

**Н.П. СУВОРОВ**

## **КОНЦЕПЦИИ КОСМОТЕОРИИ (СООБЩЕНИЕ 22)**

*Дана публікація дає теоретичне обґрунтування оптимізації на основі гармонії, розробленої автором і викладеної у попередніх публікаціях. Прикладом залучення цієї теорії є спосіб оптимізації систем енергоперетворення.*

\*\*\*

### **22. Применение принципов гармонии и целостности для формирования оптимальных систем энергопреобразования**

Успехи науки показывают, что она является единственной реальной силой в судьбе человечества

**Иван Ефремов**, писатель-исследователь

В условиях постоянного роста потребления нефти и газа актуальным является разработка новых нетрадиционных эффективных и экологически безопасных технологий добычи, переработки и потребления углеводородных энергоносителей. Упомянутые выше технологии можно рассматривать в виде большой системы энергопреобразования [1– 6].

Эффективная система энергопреобразования в конечном итоге должна обеспечить высшие количественные и качественные показатели энергии. Высшие количественные и качественные показатели энергии могут быть достижимы за счет применения оптимальных способов построения систем энергопреобразования. Оптимальные способы построения систем энергопреобразования являются частным случаем общих способов оптимизации и совершенствования, развитых для технических и антропологических энергоинформационных структур и систем, использующих в своей основе принципы гармонии и целостности.

Итак, система энергопреобразования – это большая система, состоящая из совокупности подсистем или же простейших (элементарных) компонент, функционирование которых взаимосвязано и направлено на достижение некоторой единой цели.

Математически большая система может быть представлена в виде ряда

$$S = \sum_{k=1}^n S_k, \quad (1)$$

здесь  $S_k$  – независимые подсистемы энергопреобразования,

$n$  – размерность, или число подсистем большой системы.

Каждую подсистему  $S_k$  большой системы энергопреобразования  $S$  в свою очередь можно представить в виде обобщенного ряда Фурье – составной структуры, состоящей из  $m$  простейших базисных компонент

$$S_k = \sum_{i=1}^m c_{ki} \eta_i, \quad k = \overline{1, n}, \quad (2)$$

Следовательно, с учетом (2) система (1) запишется в виде:

$$S = \sum_{k=1}^n S_k = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ki} \eta_i, \quad (3)$$

где  $\eta_i$  – ортонормированные базисные компоненты, коэффициенты разложения  $c_{ki}$  имеют энергетическую природу.

Будем считать, что между системой энергопреобразования  $S$  и процессом энергопреобразования  $S(t)$  на интервале наблюдения  $\{t\}$  установлено взаимно однозначное равномошное отображение (соответствие) – биекция. При этом

$$S(t) = \sum_{k=1}^n S_k(t), \quad (4)$$

где  $S_k(t)$  – процесс в подсистеме  $S_k$ ,

$n$  – размерность системы.

По аналогии с выражением (2), каждый процесс  $S_k(t)$  может быть представлен в виде обобщенного ряда Фурье

$$S_k(t) = \sum_{i=1}^m c_{ki} \eta_i(t), \quad k = \overline{1, n}, \quad (5)$$

здесь  $\eta_i(t)$  – ортонормированные базисные функции,

$c_{ki}$  – коэффициенты разложения, имеют энергетическую природу.

Следовательно, интегральный процесс  $S(t)$  можно представить следующей математической формой

$$S(t) = \sum_{k=1}^n S_k(t) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ki} \eta_i(t). \quad (6)$$

Пусть  $S(t)$  – любой процесс энергопреобразования,

$S_s(t)$  – эталонный процесс.

В основу научной парадигмы оптимизации процессов и технологий систем энергопреобразования целесообразно положить способ установления гармонии путем сравнения эталонных  $S_s(t)$  и реальных  $S(t)$  процессов. С математической точки зрения операция сравнения реализуется с помощью вычисления корреляционной функции (функционала)

$$I = \int_{\{t\}} S_s(t) S(t) dt. \quad (7)$$

Система энергопреобразования, формирующая максимум функционала (7), будет оптимальной в соответствии с критерием максимума гармонии, а также оптимальной в соответствии критерием минимума среднеквадратичной ошибки

$$I = \int_{\{t\}} [S_s(t) - S(t)]^2 dt. \quad (8)$$

Если энергия эталонного процесса  $E_s = \int_{\{t\}} S_s^2(t) dt$  и энергия исследуемого процесса

$E = \int_{\{t\}} S^2(t) dt$  являются постоянными, равными, то минимизация (8) сводится к нахождению максимума функционала (7).

