МОДЕЛЬ ГОМЕОСТАТА НА ПОТОКАХ ЧАСТИЦ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ

В.Л. РЫППО, *ведущий электроник каф. физики МГУЛ*

caf-physics@mgul.ac.ru

На сегодняшний день существуют три основных направления в технической кибернетике. Во-первых, это системы автоматического управления, во-вторых, это вычислительная техника и в-третьих – модели гомеостата. Если первые два направления широко известны и хорошо развиты, то информации о моделях гомеостатов значительно меньше. Вероятно, первым ученым, кто обозначил эту тему в качестве научного направления, был У. Росс Эшби [1, 8]. Существует русский перевод первой работы (У. Росс Эшби. Конструкция мозга. Издательство иностранной литературы. Москва, 1962 г.). В нашей стране модели гомеостатов использовали в исследованиях В.Н. Новосельцев Институт проблем управления г. Москва, Ю.М. Горский, В.И. Астафьев, Н.И. Кулиш г. Иркутск, а также Л.И. Бойчук и А.Б. Бахур.

При дальнейшем изложении под гомеостазом понимается процесс поддержания динамического постоянства: параметров, функций, ритмов или направлений развития, обеспечивающих жизнедеятельность и целенаправленность развития простых и сложных объектов, процессов и систем при действии на них внутренних и внешних возмущений.

Тогда под гомеостатом следует понимать физическую или виртуальную модель объекта, процесса, системы, для которых свойственен гомеостаз. В большинстве современных исследований по этому вопросу основное внимание уделяется виртуальным гомеостатам, однако начало этому направлению положил реальный гомеостат Эшби. Гомеостат Эшби состоит из четырех электромеханических устройств, при этом каждое устройство связано электрической связью с остальными тремя. Гомеостат подобного вида Эшби считал ультрастабильной системой, так как конструкция гомеостата и связи внутри него обеспечивали устойчивость функционирования при внутренних и внешних возмущениях. Схематически гомеостат Эшби представлен на рис. 1. Гомеостат состоит из 4-х блоков с регулирующими электромеханическими устройствами, снабжаемыми энергией, которые воздействуют друг на друга по сложной схеме обратных связей. При внешнем воздействии на любой из блоков, например блок 1 (на схеме это импульс – внешнее воздействия). Блоки 2, 3, 4 будут функционировать таким образом, чтобы помочь блоку 1 парировать это возмущение и вернуть гомеостат в исходное положение (на рис. 1 это совокупность импульсов Р2, Р3, Р4). Аналогичную конструкцию гомеостата построил Эрл И. Клетский в Высшей технической школе в Дельфте (Голландия), несколько изменив электрическую схему.

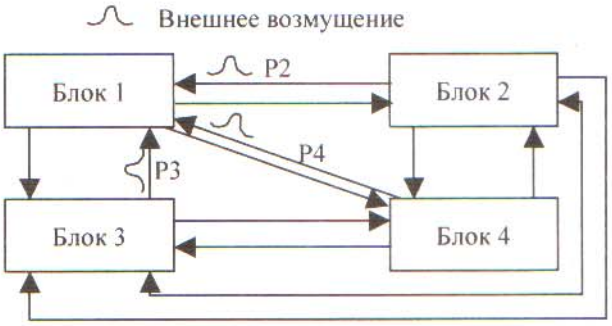

Рис. 1. Гомеостат из 4-х блоков

Эшби считал, что метод исследования с использованием гомеостатических моделей может быть полезен в разрешении социальных и экономических проблем, т.е. при изучении поведения сложных систем и составлении прогнозов для таких систем. В частности, В.Н. Новосельцев использует гомеостатические модели для изучения процессов старения живых организмов.

Для лучшего понимания свойств гомеостатических моделей представим их условную классификацию, предложенную Ю.М. Горским.

Гомеостатическая модель – это модель управления, отражающая с заданной степенью подобия основную структуру и свойства реальных гомеостатов.

Аналоговая модель гомеостата – модель, описываемая дифференциально- интегральными уравнениями.

