

Лекция 2.

Теорема существования.

Из теоремы 2, доказанной на предыдущей лекции следует, что если существует неравновесная система с постоянной структурой, то стороннему наблюдателю может быть достаточно определить единственный параметр, характеризующий внутреннее состояние такой системы, чтобы получить возможность расходовать её внутренний запас неравновесной энергии по собственному произволу до полного исчерпания. Таким параметром может быть неравновесное напряжение в соответствующей внутренней степени свободы. Для того чтобы СНС могла существовать, во внешней среде в её окрестности хотя бы временами должны возникать неравновесные системы с постоянной структурой, возможно, определённого вида, с помощью которых она должна иметь возможность при необходимости восполнять внутренний запас неравновесной энергии. Таким образом среда, в которой может существовать СНС должна быть неравновесной и упорядоченной. Во внешней среде должны существовать устойчивые связи между различными параметрами, задаваемыми измеримыми физическими величинами.

Наличие устойчивых связей во внешней среде можно выразить следующим соотношением: существует такой вектор $\{x_i(t)\}$, или $x(t)$, компонентами которого являются измеримые физическими методами случайные величины, такой, что

$$H(\{x_i(t)\}) < \sum_i H(x_i(t)) .$$

Под H понимается энтропия случайной величины, а именно

$$H(\{x_i\}) = - \int_{\Omega} \rho(\vec{x}) \ln \rho(\vec{x}) d\Omega ,$$

где Ω - область некоторого пространства возможных состояний внешней среды, ρ - плотность вероятности состояния, а интеграл берётся по Лебегу. Предсказуемость внешней среды выражается соотношением:

$$H(\vec{x}(t_1)|\vec{x}(t_2)) < H(\vec{x}(t_2)) ,$$

где запись

$$H(\vec{x}(t_2)|\vec{x}(t_1))$$

означает энтропию вектора $\{x_i(t_2)\}$ при условии, что этот вектор точно известен в момент времени t_1 . Таким образом, оказывается, что внешняя среда упорядочена и предсказуема.

Далее сделаем ещё одно принципиальное предположение. Будем считать, что любые сведения о внешней среде поступают в СНС посредством материальных воздействий на неё или её части и если каким-либо образом хранятся в СНС, то обязательно связаны с какими-либо материальными носителями. Таким образом, существует такой внутренний вектор $\{y_i(t)\}$, компонентами которого являются внутренние, измеримые физическими методами случайные величины, что

$$H(\vec{x}(t)|\vec{y}(t)) < H(\vec{x}(t)) \text{ и}$$

$$H(\vec{y}(t)|\vec{x}(t)) < H(\vec{y}(t)) .$$

Оказывается, что случайные величины, являющиеся компонентами вектора $y_i(t)$ должны обладать избирательной чувствительностью к изменениям, происходящим во внешней среде. Это возможно тогда и только тогда, когда СНС расходует неравновесную энергию. Действительно, для того чтобы можно было априорно утверждать, что

$$H(x_i(t)|y_i(t)) < H(x_i(t)) ,$$

необходимо, например, чтобы параметр y_i приходил в состояние условного равновесия, определяемого текущей величиной параметра x_j . Для того, чтобы это могло произойти, физическая система, характеризуемая параметром y_i , должна находиться в поле неравновесных напряжений, компенсирующем поля всех окружающих объектов, как внешних, так и внутренних для СНС, за исключением поля объекта, характеризующегося параметром x_j . При этом поле неравновесных напряжений будет совершать работу над физической системой, характеризующейся параметром y_i (в дальнейшем будем называть эту систему носителем параметра y_i) за счёт общего внутреннего запаса неравновесной энергии СНС.

Предположение о материальности воздействий, хотя и принципиально, но не ново. Оно широко используется как в естественных науках, так и в юриспруденции. Как в научном докладе, так и в уголовном процессе утверждение “я знаю” не принимается в расчёт до тех пор, пока не удаётся установить материальный источник знания и убедиться в правильности метода получения этого знания.

