

МЕХНИКА МОЛОДЕЖИ

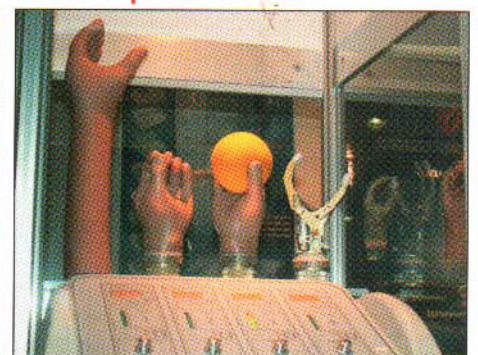


#872 май 2006

Не глянец рекламного камуфляжа,
а голая техническая мысль
блистала на «Архимеде-2006»



О стабилизированном шасси для роботов, волногенераторе
и плавучей электростанции, биоэлектрических протезах



и других экспонатах **московского салона
инноваций и инвестиций** читайте в ближайших номерах.

ТРЕТЬЯ ВЕТВЬ КИБЕРНЕТИКИ

Виталий РЫППО

На сегодняшний день существуют три основных направления технической кибернетики. Во-первых, это системы автоматического управления, во-вторых, 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 (Ashby W. Ross. Design for a Brain, London, Chapman and Hall, New York, John Wiley and Sons, 1952). Существует русский перевод данной книги (см. У. Росс Эшби. Конструкция мозга. Издательство иностранной литературы. Москва, 1962). В нашей стране модели гомеостатов использовались в своих исследованиях Новосельцев В.Н. (Институт проблем управления (Москва), Горский Ю.М., Астафьев В.И., Кулиш Н.И. (Иркутск), а также Бойчук Л.И. и Бафур А.Б.

При дальнейшем изложении под гомеостазом (от гр. homoios — подобный, одинаковый и гр. stasis — неподвижность, состояние) понимается процесс поддержания динамического постоянства: параметров, функций, ритмов или направлений развития, обеспечивающих жизнедеятельность и целенаправленность развития простых и сложных объектов, процессов и систем при воздействии на них внутренних и внешних возмущений.

Тогда под гомеостатом следует понимать физическую или виртуальную модель объекта, процесса, системы, которым свойствен гомеостаз. В большинстве современных исследований по этому вопросу основное внимание уделяется виртуальным гомеостатам, однако начало этому направлению положил реальный гомеостат Эшби, состоявший из четырех электромеханических устройств, связанных 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 показан на рис. 1. Гомеостат состоит из четырех блоков с регулирующими электромеханическими устройствами, снабжаемыми энергией, которые воздействуют друг на друга по сложной схеме обратных связей. При внешнем воздействии на любой из блоков (на схеме это импульс P_1 , действующий на

блок 1) другие блоки будут функционировать таким образом, чтобы помочь блоку 1 парировать это возмущение и вернуть гомеостат в исходное состояние (на схеме это совокупность импульсов P_2, P_3, P_4). Эшби считал, что методы исследования с использованием гомеостатических моделей могут быть полезны в решении 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.

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

Логическая модель гомеостата — модель, 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 ответа обратимся к рис. 2. На нем схематично представлен гомеостат, состоящий из пяти блоков. Предполагается, что каждый блок гомеостата связан с соседними, и управляющие сигналы распространяются в обоих направлениях между каждой парой блоков. Отличительной особенностью гомеостата на рис. 2 от гомеостата на рис. 1 является наличие пересекающихся связей (обозначены пунктиром). Добиться устойчивости такого гомеостата уже более трудная задача. Если количество блоков составит не-

сколько десятков, а расположены они будут не в одной плоскости и не 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.

В природе примеры устойчивых реальных гомеостатов существуют: это человеческий мозг и мозг животного. Каждый нейрон мозга — блок своеобразного гомеостата. Мозг человека содержит порядка 10 млрд нейронов, при этом отдельные нейроны имеют несколько сотен перекрестных связей с соседними.

