

ИНСТИТУТ ИСТОРИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ И ТЕХНИКИ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

ПРЕПРИНТ № 32 (1990)

Герович В. А.

ПРОБЛЕМА САМООРГАНИЗАЦИИ В КИБЕРНЕТИКЕ И ИСКУССТВЕННОМ
ИНТЕЛЛЕКТЕ

Москва 1990

РЕДКОЛЛЕГИЯ

Бланко М.А.,
Каганский В.Д.,
Кожевников А.Б.,
Ростиянов К.О.,
Сокольская А.В.,
Волков А.К.

Герович В.А.

Подписана в печать 11.03.80 Тираж 150 экземпляров. Цена 50р.

Т-03003

Заказ 447

ОКМП Мособлстата

Возникнув в ряде эпизодических публикаций конца 1940-х – первой половины 1950-х годов, проблема самоорганизации вскоре стала одной из наиболее актуальных тем кибернетических исследований. В программной статье 1958 г. для первого номера нового бельгийского журнала "Кибернетика" Н.Зинер писал о самоорганизации как точке сосредоточения своих текущих интересов /7, с.18/. В США были организованы две крупные международные конференции по самоорганизующимся системам /в 1959 /24/ и 1962 /52/ годах/ и международный симпозиум /1961 г./19//, число участников которых достигало 400 человек. Затем волна интереса к идеям самоорганизации переместилась в СССР, где эта проблема обсуждалась на симпозиуме по бионике в Баку /1964 г./, конференции в Москве /1965 г./, секции "Бионические принципы самоорганизации" III Всесоюзного симпозиума по кибернетике /Тбилиси, 1967 г. /1;2//. В конце 60-х годов общий спад кибернетического энтузиазма увлекает в пучину забвения и проблему самоорганизации. Она вновь возникает в 70-е годы в работах по синергетике, где, однако, отсутствуют прямые ссылки на ранние кибернетические исследования. В начале 80-х в области искусственного интеллекта /ИИ/ появляются работы, продолжающие полузабытую линию кибернетических самоорганизующихся систем, но уже в совершенно новой трактовке.

Правомерен вопрос: как соотносится понимание проблемы самоорганизации в кибернетике и ИИ, и как оно развивалось на протяжении истории этих исследовательских областей ?

Различные аспекты этого вопроса рассматривались многими авторами. Зарубежные исследования, как правило, либо принимали форму логической классификации возможных самоорганизующихся кибернетических систем и не уделяли достаточного внимания исторической динамике /47/, либо сводились к обзору текущих исследований без их концептуального осмысления /28/. В СССР в 1970-е годы было защищено несколько философских диссертаций по проблеме саморганизации. В одних

работах понятие "самоорганизация" конструировалось из категорий диалектического материализма и затем использовалось как эталон для оценки конкретно-научных исследований /4;II/. В других, наоборот, обобщались результаты таких исследований, но при этом также конструировалось единое понятие /20;30/. На наш взгляд, в кибернетике наблюдалось достаточное разнообразие интерпретаций проблемы самоорганизации, чтобы ее единое определение выглядело слишком упрощающим. Кроме того, учитывая время написания этих работ, от них трудно ожидать сопоставления с исследованиями в области ИИ и в синергетике. С появлением синергетики возникло две точки зрения на ее соотношение с ранними кибернетическими работами. Л.А.Няпинен считает, что изучением самоорганизации занимается только синергетика, а кибернетика исследовала лишь "организацию" /16/. Б.Г.Юдин, напротив, утверждает определенную преемственность кибернетических и синергетических работ /31/.

Наша цель - представить историческую динамику исследования проблемы самоорганизации, не теряя разнообразия ее интерпретаций на каждом из этапов. Мы проследим за судьбой нескольких устойчивых традиций изучения этой проблемы, укажем на их разные истоки. Рассуждение на языке разнообразия традиций позволит нам выявить связь исследований самоорганизации в различных научных областях, не пренебрегая их спецификой.

Один из организаторов конференции 1962 года М.К.Иовитс писал, что термин "самоорганизующаяся система" впервые использовали Б.Фэрли и У.Кларк в статье 1954 года /37/ в значении "система, изменяющая свои основные структуры в зависимости от опыта и окружения" /52,с.IX/. Нетрудно убедиться, однако, что еще в 1946 году английский ученый У.Р.Эшби написал статью "Принципы самоорганизующейся динамической системы" /34/, где ввел это понятие иначе. Но мнение Иовитса не было просто ошибочным. Оно отражало разную судьбу этих статей: одна была принята и подхвачена кибернетическим научным сообществом, другая прошла незамеченной, и даже ее автор позднее изменил свою точку зрения.

Тем не менее мы начнем именно с этой ранней работы Эшби, ибо нас интересует скорее постановка проблемы самоорганизации, чем ее окончательное решение /которое, по-видимому, не достигнуто до сих пор/. В начале статьи автор констатирует скептическое отношение своих коллег к идее о том, что "машина может быть "самоорганизующейся", т.е. детерминированной и тем не менее производящей спонтанные изменения внутреннего состояния" /34,с.125/. Далее он 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 функции 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 п переменных. Другое требование, согласно которому нервная система представляется спонтанно меняющей свою организацию, ... будет справедливо для п-м переменных, относясь, таким образом, к наблюдаемому извне поведению при игнорировании событий или переменных внутри нервной системы" /там же, с.128/.

Для Эшби "образца 1946 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, кото-

рый можно сделать из этой статьи Эшби: самоорганизация - субъективная характеристика, зависящая от точки зрения наблюдателя.

Эту методологическую установку Эшби сохранил и в дальнейшем, хотя в целом его воззрения на проблему самоорганизации заметно изменились. В докладе на симпозиуме 1961 года он отмечал, что "существенная часть теории организации касается свойств, которые не являются внутренне присущими реальным объектам, а зависят от отношения между наблюдателями и объектами"/33, 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 последует 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 воздействуют 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/.