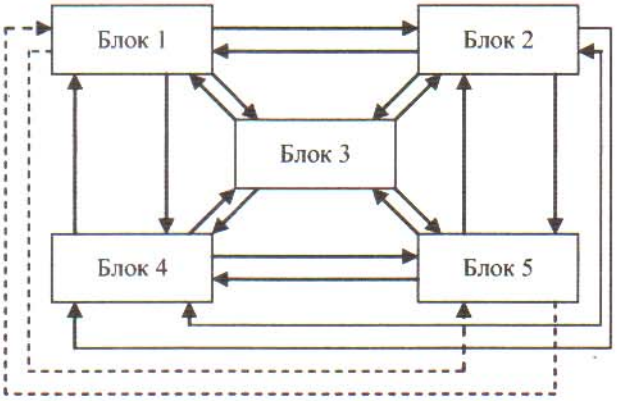

Рис. 2. Гомеостат из 5-х блоков

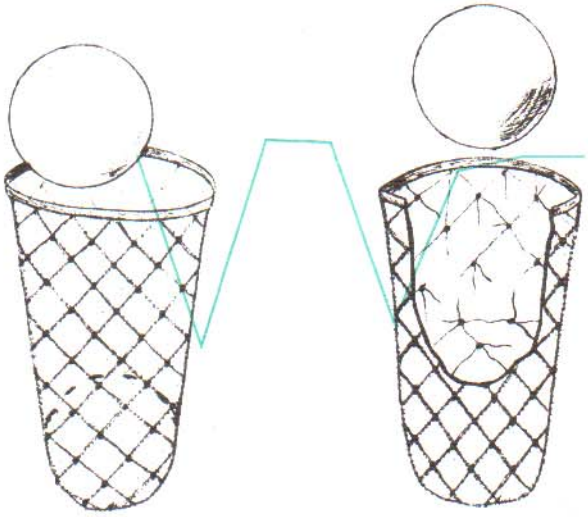

Рис. 3. Планарная сеть (слева) и непланарная сеть (справа)

Цифровая модель гомеостата – модель гомеостата, описываемая в конечных разностях или реализуемая на элементах цифровой вычислительной техники.

Логическая модель гомеостата – модель гомеостата, описываемая логическими функциями или реализуемая на элементах логики.

Имитационная модель гомеостата – программная модель, реализуемая на ЭВМ, позволяющая проигрывать на ней переходные процессы при заданных ситуациях, связанных с изменением структуры и параметров самого гомеостата, так и созданием внешних возмущений и различных помех.

Однако вернемся к реальным гомеостатам и зададимся вопросом, почему их конструирование в отличие от ЭВМ не получило широкого распространения и какие трудности при подобном конструировании возникают. Для этого обратимся к рис. 2. На этом рисунке представлен схематически гомеостат, состоящий из пяти блоков. Предполагается, что каждый блок гомеостата связан с соседними и управляющие сигналы распространяются в оба направления между каждыми двумя блоками. Отличительной особенностью гомеостата (рис. 2) от гомеостата (рис. 1) является наличие пересекающихся связей (см. пунктирную связь). Добиться устойчивого функционирования такого гомеостата уже более трудная задача. Если количество блоков составит несколько десятков, а расположены они будут не в одной плоскости и в виде последовательно-параллельной схемы, а произвольно в пространстве, структурно подобно непланарному графу, то задача обеспечения устойчивого функционирования становится практически неразрешимой при использовании современной элементной базы систем автоматического управления. Примеры планарной и непланарной сетей представлены на рис.3. Шар свободно помещается внутрь планарной сети, при этом узлы планарной сети проецируются на поверхность шара. Непланарная сеть насыщена внутренними связями и не имеет структурного подобия с планарной сетью. Заметим, что 10 миллиардов нейронов мозга

человека объединены в непланарную сеть и образуют устойчивую систему, другие элементы автоматики, в том числе логические элементы компьютеров, образуют устойчивую систему, только структурно подобную планарной сети.

В природе примеры устойчивых реальных гомеостатов существуют – это человеческий мозг и мозг животных. Каждый нейрон мозга – блок своеобразного гомеостата. Мозг человека содержит порядка 10 млрд нейронов, при этом отдельные нейроны имеют несколько сотен перекрестных связей с соседними нейронами. Трудно представить, что позволяет такой сложной системе устойчиво функционировать. Гомеостазом также обладают сложные физические системы (земная атмосфера, планетарные системы и т.д.) и организационные системы (страны, предприятия, армейские части и соединения и т.д).

