

СРАВНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ И САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

САЗАНОВА Лариса Анатольевна

кандидат физико-математических наук, доцент

ЗЕНКОВ Николай Андреевич

студент

Уральский государственный экономический университет

г. Екатеринбург, Россия

Целью исследования является соотнесение понятий «адаптивность» и «самоорганизация» применительно к современным компьютерным системам, сравнение которых по ряду критериев выявило фундаментальное различие, касающееся механизмов управления и цели изменений. Подчеркнута важность взаимосвязи рассматриваемых качеств в контексте системного подхода: адаптивность признана основой, обуславливающей самоорганизацию и развитие компьютерных систем и алгоритмов ИИ. Проведенный анализ объясняет рост интереса к новому типу - самоорганизующимся адаптивным системам.

Ключевые слова: адаптивность, самоорганизация, компьютерная система, информационная система, искусственный интеллект.

В своей практической деятельности человек использует компьютерные системы различного рода. К традиционным статическим компьютерным системам можно отнести классические веб-сайты (наборы взаимосвязанных страниц с фиксированным HTML-кодом, отображающим одинаковый контент всем пользователям независимо от их интересов), программное обеспечение с жесткой логикой или статические базы данных – архивы информации, предназначенные только для чтения и не обновляющиеся в реальном времени. В настоящее время

подобные структуры теряют свою эффективность по ряду причин. Во-первых, растущие объемы данных и скорость их изменения делают фиксированные алгоритмы не способными адаптироваться к данным факторам в реальном времени. Во-вторых, современные стандарты сервисов и интерфейсов требуют индивидуального подхода к пользователю, что недостижимо для жестко запрограммированных систем, работающих по шаблону. Наконец, устаревшие системы безопасности (анализаторы кода, отыскивающие уязвимости в исходных текстах без запуска программы, или традиционные брандмауэры) имеют известные бреши, которые современные нейросетевые эксплойты [9] обходят за считанные секунды. Продолжается проникновение адаптивных технологий в бизнес-процессы: согласно отчетам аналитиков, к 2026 г. более 70% проектов цифровой трансформации будут дополнены технологиями адаптивного и генеративного интеллекта. В связи с вышесказанным понятен растущий интерес потребителей и разработчиков к адаптивным и самоорганизующимся системам, способным оптимизировать потребление ресурсов в зависимости от нагрузки, динамически корректировать стратегии, минимизируя риски системных сбоев, подстраиваться под меняющиеся потребности пользователей и условия среды. Системы управления, включающие адаптивные алгоритмы, переходят из категории экспериментальных технологий в разряд бизнес-необходимости, и понимание механизмов их работы становится критически важным при обеспечении отказоустойчивости и оптимизации работы распределенных сервисов, состоящих из большого числа узлов (например, в концепции Интернета вещей). Проблемы самоорганизации становятся все более актуальными не только для ИТ-сферы и бизнеса, но и для транспортной отрасли, энергетики, здравоохранения и образования [7]. Примером может служить персонализация образования: в 2025 г. адаптивные платформы обучения [4] стали своего рода стандартом. Они анализируют поведение обучающегося в реальном времени и помогают ему экономно и эффективно выстраивать индивидуальную образовательную траекторию.

Цель данного исследования состоит в соотнесении понятий «адаптивность» и «самоорганизация» и определении возможности их четкого разграничения у компьютерных систем. Среди задач исследования отметим выделение ключевых критериев для сравнения систем в контексте указанных аспектов, а также попытку разграничить эффекты от адаптации и самоорганизации. В работе использованы общесистемные методы абстрагирования, конкретизации, и обобщения, а также анализ научных публикаций по теме исследования.

Результаты исследования. Адаптивной называется система, способная автоматически менять свои параметры, алгоритмы функционирования или управляющие воздействия с целью сохранения или достижения оптимального состояния при изменении внешних условий или свойств объекта управления [1]. Происходящие в ней изменения носят преимущественно количественный характер (например, увеличение числа обрабатываемых запросов в единицу времени или изменение доли успешных транзакций после настройки алгоритмов адаптивной маршрутизации сети). Свойство адаптивности обеспечивает системе приспособленность к уже известным или предсказуемым внешним изменениям для поддержания заданной цели или эффективности. Примерами являются система круиз-контроля автомобиля, регулирующая подачу топлива (параметр) для поддержания заданной скорости при изменении наклона дороги (внешнее условие), или некоторые современные СУБД с автонастройкой под текущую нагрузку.