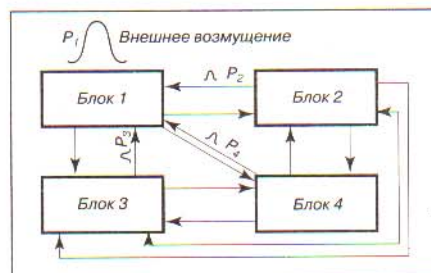


Рис. 1. Гомеостат из четырех блоков

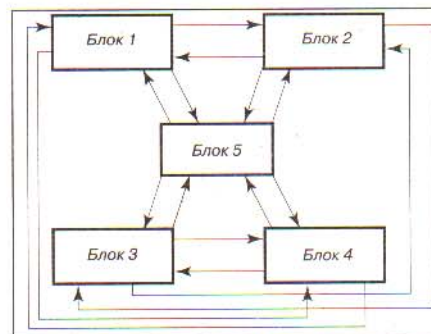


Рис. 2. Гомеостат из пяти блоков

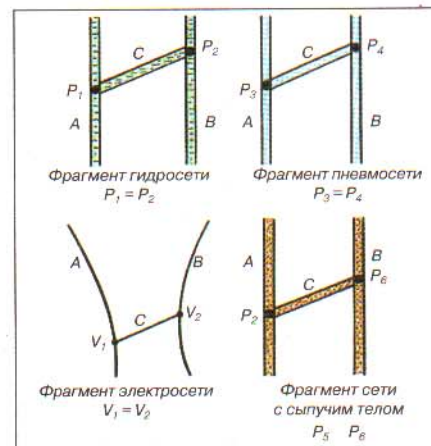


Рис. 3. Специфика соединений между элементами в сетях разных типов

Трудно представить, как обеспечивается устойчивое функционирование такой сложной системы.

Гомеостазом также обладают сложные физические системы (земная атмосфера, планетарные системы и т.д.) и организационные системы (страны, предприятия, армейские части и соединения и т.п.).

Что касается обладающих гомеостазом систем, созданных руками человека, то анализ литературы по электротехнике, по пневмо- и гидроавтоматике, теории автоматического управления, вычислительной технике показывает, что в них схемы собираются только последовательно-параллельным соединением элементов и потому по сложности значительно уступают «природным».

При создании сети из элементов автоматики с рабочим телом в виде сыпучей среды проявляются ее существенные отличия от иных, ныне известных. Характерным является тот факт, что на сыпучую среду не распространяются законы о сообщающихся сосудах и равном давлении

на стенки сосуда, как в жидкостях и газах, а также закон о выравнивании энергетических потенциалов, как в электросети. Проиллюстрируем это с помощью рис. 3, где изображены фрагменты соединений между отдельными элементами для каждой из перечисленных сетей.

Для трубопроводов А и В гидро- и пневмосети, соответственно, давление при соединении их трубопроводом С выравнивается ($P_1 = P_2$, $P_3 = P_4$). При «закоротке» двух линий А и В электросети проводом С потенциалы V_1 и V_2 также становятся равными.

Иначе обстоит дело с сетью, в которой рабочим телом является сыпучая среда. Давление в местах соединения трубопровода С с двумя трубопроводами А и В такой сети будет отличаться ($P_5 \neq P_6$), и только как исключение $P_5 = P_6$.

Принципы построения и функционирования отдельных элементов автоматики, а также логических и дискретно-аналоговых сетей с рабочим телом в виде сыпучей среды рассматривались в статье «Компьютер на

песке» (см. «Техника — молодежи» № 7, 2005). В этой статье показано, каким образом можно создать логические элементы, составляющие функционально полный набор булевых функций И, ИЛИ, НЕ, представлены дискретно-аналоговые элементы: ПАМЯТЬ и Модель нейрона (А.с. 1661803, «Модуль псевдонейронной сети», В.Л. Рыппо), для которых рабочим телом является сыпучая среда. Кроме того, показано, каким образом на основе подобных элементов можно строить сети, аналогичные нейросетям. Перечисленные элементы автоматики могут служить основой для построения реальных гомеостатов, подобных гомеостату Эшби.