Один из возможных критериев "хорошей" организации - устойчивость системы относительно некоторого состояния равновесия. Этот принцип был положен Эшби в основу специального устройства - гомеостата /32/, идея которого возникла в 1948 году. Понятие гомеостазиса, введенное американским физиологом У.Кенноном в 1929 году /35/ 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.

Таким образом, естественным прототипом самоорганизующейся системы для Эшби остается нервная система. В то же время понятие "организации", а вместе с тем и "самоорганизации", меняется. Организация может характеризовать отношения частей внутри системы - тогда мы имеем "самосвязующуюся" систему. Также организацию можно определить через отношение системы и среды - тогда "хорошая" организация будет соответствовать приспособленности системы к среде.

Сходную дихотомию ввел английский кибернетик Д.Маккей. Когда мы говорим о высоком уровне организации кристалла,

имеется ввиду, что форма его структуры - положение его атомов - демонстрирует высокую согласованность с некоторой формулой. Когда же мы говорим об организованности телефонной сети или человеческой нервной системы, мы ссылаемся не на форму, а на функцию системы /46, с.37/.

Маккей ввел также еще одно различие - между самоорганизующимися системами с целью, задаваемой извне /искусственные системы, например, самооптимизирующийся контролер процессов/ и системами, где цель вырабатывается независимо /живые организмы/. Между ними, отмечал Маккей, пролегает континуум, где находится большинство человеческих и искусственных ситуаций /там же, с.38/.

Особенность кибернетического подхода, на наш взгляд, заключалась в том, что исследовались лишь системы, для которых определено понятие цели, необходимое для построения любой кибернетической модели. 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." /29, с.32/. Кибернетика не исследовала самоорганизацию объектов неживой природы, явившаяся позднее предметом синергетики.

Другая особенность кибернетического подхода к проблеме самоорганизации была связана с двойственностью любого кибернетического исследования. Кибернетическая система, будучи моделью живого организма, могла рассматриваться и как иссле-

довательская модель для биолога, изучающего организм, и как машина, построенная инженером по бионическому принципу. Одна часть кибернетического научного сообщества преследовала одну цель, другая - иную, но сами по себе исследования допускали двоякую интерпретацию. М.К.Иовитс подчеркивает различие целей: "физиологи, эмбриологи, нейрофизиологи и представители других биологических наук стараются понять свойства самоорганизации биологических систем, математики же, инженеры и физики со своей стороны пытаются сконструировать искусственные системы, которые обнаруживали бы самоорганизующиеся свойства" /10, с.12/. А Ст.Бир рассуждает "так, как если бы не существовало различия между любыми реализациями мозга - в действительности, в математической модели, в кибернетических машинах и т.д. И действительно, это не имеет значения. Наша цель - получить отображение мозга на машину, и, поскольку это сделано, они фактически совпадают" /3, с.56-57/. Бир строит общую теорию - живого мозга и его искусственных подобий.

Для нас важно отметить, что независимо от того, кем ощущает себя кибернетик - биологом, инженером или строителем общей теории - его исследование, его знание может войти в любой из этих разделов как его составная часть.

Неудивительно поэтому, что кибернетики, занимающиеся конструированием искусственных самоорганизующихся систем, опирались на модели деятельности нервной системы, предложенные биологами Н.Рашевским /49/ и Д.Хеббом /40/, и прежде всего - на совместные исследования двух американских ученых - У.Маккалока и У.Питтса. В классической статье 1943 года "Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности" /13/ они ввели формальную модель нервной клетки. Нейрон представлялся им логическим элементом с несколькими возбуждающими и тормозящими входами /аналогами синапсов/ и одним выходом. Возбуждение выхода зависело от превышения входными возбуждениями некоторого порога и от наличия торможений. При этом авторы приняли следующие "физические допущения":

"I. Активность нейрона удовлетворяет принципу "все или

ничего".

2. Возбуждению нейрона в какой-либо момент времени должен предшествовать латентный период накопления возбуждений определенного фиксированного числа синапсов. Это число не зависит от предыдущей активности и от расположения синапсов на нейроне.

3. Единственным запаздыванием в нервной системе, имеющим значение, является синаптическая задержка.

4. Активность какого-либо тормозящего синапса абсолютно исключает возбуждение данного нейрона в рассматриваемый момент времени.

5. С течением времени структура сети не изменяется" / там же, с.366/.

Нейроны соединялись в сети, описываемые на языке логики Карнапа с дополнительными обозначениями Рассела и Уайтхеда /именно у Рассела и Карнапа учился логике У.Питтс/. Далее показывалось, что "для всякого логического выражения, удовлетворяющего некоторым условиям, можно найти сеть, имеющую описываемое этим выражением поведение" /там же, с.362/. Класс функций, реализуемых такой сетью, занимал промежуточное положение между простой булевой логикой и широким классом функций, вычисляемых машиной Тьюринга. Заметим, что модель Маккалока-Питтса представляла собой фиксированную структуру для фиксированного /наперед заданного/ поведения.

Модель породила, с одной стороны, неоправданный оптимизм инженеров, будто сеть формальных нейронов может реализовать "все, что может быть полностью описано", а с другой - резкую критику нейрофизиологов, установивших в 50-е годы, что нейрон имеет существенно более сложную структуру. Ограниченность своей схемы хорошо понимал и сам Маккалок, сказавший однажды: "Не хватайте меня за палец, а смотрите, куда я указываю" /Цит. по/44, с.76//. Он указывал на возможность установления связи феноменологического и нейрофизиологического уровней описания работы нервной системы. Именно так восприняли эту модель кибернетики. Критикуя эту схему и отталкиваясь от нее

с разных сторон, инженеры и биологи развивали методы описания и конструирования самоорганизующихся систем.

Первым принципиальным пунктом критики схемы Маккалока-Питтса был ее строго детерминированный характер. Помеха в работе одного нейрона нарушала функционирование всей сети. Кроме того, громадное количество нейронов головного мозга /порядка 10 млрд./ делало практически невозможным построение формальной модели целого мозга на этих принципах. По выражению Ф.Розенблатта на симпозиуме 1961 года, такая модель была бы "переопрделена". Он заявил: "Мне кажется, что требовать точной логической структуры нервной сети для предсказания ее поведения равносильно тому, чтобы требовать знания точного положения и скорости каждой молекулы находящегося в сосуде газа для предсказания его температуры" /23, с.471/. Сам Маккалок, присутствовавший на симпозиуме, при обсуждении сходной ситуации сказал, что в таком случае мы задавали бы вопрос типа: "в какой из ламп моего приемника находится голос Руди Вэлли" /19, с.127/ /к тому времени Маккалок уже использовал вероятностный подход к нейронным сетям/.