В отличие от адаптивных, самоорганизующиеся системы могут самостоятельно перестраивать свою пространственную или функциональную структуру (без дополнительного специфического воздействия извне) в ответ на внешние и внутренние изменения. Происходящие в таких системах трансформации носят обычно качественный характер (например, включение/выключение подсистем, изменение связей, развитие новых форм поведения). Самоорганизация способствует поддержанию целостности систем, функционированию и развитию в них более сложных уровней организации, что полезно в условиях неопределенности

и непредсказуемости. Например, в ячеистых сетях (т. н. Mesh-сетях) [5] предусмотрен протокол маршрутизации, благодаря которому устройства (узлы) автоматически обнаруживают друг друга, устанавливают соединения и самостоятельно прокладывают оптимальные пути для передачи данных без участия центрального администратора. В таблице 1 ниже систематизированы различия систем первого и второго типа по ряду ключевых характеристик.

Таблица 1.

СРАВНЕНИЕ АДАПТИВНЫХ И САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ СИСТЕМ

Характеристика	Адаптивная система	Самоорганизующаяся система
Тип структуры	Централизованный /иерархический	Децентрализованный /эмерджентный
Основной механизм	Изменение параметров и алгоритмов на основе принципа обратной связи	Изменение внутренней структуры и связей
Проактивность	Выражается в реакции на конкретный стимул	Выражена непрерывной внутренней перестройкой
Характер изменений	Количественный (самонастраивающийся)	Качественный (структурный)
Источник изменений	Реакция на внешние воздействия или изменения объекта	Внутренняя динамика и локальные взаимодействия элементов
Цель	Поддержание оптимального функционирования/заданной цели	Формирование новых структур, развитие, выживание
Сложность реализации	Систему проще проектировать благодаря наличию четких алгоритмов обратной связи	Систему сложнее проектировать, предсказать поведение, отладить и стандартизировать

Анализируя свойства систем, можно заметить следующее:

– адаптивные системы изменяют свое поведение или параметры в ответ на внешние воздействия среды с целью сохранения работоспособности или оптимизации режима;

– самоорганизующиеся системы способны формировать новую структуру без внешнего вмешательства, создавая новые связи или паттерны поведения за счет внутренних локальных взаимодействий элементов без явного централизованного управления.

Главное отличие первых систем от вторых заключается в глубине изменений и степени автономности, а также в проявлении проактивности. Проактивность применительно к компьютерной системе (программному обеспечению или ИТ-инфраструктуре) отражает ее способность действовать на опережение, предотвращая сбои, угрозы безопасности и простои до того, как они произойдут, вместо реагирования на уже случившиеся инциденты. Она предполагает мониторинг состояния, анализ рисков, автоматическое обновление и оптимизацию работы, и это качество максимально выражено в самоорганизующихся информационных системах (далее – ИС), хотя присутствует и у адаптивных систем. Например, DLP-система анализирует поведение программ и, если пользователь пытается сделать нечто подозрительное (например, зашифровать конфиденциальные файлы), происходит превентивная блокировка его действий. Другим примером является облачный сервис, способный фиксировать рост нагрузки и выделять дополнительные ресурсы (CPU, RAM) до того, как начнутся сетевые задержки.

Самоорганизация часто рассматривается как высшая форма адаптации, но грань между понятиями остается размытой, так как оба качества важны для сохранения устойчивости систем. Более того, если говорить об информационных системах, то современная кибернетика рассматривает ИС как гибридные [2], что делает их жесткое разделение на два типа еще более затруднительным. Например, подобный дуализм характерен для вышеупомянутых облачных сервисов: высвобождение ресурсов в зависимости от текущей нагрузки, организованное по заранее заданным правилам, есть свойство адаптивности, однако на внутреннем уровне инфраструктура «облака» способна самостоятельно распределять задачи между узлами (виртуальными машинами, хранилищами), восстанавливаться после сбоев и оптимизировать структуру без прямого участия человека в режиме реального времени. Таким образом, облачный сервис демонстрирует качества обеих систем, но в разных аспектах: с точки зрения пользователя это прежде

всего адаптивная система (она подстраивается под его задачи), а на уровне архитектуры провайдера – сложная самоорганизующаяся система.

Проведенное сравнение свойств двух типов систем позволяет считать самоорганизующиеся системы более сложными, поскольку они могут включать адаптивные механизмы, как свои компоненты, и в то же время обладают уникальной способностью к автономному структурному преобразованию. Подобное сочетание качеств характерно для большинства нейросетей, проявляющих адаптивность и самоорганизацию на разных этапах своего функционирования. Когда пользователь подает входную информацию и корректирует веса (например, используя метод обратного распространения ошибки), система адаптируется, чтобы минимизировать ошибку и выдать правильный результат. Со временем в процессе обучения внутри сети возникают сложные связи и структуры, которые не были жестко прописаны программистом, что характерно, в частности, для класса самоорганизующихся карт или сетей Кохонена [3], которые самостоятельно группируют данные по сходству при обучении без учителя. Можно сказать, что нейросеть, как адаптивная система, меняет свои внутренние параметры (веса), чтобы соответствовать внешней среде, а как самоорганизующаяся – способна формировать логику обработки информации, выявляя скрытые закономерности в данных.

