

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

Метафизика и идеология

В
истории
естествознания



«НАУКА»

КИБЕРНЕТИКА, СИНЕРГЕТИКА, ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ: МОДЕЛИ САМООРГАНИЗАЦИИ

В.А. Герович

В настоящее время проблематику самоорганизации принято относить целиком к ведению новой, появившейся в середине 1970-х годов научной дисциплины – синергетики. Между тем эта терминология появляется на страницах научных журналов еще с середины 1940-х годов и позднее активно используется в кибернетике. Работы по самоорганизации появляются и среди исследований по искусственному интеллекту (ИИ).

Сразу обращает на себя внимание разнообразие интерпретаций самого понятия "самоорганизация". "Само-" трактуется либо как проявление спонтанности, либо как антоним выражения "организуемый другим". "Организация" же определяется через самые разные оппозиции понятий: "порядок–беспорядок", "связность–несвязность", "случайность–обусловленность", "адаптивность–неадаптивность". Причем и эти понятия-определения разными авторами нередко трактуются по-разному.

Обширное распространение проблематики самоорганизации по временным и дисциплинарным координатам, терминологическое сходство, таящее в себе, быть может, различие в содержании, вызывают вопрос: как соотносится понимание самоорганизации в разных областях исследований, изучается ли один и тот же объект, сходны ли модели, которые при этом строятся?

По отдельности и кибернетические [10; 15], и синергетические [7; 9] воззрения на самоорганизацию уже рассматривались, но ~~их~~ специальный сравнительный анализ до сих пор не проводился. Исследования же по самоорганизации в области ИИ вообще слабо изучены и тем более не соотнесены с кибернетическими и синергетическими моделями.

Наша цель – не претендуя на полноту и детальность картины, отметить лишь основные сходства и различия трактовок самоорганизации в данных областях науки. Мы дадим качественное описание двух альтернативных моделей самоорганизации – кибернетической и синергетической, отличающихся прежде всего отношением к целенаправленности поведения системы, и смешанной модели, разработанной в области ИИ.

Классификация самоорганизующихся систем по Эшби

Один из организаторов конференции по самоорганизующимся системам 1962 г. М.К. Иовитс писал, что термин "самоорганизующаяся система" впервые использовали Б. Фэрли и У. Кларк в статье 1954 г. [17] в значении "система, изменяющая свои основные структуры в зависимости от опыта и окружения" [22, р. IX]. Однако еще в 1947 г. английский кибернетик У.Р. Эшби опубликовал статью "Принципы самоорганизующейся динамической системы" [16], где определил это понятие иначе. Но мнение Иовитса не было ошибочным. Просто ситуация отражала

разную судьбу этих статей: одна была принята и подхвачена кибернетическим научным сообществом, другая прошла незамеченной, и даже автор ее позднее изменил свою точку зрения.

Тем не менее мы начнем именно с этой ранней работы Эшби, ибо нас интересует в первую очередь постановка проблемы самоорганизации, а не окончательное ее решение (которое, по-видимому, не достигнуто до сих пор).

В данной статье Эшби вводит определения "машины" (эквивалент "абсолютной системы", описываемой системой обыкновенных дифференциальных уравнений, правая часть которых не зависит от времени), "организации" (определяется формой правой части уравнений) и "самоорганизации" (спонтанный переход от одной организации к другой). Элементарные математические выкладки позволяют Эшби сделать вывод, что в случае, когда одна из переменных является ступенчатой функцией, ее можно исключить из уравнений, переопределив функцию в правой части. Тогда изменения значения этой переменной будут приводить к скачкам в "организации", которые будут выглядеть спонтанными. Тем самым, считал Эшби, «разрешается противоречие относительно нервной системы. Требование, согласно которому она должна быть строго детерминированной механистической системой, будет удовлетворено, если мы включим в нашу "систему" все переменные, относящиеся к нервной системе, что будет соответствовать системе n переменных. Другое требование, согласно которому нервная система представляется спонтанно меняющей свою организацию... будет справедливо для n - m переменных, относясь, таким образом, к наблюдаемому извне поведению при игнорировании событий или переменных внутри нервной системы» [там же, р. 128].

Для Эшби "образца 1947 года" самоорганизация эквивалентна спонтанному изменению организации, при этом направление изменения не играет роли. Механизм самоорганизации прост – выявление своеобразных "скрытых" переменных открывает строгий детерминизм действия системы. Естественным прототипом самоорганизующейся системы является нервная система, и данная схема является ее абстрактной моделью. Методологический вывод, который можно сделать из этой статьи Эшби: самоорганизация – субъективная характеристика. В зависимости от числа переменных, включаемых наблюдателем в описание системы, она или является самоорганизующейся, или нет.

Эту методологическую установку Эшби сохранил и в дальнейшем, хотя в целом его воззрения на проблему самоорганизации заметно изменились. В докладе на симпозиуме 1961 г. он отмечал, что "существенная часть теории организации касается свойств, которые не являются внутренне присущими реальным объектам, а зависят от отношения между наблюдателями и объектами" [10, с. 317].

