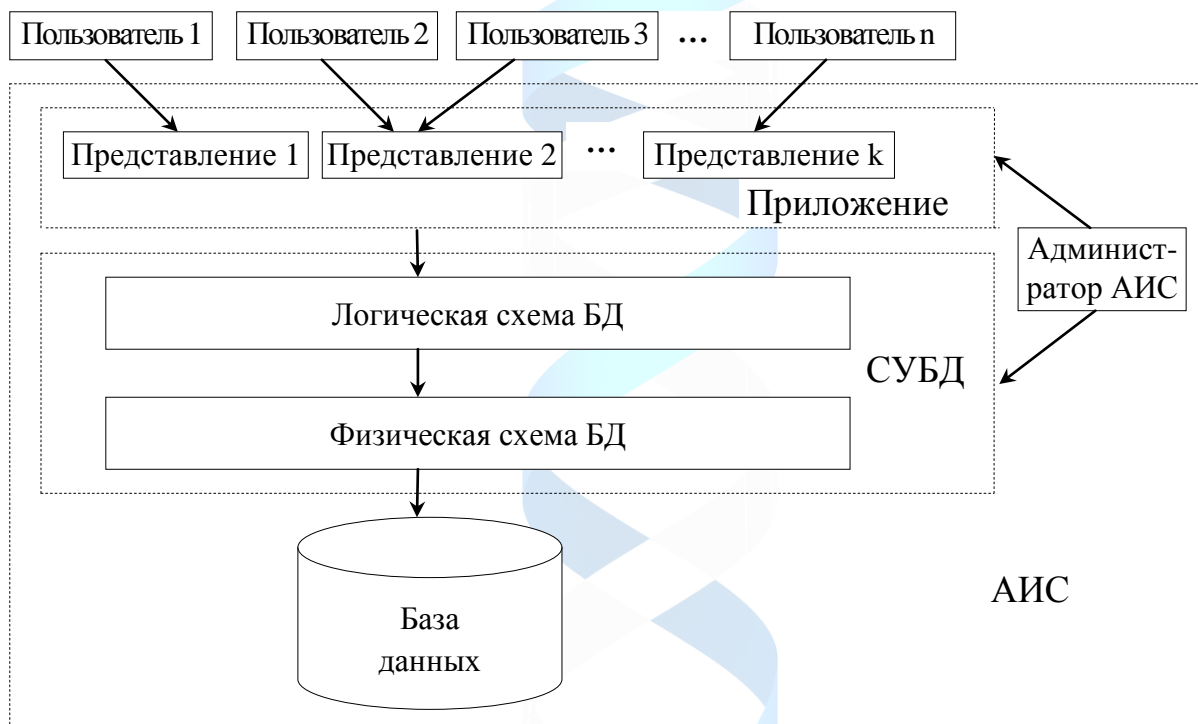


Рисунок 3. Архитектура современных информационных систем.

Архитектура современных АИС предполагает наличие большого и сложного этапа проектирования системы, однако формализованная концептуальная модель ПрО, являющаяся однократно созданным самостоятельным объектом (документ, диаграмма и т.д.), явно не поддерживается создаваемой информационной системой. Целесообразно считать эти факторы достаточно существенными недостатками устоявшейся архитектуры АИС. Поэтому предлагается дальнейшее совершенствование архитектуры современных АИС по 2-м направлениям.

*Во-первых*, поскольку пользователи являются уникальными носителями знаний о предметной области, то целесообразно возложить существенную часть проектирования и создания АИС непосредственно на пользователей, предоставив им высокоуровневые средства концептуального моделирования ПрО. Это приведет к снижению сложности и трудоемкости проектирования и создания АИС. При этом система должна обладать способностью создавать и поддерживать БД, адекватную концептуальной модели ПрО.

*Во-вторых*, предлагается включить формализованную концептуальную модель предметной области в структуру АИС. При этом архитектура АИС должна быть модифицирована таким образом, чтобы она непосредственно поддерживала концептуальную модель предметной области и автоматически

обеспечивала соответствие этой модели логической схеме БД.