Теперь рассмотрим носитель параметра $y_i(t)$ с точки зрения СНС в целом. С одной стороны, наличие носителей параметров y_i , и всего вектора $\vec{y}(t)$ является необходимым условием существования СНС, так как он обеспечивает возможность сохранения стабильности СНС во внешней среде, в частности, поддержания внутреннего запаса неравновесной энергии в допустимых пределах. С другой стороны, поддержание такого носителя затратно, а наличие $\vec{y}(t)$, и, как следствие, знание $\vec{x}(t)$, ещё не достаточно для обеспечения правильности произвольных действий СНС во внешней среде с точки зрения обеспечения сохранения её стабильности. Дело в том, что внутренний закон, в соответствии с которым действует СНС, также не привносится в неё извне неким нематериальным способом. Он должен вырабатываться внутри самой СНС по определённым правилам. Исследование этих правил физическими методами чрезвычайно затруднено, так как основные параметры, в соответствии с которыми вырабатывается закон регулирования, неизвестны. Физически измеримые параметры только накладывают определённые ограничения на этот внутренний закон, приобретая решающее влияние на него только в критических ситуациях, связанных с прямой угрозой потери стабильности, то есть гибели СНС. Однако, в конечном итоге, правильность закона регулирования всё-таки проверяется экспериментально. СНС участвуют в процессе естественного отбора, в котором выживают те, для которых закон управления наилучшим образом соответствует условиям внешней среды. В результате реализуется порядковая шкала оценки качества закона управления, позволяющая установить, какая СНС реализует лучший закон управления, но не получается метрической шкалы, используя которую, можно определить насколько лучше. Впрочем, при решении частных задач можно определить способ введения и метрической шкалы оценки. Нужно заметить, что такой способ проверки правильности закона регулирования весьма длителен и затратен, но при этом совершенно неоспорим. Таким образом, для существования действующего носителя вектора $y(t)$ необходимо существование СНС, расходующей неравновесную энергию из своего внутреннего запаса по своему внутреннему закону.

В результате приведённых рассуждений можно сделать следующий вывод: необходимым и достаточным признаком существования СНС является наличие в её составе датчика – носителя вектора $\vec{y}(t)$ - физической системы, постоянно расходующей неравновесную энергию из внутреннего запаса СНС и вырабатывающей вектор $\vec{y}(t)$ компонентами которого являются внутренние, измеримые физическими методами случайные величины, такой, что

$$H\{x(t)/y(t)\} < H\{x(t)\} \quad \text{и}$$

$$H\{y(t)/x(t)\} < H\{y(t)\},$$

где $\vec{x}(t)$ - вектор, характеризующий внешнюю среду и обладающий свойствами, описанными выше. Это утверждение в дальнейшем будем называть теоремой существования СНС.

2. Основные свойства датчика.

Как отмечалось выше, для функционирования носителя вектора $y(t)$, который в дальнейшем будем называть датчиком, необходим постоянный источник неравновесной энергии. СНС обязательно контролирует свой внутренний запас неравновесной энергии, таким образом, наличие сигнала в элементе разрешения определяется по зависимости расхода неравновесной энергии от пространственного положения элемента разрешения и (или) состояния физического канала взаимодействия объекта с датчиком (открыт/закрыт). Рассмотрим пассивный датчик, определяющий спектральную яркость источника, находящегося в элементе разрешения, вблизи определённой частоты. Таким датчиком измеряется зависимость количества неравновесных возмущений в чувствительном элементе от пространственного положения элемента разрешения. Частота ω_0 , вблизи которой наш датчик измеряет спектральную яркость источника, определяется энергией одного кванта основного типа неравновесных возмущений, возбуждаемых в нём. Пусть собственная температура чувствительного элемента T_1 , а среднее равновесное количество возмущений требуемого вида в нём N_0 , при этом указанные возмущения возникают случайным образом, независимо друг от друга, поэтому их количество подчиняется закону распределения Пуассона. Тогда для того чтобы иметь возможность зафиксировать источник, находящийся в элементе разрешения, необходимо создать измеряемый поток таких неравновесных возмущений из чувствительного элемента, создав для этого “холодильник” с эффективной температурой $T_2 < T_1$ для таких возмущений. Сигнал может считаться обнаруженным тогда, когда потоки возмущений при открытом (n_1) и закрытом (n_0) физическом канале взаимодействия будут различаться не менее чем на $\sqrt{n_0}$ (все потоки отнесены к минимальному времени разрешения τ , определяющемуся скоростью установления теплового равновесия в чувствительном элементе). Поток возмущений из чувствительного элемента в холодильник будет не менее, чем

$$n_0 = \frac{N_0}{\tau} \left(1 - \frac{\exp \frac{\hbar \omega_0}{kT_1}}{\exp \frac{\hbar \omega_0}{kT_2}} \right), \quad (1)$$

поток энергии $q = n_0 \hbar \omega_0$, а требуемая мощность источника неравновесной энергии окажется не менее, чем мощность, требуемая для привода холодильной машины, отводящей поток энергии q от холодильника с температурой T_2 к нагревателю с температурой, как минимум, T_1 и составит

$$W = \frac{N_0 \hbar \omega_0 T_1}{\tau T_2} \left(\frac{\exp \frac{\hbar \omega_0}{kT_1}}{\exp \frac{\hbar \omega_0}{kT_2}} \right), \quad (2)$$

без учёта потока энергии, источником которого является собственно измеряемый элемент разрешения. При этом датчик может дать менее одного бита информации: обнаружен

