

## КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ДИАДНЫХ ГОМЕОСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ С БЛОКАМИ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ

У истоков гомеостатики стоял Ханс Салье, который, критиковал существующие методы управления за то, что они не рассматривают антагонистические отношения (противоречия) между частями целого. При встрече с Ю.М. Горским, он сказал что «если удастся включить в модели, отражающие работу живых систем, противоречия, и при этом понять, почему природа, создавая живое, пошла по такому пути—это будет новым прорывом в изучении живого с большим практическим выходом».

Можно считать, что в определённой степени это пожелание Х. Салье выполнено: такие модели гомеостатов разработаны и испытаны, выявлены их основные свойства и раскрыта роль противоречия как дополнительного механизма, способствующего сохранению устойчивости систем.

Сформулированы постулаты, показывающие, что в живых системах противоречие (пластический ресурс, избыточная структура) играет положительную роль для живучести системы. Эти постулаты распространены на системы любой природы, при этом показано, что можно объединять в устойчивые системы даже изначально неустойчивые антагонисты. Отношения антагонистов в гомеостатах могут быть 4-х основных типов: союзнические, партнерские, конкурентные и нейтральные, а по функциональному принципу гомеостаты делятся на поддерживающие постоянный или пульсирующий параметр. Кроме того, иерархические квазифрактальные сети являются перестраиваемыми в зависимости от времени и ситуаций. Разработана таблица различной структурной организации гомеостатов, содержащая 100 позиций. Примерно 40% из них являются структурно неустойчивыми.

Созданные компьютерные модели гомеостатов, поддерживающих постоянный параметр, позволили показать динамику протекания всех основных патологий: «паралича» системы (полный перекрытия основного канала прямой связи) или односторонний—перекрытие одного из таких каналов), также шока (разрыв канала обратной связи) и коллапса. Разработана модель пульсирующего гомеостата (независимое поддержание амплитуды, частоты и фазы).

Гомеостатический подход позволил развернуть само понятие конкуренции, так например, введен коэффициент жесткости конкуренции, который даёт переход из области соревнования в область конфликта, показатель платы за конкуренцию. Создана модель двухполярной системы «производитель-потребитель» и на её базе была рассмотрена классическая модель рынка, включая модель государственно-управляемого рынка. Такая модель позволяет строить прогнозы по принципу «что будет, если...».

Социум — это тоже гомеостат. Его можно представить квази-фрактальной перестраиваемой сетью.

Укажем некоторые этапы становления гомеостатики как раздела кибернетики, связанного с управлением и адаптацией сложных систем.

В 1982-м году на Всесоюзном семинаре «Системно-информационный анализ процессов управления» Астафьев В.И и Горский Ю.М. выступили с докладом, на котором впервые было введено понятие управления противоречием.

1990—На 6-м Всесоюзном конгрессе кибернетики и систем (WOSC) была создана специальная секция «Гомеостатика» и по результатам опубликовано несколько работ (1,2,3). Результаты перечисленных выше исследований и соответствующие выводы опубликованы в отечественной и международной научной литературе(4,5,6).

Задачей настоящей работы является исследование блок-схем, позволяющих предотвратить развал систем в случае нарушения в передаче информации внутри гомеостата и в улучшении характера переходных процессов в гомеостатах.

Напомним основную блок-схему гомеостата поддержания постоянства параметров.