Приведенные усовершенствования целесообразно реализовать в рамках принципиально новой архитектуры АИС, предлагаемой авторами (рис. 4).

Кроме указанного, новая архитектура имеет еще ряд преимуществ.

*В-третьих*, новая архитектура предполагает независимую эволюцию концептуальной модели предметной области и базы данных.

*В-четвертых*, в новой архитектуре пользователи представляются системой объектов, организованных в сетевую структуру с иерархическими связями (в отличие от множества независимых пользователей в предшествующих архитектурах АИС).

Таким образом, не затрагивая организацию данных в системе, предложенная архитектура АИС предполагает существенные усовершенствования на уровне представления пользователей (в виде системы пользователей), на уровне концептуального моделирования предметной области, а также на уровне отображения концептуальной модели предметной области в базу данных, которое реализовано в виде динамически поддерживаемого соответствия.

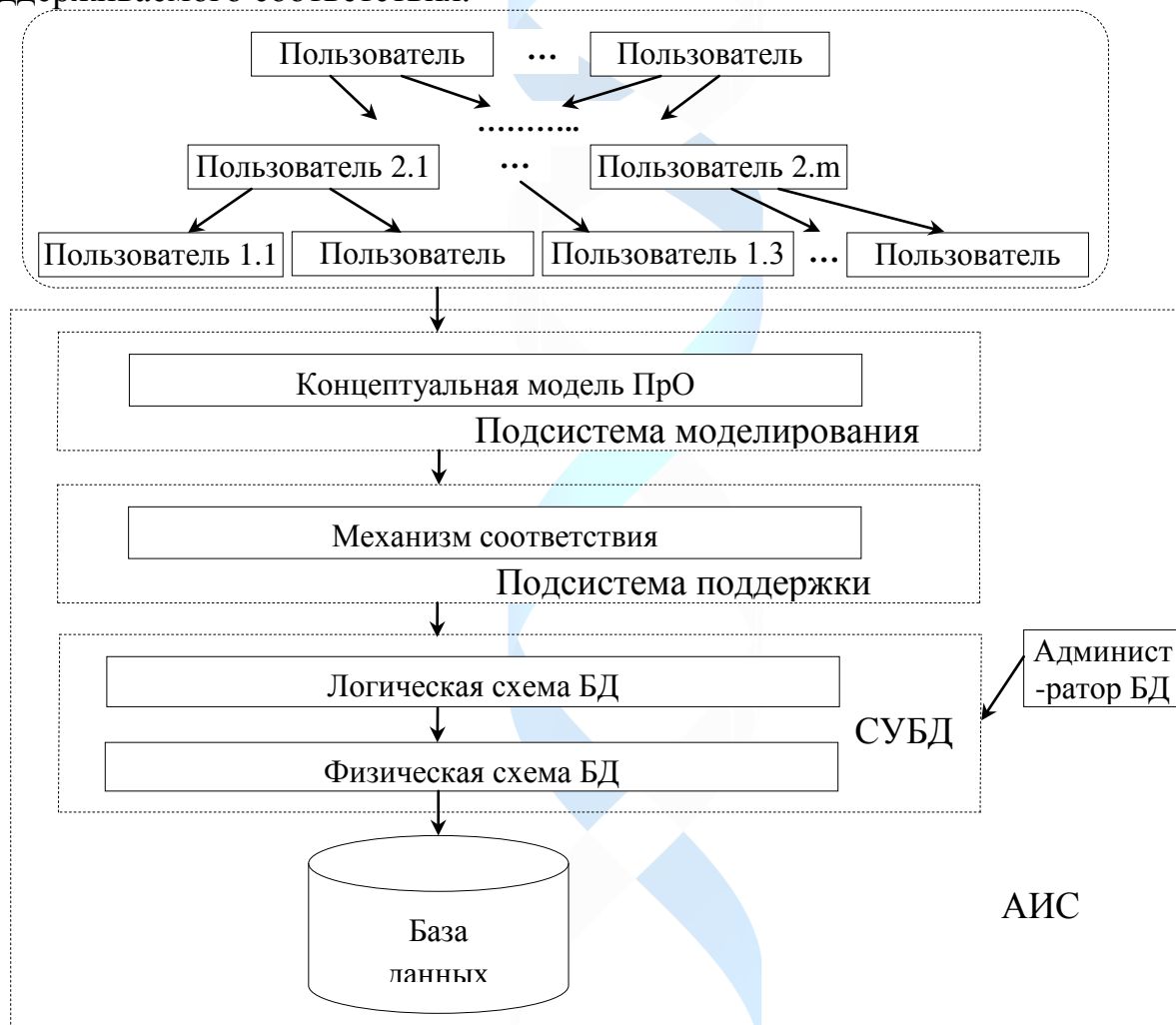


Рисунок 4. Новый подход к проектированию архитектуры информационных систем.

Дальнейшее совершенствование архитектуры АИС необходимо производить на уровне организации данных. Это связано с тем, что организация базы данных, например, в рамках реляционной модели данных, является пассивной системой и не позволяет механизму поддержки динамического соответствия функционировать с максимальной эффективностью.

Поэтому дальнейшее развитие предложенной архитектуры АИС должно осуществляться за счет совершенствования организации базы данных, которую предлагается создавать в рамках конструктивной эволюционной модели данных (таблица 1). Создаваемая эволюционная БД будет обладать существенными преимуществами по сравнению с существующими системами.

*Во-первых*, эволюционная БД является активной системой, способной самостоятельно устранять снижение ее адекватности концептуальной модели предметной области, осуществлять выявление логических закономерностей (в том числе функциональных зависимостей между данными), а также выявлять различные конструктивные закономерности (например, устойчивые иерархические