Проведем небольшой анализ литературы по электротехнике, по пневмо- и гидроавтоматике, теории автоматического управления, вычислительной технике. Обращать внимание будем только на принципиальные схемы на блок-схемы, на функциональные схемы, на динамические структурные схемы и на алгоритмы. Из подобного анализа можно сделать вывод, что отдельные элементы на перечисленных схемах соединены последовательно или параллельно.

На рис. 4–5, представлены примеры таких схем, иллюстрирующие соединения отдельных элементов. Схемы систем гидроавтоматики и пневмоавтоматики для экономии места не рассматриваются, хотя и для них последовательное и параллельное соединение также имеет место.

Если создать сеть из элементов автоматики с рабочим телом в виде сыпучей среды, то можно заметить существенные отличия подобной сети от ныне известных. Характерным является тот факт, что на сыпучую среду не распространяется закон о сообщающихся сосудах и равном давлении на стенки сосуда, как в жидкостях и газах, а также закон о выравнивании энергетических потенциалов (в отличие от от пневмо-, гидро, электросетей, где при соединении двух любых точек трубопроводами или соответственно электропроводом, энергетические потенциалы выравниваются). Проиллюстрируем это с помощью рис. 7–10, где изображены фрагменты всех перечисленных сетей, даже не самих сетей, а соединений между отдельными элементами.

На рис. 7 и 8 изображены фрагменты гидро- и пневмосоединений соответственно, где трубопроводы α и β соединены дополнительным трубопроводом γ.