Рассматривая далее различные возможные определения самоорганизации, Эшби приходит к выводу, что прилагательное "самоорганизующаяся", "применяемое слишком свободно, является неопределенным, а если его применять слишком точно – противоречивым" [там же, с. 327]. С одной стороны, "ни об одной системе нельзя строго утверждать, что она

является самоорганизующейся" [там же, с. 331], с другой – «каждая машина может считаться "самоорганизующейся", так как она разовьет... некоторые функциональные структуры, гомологичные "приспособленному организму"» [там же, с. 336]. Неудивительно, что Эшби заключает: «так как выражение "самоорганизующаяся" ведет к укоренению весьма путаного и противоречивого представления о данной проблеме, это выражение, вероятно, вообще не следовало бы употреблять» [там же, с. 331].

Не теряя времени в ожидании, пока все последуют этому замечательному совету, Эшби решил хотя бы упорядочить текущее использование этого "выражения". Он выделил два различных значения термина "самоорганизующаяся система".

Во-первых, самоорганизация может состоять в переходе "от системы с независимыми частями к системе с зависящими друг от друга частями" [там же, с. 328], при этом не учитывается, хороша или плоха возникающая организация. Пример – "нервная система эмбриона, чьи клетки вначале почти не взаимодействуют друг на друга, а затем соединяются в систему" [там же]. Системы такого рода Эшби предложил называть "самосвязующимися".

Во-вторых, самоорганизацией можно считать переход от плохой организации к хорошей, когда, например, ребенок, вначале потянувшись к огню, затем уже избегает его [там же, с. 328–329]. Правда, оговаривается Эшби, «не существует "хорошей организации" в абсолютном смысле. Она всегда относительна: и организация, хорошая в одном смысле или при одном критерии, может быть плохой в другом смысле или при другом критерии... Любопытство – вещь хорошая, но много антилоп погибло, остановившись поглядеть на шляпу охотника» [там же, с. 324–325]. Эшби также ссылается на опыты К. Прибрама, обнаружившего, что обезьяны с оперированным мозгом набирали в некоторых тестах больше очков, чем нормальные (оперированные были терпеливы и усидчивы, тогда как нормальные проявляли беспокойство и все время отвлекались).

Для того чтобы и нам несколько упорядочить терминологию, обратимся к основам кибернетической традиции.

Истоки кибернетических воззрений на самоорганизацию

Основной тезис классической кибернетики состоял в том, что управление как в машинах, так и в живых организмах осуществляется единым образом – по принципу обратной связи. Обратная связь предусматривает наличие у системы определенной цели и регулярную сверку промежуточных, текущих состояний (выходов) системы с этой целью для корректировки поведения. В технике этот принцип известен давно, кибернетика же предложила такой способ описания и для поведения живых организмов. Стали создаваться различные механизмы, моделирующие те или иные аспекты поведения человека или животных. Системы, цель которых связывалась с адаптацией к окружающей среде, стали называть "адаптивными". Для создания искусственной адаптивной систе-

мы существовало два способа: сконструировать систему сразу в окончательном виде или построить начальный вариант, снабдив его возможностями развития адаптивных свойств. В последнем случае систему называли "обучающейся". Обучение происходило либо с внешним "учителем", либо самостоятельно, за счет обратной связи ("самообучение").

В соответствии с кибернетическим принципом "черного ящика" все эти характеристики относились исключительно к поведению (внешним проявлениям) системы. Улучшение поведения (достижение адаптивности) понималось в кибернетике как переход от плохой организации системы к хорошей, и этот процесс стали называть "самоорганизацией".

Один из возможных критериев адаптации – устойчивость системы относительно некоторого состояния равновесия. Этот принцип был положен Эшби в основу специального устройства – гомеостата, идея которого возникла в 1948 г. Понятие гомеостазиса, введенное американским физиологом У. Кенноном в 1929 г. и описывающее работу вегетативной нервной системы как удержание значений некоторых существенных переменных внутри физиологически допустимых границ, Эшби распространил на высшую нервную деятельность. Он предположил, что гомеостазис является основным механизмом работы мозга; его моделью на техническом уровне и был призван стать гомеостат.

Гомеостат как раз осуществляет самоорганизацию второго типа по классификации Эшби. К этой группе также относится любая самообучающаяся машина. Дж. Хоукинс в своей обзорной статье [14] использовал понятия "обучение" и "самоорганизация" как синонимы.

Особенность кибернетического подхода заключалась в том, что исследовались лишь системы, для которых определено понятие цели, необходимое для построения любой кибернетической модели. Д. Маккей ввел разделение на системы с целью, задаваемой извне (искусственные системы, например, самооптимизирующийся контролер процесса), и системы, где цель вырабатывается независимо (живые организмы). Между ними, отмечал Маккей, пролегает континуум, где находится большинство человеческих и искусственных ситуаций [22, р. 38].