зависимости). За счет этого достигаются такие преимущества, как формирование и ведение БД, более точно соответствующей предметной области, и максимально эффективная организация данных при текущем уровне знаний системы, что еще больше будет способствовать повышению эффективности обработки данных и всей системы в целом.

*Во-вторых*, эволюционная база данных способна самостоятельно формироваться и функционировать без проектирования и разработки. При этом конструктивно эволюционная база данных организуется в виде системы взаимодействующих программно-информационных компонентов, самостоятельно осуществляющих организацию и обработку данных на основе собственных знаний и методов обработки данных.

В эволюционной модели данных на основе системного подхода определяется пятислойная организация данных локальных систем [7]. При этом различают структуры  $S^i$ , являющиеся целостными объектами-системами и представляющими один объект  $i$  уровня, и структуры  $R^i$ , являющиеся множествами допустимых структур  $S^i$ . Эта организация данных является достаточно гибкой и для обеспечения открытости структур включает две операции  $\theta^1$  и  $\theta^{-1}$ , позволяющие декомпозировать и восстанавливать структуры первого уровня [8]. В таблице 1 приведены слои организации данных локальной системы и их характеристики.

Таблица 1.

Номер слоя	Структуры слоя	Описание структур	Отношения между данными	Ограничения на данные
0	$S^0, R^0$	Абстрактный тип данных	---	---
1	$S^1, R^1$	Допустимое подмножество абстрактного типа данных	---	Ограничения на атомарные данные



2	$S^2, R^2$	Структура с жесткими (логическими) связями	Отношения (взаимосвязи) между данными типа функциональных и многозначных зависимостей	Ограничения на наличие и определенность ключей и др.
3	$S^3, R^3$	Структура, представляющая совместно используемые данные	Отношения, определяющие совместное использование данных	Ограничения на совместное использование данных
4	$S^4, R^4$	Структура, представляющая всю совокупность данных локальной системы	Отношения, определяющие автономную совокупность данных	Ограничения на автономность данных