При определенной температуре газа его частицы могут иметь самые различные положения и скорости. Аналогично, множество разных логических уравнений может описывать нейронные сети, демонстрирующие одинаковые статистические характеристики. Поэтому именно статистические правила Розенблатт считал наиболее подходящими для описания важнейших аспектов работы мозга или подобной ему системы /21, с.71/. Впервые статистический принцип был применен в 1948 году А.Шимбелом и А.Рапортом для анализа сетей с вероятностным распределением порогов, типов синапсов и источников связей.

Статистический подход был применен в модели "случайной сети", в которой нейроны соединялись произвольно случайным образом. Эта модель опиралась на нейрофизиологическую гипотезу /своеобразный аналог идеи "табула раса", "чистой доски"/, утверждавшую, что нервные клетки мозга вначале практически неотличимы друг от друга и лишь благодаря опыту и ощущениям

организуются в целенаправленное поведение. Переход нейронной сети из исходного случайного, неупорядоченного состояния в упорядоченное стали называть самоорганизацией, а системы, построенные по этому принципу - самоорганизующимися.

Впервые систему, реализующую такое понимание самоорганизации, разработали, как мы уже упоминали в самом начале, Б.Фэрли и У.Кларк /36;37/. Случайная сеть нейроноподобных элементов /смоделированная на ЭВМ, а не воссозданная физически/ была ими разделена произвольно на две части - входную и выходную. Выходная часть делилась на две подгруппы, и общий выход системы /положительный или отрицательный/ определялся как разность числа возбужденных элементов в этих двух подгруппах. Входная часть также состояла из двух подгрупп, обозначавших два различных входных образа. Подача одного из этих образов на вход системы /т.е. возбуждение соответствующей входной подгруппы/ вызывала возбуждение некоторых выходных элементов и порождала определенное значение выхода. 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, как в исходной модели Маккалока-Питтса, 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"/26, 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 году /51/ и позднее активно им развивавшийся /21;22;23/. Перцептрон был реализован "в металле" и предназначался для распознавания реальных зрительных образов, в частности, печат-

ных 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 400 "сенсорных" элементов, соединенных с фотоэлементами, расположенными на квадратном /20 на 20/ поле, куда поступало изображение буквы. Сенсорный элемент возбуждался в зависимости от того, был ли засвечен соответствующий участок поля. Далее сенсорные элементы соединялись случайным, но фиксированным 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 ко входам элементов третьей группы - "реагирующих". Каждой букве соответствовал "свой" реагирующий элемент, значение выхода которого при предъявлении этой буквы должно было превышать значения выходов других реагирующих элементов. Роль модификатора связей в перцептроне играла "система управления поощрением", которая сравнивала стимул с реакцией системы и изменяла соответствующим образом веса "полезных" и "вредных" связей.

Розенблатт считал перцептрон моделью зрительного восприятия и строго увязывал группы искусственных нейронов с определенными отделами коры головного мозга. Он подчеркивал: "По мнению автора, программа по исследованию перцептрона связана главным образом не с изобретением устройств, обладающих "искусственным интеллектом", а с изучением физических структур и нейродинамических принципов, которые лежат в основе "естественного интеллекта". Перцептрон является прежде всего и главным образом моделью мозга, а не устройством для распознавания образов. Его использование в качестве модели мозга позволяет определить физические условия образования различных физиологических свойств"/22, с.18/. Перцептрон - типичный пример двойственности кибернетического исследования, которое часто трактуется как конструирование некоторого инженерного устройства, будучи по замыслу созданием модели естественного объекта.

Доклад Розенблатта на симпозиуме 1961 года о перцептроне, обретающем "органы чувств", вызвал у английского кибернетика Г.Паска ассоциацию с проблемами эмбриологии: "как эмбрион, развивающийся под действием количественно определенного градиента и фиксированного закона эволюции, внезапно прерывает качественные изменения?" /19, с.489/. Эта аналогия возвращает нас к цитированному выше примеру о "нервной системе эмбриона, чьи клетки вначале почти не воздействуют друг на друга, а затем соединяются в систему", который привел Эшби, иллюстрируя понятие "самосвязующейся" системы. Следуя его классификации, системы Фэрли-Кларка и Розенблатта следовало бы отнести к самоорганизующимся системам первого типа.

Вернемся, однако, к модели Маккалока-Питтса как точке приложения конструктивной критики. Помимо фиксированности структуры, о которой говорилось выше, критике подвергалась и фиксированность поведения, характерная для этой модели. Биологи отмечали, что живые организмы совершенствуют свое поведение, обучаясь на опыте. Инженеры, со своей стороны, констатировали, что в этой модели для небольшого изменения поведения необходим синтез заново всей сети. Требовалась модель гибкого, изменчивого поведения. Поэтому была выдвинута концепция "машинного обучения", т.е. выработки машиной приемлемого поведения на основе прошлого опыта. Эту точку зрения развивал тот же Ф.Розенблатт: "Многие обсуждавшиеся здесь модели касаются вопроса о том, какую логическую структуру должна иметь система, чтобы обладать некоторым свойством X. Вопрос можно поставить и по-другому: какого рода система может развить свойство X?" /23, с.471/. Эту методологическую посылку Маккалок не принял. Его по-прежнему интересовало "конструирование моделей работы нервной системы, а не моделей пути ее прихода к данному состоянию" /45, с.49/. Розенблатт же конструировал перцептрон именно как обучающуюся машину: "В каждом случае объектом анализа является экспериментальная система, включающая в себя перцептрон, определенную окружающую среду и процедуру обучения или внешнюю обучающую систему" /22, с.41/.

