

УДК 622.276.6:661.96:532.528

# ФОРМИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГО- ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИНЦИПОВ ГАРМОНИИ И ЦЕЛОСТНОСТИ

**Н.П. Суворов**

Кандидат технических наук, доктор философии,  
профессор, старший научный сотрудник\*  
Контактный тел.: (057) 702-43-37  
E-mail: suvirina@rambler.ru

**И.Г. Суворова**

Доктор технических наук, профессор, ведущий  
научный сотрудник\*  
\*Отдел нетрадиционных энерготехнологий\*\*  
Контактный тел.: (057) 349-47-07  
E-mail: sig@ipmach.kharkov.ua

**О.В. Кравченко**

Кандидат технических наук, старший научный  
сотрудник, заместитель директора по научной  
работе\*\*  
Контактный тел.: (057) 349-47-74  
E-mail: krav@ipmach.kharkov.ua

\*\*Институт проблем машиностроения им. А.Н.  
Подгорного НАН Украины

ул. Дм. Пожарского, 2/10, г. Харьков, Украина, 61046

*У статті дано науково обґрунтований метод оптимізації систем енергоперетворення на основі використання принципів гармонії і цілісності*

*Ключові слова: велика система, базисні компоненти, кореляція*

*В статье дан научно обоснованный метод оптимизации систем энергопреобразования на основе использования принципов гармонии и целостности*

*Ключевые слова: большая система, базисные компоненты, корреляция*

*Scientifically grounded optimization method of energy transformation systems on the base of applying principles of harmony and integrity is presented in the paper*

*Key words: large system, base components, correlation*

## Вступлення

В условиях постоянного роста потребления нефти и газа актуальным является разработка новых эффективных и экологически безопасных нетрадиционных технологий добычи, переработки и потребления углеводородных энергоносителей. Упомянутые выше технологии можно рассматривать в виде большой системы, как совокупность подсистем или простейших (элементарных) компонент. Все подсистемы и компоненты большой системы объединены в целостную общность для достижения единой цели [1].

## Постановка проблемы

Математически  $k$ -ую подсистему  $S_k$  большой системы  $S$  представим в виде многомерной составной

структуры, состоящей из  $m$  линейно независимых (ортогональных) компонент – обобщенного ряда Фурье [1]

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

где  $\eta_i$  – ортонормированные базисные компоненты,

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

$m$  – размерность обобщенного ряда Фурье.

Большая система – это, с одной стороны, многомерная совокупность подсистем  $S_k$ ,  $k = \overline{1, n}$ , с другой стороны многомерная совокупность компонент  $c_{ki} \eta_i$ ,  $i = \overline{1, m}$ ,  $k = \overline{1, n}$ . Размерность  $n$  и  $m$  определяют соответственно число подсистем большой системы и число компонент ряда Фурье.

Функционирование любой системы (подсистемы) характеризуется с помощью определенных процессов (технологий). Будем считать, что между системой энергопреобразования  $S$  и процессом энергопреобразования  $S(t)$  на интервале наблюдения  $\{t\}$  установлено взаимнооднозначное соответствие – изоморфизм. При этом

$$S(t) = \sum_{k=1}^n S_k(t), \quad (2)$$

где  $S_k(t)$  – процесс в подсистеме  $S_k$ ,  
 $n$  – размерность системы.

Интегральный процесс  $S(t)$  можно представить следующей математической формой

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

Таким образом, большая система – это многомерная совокупность процессов  $S_k(t)$  подсистем  $S_k$ ,  $k=1, n$  и многомерная совокупность базисных функций  $c_{ki} \eta_i(t)$ ,  $i=1, m$ ,  $k=1, n$ .

### Оптимизация систем энергопреобразования

Эффективная система в конечном итоге должна обеспечить высшие количественные и качественные показатели энергии технологических процессов в подсистемах и системах энергопреобразования. 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.