Вариант такого гомеостата схематически изображен на рис. 4. 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 количественной информации. Известно, что элементы ПАМЯТЬ можно объединять в непланарные сети с помощью двух типов связи. На схеме они обозначены буквой С. Связь между блоками А и Б построена таким образом, что повышение уровня сыпучей среды в блоке Б с отметки U_{p1} до отметки U_{p2} обеспечивает также повышение уровня сыпучей среды в блоке А с отметки U_{p1} до U_{p2} . Вторым тип связи реализован между блоками Г и Е. В этом случае повышение уровня сыпучей среды в блоке Г с уровня U_{p1} до уровня U_{p2} обеспечит снижение уровня сыпучей среды в блоке Е с уровня U_{p1} до уровня U_{p2} . Количество подобных связей между двумя отдельными блоками может составлять несколько десятков. Сыпучая среда из бункера питания поступает по множеству каналов, схематически изображенных стрелками (чтобы не перегружать рисунок избыточными линиями). Бункер сброса служит для сбора сыпучей среды, выходящей из каналов сброса. Устойчивым будем считать гомеостат, в котором уровни сыпучей среды находятся в пределах соответствующих шкал в течение нахождения гомеостата в динамическом состоянии, т.е. когда между отдельными блоками происходит обмен сигналами в виде порций сыпучей среды. 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 непланарной конфигурации в тех случаях, когда кибернетические модели, построенные на других принципах, оказываются неточны или вовсе неадекватны исходным системам.

Вот один из примеров, когда попытка замены динамического поведения гомеостата на сыпучих средах формальной моделью оказывается