Обучение подразумевает совершенствование поведения, его лучшую организацию. Этот процесс совпадает с "самоорганизацией второго типа" по классификации Эшби. Значит, перцептрон Розенблатта следует отнести к самоорганизующимся системам второго типа, а не первого? Парадоксальность ситуации усугубляется, когда ко второму типу начинает тяготеть и система 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" /24, 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 самоупорядочения.

Для того, чтобы и нам несколько упорядочить терминологию, обратимся к основам кибернетической традиции. 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 системы существовало два способа: сконструировать систему сразу в окончательном виде или построить начальный вариант, снабдив его возможностями развития адаптивных свойств. В последнем случае систему называли "самообучающейся". Подобные системы и послужили прототипом для "самоорганизации второго типа" Эшби.

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".

Гомеостат, построенный Эшби, является типичным примером системы, осуществляющей самоорганизацию именно в этом /и более ни в каком ином/ смысле. К этой группе также относится любая обучающаяся машина, независимо от внутреннего механизма обучения. Дж. Хоукис в своей обзорной статье /28/ использует понятия "обучение" и "самоорганизация" как синонимы.

С другой стороны, параллельно с кибернетическими идеями, в 1940-е-50-е годы разрабатывалась нейрофизиологическая модель мозга в виде специально организованной нейронной сети. В динамике эта модель представляла собой процесс перехода: сети из неупорядоченного состояния в упорядоченное, "связанное" состояние /"самосвязывающаяся" система по Эшби/. Модели такого рода также стали называть "самоорганизующимися системами", т.к. в них происходило в некотором смысле повышение внутренней организованности. Эти работы уже фактически слились с кибернетической традицией, так что кибернетическая адаптация стала осуществляться через механизм повышения внутренней организованности системы, или, если угодно, внутренняя организованность стала расти за счет внешнего обучения.

Сложилась модель, которую мы будем называть "кибернетическим механизмом самоорганизации". Переход от случайной, неупорядоченной структуры системы к упорядоченной происходит за счет направленного изменения связей между элементами. Направление

задает специальный управляющий орган - модификатор связей у Ферли-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" /46, с.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" /5, с.25/. В то же время перестройка внутренней структуры улучшает и поведение системы /т.к. управляется отрицательной обратной связью/. "Изнутри" такая система выглядит самосвязывающейся, "извне" - обучающейся.

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

1 - самоорганизация как самостоятельное повышение организованности системы: описывает изменение внутренних связей системы; оценивается в шкале "низкая - высокая организованность" независимо /в общем случае/ от внешних критериев; синоним "самоупорядочения". Присуща самосвязывающимся системам.

2 - самоорганизация как самостоятельное улучшение организации системы: описывает изменение внешних связей системы /со средой/, ее поведения; оценивается в шкале "плохая - хорошая организация" независимо /в общем случае/ от внутреннего механизма ее достижения; синоним "самообучения". Присуща обучающимся системам.

Соответственно, возможны три типа самоорганизующихся систем:

1 - обучающиеся, но не самосвязывающиеся /гомеостат Эшби/.

2 - обучающиеся и самосвязывающиеся /система Ферли-Кларка, перцептрон Розенблатта/. Именно они реализуют кибернетический механизм самоорганизации.

З - самосвязующиеся, но не обучающиеся. Это "неклассические" кибернетические системы. Мы рассмотрим их несколько позднее, нарушив исторический порядок в угоду логическому.

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 из 400 вакуумных трубок, выполнивших функцию элементов Маккалока-Питтса. Машина была призвана 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 1968 г. совместно с С. Пейпертом он написал книгу /14/, в которой доказывал ограниченность возможностей устройств, подобных персептрон, 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. "Я не хотел заниматься тем, что не работало," - сказал Минский /Цит. по /44, с. 86//. И, как примерный ученый, отказывающийся от бесплодного направления, перешел к исследованиям по ИИ.

ИИ как исследовательская область возник в середине 1950-х годов. Его целью 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 /44, с. 84//.

Отказ от моделирования случайных нейроноподобных сетей повлек за собой забвение кибернетического механизма самоорганизации. В ИИ создавалось немало обучающихся систем, но их уже не называли самоорганизующимися.

Если в раннем ИИ и использовалась терминология "самоорганизующихся систем", то весьма своеобразным образом. На конференции 1959 года был представлен доклад видных исследователей ИИ А. Ньюэлла, Дж. Шоу и Г. Саймона /15/. 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 называли 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 так и не был реализован, и идея "самоорганизации

как самообращенности" осталась на время забытой.

В ИИ при создании "разумных" машин в них, как правило, закладывались сложные интеллектуальные процедуры. Но были и исключения, когда задача "вразумления" машины возлагалась на нее саму, а не на человека-программиста. Такие машины должны были самостоятельно эволюционировать от неинтеллектуального поведения к интеллектуальному. Одна из первых попыток такого рода принадлежала американскому ученому Р.Фридбергу /38;39/. Его "Обучающаяся машина" должна была научиться решать задачи без предварительного объяснения, как это сделать. Фридберг писал: "Если машине не говорится, как делать нечто, то надо по крайней мере указать, что надо делать, иначе мы не сможем сконцентрировать усилия на определенной проблеме. Но не видно способа сказать что, не говоря как, кроме как позволив машине вырабатывать процедуры случайным образом /или с помощью некоторой неинтеллектуальной системы/ и сообщая ей постоянно, делает ли она то, что требуется, или нет"/38, с.2/.

Здесь кибернетическое обучение опирается на новый механизм - случайную генерацию состояний системы. "Обучающаяся машина" предназначалась для автоматического составления вычислительных компьютерных программ. Она начинала с произвольной последовательности команд, применявшейся к исходным данным. Далее система двигалась по градиенту, выбирая направление в зависимости от близости полученного результата вычисления к требуемому. На каждом шаге в последовательности изменялась одна команда /аналог мутации в генетике/. Если результат был благоприятным, это изменение закреплялось и происходила "мутация" другой команды, в противном случае - возврат на шаг назад. В отличие от кибернетического обучения путем поощрений и наказаний, напоминающего онтогенез, Фридберг использовал скорее "филогенетическую" процедуру, включающую мутации и отбор по результатам деятельности. Неудачная последовательность команд "погибала", а "выжившая" давала мутированное "потомство". Однако, Фридберга постигла неудача: эволюция шла медленно и неэффективно, к тому же

выяснилось, что наследование свойств "родителей" вообще не имеет смысла, т.к. чисто случайный поиск из того же исходного состояния дает требуемый результат в 1000 раз быстрее!