В основу научной парадигмы оптимизации процессов и технологий систем энергопреобразования целесообразно положить способ установления гармонии путем сравнения эталонных  $S_0(t)$  и реальных  $S(t)$  процессов. С математической точки зрения операция сравнения реализуется с помощью вычисления корреляционной функции (функционала)

$$I = \int_{\{t\}} S_0(t) S(t) dt. \quad (4)$$

Система энергопреобразования, формирующая максимум функционала (4), будет оптимальной в соответствии с критерием максимума гармонии, а также оптимальной в соответствии критерием минимума среднеквадратичной ошибки

$$I = \int_{\{t\}} [S_0(t) - S(t)]^2 dt. \quad (5)$$

Если энергия эталонного процесса  $E_M = \int_{\{t\}} S_0^2(t) dt$  и энергия исследуемого процесса  $E = \int_{\{t\}} S^2(t) dt$  являются

постоянными на интервале  $\{t\}$ , то минимизация (5) сводится к нахождению максимума функционала (4).

Таким образом, основным устройством оптимальной системы энергопреобразования служит коррелятор, формирующий функцию корреляции, или операцию свертки, в соответствии с выражением (4).

Выражение для функции корреляции имеет вид

$$I = \int_{\{t\}} S_0(t) S(t) dt = \sum_{k=1}^n \int_{\{t\}} \sum_{j=1}^m c_{0kj} \eta_{0j}(t) \sum_{i=1}^m c_{ki} \eta_i(t) dt = \begin{cases} \sum_{k=1}^n \int_{\{t\}} \sum_{i=1}^m c_{ki}^2 \eta_{0i}(t) \eta_i(t) dt, & i=j, \\ \sum_{k=1}^n \int_{\{t\}} \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m c_{0kj} c_{ki} \eta_{0j}(t) \eta_i(t) dt, & i \neq j. \end{cases} = \begin{cases} \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m c_{ki}^2 \int_{\{t\}} \eta_{0i}(t) \eta_i(t) dt, & i=j, \\ \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m c_{kj} c_{ki} \int_{\{t\}} \eta_{0j}(t) \eta_i(t) dt, & i \neq j. \end{cases} \quad (6)$$

Здесь принято, что  $c_{0kj} = c_{ki}$ .

Показатели исследуемых корреляционных функций приведены в [2].

Таким образом, корреляционная функция включает в себя две составляющие: автокорреляцию при  $i=j$  и взаимную корреляцию, если  $i \neq j$ . Следовательно, выражение (6) можно записать в виде

$$I = \begin{cases} \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m E_{ki} \rho_{ki} \\ \sum_{k=1}^n \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^m \Delta_{kji} r_{kji} \end{cases} = \begin{cases} \sum_{k=1}^n E_k \rho_k \\ \sum_{k=1}^n \Delta_{\text{akk}} r_k \end{cases} = \begin{cases} E \cdot \rho \\ \Delta \cdot r \end{cases},$$

здесь  $E_{ki}$ ,  $E_k$ ,  $E$  – энергии,  $\Delta_{kji}$ ,  $\Delta_{\text{akk}}$ ,  $\Delta$  – взаимные энергии процессов,

$\rho_{ki}$ ,  $\rho_k$ ,  $\rho$  – коэффициенты автокорреляции,  
 $r_{kji}$ ,  $r_k$ ,  $r$  – коэффициенты взаимной корреляции.

Взаимокорреляционная функция необходима для количественной оценки структурных помех, или "шумов неортогональности". Когда структурные помехи (искажения) отсутствуют, то  $r = r_k = r_{kji} = 0$  и функционал корреляции  $I$  зависит только от функции автокорреляции.