Сошлемся на перечень, данный В.В. Чавчанидзе: "К естественным самоорганизующимся системам и явлениям можно отнести: клетки и их ассоциации; нервные клетки; единство нервных и сенсорных клеток; нейронные системы; мозг; мозг в единстве с организмом; мозг и язык (вместе с социальным носителем); поведение животных в течение жизненного цикла; поведение ассоциаций животных; поведение человека и человеческих групп; поведение ассоциаций в заданных средах; поведение социальных групп и систем; экономические системы; большие системы; науку; научные знания; язык науки; социальные и экономические отношения племен, народов, наций, организаций, классов, государств; поведение человека, человеческих групп и человечества в целом в данной природной, социальной среде и т.д." [1, с. 32]. Кибернетика не исследовала процессы самоорганизации в неживой природе, ставшие предметом синергетики, где телеологические модели исключены.

Кибернетическая модель самоорганизации

Параллельно с кибернетическими идеями в 1940–50-е годы разрабатывались нейрофизиологическая гипотеза (своеобразный аналог идеи "tabula rasa" – "чистой доски"), утверждающая, что нервные клетки мозга вначале практически неотличимы друг от друга и лишь благодаря опыту и ощущениям организуются в целое, осуществляющее целенаправленное поведение. Переход нейронной сети из исходного случайного состояния в обусловленное, "связанное", "организованное" стали называть самоорганизацией, а системы, построенные по этому принципу, – самоорганизующимися. По классификации Эшби это – системы 2 типа, "самосвязующиеся".

Впервые систему, реализующую такое понимание самоорганизации, разработали, как мы уже упоминали в самом начале, Б. Фэрли и У. Кларк [17]. Случайная сеть нейроноподобных элементов (смоделированная на ЭВМ, а не воссозданная физически) была ими разделена произвольно на две части – входную и выходную. Входная часть также состояла из двух подгрупп, обозначивши два различных входных образа. Цель состояла в том, чтобы заставить систему реагировать на один входной образ положительным выходом, а на другой – отрицательным. Достигалось это включением в систему автоматического модификатора связей между элементами. Эти связи не были фиксированными, а снабжались весами. Если после воздействия входного образа выход оказывался правильным, то веса всех связей, участвовавших в принятии такого "решения", увеличивались, и наоборот. После продолжительной серии попеременного предъявления двух входных образов обнаруживались "благоприятные результаты" [12, с. 22]. "Таким образом, – делает вывод Фэрли, – система сама себя организует для того, чтобы различать два отличающихся друг от друга входных образа" [там же, с. 23].

Среди искусственных самоорганизующихся систем наибольшую известность приобрел "перцептрон", предложенный Ф. Розенблаттом в 1958 г. и позднее активно им развивавшийся [10; 11]. Перцептрон был реализован "в металле" и предназначался для распознавания реальных зрительных образов, в частности, печатных букв. Так же, как и в системе Фэрли–Кларка, основу перцептрона составляла сеть нейроноподобных элементов, но делилась она на этот раз на три группы. Первую группу составляли "сенсорные" элементы, возбуждаемые фотоэлементами. Далее сенсорные элементы соединялись случайным образом с элементами второй группы – "ассоциативными", которые возбуждались аналогично нейронам в модели Маккалока–Питтса. Затем выходы ассоциативных элементов через связи с переменными весами (вначале установленными произвольно) подключались к входам элементов третьей группы – "реагирующих". Каждой входной букве соответствовал "свой" реагирующий элемент. Роль модификатора связей в перцептроне играла "система управления поощрением", которая сравнивала стимул с реакцией системы и изменяла соответствующим образом веса "полезных" и "вредных" связей.

Заметим, что система Розенблатта в то же время реализует концепцию "машинного обучения", т.е. совершенствует поведение на основе опыта.

По словам ее автора, "объектом анализа является экспериментальная система, включающая в себя перцептрон, определенную окружающую среду и процедуру обучения" [11, с. 41]. Но самообучение совпадает с "самоорганизацией второго типа" по классификации Эшби! Следовательно, перцептрон Розенблатта придется считать самоорганизующейся системой и первого, и второго типа? Но тогда ко второму типу надо будет отнести и систему Фэрли-Кларка. Фэрли тоже описывает ее как обучающуюся машину: "Изолировав систему, мы подавали на ее вход какой-либо тест и отмечали каким-либо произвольным образом ее выход. Затем мы предоставляли ей возможность приобрести некоторый определенный опыт, снова испытывали ее и смотрели, не улучшились ли показатели выхода. И если это имело место, то мы говорили, что система является самоорганизующейся. ...это – модель обучения" [12, с. 204].