Таким образом, основным устройством оптимальной системы энергопреобразования служит коррелятор, формирующий функцию корреляции, или операцию свертки, в соответствии с выражением (7).

Для эталонных процессов энергопреобразования, по аналогии с реальными процессами, справедливы выражения

$$S_s(t) = \sum_{k=1}^n S_{sk}(t), \quad (9)$$

$$S_{sk}(t) = \sum_{j=1}^m c_{sjk} \eta_j(t), \quad (10)$$

здесь  $\eta_j(t)$  – ортонормированные базисные функции эталонного процесса,

$c_{sjk}$  – коэффициенты разложения эталонного процесса в ряд Фурье,

$m$  – размерность ряда.

С учетом выражений (6), (9), (10), получим следующее выражение для функции корреляции

$$I = \int_{\{t\}} S_s(t) S(t) dt = \sum_{k=1}^n \int_{\{t\}} \sum_{j=1}^m c_{sjk} \eta_j(t) \sum_{i=1}^m c_{ki} \eta_i(t) dt = \begin{cases} \sum_{k=1}^n \int_{\{t\}} \sum_{i=1}^m c_{ki}^2 \eta_{si}(t) \eta_i(t) dt, & i = j, \\ \sum_{k=1}^n \int_{\{t\}} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m c_{sjk} c_{ki} \eta_{sj}(t) \eta_i(t) dt, & i \neq j. \end{cases} =$$

$$= \begin{cases} \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ki}^2 \int_{\{t\}} \eta_{\varpi i}(t) \eta_i(t) dt, & i = j, \\ \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m c_{kj} c_{ki} \int_{\{t\}} \eta_{\varpi j}(t) \eta_i(t) dt, & i \neq j. \end{cases} \quad (11)$$

Здесь принято, что  $c_{\varpi kj} = c_{ki}$ .

Рассмотрим более детально некоторые показатели исследуемых корреляционных функций.

Если  $\eta_{\varpi i}(t) = \eta_i(t)$ , то справедливы следующие выражения для энергий:

1. Энергия нормированной  $i$ -ой базисной компоненты  $\eta_i(t)$

$$E_{ni} = \int_{\{t\}} \eta_i^2(t) dt = 1. \quad (12)$$

2. Энергия ненормированной  $i$ -ой базисной компоненты  $c_i \eta_i(t)$

$$E_i = \int_{\{t\}} [c_i \eta_i(t)]^2 dt = c_i^2 \int_{\{t\}} \eta_i^2(t) dt. \quad (13)$$

3. Энергия компоненты  $S_k(t)$  процесса  $S(t)$

$$E_k = \int_{\{t\}} S_k^2(t) dt = \sum_{i=1}^m c_{ki}^2 \int_{\{t\}} \eta_i^2(t) dt = \sum_{i=1}^m E_{ki}. \quad (14)$$

4. Полная энергия процесса  $S(t)$

$$E = \int_{\{t\}} S^2(t) dt = \sum_{k=1}^n E_k = \sum_{k=1}^n \int_{\{t\}} S_k^2(t) dt = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m E_{ki}. \quad (15)$$

Если  $\eta_i(t) \neq \eta_{\varpi i}(t)$ , то справедливы следующие соотношения для автокорреляционных функций:

1. Автокорреляционная функция (автокорреляция)  $i$ -ой нормированной компоненты эталонного  $\eta_{\varpi i}(t)$  и реального процесса  $\eta_i(t)$  есть

$$\int_{\{t\}} \eta_{\varpi i}(t) \eta_i(t) dt = E_{ni} \rho_i = \rho_i, \quad (16)$$

здесь  $E_{ni}$  – энергия нормированной  $i$ -ой базисной компоненты,

$$E_{ni} = \int_{\{t\}} \eta_i^2(t) dt = \int_{\{t\}} \eta_{\varpi i}^2(t) dt = 1, \quad (17)$$

$\rho_i$  – коэффициенты автокорреляции  $i$ -ой базисной компоненты эталонного и реального процесса,

$$\rho_i = \frac{1}{E_{ni}} \int_{\{t\}} \eta_{\varpi i}(t) \eta_i(t) dt = \int_{\{t\}} \eta_{\varpi i}(t) \eta_i(t) dt. \quad (18)$$