Сочетание признаков обоих классов наблюдается почти у всех современных высокоуровневых программных систем, таких, как платформа Kubernetes и Mesh-сети, блокчейн, большие языковые модели (LLM) и множество других. Напрашивается вывод, что самоорганизация системы без ее адаптивности невозможна, и что эти процессы неразрывно связаны на фундаментальном уровне: именно адаптивность позволяет системе, перестраивая структуру, переходить к более сложным состояниям, обеспечивая полезные свойства – безопасность, энергоэффективность, отказоустойчивость и надежность. Например, сеть блокчейн практически невозможно «обрушить» точечным ударом, тогда как адаптивная система с центральным контроллером была бы уязвима в «голове». Однако

сложность предсказания поведения самоорганизующихся ИС и возможная нестабильность в процессе перестройки структуры является их слабым местом, в отличие от адаптивных, которые эффективнее справляются с предсказуемыми колебаниями среды.

Контролируемость можно назвать основным преимуществом адаптивных систем в критически важных сферах – медицине, авиации или безопасности. Кроме того, такие системы проще проектировать, отладить и сертифицировать. С другой стороны, самоорганизующиеся системы надежнее в условиях полной неопределенности и структурных сбоях, поскольку способны восстанавливаться после серьезных разрушений, распределяя функции между оставшимися частями подобно муравейнику. Примером систем такого класса являются взаимодействующие группы автономных роботов, управляющихся децентрализованно (роевая робототехника), находящие все более широкое применение при организации поисково-спасательных операций, в строительстве, при решении задач мониторинга состояния окружающей среды.

Можно утверждать, что адаптивность является ключевым свойством большинства современных кибернетических систем, определяющим их жизнеспособность и эффективность в динамично меняющихся условиях, а самоорганизация – направление их продолжающегося эволюционирования. Выбор степени проявления указанных характеристик напрямую зависит от пользовательских задач: адаптивные системы хороши для текущего контроля, самоорганизующиеся в большей степени ориентированы на функционирование в принципиально новых, неизвестных ранее обстоятельствах. Направления совершенствования и развития компьютерных систем, связанные с их самоорганизацией, представлены ниже на рис. 1.



Рисунок 1. Направления, в которых самоорганизация проявляется в современных компьютерных системах

Вернемся к вопросу: возможна ли самоорганизация без явной адаптивности? Считается, что да [1], примером того являются растущие кристаллы, чья структура упорядочивается без явной цели «приспособиться» к среде. При существенном изменении условий (например, при критическом механическом воздействии или нагреве) кристалл не адаптируется, но разрушается – плавится или ломается. Другим примером функциональной самоорганизации являются алгоритмы типа K-means [6], создающие упорядоченные группы из неупорядоченного набора точек, не подстраиваясь под изменения внешних условий, а просто выполняя протокол. Однако именно адаптивность служит ключевым механизмом самоорганизации для открытых систем, к которым можно отнести современные ИС, позволяя последним изменять структуру (т. е. элементы и связи), если условия среды изменились. Например, в случае, когда группа мини-роботов с т. н. роевым интеллектом обнаруживает новый барьер на пути к цели, главную роль играют локальные правила взаимодействия (алгоритмы адаптивности). Не ожидая команды «сверху», роботы, находя границы препятствия, копируют путь

того, кто обнаружил границу первым, и меняют форму «роя» (самоорганизация) наиболее эффективным способом. Можно сказать, что адаптивность создает дополнительный слой сложности, делающий самоорганизацию «динамической», хотя и не является её обязательным условием. Таким образом, теоретически допустимо существование жесткой, неадаптивной самоорганизации, но в сложных кибернетических системах адаптивность подразумевается, как один из способов их трансформации и повышения эффективности. Наконец, самоорганизация без адаптивности проблематична в долгосрочной перспективе, так как эти процессы неразрывно связаны в теории систем.

Проведенный анализ особенностей, присущих адаптивным и самоорганизующимся компьютерным системам, позволяет сделать следующие выводы. Как и для систем иных классов, рассматриваемые качества различаются во многих аспектах – по механизмам проявления, характеру изменений, цели, сложности реализации. Самоорганизация служит инструментом упорядочивания системы, а адаптивность представляет дает возможность использовать этот механизм для поддержания жизнедеятельности в меняющейся среде. С другой стороны, оба понятия неразрывно связаны: адаптивность служит функциональной основой, позволяющая системе самоорганизовываться и тем самым способствует ее развитию, а также облегчает разработчикам ИС поиск новых методов при проектировании таких систем. Рассматривая сложные решения, такие, как адаптивные интерфейсы или квантовые компьютеры, управляемые ИИ-агентами, специалисты часто объединяют данные понятия, используя термин «самоорганизующиеся адаптивные системы» [2]. Таким образом, самоорганизация компьютерных систем позволяет им справляться с растущей сложностью развертывания, обслуживания и развития, снижая потребность в постоянном контроле со стороны человека. Адаптивность, в свою очередь, является основой для обеспечения самоорганизации, однако не исчерпывает проявлений последней.