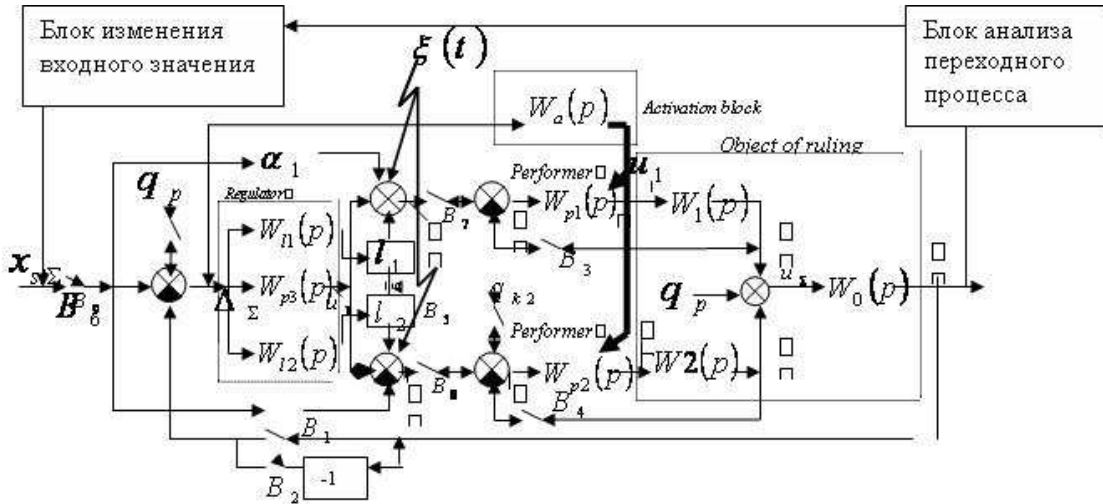


Рис.1. Блок-схема основного контура гомеостата поддержания постоянства параметров.

Работа основного контура гомеостата поддержания постоянства параметров описывается следующей системой уравнений

$$x_{st1}(t) = \frac{x_{st}}{2} + y_{\Sigma} + l_{\Sigma 1}(t) \quad (1) \quad x_{st2}(t) = -\frac{x_{st}}{2} - y_{\Sigma} + l_{\Sigma 2}(t) \quad (2),$$

$$\Delta_1(t) = x_{st1} - y_1(t) \quad (3) \quad \Delta_2(t) = x_{st2} - y_2(t) \quad (4)$$

$$u_1 = k_1 \Delta_1(t) + \frac{1}{T} \int_0^t \Delta_1 dt \quad (5) \quad u_2 = k_2 \Delta_2(t) + \frac{1}{T} \int_0^t \Delta_2 dt \quad (6)$$

$$\Delta_{\Sigma}(t) = x_{st\Sigma} - y_{\Sigma}(t) + (x_{st\Sigma} - y_{\Sigma}(t) - \Delta_{\Sigma}(t-1)) \quad (7)$$

$$l_{\Sigma 2}(t) = l_2 + \Delta l_2(t) \quad (8) \quad l_{\Sigma 1}(t) = l_1 + \Delta l_1(t) \quad (9)$$

$$\Delta l_2(t) = \alpha_2 \Delta_2 + \frac{\beta_2 d[\Delta_{\Sigma}(t)]}{dt} \quad (10)$$

$$\Delta l_1(t) = -\alpha_1 \Delta_1 - \frac{\beta_1 d[\Delta_{\Sigma}(t)]}{dt} \quad (11)$$

$$y_{\Sigma}(t) = y_1(t) - y_2(t) \quad (12)$$

$$y_1 = u, u \leq u_{\max}, \text{ иначе } y_1 = y_{\Sigma \max} \quad y_2 = u, u \geq u_{\min}, \text{ иначе } y_2 = y_{\Sigma \min}$$

Здесь  $x_{st}, x_{st1}, x_{st2}$  --входные воздействия, подаваемые на вход гомеостата и составляющих его исполнителей,  $y_{\Sigma}, y_1, y_2$  --соответственно, значения выходов гомеостата,  $l_1$  и  $l_2$  --значения противоречий,  $l_{\Sigma 1}, l_{\Sigma 2}$  --потенциальные сдвиги.

При этом выход  $P_1$ , имеющий положительное значение, будет определяться соотношением  $M_{1 \max} \geq M_1(t) \geq M_{2 \min}$ , а  $P_2$ , соответствующий  $M_{2 \max} \leq M_2(t) \leq M_{2 \min}$

где  $k_1 = k_2, \alpha_1 = \alpha_2, \beta_1 = \beta_2, k_{\Sigma}, T_1 = T_2, T_{\Sigma}$  --соответственно коэффициенты регулирования и постоянные времени в регуляторах  $P_1, P_2$  и  $P_3$ ;  $M_{1 \max}, M_{1 \min}, M_{2 \max}, M_{2 \min}$  --ограничения выходной характеристики сверху и снизу, отражающие предельные вещественно-энергетические возможности  $P_1$  и  $P_2$ .