На наш взгляд, парадокс разрешается, если считать, что Эшби классифицирует лишь значения термина "самоорганизация", но не различные типы самоорганизующихся систем. Дело в том, что одна самоорганизующаяся система может демонстрировать самоорганизацию в разных смыслах. Так и произошло в моделях Фэрли-Кларка и Розенблатта. В них самоорганизация на уровне поведения ("обучение") достигается с помощью внутреннего механизма "связывания".

Сложилась модель, которую мы будем называть "кибернетическим механизмом самоорганизации". Переход от случайной, неорганизованной структуры системы к организованной происходит за счет направленного изменения связей между элементами. Направление задает специальный управляющий орган – модификатор связей у Фэрли-Кларка или система управления поощрением у Розенблатта. Сам управляющий орган получает необходимую информацию по традиционному кибернетическому каналу обратной связи. Именно внесение этого органа снаружи внутрь системы делает ее самоорганизующейся (Маккей: "само-" означает лишь "не другим" [22, р. 38]). Тем самым система становится иерархической. Брайнес и Свечинский отмечали, что кибернетическая "самоорганизующаяся система содержит по крайней мере два уровня. Один из них реализует собственно алгоритм функционирования, а второй вносит в этот алгоритм коррективы в соответствии с сигналами обратной связи о результате воздействия" [1, с. 25]. В то же время перестройка внутренней структуры улучшает и поведение системы, так как управляется отрицательной обратной связью). "Изнутри" такая система выглядит самосвязующейся, "извне" – обучающейся.

Итак, суммируем кибернетические представления о самоорганизации. Этот термин употребляется в двух основных значениях:

1 – самоорганизация как самостоятельное повышение организованности структуры системы: описывает изменение внутренних связей системы; оценивается в шкале "низкая – высокая организованность" независимо (в общем случае) от внешних критериев. Присуща самосвязующимся системам.

2 – самоорганизация как самостоятельное улучшение организации поведения системы: описывает изменение внешних связей системы (со средой); оценивается в шкале "плохая – хорошая организация" незави-

симо (в общем случае) от внутреннего механизма ее достижения; синоним "самообучения". Присуща обучающимся системам.

Соответственно, возможны три типа самоорганизующихся систем:

1 – обучающиеся, но не самосвязующиеся (гомеостат Эшби),

2 – обучающиеся и самосвязующиеся (система Фэрли-Кларка, перцептрон Розенблатта). Именно они реализуют кибернетический механизм самоорганизации.

3 – самосвязующиеся, но не обучающиеся. Это "нетрадиционные" кибернетические системы; мы рассмотрим их несколько позднее.

Кибернетическое обучение путем самоорганизации случайных нейроноподобных сетей было в 1950-е годы очень популярно. Этой теорией увлекся, заканчивая Гарвардский университет, и М. Минский, будущий крупнейший ученый в области ИИ. Он пытался построить обучающуюся машину, призванную смоделировать поведение в лабиринте четырех крыс, обучающихся избегать встреч друг с другом. Ученую степень Минский получил, но машина так и не заработала. Причину этого он видел в принципиальной слабости подхода "случайных сетей" и потратил позднее немало усилий на его развенчание. В 1969 г. совместно с С. Пейпертом он написал книгу [8], в которой доказывал ограниченность возможностей устройств, подобных перцептрон, предложенному Розенблаттом (кстати, его бывшим соучеником по Высшей научной школе в Бронксе). Один из главных недостатков таких устройств состоял в том, что, отличая букву А от В, они не могли узнать эти символы в комбинации ВА, считая ее новой, неизвестной буквой. Как примерный ученый, отказывающийся от бесплодного направления, Минский перешел к исследованиям по ИИ.

Самоорганизующиеся системы искусственного интеллекта

ИИ как исследовательская область возник в середине 1950-х годов. Целью ИИ было провозглашено создание машин, способных выполнять интеллектуальные функции. При этом специалисты по ИИ открыто противопоставили свой подход кибернетике, в частности, "самоорганизующимся системам". Они отказались от кибернетического моделирования нейронной активности мозга, избрав путь моделирования интеллекта на компьютерах, обрабатывающих символическую информацию. Человеко-машинная параллель, проводимая кибернетикой на физиологическом (аппаратном) уровне, была перенесена в ИИ на символический уровень. Об этом метко сказал Минский: "Мне потребовалось много времени, чтобы перейти от попыток понять, как работает мозг, к пониманию того, что он делает" (цит. по: [18, р. 84]).

