
**ИССЛЕДОВАНИЯ, МОДЕЛИ, МЕТОДЫ
И МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЙ**

УДК 530.1+541.1

© В. Н. Трифанов, С. А. Попов

САМООРГАНИЗАЦИЯ В КОММУНИКАЦИОННЫХ СРЕДАХ

В работе рассматриваются вариационные принципы Л. Онсагера (наименьшая диссипация энергии) и И. Пригожина (принцип наименьшего производства энтропии). Эти принципы сформулированы для полнораспределенных систем. Показана их аналогия с законами Ома и Гука. Дано обобщение этих принципов для перераспределенных систем.

ВВЕДЕНИЕ

В природе все взаимосвязано. Эта связь осуществляется через коммуникационную среду. Такие среды могут иметь произвольную природу. Примерами могут служить транспортные, информационные, технические, социальные и другие среды.

Коммуникационная среда организована в полевою либо сетевую структуру. Но и в полевой структуре возникают резонансные узлы, образующие сетевую структуру.

Через коммуникационную среду движутся обменные потоки материи, энергии, техники, информации, транспорта и разнообразных ресурсов. Потоки нагружают коммуникационную среду, а среда пропускает эти потоки со своей пропускной способностью, зависящей от ресурсов среды и уровня организованности пары "среда—поток".

**ПРИНЦИПЫ САМООРГАНИЗАЦИИ
ОНСАГЕРА И ПРИГОЖИНА**

Пусть вектор потока $\mathbf{x}$, а пропускная способность среды (силовой фактор) $\mathbf{y}$. Тогда возникает проблема их взаимосвязи. Эта взаимосвязь не случайна. Она самоорганизующаяся. В такой самоорганизации проявляется групповой эффект. Впервые на это в современной истории обратил внимание Л. Онсагер (1944 г.). Изучая физико-химические процессы, он установил связь между силовым и потоковым факторами:

$$\mathbf{x} = \mathbf{G} \mathbf{y} . \quad (1)$$

На основании этой связи он сформулировал для самоорганизующихся процессов принцип наименьшей диссипации энергии. Другими словами, в самоорганизующейся среде процессы ее организации происходят с наименьшими затратами энергии.

Спустя два года в 1946 г. И. Пригожин сформулировал другой принцип самоорганизации процессов в физико-химических средах:

$$\mathbf{y} = \mathbf{R} \mathbf{x} . \quad (2)$$

Исходя из этого принципа процессы самоорганизации протекают с минимальным производством энтропии.

В обоих случаях энергия и энтропия определяются квадратичными формами

$$E = \mathbf{y}^T \mathbf{G} \mathbf{y} , \quad \mathcal{E} = \mathbf{x}^T \mathbf{R} \mathbf{x} , \quad \mathcal{E} = E/kT , \quad (3)$$

где k — постоянная Больцмана, T — температура, E — энергия, $\mathcal{E}$ — энтропия. Оба принципа "близнецы-братья". Если Онсагер потоковый фактор выражал через силовой, то Пригожин силовой фактор выражал через потоковый. Формулировка Пригожина оказалась более удобной для физико-химиков.

Но здесь следует обратить внимание на то, что в обоих подходах рассматривались полноопределенные системы, в которых матрицы $\mathbf{G}$, $\mathbf{R}$ квадратны и не вырождены. Если обе матрицы измеряются одновременно либо в энергетическом, либо в энтропийном планах, то они взаимнообратны, и их произведение равно единичной матрице $\mathbf{I}$

$$\mathbf{G}\mathbf{R} = \mathbf{R}\mathbf{G} = \mathbf{I} . \quad (4)$$

Полезно обратить внимание на электрическую аналогию и закон Ома. Пусть $\mathbf{x}$ — ток, $\mathbf{y}$ — напряжение, $\mathbf{R}$ — сопротивление, $\mathbf{G}$ — проводимость, E — мощность. Тогда

$$\mathbf{y} = \mathbf{R} \mathbf{x} , \quad \mathbf{x} = \mathbf{G} \mathbf{y} , \quad E = \mathbf{y}^T \mathbf{G} \mathbf{y} = \mathbf{x}^T \mathbf{R} \mathbf{x} . \quad (5)$$

Подобная аналогия проявляется в законе Гука. Здесь устанавливается связь между напряжением и деформацией твердого тела. Причем энергия напряженного состояния выражается соответствующей квадратичной формой.