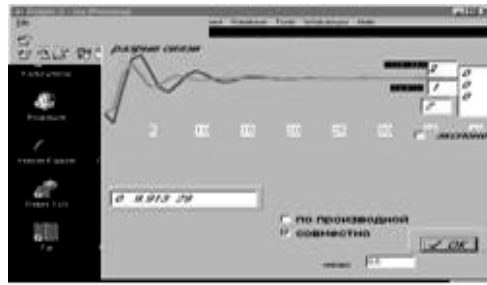


Рис.2. Сравнение выходных характеристик гомеостатов с регулированием по производной (светлая линия) и с регулированием без производной.

В этой системе уравнений регуляторы представлены минимально-достаточными законами управления: для  $P_1$ ,  $P_2$  и  $P_3$  --пропорционально-интегральным законом, для управления потенциальными сдвигами  $l_1$  и  $l_2$  --пропорционально-дифференциальным законом. Введение в основной канал обратной связи дифференциальной составляющей позволяет улучшить характеристики работы гомеостата, что показано на рис.2 светлая линия выходная функция с учётом производной по ошибке, тёмная без учёта.

Также в основной канал обратной связи можно ввести и вторую производную, в соответствии с уравнением:

$$\Delta_{\Sigma}(t) = x_{st\Sigma} - y_{\Sigma}(t) + \Delta'_{\Sigma}(t) + \Delta''_{\Sigma}(t) \quad (13)$$

$$\text{где } \Delta'_{\Sigma}(t) = (x_{st\Sigma} - y_{\Sigma}(t) - \Delta_{\Sigma}(t-1)) \quad (14)$$

$$\Delta''_{\Sigma}(t) = (x_{st\Sigma} - y_{\Sigma}(t) - \Delta_{\Sigma}(t-1)) - \Delta'_{\Sigma}(t-1) \quad (15)$$

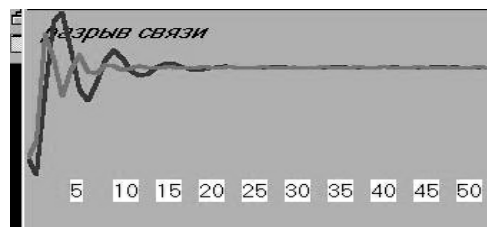


Рис.3. Сравнение режимов работы обычного гомеостата и гомеостата с регулированием процесса по второй производной.

Введение второй производной улучшает качество переходного процесса, но незначительно. В задачу наших исследований входило моделирование гомеостатов, содержащих блоки шунтирования (дублирования) цепей обратных связей и блоки-анализаторы переходного на выходе системы (см. рис.4).

Такие исследования помогут определить условия предотвращения потери устойчивости системы.

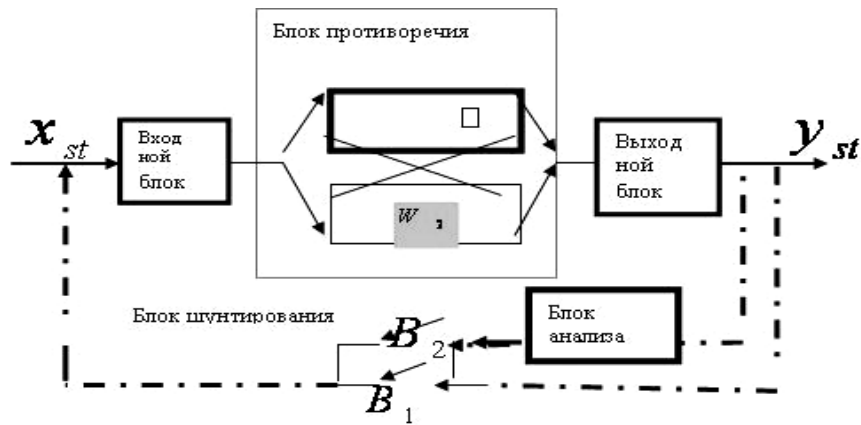


Рис.4. Блок-схема гомеостата с блоком шунтирования в цепи обратной связи по сигналу от блока анализа переходного процесса;  $W_1$ ,  $W_2$  -- передаточные функции блоков, составляющих противоречие;  $B_1$ ,  $B_2$  --ключи в цепи обратной связи; в случае, если первый выключен, то второй включается по сигналу при условии превышения заданной скорости роста (спада) от блока анализа переходного процесса.  $y_{st}$  --выходной сигнал,  $x_{st}$  --входной сигнал.