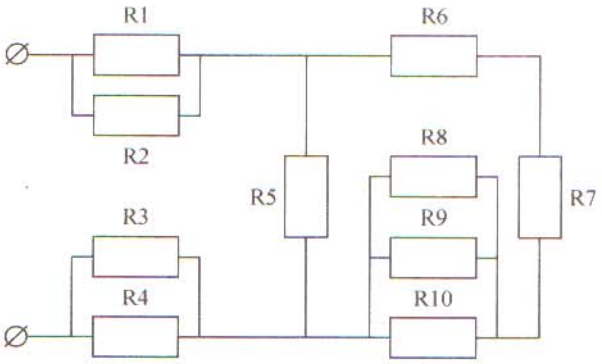

Рис. 4. Принципиальная электрическая схема

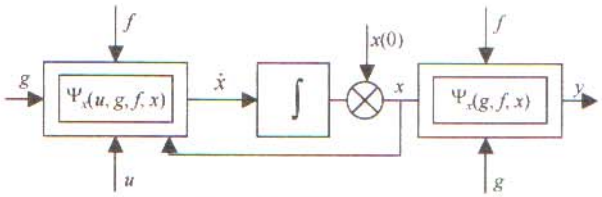

Рис. 5. Структурная схема объекта

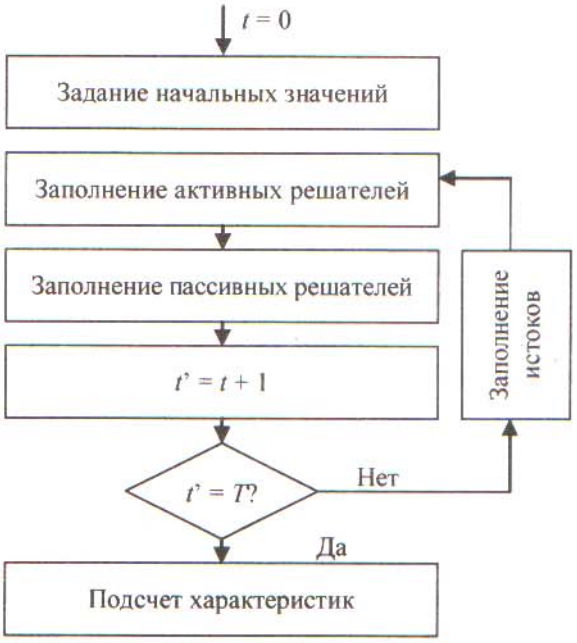

Рис. 6. Алгоритм

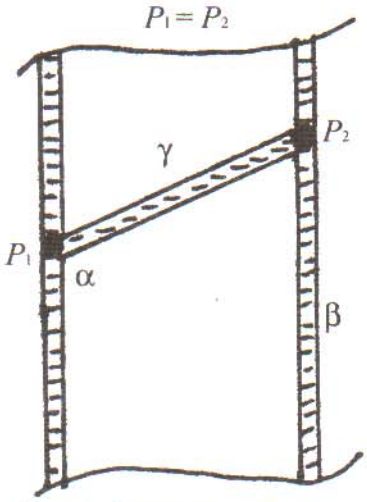

Рис. 7. Фрагмент гидросети

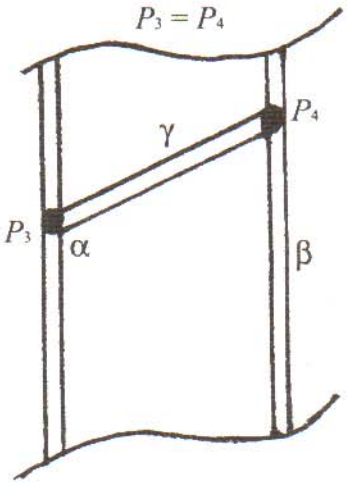

Рис. 8. Фрагмент пневмосети

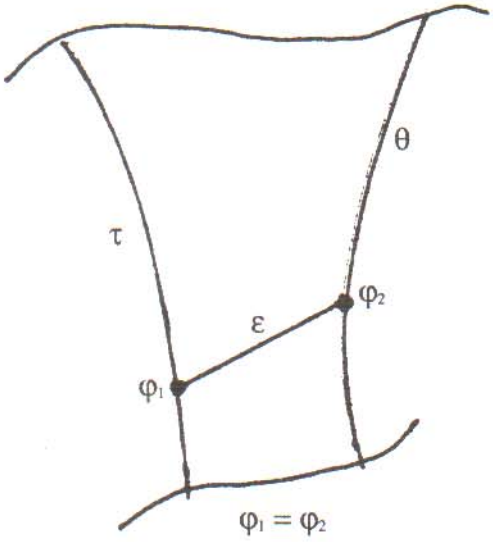

Рис. 9. Фрагмент электросети

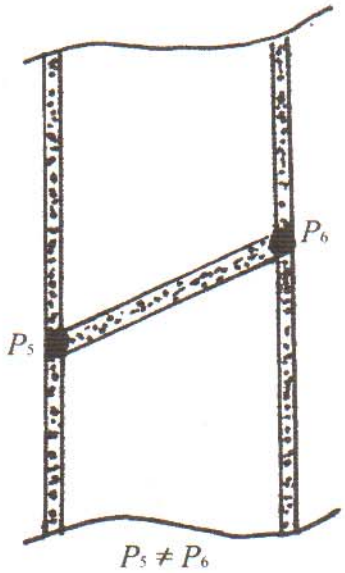

Рис. 10. Фрагмент сети с рабочим телом в виде сыпучей среды

Очевидно, что в этом случае давление $P_1 = P_2$, а $P_3 = P_4$. На рис. 9 представлен фрагмент соединения двух линий электросети, и можно отметить в соответствии с законами электротехники, что потенциалы φ_1 и φ_2 в точке соединения линий τ и θ проводом ε равны.

Совсем иначе обстоит дело, если анализировать фрагмент сети, в которой рабочим телом является сыпучая среда. На рис. 10 видно, что два трубопровода такой сети α и β соединены также как и на рис. 6 и 7 трубопроводом γ. В этом случае, чаще всего, давление в местах соединения двух трубопроводов $P_5 \neq P_6$ и как исключение давление P_5 может быть равным P_6.