2. Автокорреляционная функция ненормированной  $i$ -ой базисной компоненты эталонного  $c_i \eta_{\varpi i}(t)$  и реального  $c_i \eta_i(t)$  процессов есть

$$\int_{\{t\}} c_i^2 \eta_{\varpi i}(t) \eta_i(t) dt = E_i \rho_i. \quad (19)$$

3. Автокорреляционная функция эталонного  $S_{\varpi k}(t)$  и реального компонента  $S_k(t)$  процесса  $S(t)$  есть

$$I_k = \int_{\{t\}} S_{\varpi k}(t) S_k(t) dt = \sum_{i=1}^m c_{ki}^2 \int_{\{t\}} \eta_{\varpi i}(t) \eta_i(t) dt = \sum_{i=1}^m E_{ki} \rho_{ki} = E_k \rho_k, \quad (20)$$

$$\rho_{ki} = \frac{1}{E_{ki}} \int_{\{t\}} c_{ki}^2 \eta_{\varpi i}(t) \eta_i(t) dt, \quad \rho_k = \frac{1}{E_k} \int_{\{t\}} S_{\varpi k}(t) S_k(t) dt. \quad (21)$$

4. Автокорреляционная функция эталонного  $S_{\circ}(t)$  и реального  $S(t)$  процессов есть

$$\begin{aligned} I &= \int_{\{t\}} S_{\circ}(t)S(t)dt = \sum_{k=1}^n I_k = \sum_{k=1}^n \int_{\{t\}} S_{\circ k}(t)S_k(t)dt = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m \int_{\{t\}} c_{ki}^2 \eta_{\circ i}(t)\eta_i(t)dt = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m E_{ki} \rho_{ki} = \\ &= \sum_{k=1}^n E_k \rho_k = E\rho, \end{aligned} \quad (22)$$

$$\rho = \frac{1}{E} \int_{\{t\}} S_{\circ}(t)S(t)dt. \quad (23)$$

Для анализа взаимокорреляционных функций необходимо предварительно определить взаимную энергию процессов.

1. Взаимная энергия нормированной  $j$ -ой компоненты эталонного  $\eta_{\circ j}(t)$  и  $i$ -ой компоненты реального  $\eta_i(t)$  процессов

$$\mathcal{E}_{nji} = \int_{\{t\}} \eta_{\circ j}(t)\eta_i(t)dt = r_{ji}, \quad j \neq i. \quad (24)$$

2. Взаимная энергия ненормированной  $j$ -ой базисной компоненты эталонного  $c_{\circ j}\eta_{\circ j}(t)$  и  $i$ -ой базисной компоненты реального  $c_i\eta_i(t)$  процессов

$$\mathcal{E}_{ji} = \int_{\{t\}} c_{\circ j}c_i\eta_{\circ j}(t)\eta_i(t)dt, \quad j \neq i. \quad (25)$$

3. Взаимная энергия эталонного компонента  $S_{\circ k}(t)$  и компонента реального  $S_k(t)$  процессов

$$S_{\circ kk} = \int_{\{t\}} S_{\circ k}(t)S_k(t)dt = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m c_{\circ kj}c_{ki} \int_{\{t\}} \eta_{\circ j}(t)\eta_i(t)dt, \quad j \neq i. \quad (26)$$

4. Полная взаимная энергия эталонного  $S_{\circ}(t)$  и реального  $S(t)$  процессов

$$\mathcal{E} = \sum_{k=1}^n \int_{\{t\}} S_{\circ k}(t)S_k(t)dt = \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m c_{\circ kj}c_{ki} \int_{\{t\}} \eta_{\circ j}(t)\eta_i(t)dt, \quad j \neq i. \quad (27)$$

Следующие соотношения справедливы для взаимокорреляционных функций.

1. Взаимокорреляционная функция (взаимокорреляция)  $j$ -ой нормированной базисной компоненты эталонного  $\eta_{\circ j}(t)$  и реального процесса  $\eta_i(t)$

$$\int_{\{t\}} \eta_{\circ j}(t)\eta_i(t)dt = \mathcal{E}_{nji}r_{ji}, \quad j \neq i, \quad (28)$$

здесь  $\mathcal{E}_{nji}$  – взаимная энергия,

$$r_{ji} = \frac{1}{\mathcal{E}_{nji}} \int_{\{t\}} \eta_{\circ j}(t)\eta_i(t)dt - \quad (29)$$

коэффициент взаимной корреляции нормированных базисных компонент эталонного и реального процессов.