Приведенные структуры конструктивно имеют следующие характеристики:

-  $R^0$  – тип данных языка программирования или абстрактный тип данных определенный и реализованный в системе, элементами которых являются атомарные объекты  $S^0$ ;

-  $R^1$  – подмножество базового типа  $R^0$ , объекты  $S^1$  которого получены по закону  $f$  (в частном случае тривиальному) из объектов  $S^0$ ;

-  $R^2$  – множество сложных объектов  $S^2$ , каждый из которых является композицией объектов  $S^1$ ;

-  $R^3$  – более сильно связанная (совместно используемая) часть объектов  $S^2$  или совместно используемые  $S^2$  и ранее созданные объекты  $S^3$ ;

-  $R^4$  – единственный объект  $S^4$ , представляющий всю взаимосвязанную совокупность данных  $S^2$  и  $S^3$  локальной системы.

Каждый объект  $R^1 - R^4$  является адаптивным программно-информационным компонентом, что обеспечивает их активность.

Таким образом, принимая во внимание перечисленные особенности и свойства конструктивной эволюционной модели данных, можно утверждать, что архитектура информационной системы, разработанная с учетом вышеизложенных принципов, является архитектурой самоорганизующихся информационных систем (рис. 5).

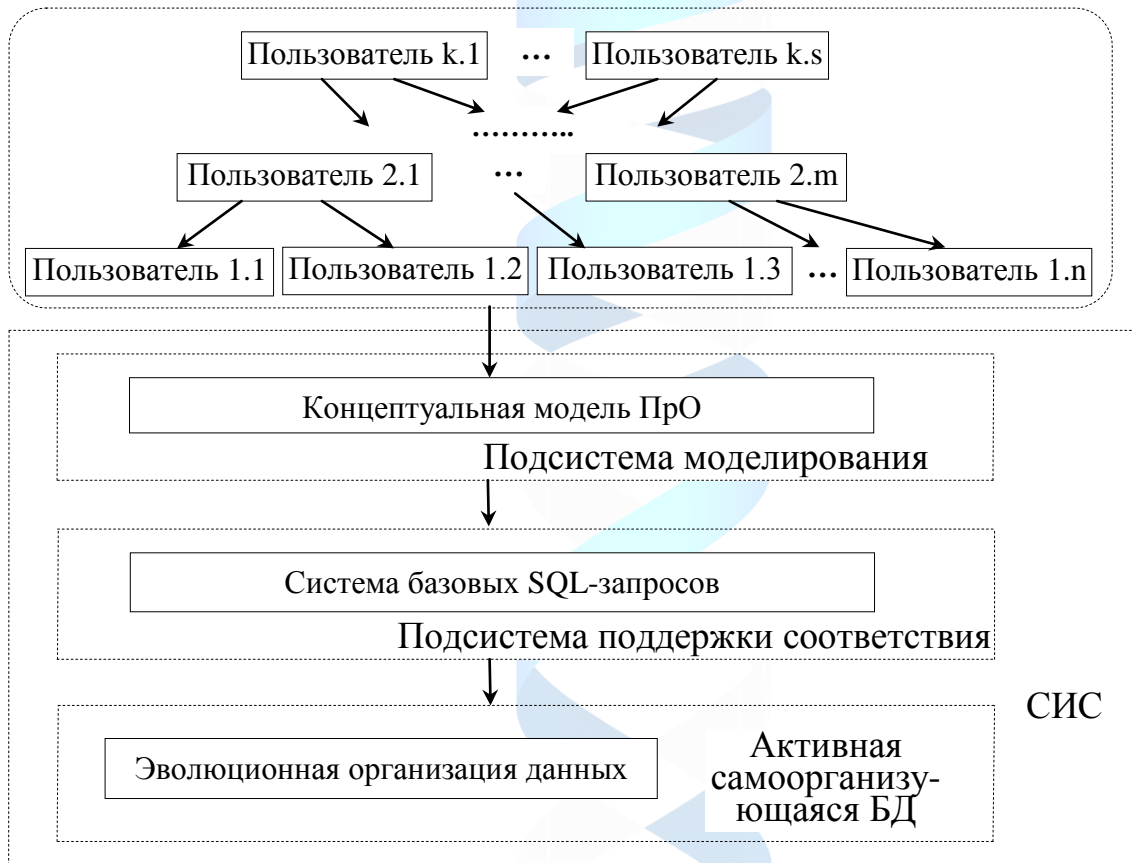


Рисунок 5. Архитектура самоорганизующихся информационных систем.