Для возвращения системы в исходное рабочее состояние целесообразно цепи обратной связи. Блоки шунтирования включается по сигналу от блока анализа переходного процесса. С блока анализа переходного процесса сигнал управления поступает на блок шунтирования, если, например, инкремент нарастания переходного процесса превышает заданную величину. На рис.5а слева приведена осциллограмма процесса «развала системы» при большом времени отключения ключа  $B_1$ . Предположим, что в условный момент 18 включается шунтирование, чтобы предотвратить «развал». Результат представлен на рис.5б справа: видно, что, начиная с условного момента 18, система быстро выходит на заданный уровень.



Рис.5. Реакция на патологию (задержка в передаче сигнала) обычного гомеостата (слева) и гомеостата с блоками шунтирования.

Информационный блок анализа переходного процесса отслеживает превышение заданного времени установления, само время, скорость и установившееся значение выходного параметра системы для установления необходимости включения блоков шунтирования. На рис.6 приведена осциллографическая запись процесса отключения  $B_1$  на короткое время. В этом случае система выходит на заданный режим с небольшим превышением по времени переходного процесса и с хорошим декрементом затухания. При этом блок шунтирования автоматически не включился.

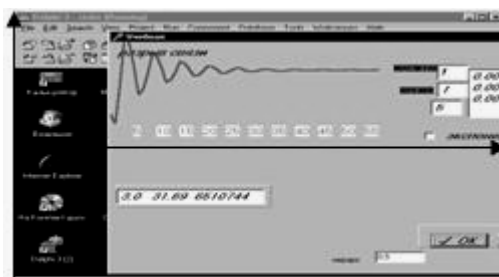


Рис.6. Выход системы на заданный уровень при небольшом времени отключения  $B_1$ .

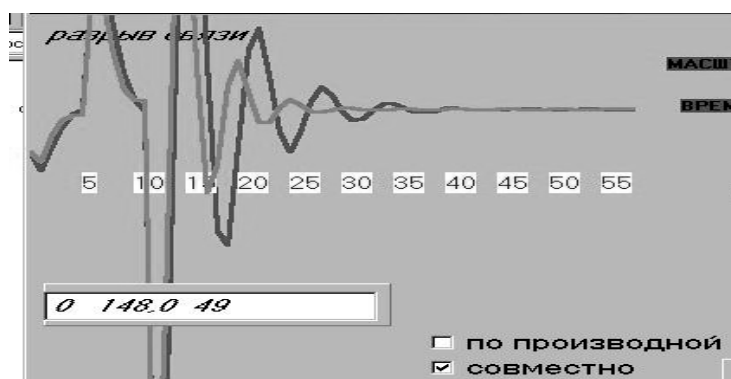


Рис.7. Осциллограмма возвращения к нормальной работе при задержке с передачей информации по времени, равной 4, обычного гомеостата (темная линия) и гомеостата с регулированием по производной (светлая линия). Время и амплитуда переходного процесса для второго гомеостата меньше, чем для первого. В том и другом гомеостате применено шунтирование.

Таким образом, некоторое усложнение структуры гомеостата за счёт дополнительных блоков анализа переходного процесса и шунтирования места обрыва цепи обратной связи предотвращает распад системы. Для сохранения динамической устойчивости социальных структур такое усложнение тем более оправдано, ибо наличие надёжной информации о тенденциях спада или роста системообразующих и системосберегающих параметров позволяет своевременно предотвратить развал системы(7).

Рассмотрим возможность использования гомеостатического подхода при моделировании регулятора возбуждения генератора переменного тока.

Система уравнений и блок-схема гомеостатического регулятора напряжения незначительно отличаются от той, которая описывает гомеостат поддержания постоянства параметров, например, уравнения (3) и (4) (стр.1) выглядят так:

$$\Delta_1(t) = \frac{x_{st}}{2} + y_{\Sigma}(t) + I_1 \quad (16)$$

$$\Delta_1(t) = -\frac{x_{st}}{2} - y_{\Sigma}(t) + I_2 \quad (17)$$

На рис.8. приведен переходной процесс гомеостата регулирования возбуждения с учетом шунтирования (при патологии—большая задержка по времени) и при нормальном режиме (темная линия).