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:

$$\eta_{0i}(t) = \eta_i(t), \quad i = \overline{1, m} \quad S_{0k}(t) = S_k(t), \quad k = \overline{1, n}, \quad S_0(t) = S(t) \quad (7)$$

В этом случае базисные компоненты обобщенного ряда Фурье удовлетворяют условию ортогональности

$$\int_{\{t\}} \eta_i(t) \eta_j(t) dt = \begin{cases} 1, & i=j, \\ 0, & i \neq j, \end{cases} \quad i = \overline{1, m}. \quad (8)$$

Функция корреляции

$$\int_{\{t\}} S_{sk}(t)S_k(t)dt = E_k \quad k = \overline{1, n}, \tag{9}$$

совпадает с энергией  $E_k$  процессов отдельных подсистем энергопреобразования.

Функция корреляции

$$\int_{\{t\}} S_s(t)S(t)dt = E, \tag{10}$$

совпадает с полной энергией процессов системы энергопреобразования.

Соотношения (7 – 10) математически определяют установление гармонии между эталонными и реальными процессами системы энергопреобразования. При достижении гармонии обеспечивается максимально возможный энергетический эффект реальных процессов 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 (5).

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

$$S_s(t) \neq S(t); S_{sk}(t) \neq S_k(t); \eta_s(t) \neq \eta(t); \tag{11}$$

Положим для простоты анализа, что

$$\begin{aligned} S_s(t) &= S(t+x(t)); S_{sk}(t) = S_k(t+x(t)); \\ \eta_s(t) &= \eta(t+x(t)) \end{aligned}, \tag{12}$$

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

$$\int_{\{t\}} \eta_{sj}(t)\eta_i(t)dt = 0, \quad i \neq j, \quad i, j = \overline{1, m}, \tag{13}$$

$$\int_{\{t\}} \eta_j(t+x(t))\eta_i(t)dt = 0, \quad i \neq j, \quad i, j = \overline{1, m}, \tag{14}$$

Условию (13) удовлетворяют ортогональные базисные функции, условию (13) и (14) – ортогональные в усиленном смысле.

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

$$I = \int_{\{t\}} S_s(t)S(t)dt = \int_{\{t\}} S(t+x(t))S(t)dt. \tag{15}$$

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

$$\begin{aligned} I &= \int_{\{t\}} S_s(t)S(t)dt = \int_{\{t\}} S(t+x(t))S(t)dt = \\ &= \sum_{k=1}^n I_k = \sum_{k=1}^n \int_{\{t\}} S_k(t+x(t))S_k(t)dt = \end{aligned} \tag{16}$$

$$\begin{aligned} &= \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m \int_{\{t\}} c_{ki}^2 \eta_i(t+x(t))\eta_i(t)dt = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^m E_{ki} \rho_{ki}(x(t)) \\ \rho_{ki}(x(t)) &= \frac{1}{E_{ki}} \int_{\{t\}} c_{ki}^2 \eta_i(t+x(t))\eta_i(t)dt. \end{aligned} \tag{17}$$

Для оптимизации в целом системы энергопреобразования необходимо максимизировать функционал автокорреляции

$$\rho(x(t)) = \frac{1}{E} \int_{\{t\}} S(t+x(t))S(t)dt. \tag{18}$$

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

$$\rho_k(x(t)) = \frac{1}{E_k} \int_{\{t\}} S_k(t+x(t))S_k(t)dt, \quad k = \overline{1, n}, \tag{19}$$

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

$$\begin{aligned} \rho_{ki}(x(t)) &= \frac{1}{E_{ki}} \int_{\{t\}} c_{ki}^2 \eta_i(t+x(t))\eta_i(t)dt, \\ k &= \overline{1, n}, \quad i = \overline{1, m} \end{aligned} \tag{20}$$

---

### Выводы

---

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 (4) 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. Кравченко, О. Теоретические основы оптимизации процессов и технологий в системах энергопреобразования [Текст]/О. Кравченко, И. Суворова, Н. Суворов // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Современные технологии в газотурбостроении. – 2010. Часть II, 3/3 (45). – С. 60-62. – экз. – ISSN
2. Суворов, Н. Концепции космологии [Текст]// Медична гідрологія та реабілітація. – 2010. – Т.8, №1 –С.24 –30. – 100.