Принципы построения и функционирования отдельных элементов автоматики, а также логических и дискретно-аналоговых сетей с рабочим телом в виде сыпучей среды подробно рассмотрены в следующих работах [2–7]. В статье «Компьютер на песке» показано, каким образом можно создать логические элементы, составляющие функционально полный набор булевых функций И, ИЛИ, НЕ, представлены дискретно- аналоговые элементы: ПАМЯТЬ и Модель нейрона, для которых рабочим телом является сыпучая среда. Кроме того, показано, каким образом на основе подобных элементов можно строить дискретно-аналоговые сети аналогичные нейросетям. Перечисленные элементы автоматики могут

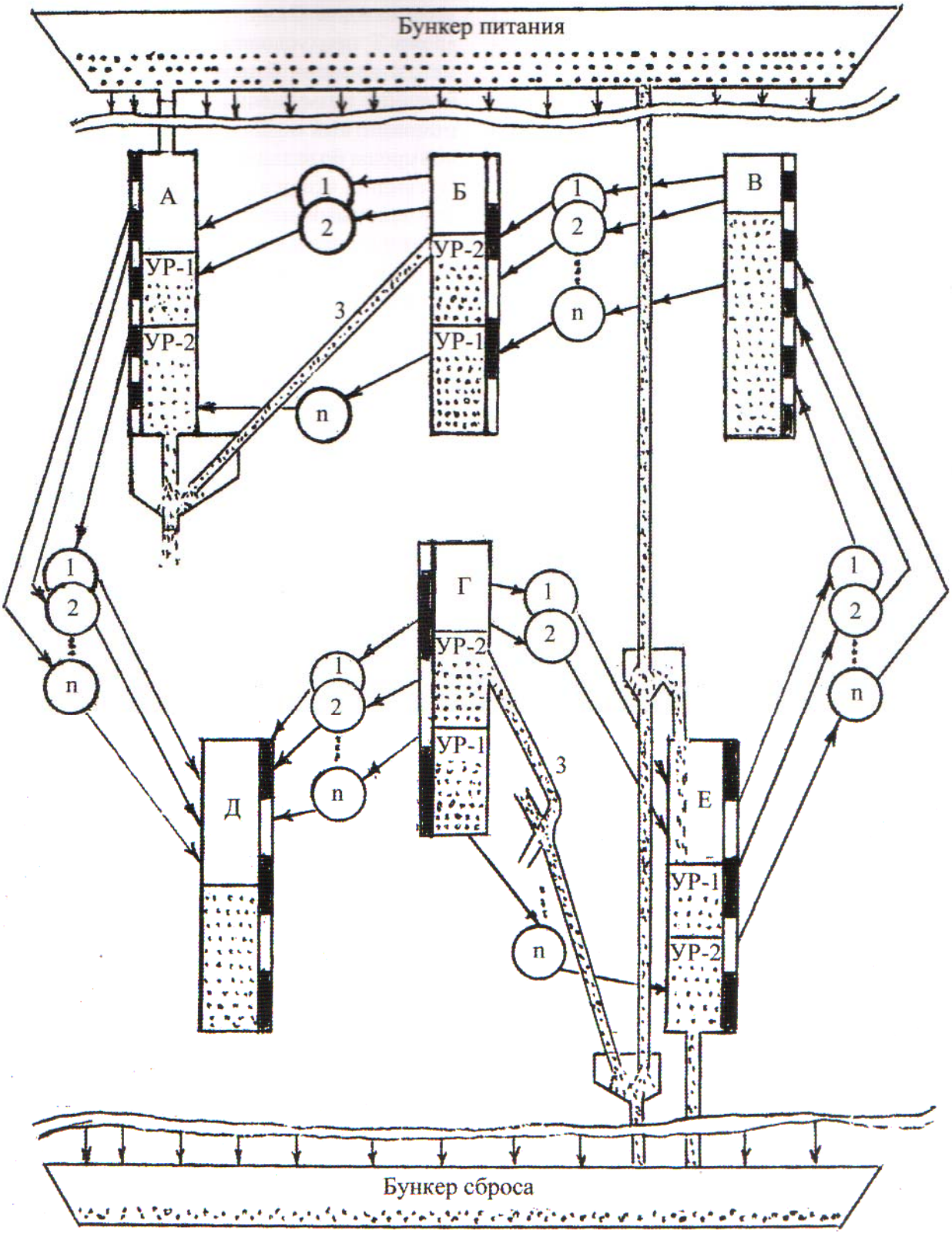

Рис. 11. Гомеостат на потоках сыпучей среды

служить основой для построения реальных гомеостатов, подобных гомеостату Эшби.