Тем не менее идея эволюционного пути к ИИ развивалась и далее в работах Л.Фогеля с соавторами /25/. Традиционные подходы к проблеме создания ИИ основывались на моделировании человеческого мышления, на подражании "наиболее разумному существу". Фогель считал эту точку зрения слишком эгоцентричной: "Хотя человек, безусловно, разумное создание, нет оснований полагать, что он наиболее интеллектуальное существо, которое вообще возможно. Эксперимент природы продолжается, и ввиду ее прежних успехов в создании существ последовательно все более высокой интеллектуальности кажется вполне разумным предположить, что некоторые будущие существа будут обладать значительно большим интеллектом, чем современный человек. В этом свете было бы, пожалуй, полезным заменить процесс моделирования человека моделированием процесса его эволюции"/там же, с.28/. Реализация подхода "эволюционного моделирования", полагал Фогель, позволила бы создать машины, не воспроизводящие, а превосходящие мышление человека. Система Фогеля имитировала эволюцию конечных автоматов /математических объектов с конечным числом возможных состояний, входов и выходов, изображаемых обычно в виде графа - множества вершин, соединенных стрелками/. "Мутации" представляли собой изменения направления стрелок, добавление новых вершин и т.п., а отбор "потомков" осуществлялся по результатам предсказания конечным автоматом очередного входного символа. Недостатки у этой системы оказались те же: подъем по градиенту путем случайных мутаций был слишком медленным, застревающим на локальных максимумах.

Эволюционный подход прямо не связывался его адептами с тематикой самоорганизации, но имеет к ней, на наш взгляд, непосредственное отношение. Он возник как важная альтернатива кибернетическому механизму самоорганизации, предусматривавшему направленное изменение внутренней структуры с помощью

специального организующего звена, входящего в систему. В эволюционной модели такое звено отсутствует, изменения структуры случайны. С одной стороны, такой шаг резко снизил эффективность обучения и обрел это направление на неудачу, с другой же — послужил толчком к поиску иных, отличных от кибернетического, механизмов самоорганизации.

Среди тех, кто безуспешно пытался в начале 1970-х годов применить эволюционный подход к автоматическому программированию, был и американский исследователь Д. Ленат. Использование процедуры случайных мутаций с последующим отбором наилучших потомков в качестве родителей для следующего поколения Ленат назвал "парадигмой слабого генератора и строгого теста"/42, с. 286/. Вначале, вслед за Фридбергом и Фогелем, он считал, что добиться успеха с помощью случайных мутаций. "Эта гипотеза была простой, элегантной, эстетичной и неверной"/там же/. Время, необходимое для синтеза или модификации компьютерной программы эволюционным методом, росло экспоненциально с ее длиной, что вскоре вело к комбинаторному взрыву. Кроме этого "материального" фактора, сказывался еще и "моральный" — эволюция оказалась не лучше простой схемы случайного поиска.

Альтернативой, предложенной Ленатом, оказался механизм неслучайных мутаций, включенный в процедуру "полезной генерации и проверки". Вместо кибернетической машины, подобной "чистой доске", начинающей с нуля, Ленат создал систему, которая уже многое "знала". Она владела правилами, как делать открытия, и правилами, как открывать новые правила, как делать открытия. Задуманная в 1976 году как развитие ранней системы АМ, программа "Эвриско" заработала в начале 80-х. Она содержала исходный набор базисных понятий /заимствованных из работ Ж.Пижае/ и правила-эвристики /вида "ЕСЛИ условие ТО действие" со сложной структурой/, способные изменять старые и порождать новые понятия. Приведем простую эвристику: "Если у понятия мало примеров, то обобщить его". Другие эвристики управляют специализацией понятий, их композицией, порождением по аналогии и т.п.

Центральным моментом в системе Лената является формулировка самих эвристик в виде понятий. Это позволяет применять эвристики к эвристикам, т.е. заставить эволюционировать саму процедуру эволюции, достигая тем самым "полезной генерации". Способы направленного "мутирования" эвристик многообразны: изменение условий или действий путем вариации логических связок /замена конъюнкции на дизъюнкцию вызывает обобщение/, добавление новых условий или действий, заимствованных у других эвристик, и т.п. При этом эвристики, применяемые к эвристикам /"мета-эвристики"/ ничем не отличаются от эвристик, действующих на обыкновенные понятия /в то время как в экспертных системах, активно развиваемых в ИИ, предметные правила строго отделены от мета-правил/. В "Эвриско", замечает Ленат, "нет необходимости отличать мета-эвристики от просто эвристик"/41, с.226/. В этой ситуации каждая эвристика потенциально может воздействовать на любое понятие /включая любую эвристику/ и, следовательно, на всю систему в целом. Иногда это приводило к трагикомичным случаям. Однажды появилась одна эвристика, которая посоветовала просто уничтожить все эвристики, ранее синтезированные системой. К счастью, она погибла одной из первых, так что вопрос решился сам собой.

С появлением "Эвриско" в ИИ после многолетнего перерыва возродилась тематика самоорганизации. Ленат писал, что "парадигма, лежащая в основе программ АМ и "Эвриско", может рассматриваться как новое поколение перцептронов, базирующихся на собраниях или объединениях развивающихся, самоорганизующихся, символических структур знания. В классических перцептронах все знания должны были быть закодированы в виде топологических сетей связанных нейронов со взвешенными связями. Схема представления, используемая в "Эвриско", обеспечивает гораздо более мощные связи, принимающие форму эвристик для понятий, включая и эвристики, указывающие, как использовать и развивать эвристики. Оба типа перцептронов опираются на закон больших чисел, на локально-глобальное свойство достижения адекватного поведения через взаимодействие большого количества небольших,

относительно простых частей"/43, с.292/.