Дальнейшие исследования и разработки в этой области будут связаны с появлением и совершенствованием т. н. гибридных систем – представителей переходных форм от сложных адаптивных к самоорганизующимся системам. Примером таковых являются SON (Self-Organizing Networks) [8] – самоорганизующиеся сети, способные автоматически настраивать частоты и балансировать нагрузку. Появившись впервые в 2008 г., они эволюционировали от реактивного исправления ошибок к проактивному прогнозированию, что позволяет предсказывать пики нагрузки, своевременно высвобождая ресурсы. Другим примером служат облачные вычисления и функционирующие в симбиозе с ними микросервисы, способные масштабироваться в зависимости от текущего трафика. Востребованность последних при решении задач прогнозирования спроса, управления цепочками поставок, выявления рисков и во многих других прикладных областях будет только расти. Также прогнозируется постепенный переход к самоэволюционирующим системам [4], способным реагировать на непредвиденные аномалии вне их изначального программного домена.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жуковская П.Ю. Самоорганизация сложных систем // Актуальные проблемы авиации и космонавтики. Сборник материалов X Международной научно-практической конференции, посвященной 100-летию академика М.Ф. Решетнева и Дню космонавтики: в 3-х томах. – Красноярск.: Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева. – 2024. – С. 728–730.
2. Иванов О.П., Винник М.А. Пути самоорганизации сложных систем // Сложные системы. – 2023. – № 3 (48). – С. 4–14.
3. Комашинский Т.В., Чикалов Н.В. Кластеризация http-запросов методом самоорганизующихся сетей Кохонена // Актуальные проблемы инфотелекоммуникаций в науке и образовании (АПИНО 2024). Материалы XIII Международной

научно-технической и научно-методической конференции. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций им. проф. М.А. Бонч-Бруевича. – 2024. – С. 372–378.

4. Митрохина О.В. Образовательные онлайн-платформы с элементами адаптивного обучения: анализ и оценка // Человек – язык – компьютер. Формальное в неформальном. Сборник научных статей по результатам II Научно-практической (заочной) конференции с международным участием. – М.: Московский государственный лингвистический университет. – 2025. – С. 30–35.

5. Резвцов И.В. Анализ безопасности передачи информации в Mesh-сети // Физика, техника и технология сложных систем. Тезисы докладов конференции. – Ярославль: Ярославский государственный университет им. П.Г. Демидова – 2024. – С. 206–207.

6. Панферова Е.В., Матюшин Р.А. Сравнительная оценка методов кластеризации в работе с большими данными // Вестник Пермского университета. Математика. Механика. Информатика. – 2024. – № 2 (65). – С. 61-67.

7. Сазанова Л.А. Особенности кризисов, порождаемых цифровизацией в социальных системах // Вестник Воронежского института высоких технологий. 2025. – № 3 (54). – С. 1-7.

8. Соловьев А.С., Клешнин Н.Г., Ковалевская А.А. Анализ современных алгоритмов глубокого обучения // Телекоммуникационные и вычислительные системы. Юбилейный сборник трудов тридцатого международного научно-технического форума. – М.: Издательство МБА, 2022. – С. 241–245.

9. Федорченко Е.В., Котенко И.В., Федорченко А.В., Новикова Е.С., Саенко И.Б. Оценивание защищенности информационных систем на основе графовой модели эксплойтов // Вопросы кибербезопасности. – 2023. – № 3 (55). – С. 23–36.

COMPARISON OF ADAPTIVE AND SELF-ORGANIZING COMPUTER SYSTEMS FROM THE POINT OF VIEW OF THE SYSTEMS APPROACH

SAZANOVA Larisa Anatolyevna

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor

ZENKOV Nikolay Andreevich

Student

Ural State University of Economics,

Yekaterinburg, Russia

The aim of the study is to correlate the concepts of “adaptability” and “self-organization” in relation to modern computer systems, a comparison of which, according to a number of criteria, revealed a fundamental difference concerning the control mechanisms and the purpose of change. The importance of the interrelationship between the qualities under consideration in the context of a systems approach is emphasized: adaptability is recognized as the basis for the self-organization and development of computer systems and AI algorithms. The analysis carried out explains the growing interest in a new type - self-organizing adaptive systems.

Keywords: adaptability, self-organization, computer system, information system, artificial intelligence.