На рис. 11 изображен схематически гомеостат на потоках сыпучей среды. Отдельные блоки гомеостата обозначены буквами А, Б, В, Г, Д, Е и выполнены в виде элементов ПАМЯТЬ с различными для каждого элемента шкалами для отображения коли-

чественной информации. Известно, что элементы ПАМЯТЬ можно объединять в непланарные сети с помощью двух типов связи. На схеме они обозначены числом 3. Связь между блоками А и Б построена таким образом, что повышение уровня сыпучей среды в блоке Б с отметки Ур-1 до отметки Ур-2 обеспечивает также повышение уровня сыпучей среды в блоке А с отметки Ур-1 до Ур-2. Второй тип связи реализован между блоками Г и Е. В этом случае повышение уровня сыпучей среды в блоке Г с уровня Ур-1 до уровня Ур-2 обеспечит снижение уровня сыпучей среды в блоке Е с уровня Ур-1 до уровня Ур-2. Количество подобных связей между двумя отдельными блоками может составлять несколько десятков при высоте блока в пределах одного метра. Устойчивым будем считать гомеостат, в котором уровни сыпучей среды будут находиться в пределах соответствующих шкал в течение нахождения гомеостата в динамическом состоянии, т.е. когда происходит обмен сигналами в виде порций сыпучей среды между отдельными блоками. Сыпучая среда из бункера питания к блокам гомеостата поступает по множеству каналов, схематически это отображено с помощью стрелок, для того чтобы не переполнять рисунок избыточными линиями. Бункер сброса служит для сбора сыпучей среды, исходящей из каналов сброса. Гомеостаты подобного типа могут состоять из десятков и даже сотен блоков, они способны отображать и перерабатывать количественную информацию и могут оказаться полезными при моделировании сложных систем.

Предположим, имеется план замены динамического поведения гомеостата формальной моделью. Если это все сформулировать проще, то пусть заданы все первоначальные уровни сыпучей среды в каждом блоке гомеостата, состоящего из множества блоков с еще большим множеством связей, объединенных в виде непланарного графа. Гомеостат переводится в динамическое состояние, т.е. начинается обмен сыпучей средой между отдельными блоками сообразно выполненным связям. Необходимо предсказать нахождение уровней сыпучей среды в каждом блоке через продолжительное время Т при условии, что в известные моменты времени блоки гомеостата получали внешние возмущения (стимулы) в виде одномоментных подач и изъятий порций сыпучей среды по заданной заранее циклограмме. Очевидно, что решение подобной проблемы формальными методами даже с применением вычислительной техники крайне сложная задача, если учитывать, что обмен потоками сыпучей среды между отдельными блоками следует рассматривать как нелинейные и нестационарные процессы.

Существует множество физических и организационных систем, которым свойственно явление гомеостаза. Для примера рассмотрим земную атмосферу и погодные явления в ней. Очень часто по телевидению показывают карты нахождения и перемещения циклонов и антициклонов. Взаимодействие между ними фиксируется и изучается метеорологами, а как следствие этого мы получаем прогноз погоды (температуру, давление, направление и т. д.). Если рассмотреть атмосферные столбы над местами нахождения циклонов и антициклонов на несколько километров вверх и воздушные потоки, которыми они обмениваются на разных высотах, то можно обнаружить структурное подобие между реальным гомеостатом, которым является атмосфера, и гомеостатом на сыпучих средах. Не случайно составление прогноза погоды, как и изучение поведения гомеостата на сыпучих средах, является чрезвычайно сложной задачей, а долговременные прогнозы характеризуются значительными погрешностями. Можно заметить, что увеличение памяти и быстродействия компьютеров не столь значительно влияет на качество прогнозов погоды. А если согласиться с тем, что влияет в лучшую сторону, то можно придти к выводу, что атмосфера стала менее устойчивой и составление прогноза стало еще более трудной задачей, чем это было ранее.