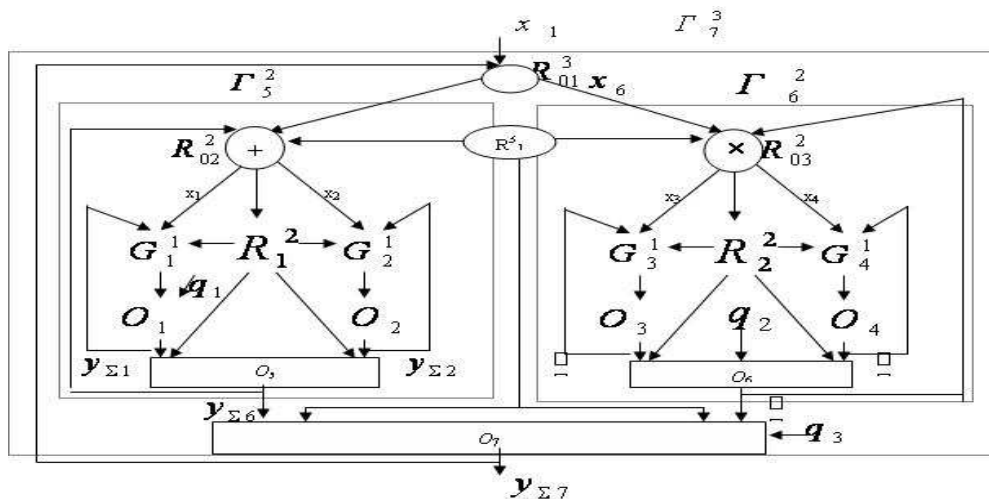


Рис. 10. Фрагмент гомеостатической сети ( $G^1, G^2, G^3$  — гомеостаты 1-го, 2-го и 3-го уровня соответственно,  $O_1, O_2 \dots O_7$  — управляемые объекты (подсистемы), R--внутренние и внешние отношения).

Итак, в структуре иерархического гомеостата, узлы управления оказываются связанными прямыми и обратными связями. При оптимальном построении гомеостатической сети в соответствии с её узлами управления, потенциалами, или, можно сказать, целями, она стремится поддерживать гомеостаз на выходах всех объектов, т.е. обеспечивать полное достижение целей при изменениях внутренней и внешней среды. Если посмотреть на гомеостатическую сеть с позиций системного анализа, то можно видеть, что здесь два сопряженных дерева: обычное дерево целей и перевернутое дерево подсистемы, которое сопряжено с первым прямыми (сверху вниз) и обратными (снизу вверх) связями. Эти деревья, в силу гомеостатической структуры связей будут самобалансирующими, т.е. обеспечивающими поддержание гомеостазов на всех уровнях системы в пределах её адапционных ресурсов. Возможность построения сопряженных и самобалансирующихся деревьев имеет чрезвычайно важное значение для изучения функций управления в живом организме и для системного анализа, открывая возможность для синтеза оптимальных иерархических структур управления в больших системах различной природы.

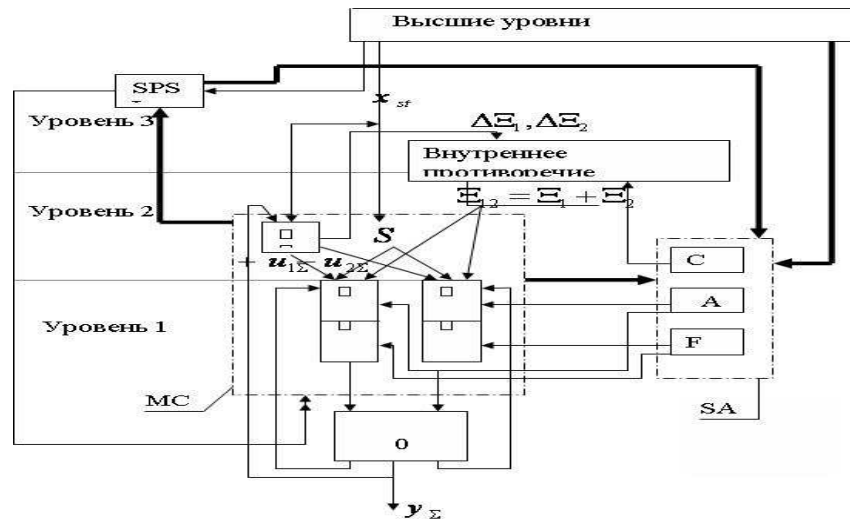
Шунтировать можно не только каналы передачи информации, но и отдельные блоки гомеостата, а также целые гомеостаты в тех случаях, когда несколько гомеостатов объединены в систему.