2. Взаимокорреляционная функция ненормированной  $j$ -ой базисной компоненты эталонного  $c_{\circ j}\eta_{\circ j}(t)$  и реального  $c_i\eta_i(t)$  процессов

$$\int_{\{t\}} c_{\circ j}c_i\eta_{\circ j}(t)\eta_i(t)dt = \mathcal{E}_{ji}r_{ji}, \quad j \neq i. \quad (30)$$

3. Взаимокорреляционная функция эталонного  $S_{\circ k}(t)$  и реального компонента  $S_k(t)$  процесса  $S(t)$  есть

$$\int_{\{t\}} S_{\circ k}(t)S_k(t)dt = \int_{\{t\}} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m c_{\circ kj}c_{ki} \eta_{\circ j}(t)\eta_i(t)dt = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m \mathcal{E}_{kji}r_{kji} = \mathcal{E}_{\circ kk}r_k, \quad j \neq i. \quad (31)$$

$$r_{kji} = \frac{1}{\mathcal{E}_{kji}} \int_{\{t\}} c_{\circ kj}c_{ki} \eta_{\circ j}(t)\eta_i(t)dt - \quad (32)$$

коэффициент взаимной корреляции базисных компонент процесса  $S_k(t)$ .

$$r_k = \frac{1}{\mathcal{E}_{\{t\}} S_{\varkappa k}} \int S_{\varkappa k}(t) S_k(t) dt \quad (33)$$

коэффициент взаимной корреляции процессов  $S_{\varkappa k}(t)$  и  $S_k(t)$ .

4. Взаимокорреляционная функция эталонного  $S_{\varepsilon}(t)$  и реального  $S(t)$  процессов есть

$$\int_{\{t\}} S_{\varepsilon}(t) S(t) dt = \mathcal{E}r, \quad (34)$$

а коэффициент взаимной корреляции  $r = \frac{1}{\mathcal{E}} \int_{\{t\}} S_{\varepsilon}(t) S(t) dt$ .

Взаимокорреляционная функция удобна для количественной оценки структурных помех (искажений), или "шумов неортогональности".

Оптимальная система энергопреобразования может находиться в одном из двух состояний: первое – полное согласование всех параметров и характеристик эталонных и реальных процессов;

второе – согласование эталонных и реальных процессов отсутствует.

При полном согласовании имеют место соотношения:

$$\eta_{\varepsilon i}(t) = \eta_i(t), \quad i = \overline{1, m}; \quad S_{\varepsilon k}(t) = S_k(t), \quad k = \overline{1, n}; \quad S_{\varepsilon}(t) = S(t). \quad (35)$$

В этом случае базисные компоненты обобщенного ряда Фурье удовлетворяют условию ортогональности

$$\int_{\{t\}} \eta_i(t) \eta_j(t) dt = \begin{cases} 1, & i = j, \\ 0, & i \neq j, \end{cases} \quad i = \overline{1, m}. \quad (36)$$

Функция корреляции

$$\int_{\{t\}} S_{\varepsilon k}(t) S_k(t) dt = E_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (37)$$

совпадает с энергией  $E_k$  отдельных подсистем энергопреобразования.

Функция корреляции

$$\int_{\{t\}} S_{\varepsilon}(t) S(t) dt = E, \quad (38)$$

совпадает с полной энергией системы энергопреобразования.

Соотношения (35 – 38) математически определяют установление гармонии между эталонными и реальными процессами энергопреобразования. При достижении гармонии обеспечивается максимально возможный энергетический эффект как подсистем энергопреобразования, так и целостной системы энергопреобразования.

Достижение полной гармонии любой системы энергопреобразования – сложный и длительный процесс. При неполной гармонии имеет место ошибка между эталонным и реальным процессом энергопреобразования, определяемая выражением (8).

Рассмотрим некоторые частные случаи рассогласования (дисгармонии) эталонных и реальных процессов в системах энергопреобразования.

Рассогласование эталонных и реальных процессов между собой в самом общем виде можно представить в форме неравенств:

$$S_{\varepsilon}(t) \neq S(t); \quad S_{\varepsilon k}(t) \neq S_k(t); \quad \eta_{\varepsilon}(t) \neq \eta(t). \quad (39)$$

Положим для простоты анализа, что

$$S_{\varepsilon}(t) = S(t + x(t)); \quad S_{\varepsilon k}(t) = S_k(t + x(t)); \quad \eta_{\varepsilon}(t) = \eta(t + x(t)), \quad (40)$$

здесь  $x(t)$  – параметр рассогласования эталонного и реального процессов.

Будем также считать, что отсутствуют, так называемые, структурные искажения эталонных и реальных процессов, т.е. отсутствуют "шумы неортогональности". Математически данное условие определяется выражениями

$$\int_{\{t\}} \eta_{j_i}(t) \eta_i(t) dt = 0, \quad i \neq j, \quad i, j = \overline{1, m}, \quad (41)$$

$$\int_{\{t\}} \eta_j(t + x(t)) \eta_i(t) dt = 0, \quad i \neq j, \quad i, j = \overline{1, m}. \quad (42)$$

Условию (41) удовлетворяют ортогональные базисные функции, условию (41) и (42) – ортогональные в усиленном смысле.