Можно утверждать, что все законы связи силового и потокового факторов приводят к соответствующей квадратичной форме для энергии. Важно отметить, что все законы такого типа выражают равновесное состояние потокового и силового

факторов. В этом состоянии реализуется принцип наименьшего принуждения Гаусса, принцип виртуальных перемещений в механике, принцип наименьшей диссипации энергии Онсагера, принцип наименьшего производства энтропии Пригожина. Все эти принципы лежат в основе самоорганизации потоковых и силовых факторов коммуникационных сред.

АЛГЕБРАИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП САМООРГАНИЗАЦИИ

Рассмотрим более общий алгебраический принцип самоорганизации коммуникационных сред в случае их переопределенности:

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{u}, \quad \mathbf{x} = \mathbf{B}\mathbf{y} + \mathbf{v}. \quad (6)$$

Здесь дополнительно учитывается неопределенность ($\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$) переопределенных коммуникационных сред. Организованная часть этих сред описывается оператором

$$\mathbf{q} = \mathbf{A}\mathbf{x}, \quad \mathbf{q} = \mathbf{B}\mathbf{y}. \quad (7)$$

Эти операторы определяют организованную связность силовых и потоковых факторов среды. Неорганизованная часть ($\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$) отображает несвязные степени свободы среды, характеризующие ее переопределенность.

В общем виде переопределенные системы противоречивы. Обычная алгебра для них не дает никакого решения. Однако в природе именно избыточность несвязных степеней свободы дает возможность реализации механизма самоорганизации.

Рассмотрим квадратичные характеристики

$$Q = \mathbf{q}^T (2\mathbf{y} - \mathbf{q}), \quad Q = \mathbf{q}^T (2\mathbf{x} - \mathbf{q}). \quad (9)$$

Максимум этих критериев при вариации $\mathbf{q}$ получается при условии

$$Q_s = Q \rightarrow \max, \quad \text{при } \mathbf{q} = \mathbf{y}, \mathbf{q} = \mathbf{x}.$$

Это случай полноопределенных систем. В случае переопределенных систем

$$Q < Q_s. \quad (10)$$

Резерв

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_s - Q, \\ Q_v &= Q_s - Q. \end{aligned} \quad (11)$$

Этот резерв характеризует неопределенность состояния коммуникационной среды, который изменяется несвязными (избыточными) степенями свободы ($\mathbf{u}$, $\mathbf{v}$). Именно эта свобода позволяет реализовывать равновесный режим самоорганизации в коммуникационных средах в процессе их эво-

люции. Здесь работают 3 функциональных начала эволюционной теории Дарвина: наследственность, изменчивость и отбор.

Наследственность фиксирует память о накопленной организованности системы. Изменчивость выражает приращение организованности в направлении ее большей устойчивости. Отбор обеспечивает выбор из несвязанных степеней свободы неопределенности тех степеней свободы, которые повышают устойчивую организованность системы.

Отметим также принцип самоорганизации открытых систем Дениса Габора под названием "Принцип неокончательных решений". Всегда остаются несвязные степени свободы, которые можно использовать для устойчивой эволюции системы.

Теперь можно дать алгебраическую интерпретацию всему изложенному. Пусть силовой фактор $\mathbf{y}$ и потоковый фактор $\mathbf{x}$ коммуникационной среды связаны функциональным сепарабельным соотношением

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{A}\mathbf{x} + \mathbf{u}, \\ \mathbf{q} &= \mathbf{A}\mathbf{x}. \end{aligned} \quad (12)$$

Здесь: память $\mathbf{q}$, несвязные степени свободы $\mathbf{u}$. Столбцы матрицы $\mathbf{A}$ для каждой степени свободы известны. Они определяют внутреннюю взаимосвязь каждой потоковой компоненты $\mathbf{x}$ с силовым фактором коммуникационной среды $\mathbf{y}$. В этом выражении не известны потоковые компоненты $\mathbf{x}$. Их надо определить.

Для полноопределенной системы проблем нет. Нужно решить обратную задачу

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= \mathbf{B}\mathbf{y}, \\ \mathbf{B}\mathbf{A} &= \mathbf{I}, \end{aligned} \quad (13)$$

где $\mathbf{B}$ — матрица, обратная $\mathbf{A}$; $\mathbf{I}$ — единичная матрица.

В переопределенных системах задача усложняется. Впервые решение этой проблемы нашел Мур (1924 г.) для симметричных проекторов. Затем это решение реанимировал Пенроуз (1955 г.).

НЕСИММЕТРИЧНЫЕ ПРОЕКТОРЫ

В данной работе предлагается решение проблемы для несимметричных проекторов.