**Самоорганизующаяся информационная система (СИС)** – это система, способная активно поддерживать свое существование и обеспечивать решение информационных задач с требуемым качеством в течении длительного времени в условиях существенных изменений внешней среды и внутренней организации системы.

Под существенными изменениями внешней среды понимаются изменения с возникновением ситуаций высокой агрессивности среды (например, несанкционированный доступ), либо недостаточности ресурсов (например, машинного времени или объема памяти).

**Свойства СИС:**

- поддержка определенного уровня **динамической адекватности внешней среде** путем самообучения и самосовершенствования на основе внутренней активности;
- **открытость** СИС на всех уровнях организации, обеспечивающая ее эволюцию в широких пределах в процессе существования;
- **самообучение** и поддержка целостной и надежной системы знаний на различных уровнях организации предоставляет возможность СИС совершенствоваться в процессе функционирования;
- **самокоррекция и самодостраивание** позволяют СИС выживать как в более агрессивных, так и в более изменчивых средах;
- **активность**, обеспечивающая функционирование СИС

преимущественно на основе собственных потребностей, позволяет ей выживать в обедненных свободными ресурсами средах;

– **адаптивность**, позволяющая СИС приспосабливаться к изменениям внешней среды и внутренней организации и даже формировать (упорядочивать) свое ближайшее окружение для создания более комфортной среды обитания;

– **взаимодействие с системой пользователей** позволит запустить процесс коэволюции СИС и среды, что на основе их интенсивного взаимодействия формирует систему более высокого иерархического уровня.

Кратко функционирование СИС можно описать следующим образом.

В регулярных и слабо изменяющихся условиях СИС и ее подсистемы будут выявлять закономерности и включать их в свою структуру, что будет способствовать повышению эффективности функционирования системы.

В изменяющихся условиях СИС фиксирует отклонения от закономерностей, что снижает ее эффективность функционирования, но позволяет накопить информацию для выявления новых закономерностей и реорганизации системы.

Многочисленные изменения системы приведут к ее существенному совершенствованию и повышению эффективности функционирования, а также обеспечат очень высокую адекватность внешней среде.

### **3. Возможности создания самоорганизующихся информационных систем**

Для создания СИС, обладающих указанным выше качеством, в настоящее время имеются следующие возможности:

1. разработана общая теория систем, включающая эволюционные, самоорганизующиеся и развивающиеся системы (Ю.А. Урманцев, В.В. Артюхов);

2. разработана наука “Синергетика” (Г. Хакен, И. Пригожин, С.П. Курдюмов);

3. разработаны формализованные модели данных и теория баз данных;

4. компьютерная техника и вычислительные сети предоставляют практически неограниченные ресурсы для автоматического решения задач;

5. уровень развития теории программирования обеспечивает создание крупномасштабных распределенных программных систем с базами данных;

6. разработанные технологии программирования позволяют создавать линейки программных систем.