источник излучения в разрешаемом объёме или нет с вероятностью ошибки около 30%. Очевидно, что всякое повышение точности измерения ведёт к повышению требуемой мощности источника неравновесной энергии. Так повышение чувствительности требует уменьшения N_0 , а следовательно, температуры T_1 , следовательно, появляется нагреватель с температурой $T_3 > T_1$, которая в формуле (2) занимает место T_1 а также уменьшения температуры T_2 , вследствие чего неограниченно растёт отношение $\frac{T_3}{T_2}$, а уменьшение времени разрешения требует уменьшения τ и также увеличения отношения $\frac{T_1}{T_2}$, ограничения на которое в природе не существует. Для измерения числа

неравновесных возмущений, кроме того, может быть создана дополнительная неравновесная система, усиливающая полезный сигнал и преобразующая его к виду, удобному для передачи на расстояние. Однако, мощность источника неравновесной энергии, имеющегося внутри СНС, ограничена. Да и никакая СНС не может себе позволить полностью расходовать внутренний запас неравновесной энергии на работу датчика. Поэтому СНС должна уметь определять оптимальный режим работы датчика, позволяющий обеспечить стабильность этой СНС. Как отмечалось выше, СНС должна оптимизировать работу датчика по собственному внутреннему закону. Этот закон, хотя и может быть сложен для наблюдения, обязательно должен существовать в силу существующих физических ограничений. Этот закон должен быть сводим к единому управляющему параметру, который должен обладать следующими свойствами:

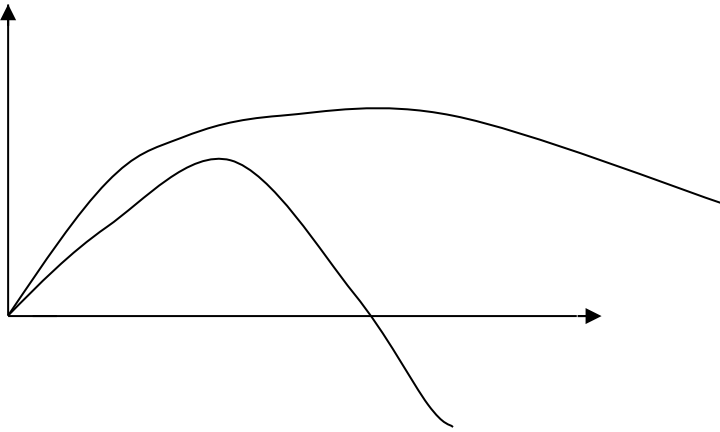
1)нелинейностью, чтобы с его помощью можно было принять решение о необходимости продолжения наблюдения данного элемента разрешения.

2)положительной определённости на начальном участке, чтобы датчик всё-таки начинал работать.

3)значение параметра должно, как правило, соответствовать полезности осуществляемого наблюдения.

В конечном итоге, СНС, реализующая неверный закон регулирования потеряет стабильность и исчезнет. Поскольку реализация такого закона должна быть связана с материальными носителями внутри СНС, то в ней обязана существовать подсистема, реализующая внутренний закон регулирования и оптимизирующая, в частности, работу датчика с учётом внутреннего вектора состояния $\{z_i\}$, вводимого аналогично векторам \vec{x} и \vec{y} .

Так как, в конечном счёте, выбор вариантов действия СНС над датчиком можно свести к последовательному выбору одного варианта из двух – например, израсходовать дополнительную энергию на повышение точности измерения или нет, то управляющий параметр должен быть измеримым в порядковой или метрической шкале. Будем далее обозначать такой параметр $f(\vec{z}, E)$, где E - неравновесная энергия, израсходованная на измерение. Примерный график зависимости $f(E)$ (при фиксированном \vec{z}) должен иметь характерный вид:



Из графика видно, что для зависимости $f(E)$ существует максимум по E . Воспользовавшись этим максимумом, можно ввести важную новую характеристику датчика – можно определить процедуру измерения получаемой от него информации и метрическую шкалу измерения этой информации. Процедура измерения заканчивается после прохождения максимума функции $f(E)$, а количество полученной информации есть

$$I = H(\vec{x}_j) - H(\vec{x}_j|y_i)$$

Таким образом, для определения понятия “информация” в физических системах необходимо установить закон, по которому датчик будет выделять полезный сигнал из шума. Поскольку задать такой закон аналитически не всегда возможно, а, может быть, и, как правило, невозможно, необходимо указать объект, являющийся носителем этого закона и реализующий его. Иначе во введённом понятии не будет решительно никакого смысла.

Итак, для правильной работы датчика, обеспечивающей существование СНС, в ней должен быть выработан правильный закон управления, как минимум, самим датчиком. В силу сделанного выше предположения о сложности СНС такой закон не может быть сформирован единовременным внешним воздействием, а должен формироваться внутри СНС по определённым правилам. Другими словами, СНС должна обучиться правильно пользоваться датчиком.