Другие способы предотвращения развала системы:

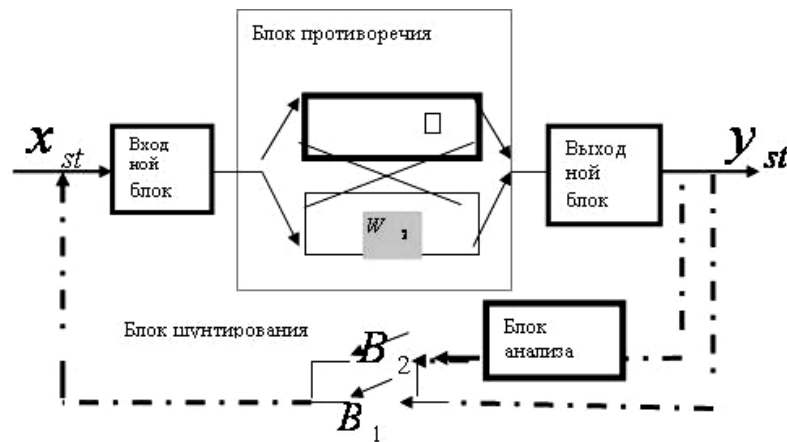
1) изменение постоянных времени. Схема такого гомеостата показана на рис. 11. SPSL—это аналитический блок, который анализирует работу гомеостата и, при необходимости, включает блок самоадаптации, в который входят контуры: А—снижение «остроты» противоречия за счет изменения постоянных времени, F—контур, который повышает заданные системе потолки регулирования, и С—этот контур может вызвать программу самоуничтожения блока гомеостата, который нарушает работу всей системы. Пример стабилизации переходного процесса при помощи включения блока А показан на рис.13. При этом не было включено шунтирование, так как в случае с применением шунтирования эти блоки самоадаптации оказываются излишними.

2) изменение входного значения. В случае, когда сохранение работоспособности гомеостата является более важной задачей, чем поддержание постоянства входного значения, то тогда вид входной функции меняется на:  $x_{st}(t) = y_s(t-1)$

1)



2)



В случае активации блока изменения входного значения происходит разрыв цепи прямой связи в точке  $B_3$  и вместо неё начинает работать цепь с вентилем  $B_4$ . Система замыкается сама на себе.

На рис.14 показан график стабилизации процесса при помощи этого способа.

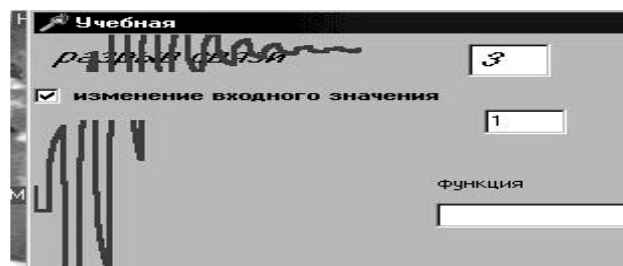


Рис.14. График стабилизации процесса.

Аналитический центр является самой важной структурой. Структура аналитического центра отличается от структуры гомеостата, так как этот центр должен давать развернутые «указания» всем системам и блокам гомеостатической системы, а также анализировать все данные. Следовательно, он имеет много входов и выходов, взаимосвязи между которыми могут быть сложными. В некоторых случаях центр может быть представлен экспертной системой.

**Опубликовано:** VII Симпозиум «Электротехника 2010». Перспективные виды электротехнического оборудования для передачи и распределения электроэнергии. Московская область, май 27-29, 2003, Т. 3, 2П09, 44-49.