Пусть

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= \mathbf{B}\mathbf{y}, \quad \mathbf{B}\mathbf{u} = 0, \quad \mathbf{B}\mathbf{A} = \mathbf{I}, \\ \mathbf{A}\mathbf{B} &= \mathbf{H}, \quad \mathbf{I} - \mathbf{H} = \mathbf{G}, \end{aligned} \quad (14)$$

где $\mathbf{I}$ — единичная матрица, $\mathbf{H}$ — проектор организованности системы (ее памяти), $\mathbf{G}$ — проектор неорганизованности системы (ее свободы). Эти проекторы идемпотентны.

Действительно, имеем:

$$H^2 = ABAB = AIB = AB = H \quad (\text{идемпотентность}),$$

$$G^2 = (I - H)^2 = I^2 - 2H + H^2 = \\ = I - H = G \quad (\text{идемпотентность}),$$

$$HG = H(I - H) = H - H^2 = \\ = H - H = 0 \quad (\text{ортогональность}),$$

$$GH = (I - H)H = H - H^2 = \\ = H - H = 0 \quad (\text{ортогональность}).$$

Пусть на данном этапе эволюции размерности факторов равны

$$\dim \mathbf{y} = J_k, \dim \mathbf{x} = J_m, \forall k \in J_k, \forall m \in J_m.$$

На каждом таком этапе свободная часть с проектором G ортогональна организованной части с проектором H .

Определим транспонированные векторы:

$$\mathbf{q}^T = \mathbf{y}^T H, \mathbf{u}^T = \mathbf{y}^T G. \quad (15)$$

Обратим внимание, что в этом определении проявляется принципиальное отличие от формализма Мура—Пенроуза для несимметричных проектов.

Найдем квадраты и произведения векторов организованной и свободной частей системы:

$$q^2 = \mathbf{q}^T \mathbf{q} = \mathbf{y}^T H^2 \mathbf{y} = \mathbf{y}^T H \mathbf{y} = \mathbf{y}^T \mathbf{q}, \\ u^2 = \mathbf{u}^T \mathbf{u} = \mathbf{y}^T G^2 \mathbf{y} = \mathbf{y}^T G \mathbf{y} = \mathbf{y}^T \mathbf{u}, \quad (16) \\ \mathbf{u}^T \mathbf{q} = \mathbf{y}^T G H \mathbf{y} = 0, \quad \mathbf{q}^T \mathbf{u} = \mathbf{y}^T H G \mathbf{y} = 0.$$

Как видим, векторы организованной части ($\mathbf{q}$) и свободной части ($\mathbf{u}$) ортогональны. При таких условиях полный квадрат силового фактора коммуникационной системы будет равен

$$y^2 = \mathbf{y}^T \mathbf{y} = (\mathbf{q} + \mathbf{u})^2 = \mathbf{q}^T \mathbf{q} + \mathbf{u}^T \mathbf{u} = q^2 + u^2, \quad (17) \\ \mathbf{q}^T \mathbf{u} = \mathbf{u}^T \mathbf{q} = 0.$$

Здесь критерий организованности коммуникационной системы равен

$$Q = q^2 = \mathbf{q}^T \mathbf{q} = \mathbf{y}^T \mathbf{q}. \quad (18)$$

Свободная часть системы характеризуется критерием

$$S = u^2 = \mathbf{u}^T \mathbf{u} = \mathbf{y}^T \mathbf{u}. \quad (19)$$

Таким образом, полный квадрат силового фактора на любом этапе эволюции будет равен

$$y^2 = Q + S. \quad (20)$$

АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРИНЦИПА ПРИГОЖИНА

Эволюционное описание самоорганизации коммуникационной системы начнем с ее полного неорганизованного состояния. Предварительно требуется определиться с размерностями силового, потокового и свободного факторов на произвольном этапе эволюции коммуникационной системы:

$$\dim \mathbf{y} = J_k, \dim \mathbf{x} = J_m, \dim \mathbf{u} = J_n. \quad (21)$$

Выберем произвольную компоненту $n \in J_n$. Для нее имеем

$$\mathbf{y} = A_n \mathbf{x}_n + \mathbf{u}_n, \quad \mathbf{x}_n = B_n \mathbf{y}, \quad (22) \\ \mathbf{y} = A_n B_n \mathbf{y} + \mathbf{u}_n = H_n \mathbf{y} + \mathbf{u}_n = \mathbf{q}_n + \mathbf{u}_n.$$