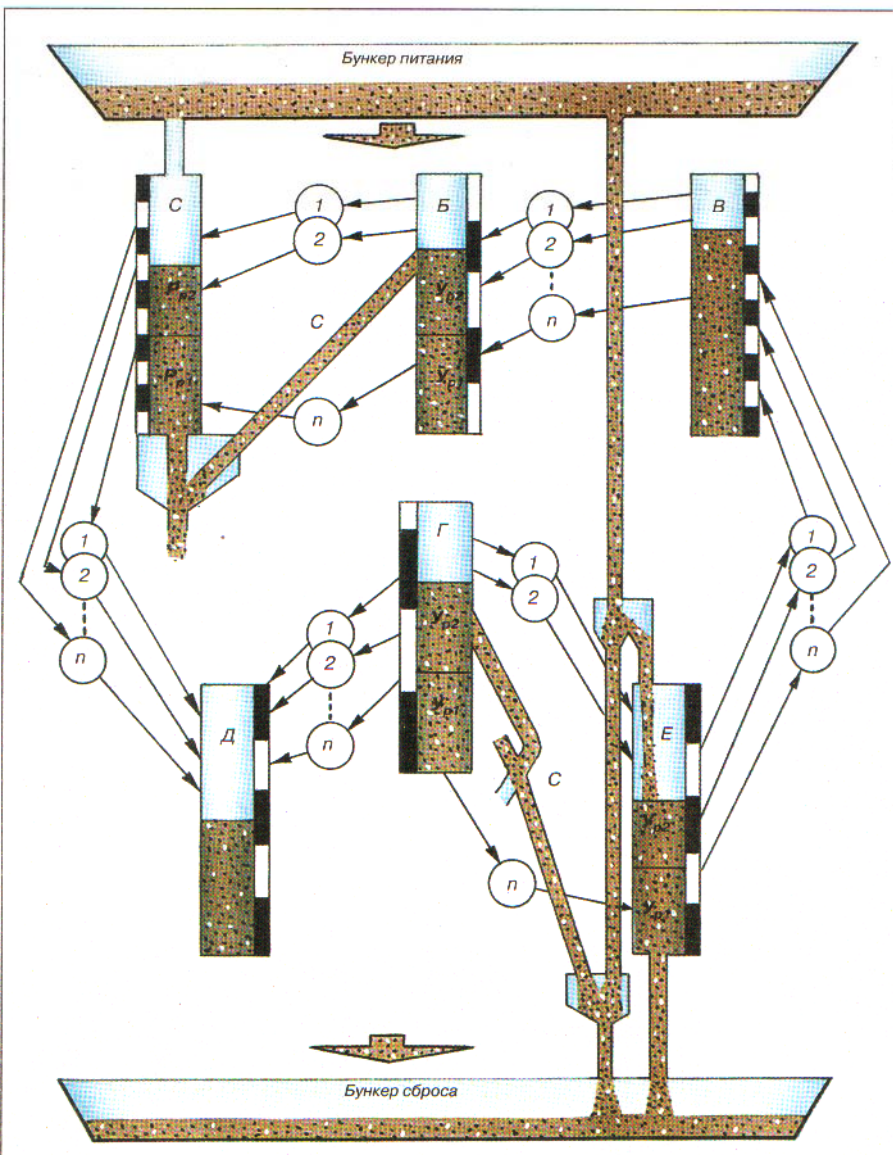


Рис. 4. Гомеостат на потоках сыпучей среды

несостоятельной. 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 заданным связям. И пусть необходимо предсказать нахождение уровней сыпучей среды в каждом блоке через продолжительное время T при условии, что в известные моменты времени блоки гомеостата получали внешние воздействия (стимулы) в виде одномоментных подач и изъятий порций сыпучей среды по заданной заранее циклограмме. Если при этом обмен потоками сыпучей среды между отдельными блоками должен рассматриваться как нелинейный и нестационарный, становится очевидным, что решение подобной проблемы формальными методами даже с применением современной вычислительной техники становится крайне сложной задачей из-за невозможности формализации «переходных» процессов, происходящих в промежутке между отдельными устойчивыми состояниями гомеостата.

Конкретный пример — исследование поведения земной атмосферы и погодных явлений в ней. Очень часто по телевидению показывают карты нахождения и перемещения циклонов и антициклонов. Взаимодейст-

вие между ними фиксируется и изучается метеорологами, а как следствие этого, мы получаем прогноз погоды (температура, давление, направление ветра и т. д.), который мы зачастую ругаем за неточность. Причина же кроется в такой высокой сложности формализации атмосферных процессов, что увеличение памяти и быстродействия компьютеров не оказывает значительного влияния на качество прогнозов погоды. Но если представить атмосферные столбы над местами нахождения циклонов и антициклонов на несколько километров вверх и воздушные потоки, которыми они обмениваются на разных высотах, как каналы гомеостата, то нетрудно обнаружить структурное подобие между реальным гомеостатом, которым является атмосфера, и гомеостатом на сыпучих средах. Эти две системы структурно подобны, и сложности их исследования можно считать эквивалентными. И очевидно, оценка динамического поведения обоих названных гомеостатов одинаково сложная задача.

Хотя нахождение подобия между гомеостатами на потоках сыпучей среды и реальными сложными системами может оказаться полезным при прогнозировании поведения подобных систем, не следует исключать возможности построения искусственных гомеостатов на основе других элементов. К сожалению, нынешние способы моделирования с использованием известных элементов элект-

ро-, пневмо-, гидроавтоматики, а также электроники для этой цели малопригодны. В 1988 г. известный математик Ю. Манин в книге «Вычислимое и невычислимое» (М. Советское радио) отмечал: «...В гносеологическом плане многое можно было бы сказать о соотношении понятий вычислимость и познаваемость. Первое из них относится только к проработке избранной математической модели действительности, будь то система дифференциальных уравнений или задача дискретного 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 своей полемической книге «Новый ум короля», оценивая возможности современной компьютерной техники и пределов ее применимости. Пенроуз указывает направления поиска технических средств для моделирования сложных систем, не поддающихся алгоритмизации. Он упоминает устройства, работающие на квантовых эффектах, которые могут быть полезны при моделировании конкретных задач, однако, скорее всего, это дело будущего. В то же время принцип работы устройств на сыпучих средах разработан и уже сейчас может служить одним из средств решения обсуждаемой проблемы. **ТМ**