Хотя в ранних исследованиях по ИИ и использовалась терминология "самоорганизующихся систем", но весьма своеобразным образом. На конференции по самоорганизации 1959 г. был представлен доклад видных исследователей ИИ А. Ньюэлла, Дж. Шоу и Г. Саймона [12]. Они создали компьютерную программу GPS ("Общий Решатель Проблем"), предназначенную для решения произвольных интеллектуальных задач, представленных в специальной форме (в виде поиска перехода от начального

выражения к целевому конечному выражению при заданных правилах уменьшения отдельных различий между выражениями). Авторы считали, что "поскольку GPS претендует на разрешение широкого класса задач, вероятно, возможно сделать GPS программой ее собственного обучения" [там же, с. 214]. Задачу улучшения работы некоторых частей GPS им действительно удалось записать в требуемой форме, т.е. система могла как бы совершенствоваться сама себя. Авторы назвали это "самоорганизацией": «Идея использования той же "интеллектуальной" программы и для собственного обслуживания опирается на глубоко укорененные представления о "самообращенном" характере явления самоорганизации» [там же, с. 237]. Здесь заявлено новое, третье понимание самоорганизации – как самообращенности, направленности деятельности всей системы на себя же (в отличие от кибернетического механизма, где одна часть системы организует другую). Однако, на наш взгляд, пример, приведенный Ньюэллом, Шоу и Саймоном, как раз не демонстрирует явления "самообращенности". В данном случае одна система GPS улучшает другую систему GPS, но отнюдь не саму себя. Она "работает" с ней, как с "другой", как с посторонней задачей. Изначальная тождественность организующего и организуемого никак не используется. В дальнейшем этот замысел Ньюэлла, Саймона и Шоу так и не был реализован, и идея "самоорганизации как самообращенности" оказалась в ИИ на время забытой.

Нелинейная кибернетическая модель

Помимо традиционной кибернетической модели, в которой система обучается и "самосвязывается" под действием внутреннего управляющего органа, в кибернетике возник еще один подход к самоорганизации. Здесь не требовалось "самообучения", а "связность" выражалась в функциональном упорядочении – согласованном действии элементов системы. Достигалась такая самоорганизация с помощью принципиально иного механизма – без единого управляющего органа, а посредством "скрытого регулятора", распределенного по всей системе. Ключевым при этом являлось понятие "нелинейности" связей в системе.

Как ни парадоксально это звучит, но ведущим представителем такого "альтернативного" подхода стал именно основатель кибернетики Норберт Винер. Эволюция его взглядов произошла в период от первого (1948) до второго (1961), дополненного, издания "Кибернетики". Он обнаружил, что "простые линейные обратные связи, изучение которых сыграло такую большую роль в пробуждении интереса ученых к кибернетическим исследованиям, оказываются совсем не такими простыми и линейными, как представлялось сначала" [3, с. 30].

К тому времени интересы Винера "все более сосредоточивались вокруг изучения ритмических процессов в живых организмах, порождаемых реакцией таких организмов, обыкновенно нелинейной, на случайные входы" [4, с. 18]. Исследуя электроэнцефалограммы человеческого мозга, он обнаружил в центре альфа-ритма узкую и резкую полосу возбуждения с характерным распределением частот. Механизм такой "самоорга-

низации мозговых волн" он увидел в нелинейном взаимодействии внутренних генераторов, создающем притяжение частот (см. X, дополнительную главу "Мозговые волны и самоорганизующиеся системы" второго издания "Кибернетики" [3]).

Подобный механизм Винер качественно описал при разборе другого примера в статье 1958 г.: "... при образовании сосудистой системы зародыша позвоночного образуются определенные сократительные клетки, которые вскоре уже составляют сердце с регулярным биением. Каким образом эти клетки вовлекаются в согласованное действие?

Я представил себе ситуацию, при которой эти клетки исполняют как органы информации двоякую роль. С одной стороны, они вырабатывают электрические импульсы, способные воздействовать на другие подобные клетки. С другой – они принимают такие импульсы, и их деятельность изменяется вследствие этого приема. Если бы отношения между этими органами как передатчиками и как приемниками были линейными, то такие органы не могли бы изменять частоту колебаний друг у друга. Если, однако, имеет место тенденция к взаимодействию частот двух колеблющихся элементов, будь то взаимное притяжение частот или, может быть, их взаимное отталкивание, то появляется возможность организации. Такая система, по мере того, как она приобретает все больший и больший синхронизм, будет испускать импульсы, имеющие все большую и большую тенденцию синхронизировать осцилляторы, еще не вовлеченные в пульсацию, пока, наконец, благодаря массовому действию они не составят один пульсирующий орган" [3, с. 21–22].

Синонимом строгого понятия "нелинейность" на качественном уровне – самообращенность связей между элементами системы. Именно способность элементов получать сигналы от других элементов и воздействовать на них (т.е. опосредованно и на себя) становится в данном случае источником согласованного действия.

Явление самоорганизации Винер иллюстрировал и на примерах, не связанных с живыми организмами. Он описал притяжение частот генераторов переменного тока, присоединенных параллельно к одной сборной шине: "В этом случае генераторы, стремящиеся вращаться быстро или с опережением фазы, будут нести большую нагрузку, чем нормальные, а вращающиеся медленно или с отставанием фазы – меньшую. Результатом будет ускорение медленных членов и замедление быстрых. Если даже ускорение и замедление отдельных членов регулируется приданными им специальными регуляторами, то вся система в целом будет содержать скрытый регулятор, более сильный, нежели любой из индивидуальных регуляторов. Интересно отметить, что этот скрытый регулятор распределен по всей системе и не может быть локализован ни в одной ее части. Это наводит на мысль, что во многих проблемах, и в частности в случае головного мозга, мы были, по-видимому, чрезмерно склонны предполагать резкую локализацию функций" [там же, с. 22].