Но для одной компоненты обратная матрица легко находится:

$$B_n = \mathbf{x}_n^T / x_n^2, \quad n \in J_n. \quad (23)$$

Условие максимума организованности коммуникационной системы при таком выборе принимает вид:

$$Q_s = \max Q_n = \max_n (\mathbf{y}^T \mathbf{x}_n)^2 / x_n^2, \quad \forall n \in J_n. \quad (24)$$

Такое выражение вычисляется легко и позволяет ранжировать степени свободы по их вкладу в организацию коммуникационной системы. Из всех степеней свободы ($n \in J_n$) выбирается та, которая дает наибольший вклад в организацию коммуникационной системы. Последняя измеряется критерием связанности Q , аналогом энергии связи.

Такая процедура продолжается рекурсивно, до полного исчерпания степеней свободы в сложившихся условиях. Далее рассуждения продолжим методом математической индукции.

Пусть на некотором этапе эволюции коммуникационной среды найдена ее наилучшая организация:

$$\mathbf{y} = \mathbf{q} + \mathbf{u} = A \mathbf{x} + \mathbf{u} = AB \mathbf{y} + \mathbf{u} = H \mathbf{y} + G \mathbf{y}, \quad (25) \\ Q_s = \max Q = q^2 = \mathbf{y}^T \mathbf{q} = \mathbf{y}^T H \mathbf{y}.$$

Решение будем искать рекурсивно. Пусть на некотором этапе найдено частичное решение

$$\mathbf{x} = B \mathbf{y}. \quad (26)$$

Вводя очередной фактор из несвязных степеней свободы $\mathbf{x}_n$ ($n \in J_n$), получаем корректировку уже включенных в организацию коммуникационной среды факторов:

$$B = B - BA_n B_n. \quad (27)$$

Если соблюдать условия нормировки

$$B_n A_n = I_n, \quad (28)$$

то

$$BA_n = 0. \quad (29)$$

Сам же фактор B_n корректируется по аналогичной схеме:

$$B_n = B_n - B_n AB, \quad BA = I, \quad x_n = B_n y, \quad (30)$$

где A, B — уже включенные факторы на данном этапе эволюции системы.

В рассматриваемой технологии самоорганизации коммуникационной среды выполняются три критерия:

1) критерий полноты

$$Q_s = \max(Q = y^T q = y^T A x); \quad (31)$$

2) критерий эффективности

$$\delta Q = y A_n x_n = y q_n = Q_n \rightarrow \max; \quad (32)$$

3) критерий вычислительной устойчивости самоорганизации

$$q^T u = 0. \quad (33)$$

Такой подход, основанный на самоорганизации коммуникационной среды по трем критериям, позволяет решать задачи эволюции систем в условиях переопределенности. При этом критерий организованности системы Q_s отображает ее наследственность (память); критерий изменчивости системы $Q_n = y^T A_n x_n = y^T q_n$, $n \in J_n$ фиксирует ее изменчивость; критерий $\max Q_n$, $n \in J_n$ определяет закон отбора из всех свободных степеней свободы; критерий устойчивости эволюции $u^T y = u^T q = 0$ определяет устойчивость самоорганизации коммуникационной среды.

Такой подход позволяет описать эволюцию системы с минимальным рассогласованием силового и потокового факторов ($u^2 \rightarrow \min$) на каждом этапе эволюции.

Подводя итоги, можно сказать, что эволюция самоорганизации коммуникационной среды в ее алгебраическом описании решается так.

По критерию эффективности ($\delta Q \rightarrow \max$) находится фактор A_n , $n \in J_n$.

Обратный ему фактор B_n корректируется по формуле

$$B_n = B_n - B_n AB, \quad AB = I.$$

Затем он нормируется до условия

$$B_n A_n = I, \quad x_n = B_n y, \quad Q_n = y^T A_n x_n.$$

После этого корректируются все факторы организованной части (памяти)

$$B = B - BA_n B_n$$

с нормировкой $BA = I$, $x = By$, $Q = y^T Ax$.

Такая технология описания эволюции самоорганизации коммуникационных сред конструктивна и устойчива. Обратим внимание, что рассматриваемая процедура самоорганизации коммуникационной среды удовлетворяет второй теореме устойчивости динамических систем Ляпунова. Действительно, при внимательном рассмотрении обнаруживаем на каждом шаге:

$$\delta Q > 0, \quad \delta^2 Q < 0, \quad Q \rightarrow \max, \quad u^2 \rightarrow \min. \quad (34)$$

В полноопределенной системе

$$u^2 = 0.$$

В переопределенной системе

$$u^2 > 0, \quad u^2 \rightarrow \min.$$

В рассмотренной технологии условие квадратичных форм Ляпунова для устойчивых систем соблюдается всегда.