Ленат, по сути дела, предложил новый механизм самоорганизации. В устройствах типа персептрона или эволюционных моделях элементы системы остаются пассивными, ее структура изменяется внутренним управляющим органом либо случайным образом. 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.

В то же время "Эвриско" была обучающейся системой. Она использовала результаты пробных игр для увеличения ценности удачно проработавших эвристик и снижения ценности бесполезных и "вредных". "Эвриско" сочетала в своей работе кибернетическое обучение с новым внутренним механизмом самоорганизации - назовем его "синергическим" /источник силы своей программы Ленат видел в синергическом взаимодействии эвристик, превышающем эффект их простой суперпозиции /41, с.218/. "Эвриско" продемонстрировала свою эффективность, открыв ряд новых понятий в разных областях и победив на двух национальных чемпионатах США по популярной интеллектуальной игре.

В общем случае синергический механизм не требует внешних критериев оценки, структура системы перестраивается под воздействием самих элементов, без единого управляющего органа. В реальности "Эвриско" так и развивалась, самостоятельно производя все новые и новые структуры, и лишь практическая направленность работы заставляла Лената отбирать из этих структур те, что вели к цели. Эта цель была целью Дугласа Лената, но не системы "Эвриско": синергический механизм самоорганизации направляется не целью, а локальными взаимодействиями элементов, соединенных самообращенными связями.

Этот механизм, на наш взгляд, схож с процессом возникновения

пространственных, временных и пространственно-временных структур в нелинейных неравновесных системах, изучаемых синергетикой. 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" /18, 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.

Подобно ИИ, синергетика противопоставляет себя кибернетике. Если кибернетическая система организуется под действием управляющего органа, то в синергетике "управляющие параметры" не управляют непосредственно поведением системы, но "запускают" ее внутренний механизм самоорганизации. Г.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" /27, с.362/. Заметим, что эту непредсказуемость вносит сама система, так что большинство "рычагов управления" находится в ее собственных руках.

В то же время в рамках кибернетики развивались и "неклассические" направления, чья интерпретация самоорганизации, на наш взгляд, была ближе к синергетической, чем к собственно кибернетической. Как ни парадоксально это звучит, но во второй половине 1950-х годов "неклассиком" 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 пробуждении интереса ученых к кибернетическим исследованиям, оказываются совсем не такими простыми и линейными, как представлялось сначала"/6, с.30/. Ранее на изучение нелинейных цепей распространялись линейные понятия прежней электротехники: "...обычный способ подхода к нелинейным устройствам состоял в том, что искалось расширенное понятие импеданса, которое охватывало бы как линейные, так и нелинейные системы. В результате нелинейная электротехника пришла в состояние, подобное состоянию птолемеевой системы астрономии в последний период ее существования, когда нагромождали эпицикл на эпицикл, поправку на поправку, пока все это латаное сооружение не рухнуло под собственной тяжестью"/там же/.

Пользуясь терминологией И.Лакатоса /12/, можно сказать, что старая научно-исследовательская программа выставила "защитный пояс", который, однако, не спас ее от регресса, и Винер предложил новую /"В этом направлении я даю скорее программу, чем законченное исследование, но программу, на которую я возлагаю большие надежды"/там же, с.39//.

Соответствующий математический аппарат Винер изложил в книге "Нелинейные задачи в теории случайных процессов"/1958/ /8/. "Практически дело сводится к тому, что в качестве удобного стандартного сигнала на входе выступает уже не набор тригонометрических функций, а сигнал типа броунова движения" /6, с.32/. Параметры функций, описывающих выходной сигнал, определяются усреднением по параметрам входного сигнала.

К тому времени интересы Винера "все более сосредоточивались вокруг изучения ритмических процессов в живых организмах, порождаемых реакцией таких организмов, обыкновенно нелинейной, на случайные входы"/7, с.18/. Исследуя электроэнцефалограммы человеческого мозга, он обнаружил в центре альфа-ритма узкую и резкую полосу возбуждения с характерным распределением частот. Механизм такой "самоорганизации мозго-

вых волн" он увидел в нелинейном взаимодействии внутренних генераторов, создающем притяжение частот /см. X дополнительную главу "Мозговые волны и самоорганизующиеся системы" второго издания "Кибернетики"/6//.

Подобный механизм Винер качественно описал при разборе другого примера в статье 1958 года: "...при образовании со-сущности 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 двойную 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 ко 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"/7, с.21-22/.

У Винера, как и в описанном выше синергическом механизме самоорганизации, самообращенный характер связи элементов системы становится источником их согласованного действия. Он даже использует тот же термин: "...реакция нелинейной системы на случайные входы дает нам ключ к способности биологических процессов организовываться в определенную синергическую деятельность"/там же, с.19-20/. Винеровское замечание о том, что, "резкая линия частоты эквивалентна точным часам"/6, с.275/,

вызывает аналогию с химическими часами и венчает сходство его концепции самоорганизации /конца 1950-х годов !/ с той, что будет развита позже в синергетике и.ИИ.

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"/7, с.22/.

"Неклассические" идеи Винера, однако, увлекли лишь малую часть кибернетического научного сообщества. Г.Наск представлял элементы "абстрактной самоорганизующейся системы" в виде нелинейных усилителей или генераторов /указывая одновременно на их сходство с катализаторами, изучаемыми И.Пригожиным/ /17, с.330/. 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"/48, с.304/. Трудности локализации функций отдельных элементов реальной самоорганизующейся системы подчеркивал и М.Г.Гаазе-Рапопорт. Выделяя традиционные части кибернетического механизма самоорганизации - преобразователь информации, непосредственно связанный с окружающей средой, и модификатор, осуществляющий перестройку режи-

мов 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" /9, с.160/. Ф.Розенблатт также пытался избавить перцептрон от "системы управления поощрением", вводя перекрестные связи между ассоциативными элементами и рассчитывая на "самопроизвольное подкрепление". Распознавание образов таким перцептроном было крайне неустойчиво /23, с.480/. "Распределенное управление", "скрытый регулятор", характерные для синергического механизма самоорганизации, были несовместимы с кибернетическим механизмом, требующим строгого выделения внутреннего управляющего органа. Поэтому "связующиеся, но не обучающиеся" самоорганизующиеся системы не получили в кибернетике достойного признания.