Идеи Винера, однако, увлекли лишь малую часть кибернетического научного сообщества. Г. Паск представлял элементы "абстрактной самоорганизующейся системы" в виде нелинейных усилителей или генераторов [12]. Позднее он разработал модель самоорганизующейся

системы в виде группы студентов, где учителем выступает всякий раз тот студент, который лучше усваивает данный материал. В результате "в самоорганизующейся системе нет выделенного студента-учителя, его роль распределена" [22, р. 304]. Трудности локализации функций отдельных элементов реальной самоорганизующейся системы подчеркивал и М.Г. Гаазе-Рапопорт. Выделяя традиционные части кибернетического механизма самоорганизации – преобразователь информации, непосредственно связанной с окружающей средой, и модификатор, осуществляющий перестройку режимов работы преобразователя, он отмечал: "... в конкретных примерах самоорганизующихся систем преобразователь и модификатор часто бывают настолько тесно связаны друг с другом, что не всегда оказывается возможным конструктивно их разделить" [5, с. 160]. Ф. Розенблатт также пытался избавиться перцептрон от "системы управления поощрением", вводя перекрестные связи между ассоциативными элементами и рассчитывая на "самопроизвольное подкрепление". Распознавание образов таким перцептроном было крайне неустойчиво [10, с. 480].

"Распределенное управление", "скрытый регулятор", характерные для самообращенного механизма самоорганизации, были несовместимы с кибернетической моделью, требующей четкой формулировки цели. Поэтому "связующиеся, но не обучающиеся" самоорганизующиеся системы не получили в кибернетике достойного признания.

Синергический механизм самоорганизации

Нелинейная кибернетическая модель самоорганизации, на наш взгляд, схожа с процессом возникновения пространственных, временных и пространственно-временных структур в нелинейных неравновесных системах, изучаемых синергетикой. Эта наука получила свое название от "синергического" (совместного, согласованного) взаимодействия элементов, образующих целое, чьи свойства не сводятся к простой суперпозиции свойств частей.

Источник нелинейности обнаруживается здесь тоже в самообращенности внутренних связей системы. Примером могут служить изучаемые школой И. Пригожина авто- и кросс-каталитические реакции: "В цепи химических реакций, происходящих в системе, устойчивости стационарного состояния могут угрожать только стадии, содержащие автокаталитические петли, т.е. такие стадии, в которых продукт реакции участвует в синтезе самого себя" [9, с. 200]. "Каталитические петли соответствуют нелинейным членам" уравнений [там же, с. 199]. В результате получается периодический химический процесс – химические часы, – в котором концентрации веществ испытывают регулярные колебания.

Возникновение временных структур при самоорганизации изучал и Н. Винер. При описании мозговых волн он заметил, что "резкая линия частоты эквивалентна точным часам" [3, с. 275]. Другой представитель "нетрадиционного" кибернетического подхода – Г. Паск – указывал на сходство элементов "абстрактной самоорганизующейся системы" с катализаторами, изучаемыми Пригожиным [12, с. 330]. Совпадает даже тер-

минология: Винер писал, что "реакция нелинейной системы на случайные входы дает нам ключ к способности физиологических процессов организовываться в определенную синергическую деятельность" [4, с. 19–20].

Механизм самоорганизации у Винера и Паска и у Пригожина, Хакена и других синергетиков имеет одну основу: самообращенные, самореферентные связи между элементами, позволяющие производить структуры, создавать в системе организацию за счет локальных взаимодействий, без управляющих команд (как заметил Г. Хакен, в лазере нет никого, кто бы мог давать такие команды атомам).

Синергетика существенно расширяет за счет объектов неживой природы круг процессов самоорганизации, изучавшихся кибернетикой. По определению Хакена, "синергетика занимается изучением систем, состоящих из многих подсистем самой различной природы, таких, как электроны, атомы, молекулы, клетки, нейроны, механические элементы, фотоны, органы, животные и даже люди" [13, с. 19].

При этом синергетика использует методологию, отличную от традиционной кибернетической. Если кибернетическая система организуется под действием управляющего органа, то в синергетике "управляющие параметры" не управляют непосредственно поведением системы, но "запускают" ее внутренний механизм самоорганизации. Хакен писал: «И кибернетика, и синергетика придают первостепенное значение понятию управления, но при этом преследуют совершенно различные цели. Кибернетика занимается разработкой алгоритмов и методов, позволяющих управлять системой для того, чтобы та функционировала заранее заданным образом. В синергетике мы изменяем управляющие параметры более или менее непредсказуемым образом и изучаем самоорганизацию системы, т.е. различные состояния, в которые она переходит под воздействием "рычагов управления"» [там же, с. 362]. Та же методология был присуща и нетрадиционному кибернетическому подходу.