Многочисленные компьютерные эксперименты при обращении плохообусловленных и вырожденных матриц в решении обратных задач показали финитную эффективность алгебраической самоорганизации. Решение получается всегда за минимальное конечное число рекурсивных шагов.

Напомним, что вектор A_n , $n \in J_n$ с его обратным вектором B_n включаются в организованное описание A, B на каждом шаге рекурсии. Таким образом, в процессе эволюции коммуникационной среды ее организованная часть устойчиво пополняется. В пределе самоорганизующийся процесс может дойти до полноопределенной системы Онсагера, Пригожина, Кулона, Гука. Но, как правило, всегда остаются несвязные степени свободы, обеспечивающие дальнейшую эволюцию системы в условиях переопределенности.

Итак, была рассмотрена алгебраическая интерпретация принципа самоорганизации коммуникационных сред Пригожина в расширенном случае переопределенных систем.

АЛГЕБРАИЧЕСКАЯ ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ПРИНЦИПА ОНСАГЕРА

Аналогично рассмотрим схему самоорганизации коммуникационных сред в интерпретации Онсагера, но в расширенном случае переопределенных систем.

Здесь потоковый фактор выражается через силовой:

$$\mathbf{x} = \mathbf{B}\mathbf{y} + \mathbf{V}, \quad (35)$$

где $\mathbf{x}$ — потоковый фактор; $\mathbf{y}$ — силовой фактор; $\mathbf{B}$ — матрица их взаимосвязи; $\mathbf{V}$ — фактор неопределенности (несвязных степеней свободы).

Пусть

$$\begin{aligned} \mathbf{y} &= \mathbf{A}\mathbf{x}, \quad \mathbf{A}\mathbf{V} = 0, \quad \mathbf{A}\mathbf{B} = \mathbf{I}, \\ \mathbf{B}\mathbf{A} &= \mathbf{H}, \quad \mathbf{I} - \mathbf{B}\mathbf{A} = \mathbf{G}. \end{aligned} \quad (36)$$

Здесь $\mathbf{I}$ — единичная матрица; $\mathbf{H}$ — проектор организованности системы; $\mathbf{G}$ — проектор несвязных степеней свободы (ее неорганизованности). Организованная часть $\mathbf{q} = \mathbf{B}\mathbf{y}$ и свободная часть $\mathbf{V}$ дополняют друг друга в потоковом факторе $\mathbf{x}$. В соответствии со схемой Мура—Пенроуза, прием условие (36). Тогда организованная связь системы описывается оператором

$$\mathbf{Q} = \mathbf{H}\mathbf{x},$$

свободная часть — оператором

$$\mathbf{V} = \mathbf{G}\mathbf{x}.$$

Квадратичные критерии такой системы принимают вид (при условии $\mathbf{q}^T = \mathbf{x}^T \mathbf{H}$)

$$\begin{aligned} q^2 &= \mathbf{Q} = \mathbf{q}^T \mathbf{q} = \mathbf{x}^T \mathbf{q}, \quad V^2 = \mathbf{x}^T \mathbf{V}, \\ \mathbf{q}^T \mathbf{V} &= 0, \quad \mathbf{V}^T \mathbf{q} = 0, \quad x^2 = q^2 + V^2. \end{aligned} \quad (37)$$

Таким образом, получено ортогональное разложение организованной и свободной частей коммуникационной системы.

Критерий организованности коммуникационной системы равен

$$Q = q^2 = \mathbf{x}^T \mathbf{q}. \quad (38)$$

Свобода системы характеризуется критерием

$$S = V^2 = \mathbf{x}^T \mathbf{V}. \quad (39)$$

В этом случае полный квадрат потокового фактора равен

$$x^2 = Q + S. \quad (40)$$

Эволюционное описание начнем с полностью неорганизованной системы. На промежуточном этапе размерности факторов эволюции равны

$$\dim \mathbf{x} = J_m, \quad \dim \mathbf{y} = J_k, \quad \dim \mathbf{V} = J_n. \quad (41)$$