Особняком от всех кибернетических исследований самоорганизации стоит работа Г.фон Ферстера /55/, где вводится количественная мера порядка системы, основанная на негэнтропии. При этом способ уменьшения беспорядка фон Ферстер охарактеризовал качественно - как действие внутреннего и внешнего "демонов", подобных "демону Максвелла". Подход фон Ферстера не был кибернетическим, а скорее являлся продолжением исследования "жизни с точки зрения физика", предпринятого Э.Шредингером в лекциях 1943 года /56/. К двум названным Шредингером механизмам производства упорядоченных явлений - "порядку из беспорядка" /статистический закон/ и "порядку из порядка" /питание организма негэнтропией/ - фон Ферстер добавил собственный, третий - "порядок из шума". Он продемонстрировал его действие на следующем искусственном примере. Возьмем металлический лист, намагниченный перпендикулярно поверхности, нарежем его на квадратик и наклеим их на грани кубиков в самых различных комбинациях. Теперь сложим в коробку в полной беспорядке кучу одинаковых кубиков, характеризующихся наличием противоположной полярности у двух пар тех сторон, которые образуют противоположные углы. После

встряхивания вместо груды кубиков возникает невероятно упорядоченная структура, напоминающая растение со множеством отростков, которая, по мнению фон Ферстера, могла бы экспонироваться на любой выставке сюрреалистического искусства. "...никакой порядок в систему не вводился, вводилась лишь дешевая ненаправленная энергия, однако благодаря маленьким демонам, находящимся в коробке, с течением времени отбирались только те компоненты шума, которые способствовали повышению порядка в системе" /55, с. I31-I34/.

Почему же в кибернетике энтропийная интерпретация самоорганизации не привилась? Препятствием служило узко толкуемое второе начало термодинамики, устанавливающее неубывание энтропии в изолированных системах. Идея самоорганизации как уменьшения энтропии казалась противоречащей этому закону. Сам фон Ферстер доказывал, что изолированные "самоорганизующиеся системы не существуют"/там же, с. II3/, "этот термин становится бессмысленным, если система не находится в тесном контакте с окружением, которое обладает доступными для нее энергией и порядком"/там же, с. II6/. Знакомство с работами И. Пригожина по термодинамике открытых систем, видимо, способствовало формированию его концепции "порядка из шума". В то же время для большинства кибернетического научного сообщества второе начало однозначно отвергало возможность связи самоорганизации с энтропией. Дж. Баумен на симпозиуме 1961 года отмечал: "...самоорганизация, по крайней мере насколько это известно мне и, видимо, всем, с кем я здесь беседовал об этом, не имеет математической, количественной меры. Самоорганизация - это, конечно, не энтропия, хотя, согласно обычным понятиям, мы мыслим себе низкую энтропию как высокую упорядоченность, высокую симметрию, и второй закон говорит нам, что природа, будучи изолирована, переходит от порядка к беспорядку. Это не то, что мы здесь обсуждали..." /54, с. 513/.

Подведем итоги. В кибернетике была разработана модель механизма самоорганизации, предусматривающая упорядочение структуры системы в тесной связи с улучшением ее поведения

на основе обратной связи с окружающей средой. Подобные системы с точки зрения внутренних связей представлялись самосвязующимися, а по отношению к среде - обучающимися. Вместе с тем развивались и обучающиеся системы, не основанные на повышении внутренней организованности. С другой стороны, "неклассические" кибернетические исследования вовлекли в орбиту внимания естественные и искусственные системы, в которых самоупорядочение структуры происходило спонтанно, вне целей, связанных с обучением.

В ИИ, отказавшемся от кибернетических подходов, в том числе и от кибернетического механизма самоорганизации, был разработан эволюционный механизм обучения, обладавший спонтанным /случайным/ характером. Позднее на его базе был создан синергический механизм самоорганизации, основанный на самообращенных связях между отдельными активными элементами системы, который был также подчинен целям обучения.

Тем не менее в общем виде этот механизм обнаруживает многие общие черты с "неклассическим" кибернетическим подходом и современными исследованиями в синергетике, также обнаруживающими источник самоорганизации в самообращенности внутренних связей системы.

Несмотря на разнообразие задач, стоящих перед исследователями в разных областях, идея самоорганизации позволила им черпать друг у друга полезные аналогии и доказала свою высокую научную продуктивность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бионические принципы самоорганизации (Материалы к III Всесоюзному симпозиуму по кибернетике). Тбилиси, 1967.
2. Бионические принципы самоорганизации (Труды III Всесоюзного симпозиума по кибернетике). Тбилиси, 1969.
3. Бир Ст. На пути к кибернетическому предпринятию. - В сб.: Принципы самоорганизации. М., 1966, с. 48-117.
4. Бойко В.С. Самоорганизация и ее эволюция. Минск, 1972.
5. Брайнес С.Н., Свечинский В.Б. О принципах управления и самоорганизации в биологических системах. - В сб.: Бионические принципы самоорганизации, 1969, с. 21-31.
6. Винер Н. Кибернетика. 2-е изд., М., 1968.
7. Винер Н. Мое отношение к кибернетике. Ее прошлое и будущее. М., 1969.
8. Винер Н. Нелинейные задачи в теории случайных процессов. М., 1961.
9. Гаазе-Рапопорт М.Г. Автоматы и живые организмы. М., 1961.
10. Иовитс М.К. Предисловие. - В сб.: Самоорганизующиеся системы. М., 1964, с. II-14.
11. Кострубин Н.П. Философское содержание понятия "самоорганизация". Л., 1977.
12. Лакатос И. История науки и ее рациональные реконструкции. - В сб.: Структура и развитие науки. М., 1978, с. 203-269.
13. Маккалок У.С., Питтс У. Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности. - В сб.: Автоматы. М., 1956, с. 362-384.
14. Мияский М., Пейперт С. Персептроны. М., 1971.
15. Ньюэлл А., Шоу Дж., Саймон Г. Разновидности интеллектуального обучения GPS. - В сб.: Самоорганизующиеся системы, с. 211-257.
16. Няпинен Л.Я. Философский анализ понятий "организация" и "самоорганизация" в современном научном познании. Тарту, 1984.