Синергическая модель мышления

В конце 1970 – начале 1980-х годов в области ИИ возрождается интерес к самоорганизации. На наш взгляд, здесь обнаруживается явное междисциплинарное воздействие синергетики. Д. Хофштадтер, один из ведущих специалистов по ИИ, прямо ссылается на биохимические процессы, изучавшиеся синергетикой: «Ферменты распределяются случайно по цитоплазме клетки и постоянно наталкиваются на другие молекулы, собирают их и затем выполняют свои функции (синтезируют, перестраивают, разлагают)... Причем все это основано на случайном движении. Клетка находится на слишком низком биологическом уровне, чтобы здесь был некий интеллектуальный управляющий. "Интеллект" клетки должен возникать из взаимодействия тысяч малых, независимых процессов» (цит. по: [18, р. 287–288]). В своей системе "Джумбо", решающей анаграммы, Хофштадтер как раз применил "ферментную" процедуру сочетания букв и синтеза слов.

Наиболее известной из современных самоорганизующихся систем ИИ является программа "Эвриско", созданная Д. Ленатом. Вместо кибернетической машины, подобной "чистой доске" и начинающей с нуля, Ленат

создал систему, которая уже многое "знала". Она содержала исходный набор базисных понятий (почерпнутых из работ Ж. Пиаже), правила-эвристики (вида "ЕСЛИ условие" со сложной структурой) для открытия новых понятий и мета-правила для открытия новых правил. Назовем простую эвристику: "Если у понятия мало примеров, то обобщить его". Другие эвристики управляют специализацией понятий, их композицией, порождением по аналогии и т.д.

Центральным моментом в системе Лената является формулировка понятий, правил-эвристик и мета-правил в едином формате. В этой ситуации каждая эвристика потенциально может воздействовать на любое понятие (включая любую эвристику) и, следовательно, на всю систему в целом, т.е. опосредованно и на саму себя.

Иногда это приводило к парадоксальным случаям, как, например, когда была синтезирована эвристика, которая посоветовала просто уничтожить все правила, ранее сгенерированные системой. К счастью, она сама погибла одной из первых, так что вопрос решился сам собой.

Как писал сам Ленат, «парадигма, лежащая в основе программ АМ и "Эвриско", может рассматриваться как новое поколение перцептронов, базирующихся на собраниях или объединениях развивающихся, самоорганизующихся, символических структур знания» [20, р. 292]. При этом механизм самоорганизации, предложенный Ленатом, в корне отличен от традиционного кибернетического. В устройствах типа перцептрона элементы системы остаются пассивными, ее структура изменяется внутренним управляющим органом. В системе "Эвриско", напротив, каждый элемент, любая эвристика является потенциальным источником активности. Она может воздействовать на любую другую эвристику и вследствие этого получать обратное воздействие. Связи между элементами носят самообращенный характер. В отличие от описанной выше системы Ньюэлла, Шоу и Саймона, которая была целиком "обращена" на себя как целое, "Эвриско" переводит самообращенность на уровень взаимодействия своих элементов.

Источник силы своей программы Ленат видел в синергическом взаимодействии эвристик, превышающем эффект их простой суперпозиции [19, р. 218]. Действительно, здесь мы встречаем все признаки синергического механизма самоорганизации – единый управляющий орган отсутствует, самоорганизация достигается через локальные взаимодействия элементов, соединенных самообращенными связями.

Сходный механизм был предложен отечественными специалистами по ИИ Д.А. Поспеловым и В.И. Варшавским в рамках концепции "децентрализованного управления", когда "сложные процессы развиваются не за счет централизованных воздействий, а за счет локальных взаимодействий их элементов" [2, с. 4].

Заключение

Сведем воедино и систематизируем характеристики описанных выше моделей самоорганизации.

В традиционной кибернетике модель самоорганизации предусматривает переход от случайной структуры внутренних связей системы к

обусловленной структуре за счет обратной связи с окружающей средой. Действие обратной связи определяется целью – улучшить поведение системы. С точки зрения внутренних связей такие системы являются самосвязующимися, а по отношению к среде – самообучающимися. Система организуется управляющим органом, а ее "самостоятельность" выражается в том, что этот орган извне вносится внутрь системы.

В нелинейной кибернетике и синергетике понимание самоорганизации принципиально иное. "Организация" уже не описывает поведение, а характеризует лишь внутреннюю структуру с точки зрения ее упорядоченности. "Самостоятельность" выражается в спонтанности возникающей организации, в отсутствии единого управляющего органа. Самоорганизацию обеспечивает синергический механизм локальных нелинейных (самообращенных) взаимодействий элементов системы.