Выберем произвольную свободную компоненту $n \in J_n$. Для нее имеем

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= \mathbf{B}_n \mathbf{y}_n + \mathbf{V}_n, \quad \mathbf{y}_n = \mathbf{A}_n \mathbf{x}, \\ \mathbf{x} &= \mathbf{B}_n \mathbf{A}_n \mathbf{x} + \mathbf{V}_n = \mathbf{H}_n \mathbf{x} + \mathbf{V}_n = \mathbf{q}_n + \mathbf{V}_n. \end{aligned} \quad (42)$$

Но для одной компоненты обратная матрица находится легко:

$$\mathbf{A}_n = \frac{\mathbf{y}_n^T}{y_n^2}, \quad n \in J_n. \quad (43)$$

Условие максимума организованности коммуникационной системы при таком выборе принимает вид:

$$Q_s = \max Q_n = \max((\mathbf{x}^T \mathbf{y}_n)^2 / y_n^2), \quad \forall n \in J_n. \quad (44)$$

Пусть на некотором этапе эволюции коммуникационной среды найдена ее наилучшая организация:

$$\begin{aligned} \mathbf{x} &= \mathbf{q} + \mathbf{V} = \mathbf{B}\mathbf{y} + \mathbf{V} = \mathbf{H}\mathbf{x} + \mathbf{G}\mathbf{x}, \\ Q_s &= \max Q = q^2 = \mathbf{x}^T \mathbf{H}\mathbf{x}. \end{aligned} \quad (45)$$

Решение будем искать рекурсивно. Пусть на некотором этапе найдено частное решение

$$\mathbf{y} = \mathbf{A}\mathbf{x}.$$

Вводя очередной фактор $n \in J_n$, находим

$$\mathbf{A} = \mathbf{A} - \mathbf{A}\mathbf{B}_n \mathbf{A}_n. \quad (46)$$

Если соблюдать условие нормировки ($\mathbf{A}_n \mathbf{B}_n = \mathbf{I}_n$), то $\mathbf{A}\mathbf{B}_n = 0$. Сам же фактор $\mathbf{A}_n$ корректируется по аналогичной схеме:

$$\mathbf{A}_n = \mathbf{A}_n - \mathbf{A}_n \mathbf{B}_n \mathbf{A}, \quad \mathbf{A}\mathbf{B} = \mathbf{I}. \quad (47)$$

В изложенной технологии самоорганизации коммуникационной среды соблюдаются три критерия:

1) критерий полноты

$$Q_s = \max(Q = \mathbf{y}^T \mathbf{q} = \mathbf{x}^T \mathbf{B}\mathbf{y}); \quad (48)$$

2) критерий эффективности

$$\delta Q = Q_n = \mathbf{x} \mathbf{B}_n \mathbf{y}_n = \mathbf{x} \mathbf{q}_n \rightarrow \max; \quad (49)$$

3) критерий устойчивости

$$\mathbf{q}^T \mathbf{V} = 0. \quad (50)$$

При этом полностью соблюдается критерий устойчивости эволюции системы по второй теореме Ляпунова, т. к.

$$\begin{aligned} \delta Q &> 0, \quad \delta^2 Q < 0, \\ Q &\rightarrow \max, \quad V^2 \rightarrow \min. \end{aligned} \quad (51)$$

Можно только удивляться, как похожи рассмотренные принципы самоорганизации коммуникационных сред. Но какое разительное отличие наблюдается в их восприятии научной общественностью. И Онсагер, и Пригожин, каждый в свое время, получили Нобелевские премии. Однако

принцип Пригожина оказался более удобным для физико-химиков.

Материал поступил в редакцию 22.11.2007.

*Институт проблем транспорта РАН,
Санкт-Петербург*

SELF-ORGANIZATION IN COMMUNICATION MEDIA

V. N. Trifanov, S. A. Popov

Institute of Transport Problems RAS, Saint-Petersburg

In this paper we consider communications media such as transport media, information media technical media, social media, etc. and flows in them such as substance flows, traffic flows information flows, people flows. There is straight and backward over determined dynamic relationship established between medium carrying capacity and traffic flows. Operators of that relationship are searched for in in-cite and computerized teaching experiments. Three self-organization criteria are discussed: completeness of description $Q = q^2$, description decrement efficiency dQ , and stability $\mathbf{q} \cdot \mathbf{u} = 0$, where $\mathbf{q} = \mathbf{A}\mathbf{x}$, or $\mathbf{B}\mathbf{y}$, $\mathbf{A}$, $\mathbf{B}$ — relationship operators, $\mathbf{x}$ — traffic, $\mathbf{y}$ — carrying capacity, $\mathbf{u}$ — uncertainty.