Следует предположить, что изучение гомеостатов на потоках сыпучей среды и нахождение подобия между ними и реальными сложными системами может оказаться полезным при прогнозировании поведения

подобных систем. Не следует исключать возможности построения реальных искусственных гомеостатов на основе других элементов. Единственно, можно высказать предположение, что ныне известные элементы электро-, пневмо-, гидроавтоматики для этой цели мало пригодны.

Необходимость поиска и использования иных способов моделирования сложных систем обусловлена тем, что не все процессы, объекты, системы можно познать через формальные процедуры (представить в виде алгоритмов, описать через совокупность рекурсивных функций). Интересно будет узнать мнение авторитетных ученых в области искусственного интеллекта по этой проблеме. 1968 г. Дж фон Нейман в работе «Теория самовоспроизводящихся автоматов» (1971) пишет: «…при обсуждении вычислительной машины бессмысленно узнавать, быстрая она или медленная, пока не определен точно тип задач, которые ей придется решать.

Громадная разница – сконструирована ли машина для решения более или менее типичных задач математического анализа, или для теории чисел, или для комбинаторики. Как сконструировать машину для решения типичных задач математического анализа, мы примерно знаем. Но я не уверен, что можно создать машину, хорошо приспособленную для решения задач из теории чисел… Я думаю, что мы слабо представляем себе, как построить хорошую машину для комбинаторики». Позже в 1975 г. Э. Хант в книге «Искусственный интеллект» (1978), обсуждая возможности вычислительных машин, формулирует: «…Эти результаты могут показаться обескураживающими, поскольку они означают, что существует ряд интересных задач, которые нельзя решать алгоритмически, и еще больше таких, для которых недостаточно простых алгоритмов…» В 1988 г. Известный математик Ю. Манин в книге «Вычислимое и невычислимое» отмечает: «…В гносеологическом плане многое можно было бы сказать о соотношении понятий вычислимость и познавательность. Первое из них относится только к проработке избранной математической модели действительности, будь то система дифференциальных уравнений или задача выпуклого программирования. Второе же много шире, поскольку сам выбор модели и задача проверки ее на адекватность находятся далеко за пределами алгоритмического мира». Более конкретно и подробно по этому вопросу высказывается известный английский математик и астрофизик Р. Пенроуз в полемической книге «Новый ум короля».

Именно Пенроуз уже в наше время по-новому оценивает возможности современной компьютерной техники и пределов ее применимости, указывает направления поиска технических средств для моделирования сложных систем, не поддающихся алгоритмизации. Пенроуз упоминает об устройствах, работающих на квантовых эффектах, которые могут быть полезны при решении данной задачи, однако, вероятно, в настоящее время подобные устройства еще не созданы. В то же время принцип работы устройств на сыпучих средах разработан и может служить одним из направлений при решении обсуждаемой проблемы.

Библиографический список

1. Росс Эшби, У. Схема усилителя мыслительных способностей / сб. статей под названием АВТОМАТЫ, под ред. К.Е. Шеннона и Дж. Маккарти / У. Росс Эшби. – М.: Иностранная литература, 1956.
2. Рыппо, В.Л. Способ управления элементами автоматических устройств. Авт. изобрет. 1126729 (СССР), Кл. F 15 C 1 / 00. Заявлено 1марта 1983 г.
3. Рыппо, В.Л. Логический элемент И / Авт. изобрет. 1126730 (СССР), Кл. F 15 C 1 / 00. Заявлено 1 марта 1983 г.
4. Рыппо, В.Л. Модель нейрона / Авт. изобрет. 1578384 (СССР), Кл. F 15 C 1 / 00. Заявлено 25 августа 1988 г.
5. Рыппо, В.Л. Модель нейронной сети / Авт. изобрет. 1661803 (СССР), Кл. G 06 G 7/60.
6. Рыппо, В.Л. Элементы автоматики на управляемых потоках сыпучей среды / В.Л. Рыппо // тр. Всесоюзного совещания по пневмогидроавтоматике и пневмоприводу. – М., 1990.
7. Рыппо, В.Л. Компьютер на песке // Техника молодежи. – № 7. – 2005.
8. ASHBY W. ROSS, Design for a Brain, London, Chaptman and Hall, New York, John Wiley and Sons, 1952.
9. Пенроуз, Р. Новый ум короля. – М., 2003.