В процессе исследований по созданию СИС авторами получены следующие результаты:

1. Разработана обобщенная архитектура СИС, обеспечивающая эволюцию информационных систем в процессе существования в широких пределах;

2. Предложено создавать и поддерживать в СИС концептуальную модель ПрО, состоящую из понятий и отношений между ними, что позволяет семантически представлять ПрО в информационной системе;

3. Разработан формализованный язык построения концептуальной модели

ПрО, позволяющий представлять в СИС объектно-структурную составляющую ПрО, и ведется разработка представления процессной составляющей ПрО;

4. Формализованы поле структур данных и эволюционная модель данных, позволяющие СИС осуществлять корректную и эффективную обработку данных;

5. Разработан и апробирован метод поддержки системного изоморфизма концептуальной модели ПрО и эволюционной БД, обеспечивающий их независимую эволюцию с восстановлением соответствия для сохранения целостности системы;

6. Разработан метод высокоуровневого распознавания и обработки данных на основе автоматического построения и преобразования грамматик, позволяющий СИС правильно воспринимать данные, представленные в различной форме, и осуществлять их преобразование к требуемому представлению;

7. Разработана модель конструктивно-универсального автомата, позволяющего СИС самостоятельно модифицировать и дотраивать себя в процессе функционирования.

**Основной целью** создания самоорганизующихся информационных систем является создание активной информационной системы, способной совместно с системой организованных пользователей на основе интенсивного взаимодействия формировать систему более высокого иерархического уровня. Это означает, что СИС берет на себя решение информационных задач пользователей, а со временем формирует информационную инфраструктуру коллектива пользователей (предприятия) и становится его организующим фактором, обеспечивающим максимальную эффективность функционирования всей системы.

Основные идеи по эволюции архитектуры информационных систем рассмотрены в [9].

Материалы по проблемам создания СИС и полученные результаты размещены на сайте [www.self-organization.ru](http://www.self-organization.ru), а также обсуждаются на ежегодной Международной конференции “Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике”, материалы которой размещены по адресу [conference.self-organization.ru](http://conference.self-organization.ru).

#### 4. Заключение

Реально существующие в настоящее время в природе и созданные человеком самоорганизующиеся системы имеют физическую природу, в которых самоорганизация осуществляется за счет неформализованных, до конца не понятых физических процессов.

Поэтому важной и интересной представляется задача создания самоорганизующихся информационных систем, функционирование которых и процессы самоорганизации в которых будут описываться формализованными логическими законами.

Это позволит более точно и глубоко разобраться в процессах

самоорганизации систем различной природы. И здесь наряду с общей теорией систем и синергетикой большую ценность представляют результаты и выводы биокосмологических исследований, так как «биокосмология означает ... обнаружение и последующее использование фундаментальных принципов, которые являются действующими – универсальными для всех уровней и процессов мироздания» [1].

### Литература

1. Ланцев И.А. Биокосмология и синергетика. // Биокосмологическая эволюционная циклическая триадичность – триединство и трехмерность научных методологий: Тезисы докладов II Международного семинара по Биокосмологии. – Великий Новгород, 2011. – с.82-84.
2. Дрождин В.В., Володин В.М. Автономный компонент организации данных. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. стат. VIII Всерос. науч.-техн. конф. – Пенза, 2008. – С. 7–14.
3. Зинченко Р.Е. Системно-изоморфное динамическое соответствие концептуальной модели предметной области и схемы базы данных. // Программные продукты и системы. – 2010. – № 1. – С. 71–75.
4. Урманцев, Ю. А. Эволюционика, или общая теория развития систем природы, общества и мышления. – М.: Либроком, 2009. – 240 с.
5. Хакен Г. Синергетика. – М.: Мир, 1980. – 406 с.
6. Князева Е.Н., Курдюмов С.П. Синергетика. Нелинейность времени и ландшафты коэволюции. – М.: КомКнига, 2007. – 272 с.
7. Дрождин В.В. Системный подход к построению модели данных эволюционных баз данных. // Программные продукты и системы. – 2007. – № 3. – С. 52–55.
8. Дрождин В.В. Открытость структур в эволюционной модели данных. // Программные продукты и системы. – 2009. – №2. – С. 135–137.
9. Дрождин В.В., Зинченко Р.Е. Эволюция архитектуры информационных систем. // Программные продукты и системы. – 2010. – № 4. – С. 59–63.