Оптимизацию в целом сложных процессов и систем энергопреобразования в рассматриваемом случае можно осуществить на основе максимизации функционала корреляции

$$I = \int_{\{t\}} S_{\circ}(t) S(t) dt = \int_{\{t\}} S(t + x(t)) S(t) dt. \quad (43)$$

Использование обобщенного ряда Фурье позволяет перейти от аналоговых к дискретным (цифровым) эталонным и реальным процессам энергопреобразования. На этой основе задачу оптимизации в целом системы энергопреобразования можно свести к задаче поэлементной оптимизации подсистем энергопреобразования и в конечном итоге к задаче поэлементной оптимизации базисных компонент ряда Фурье. Это утверждение подтверждается следующими выражениями

$$\begin{aligned} I &= \int_{\{t\}} S_{\circ}(t) S(t) dt = \int_{\{t\}} S(t + x(t)) S(t) dt = \sum_{k=1}^n I_k = \sum_{k=1}^n \int_{\{t\}} S_k(t + x(t)) S_k(t) dt = \\ &= \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m \int_{\{t\}} c_{ki}^2 \eta_i(t + x(t)) \eta_i(t) dt = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m E_{ki} \rho_{ki}(x(t)), \end{aligned} \quad (44)$$

$$\rho_{ki}(x(t)) = \frac{1}{E_{ki}} \int_{\{t\}} c_{ki}^2 \eta(t + x(t)) \eta(t) dt. \quad (45)$$

Для оптимизации в целом системы энергопреобразования необходимо максимизировать функционал автокорреляции

$$\rho(x(t)) = \frac{1}{E} \int_{\{t\}} S(t + x(t)) S(t) dt. \quad (46)$$

Оптимизация подсистем энергопреобразования сводится к максимизации совокупности (суммы) функционалов автокорреляции типа

$$\rho_k(x(t)) = \frac{1}{E_k} \int_{\{t\}} S_k(t + x(t)) S_k(t) dt, \quad k = \overline{1, n}. \quad (47)$$

Поэлементная оптимизация системы энергопреобразования сводится к максимизации совокупности (суммы) функционалов автокорреляции вида

$$\rho_{ki}(x(t)) = \frac{1}{E_{ki}} \int_{\{t\}} c_{ki}^2 \eta_i(t + x(t)) \eta_i(t) dt, \quad k = \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m}. \quad (48)$$

Таким образом, в условиях отсутствия структурных искажений ("шумов неортогональности") оптимизация систем энергопреобразования в соответствии с критерием максимума гармонии трансформируется в задачу нахождения максимума автокорреляции целостного процесса или совокупности его компонент.

При наличии структурных искажений ("шумов неортогональности") эталонных и реальных процессов максимизация функционала (7) разделяется на две части – максимизация автокорреляции и минимизация взаимной корреляции, в частности, коэффициентов взаимной корреляции  $r_{kji}$ ,  $r_k$ ,  $r$ . При этом возможно одновременное решение, как задачи оптимизации, так и обеспечение экологической безопасности (устранение "примесей") системы энергопреобразования.

В заключение следует отметить, что для реализации цифровых способов обработки корреляционных функционалов целесообразно в качестве обобщенного ряда использовать базис Уолша-Фурье.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. Мелентьев Л.А. Системные исследования в энергетике. Элементы теории, направления развития [Текст]: монография/ Л.А. Мелентьев. – М.: Наука, 1983. – 456с.
2. Честнат Г. Техника больших систем (средства системотехники) [Текст]: монография/ Г. Честнат; перевод с англ. под ред. О.И. Авена. – М.: Энергия, 1969. – 656с.
3. Блауберг И.В. Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности [Текст]: монография/ И.В. Блауберг. – М.: Наука, 1969, – 274с.
4. Месарович М.Д. Теория многоуровневых иерархических систем [Текст]: монография/ М.Д. Месарович. – М.: Наука, 1971, – 483с.
5. Квейд Э. Анализ сложных систем [Текст]: монография/ Э. Квейд. – М.: Сов. Радио, 1969, – 518с.
6. Попырин Л.С. Математическое моделирование и оптимизация теплоэнергетических установок [Текст]: монография/ Л.С. Попырин. – М.: Энергия, 1978. – 416с.

## **N.P. SUVOROV**

### **THE COSMOTHEORY CONCEPTIONS. Communication 22**

The ground is given to optimization of the systems of energy-transducing on the basis of the use of principles of harmony and integrity.