В области ИИ под влиянием как кибернетических, так и синергетических работ возникла смешанная модель самоорганизации. Здесь цель самообучения достигается посредством синергического механизма. Обратная связь со средой, как и в кибернетике, служит источником информации, но ее воздействие локально и вписывается в общую схему местных взаимодействий.

При всем разнообразии задач, стоящих перед исследователями в разных областях, построение сходных моделей самоорганизации позволяло им черпать друг у друга полезные аналогии и обуславливало высокую научную плодотворность этой идеи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бионические принципы самоорганизации. Тбилиси, 1969.
2. Варшавский В.И., Поспелов Д.А. Оркестр играет без дирижера. М., 1984.
3. Винер Н. Кибернетика. 2-е изд. М., 1968.
4. Винер Н. Мое отношение к кибернетике. Ее прошлое и будущее. М., 1969.
5. Гаазе-Ранопорт М.Г. Автоматы и живые организмы. М., 1961.
6. Герович В.А. Проблема самоорганизации в кибернетике и искусственном интеллекте. Препринт ИИЕТ АН СССР № 32. М., 1990.
7. Дружинин Д.Л., Вьярхо В.Г. Синергетика и методология системных исследований // Системные исследования. Ежегодник, 1988. М., 1989.
8. Минский М., Пейперт С. Перцептроны. М., 1971.
9. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М., 1986.
10. Принципы самоорганизации. М., 1966.
11. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. М., 1965.
12. Самоорганизующиеся системы. М., 1964.
13. Хакен Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М., 1985.
14. Хоукинс Дж. Самоорганизующиеся системы. Обзор и комментарии // ТИРИ. 1961. № 1.
15. Юдин Б.Г. Самоорганизующаяся система // Философская энциклопедия. Т. 4. М., 1967.
16. Aschby W.R. Principles of self-organizing dynamic system // J. Gen. Psychol. 1947. Vol. 37.
17. Farley B.G., Clark W.A. Simulation of self-organizing systems by digital computer // Trans. IRE, PGIT-4. 1954.
18. Johnson G. Machinery of the Mind. N.Y., 1986.
19. Lenat D. The nature of heuristics // Artificial Intelligence. 1982. Vol. 19.
20. Lenat D., Brown J. Why AM and EURISCO appear to work? // Ibid. 1984. Vol. 23.
21. McCorduck P. Machines Who Think. San Francisco, 1979.
22. Self-organizing systems. Washington, 1962.

СОДЕРЖАНИЕ

И.Д. Рожанский (1913–1994).....	3
Предисловие.....	4
I. Генезис новоевропейского естествознания.....	7
Архι (история одного понятия). <i>И.Д. Рожанский</i>	7
От средневековой натурфилософии к классической новоевропейской науке. <i>И.В. Лупандин</i>	18
Образы в картине вселенной Декарта. <i>Г.Д. Гачев</i>	32
Становление статистического мировоззрения. <i>Ю.В. Чайковский</i>	62
II. История современного естествознания: тенденции и проблемы.....	108
Метафизические аспекты современной концепции самоорганизации. <i>А.Р. Тер-терян</i>	108
Кибернетика, синергетика, искусственный интеллект: модели самоорганизации. <i>В.А. Герович</i>	115
Научно-технологическая программа как форма развития современного научного знания. <i>П.П. Бурлаченко</i>	128
Просопография в науковедении 80-х годов. <i>Н.Л. Гиндилис</i>	141
III. Наука в контексте доктринальной идеологии.....	153
Астрономия и политика в России в период раннего сталинизма (1928–1932 гг.). <i>Э. Николаидис</i>	153
Тоталитарное государство и судьба советской физиологии. <i>П.Г. Белкин</i>	158
Физика университетская и академическая. <i>Г.Е. Горелик</i>	168
Антирезонансная кампания 1949–1951 гг. <i>А.А. Печенкин</i>	184
О науке пролетарской, партийной, марксистской. <i>А.Б. Кожевников</i>	219
Труды И.Д. Рожанского в области истории науки и истории культуры.....	239

Научное издание

Метафизика и идеология в истории естествознания

Утверждено к печати Институтом истории естествознания и техники
им. С.И. Вавилова РАН

Зав. редакцией "Наука – философия, социология, психология, право"
Е.А. Жукова

Художник *Н.И. Казаков*. Художественный редактор *Н.Н. Михайлова*
Технические редакторы *Е.Н. Власова, Г.П. Каренина*. Корректор *А.В. Морозова*

Набор выполнен в издательстве на компьютерной технике

ИБ № 1619

ЛР № 020297 от 27.11.91

Подписано к печати 16.11.94. Формат 60×90 ¹/₁₆. Гарнитура Таймс. Печать офсетная
Усл.печ.л. 15,0. Усл.кр.-отт. 15,3. Уч.-изд.л. 17,1. Тираж 700 экз. Тип. зак. **389**.

Издательство "Наука"

117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90

Санкт-Петербургская типография № 1 РАН
199034, Санкт-Петербург В-34, 9-я линия, 12