17. Паск Г. Естественная история цепей. - В сб.: Самоорганизующиеся системы, с. 318-354.
18. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. М., 1986.
19. Принципы самоорганизации. М., 1966.
20. Пушкин В.Г. Философское значение кибернетических принципов самоорганизации. М., 1979.
21. Розенблатт Ф. Обобщение восприятий по группам преобразований. - В сб.: Самоорганизующиеся системы. М., 1964, с. 65-106.
22. Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. М., 1965.
23. Розенблатт Ф. Стратегические подходы к исследованию моделей мозга. - В сб.: Принципы самоорганизации, с. 469-482.
24. Самоорганизующиеся системы. М., 1964.
25. Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. М., 1969.
26. Фэрли Б.Г. Самоорганизующиеся модели для обученного восприятия. - В сб.: Самоорганизующиеся системы, с. 19-46.
27. Хаген Г. Синергетика. Иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. М., 1985.
28. Хоукинс Дж. Самоорганизующиеся системы. Обзор и комментарии. - ТИРИ, 1961, №1, с. 37-55.
29. Чавчанидзе В.В. Теория самоорганизующихся систем на основе бионических принципов регенерации и редукции. - В сб.: Бионические принципы самоорганизации, 1969, с. 32-46.
30. Юдин Б.Г. Методологический анализ представлений о самоорганизации. М., 1971.
31. Юдин Б.Г. Самоорганизация. - В кн.: Философский энциклопедический словарь. М., 1989, с. 566.
32. Эшби У.Р. Конструкция мозга. М., 1962.
33. Эшби У.Р. Принципы самоорганизации. - В сб.: Принципы самоорганизации. М., 1966, с. 314-343.
34. Aschby W.R. Principles of self-organizing dynamic system. - J. Gen. Psychol., 1947, vol. 37, pp. 125-128.
35. Cannon W.B. Organization for physiological homeostasis. - Physiol. Rev., 1929, vol. 9, pp. 399-431.

36. Clark W.A., Farley B.G. Generalization of pattern recognition in a self-organizing system. - Proc. WJCC, Los Angeles, 1955, pp. 86-91.

37. Farley B.G., Clark W.A. Simulation of self-organizing systems by digital computer. - Trans. IRE, PGIT-4, 1954, pp. 76-84.

38. Friedberg R.M. A Learning Machine: Part I. - IBM J. res. a. delevp., 1958, vol. 2, pp. 2-13.

39. Friedberg R.M., Dunham B., North J.H. A Learning Machine: Part II. - IBM J. res. a. delevp., 1959, vol. 3, pp. 282-287.

40. Hebb D.O. Organization of behavior. N.Y., 1949.

41. Lenat D.B. The Nature of Heuristics. - Artificial Intelligence, 1982, vol. 19, pp. 189-249.

42. Lenat D.B. The role of heuristics in learning by discovery: three case studies. - In: Machine Learning. Berlin etc., 1984, pp. 243-306.

43. Lenat D.B., Brown J.S. Why AM and EURISCO Appear to Work ? - Artificial Intelligence, 1984, vol. 23, pp. 269-294.

44. McCorduck P. Machines Who Think. San Francisco, 1979.

45. McCulloch W.S., Arbib M.A., Cowan J.D. Neurological Models and Integrative Processes. - In: Self-organizing systems. Washington, 1962, pp. 49-59.

46. McKay D.M. Self-organization in the time domain. - In: Self-organizing systems, pp. 37-48.

47. Mesarović M.D. On Self Organizational Systems. - In: Self-organizing systems, pp. 9-36.

48. Pask G. Interaction Between a Group of Subjects and an Adaptive Automation to Produce a Self-organizing System for Decision Making. - In: Self-organizing systems, pp. 293-311.

49. Rashevsky N. Mathematical Biophysics. Univ. of Chicago Press, 1938.

50. Rosenblatt F. A Comparison of Several Perceptron Models. - In: Self-organizing systems, pp. 463-484.

51. Rosenblatt F. The perceptron: a probabilistic model for information storage and organization in the brain. - Psychol. Rev., 1958, vol. 65, pp. 386-408.

52. Self-organizing systems. Washington, 1962.

53. Shimbel A., Rapoport A. A Statistical Approach to the Theory of the Central nervous system. - Bull. Math. Biophys., 1948, vol. 10, pp. 41-55.

54. Баумен Дж. Новая линия передачи, приводящая к самостабилизирующейся системе. - В сб.: Принципы самоорганизации, с. 505-513.

55. Ферстер Г. фон. О самоорганизующихся системах и их окружении. - В сб.: Самоорганизующиеся системы, с. 113-137.

56. Шредингер Э. Что такое жизнь ? С точки зрения физика. М., 1972.

PROBLEM OF SELF-ORGANIZATION IN CYBERNETICS AND
ARTIFICIAL INTELLIGENCE

V. Gerovitch

S u m m a r y

The author analyzes the use of the notion of self-organization in different fields of science. He distinguishes two main meanings of this term:

- self-arrangement (enhancing the internal organization),
- learning (improving the organization of behaviour).

Both types of self-organization are contained in "the cybernetic mechanism of self-organization" implemented in self-organizing systems such as perceptron (devised by F. Rosenblatt). There arrangement is exercised by internal controller which receives data by feedback.

In "nonclassic" works on cybernetics (N.Wiener in the later years) a concept was put forward treating self-organization as self-arrangement based on a new, "synergistic mechanism of self-organization". Analogies to this mechanism can be found in Artificial Intelligence (D.Lenat's EURISCO program) and in works on synergetics. In this case arrangement takes place spontaneously, without a single controller, due to the presence of self-referred ties between the elements of the system.