

Н. П. СУВОРОВ, И. Г. СУВОРОВА

КОНЦЕПЦИИ КОСМОТЕОРИИ. ПРИНЦИПЫ ГАРМОНИИ И ЦЕЛОСТНОСТИ В ЭНЕРГОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ (Сообщение 23)

Автори продовжили дослідження способів формування досконалої людини на основі пізнання принципів побудови оптимальних енергоінформаційних систем різної природи.

Ключові слова: гармонія, цілісність.

7. МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ЭНЕРГИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭНЕРГОИНФОРМАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Качество энергии, точнее качественно-количественные показатели энергии взаимодействия различных энергоинформационных элементов, структур, систем, можно определить на основе исследования их корреляционных свойств. Условно энергоинформационные взаимодействия следует разделить на внутренние и внешние. Их суть можно пояснить, рассматривая процесс передачи-приема одиночных и двоичных элементарных сигналов.

Рассмотрим оптимальный прием одиночного элементарного сигнала.

Проведем анализ особенностей работы оптимальных устройств приема (обработки) прежде всего с точки зрения оценки количественных и качественных показателей энергии сигналов. При этом сигнал выбран одиночный элементарный, или простейший, что характерно, например, для радиолокации. Простейший сигнал позволяет ограничиться изучением только энергии внутреннего взаимодействия, внешнее взаимодействие с другими сигналами отсутствуют по определению.

Упрощенная структурная схема устройства оптимального приема одиночного элементарного сигнала представлена на рис. 7

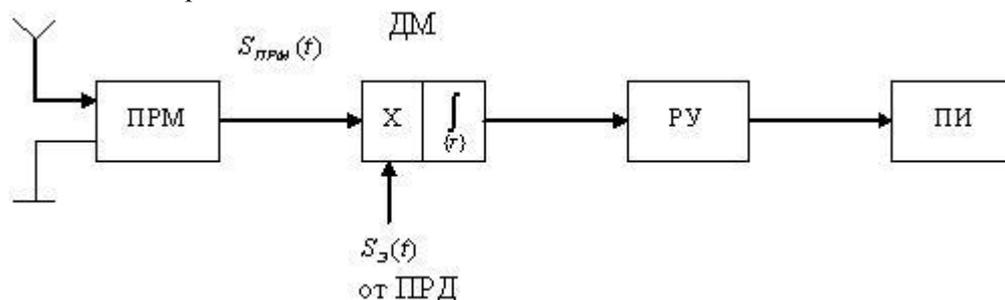


Рис. 7. Структурная схема устройства оптимального приема одиночного элементарного сигнала

Здесь ПРМ – высокочастотная часть приемника; ДМ – демодулятор, основным элементом которого является коррелятор (согласованный фильтр), с помощью которого осуществляется оптимальная обработка входящих сигналов; РУ – решающее устройство, выносит решения относительно каждого принятого элементарного сигнала.

Форма сигнала $S_{ПРМ}(t)$, поступающего на один из входов демодулятора, имеет вид (при отсутствии шумов)

$$S_{ПРМ}(t) = S(t) = \alpha \eta(t) = \alpha \cos(\omega t + \varphi),$$

где α – энергетический параметр, амплитуда сигнала;

$\omega = 2\pi f$ – круговая частота;

f – линейная частота;

φ – начальная фаза.

Форма эталонного (опорного) сигнала $S_э(t)$, поступающего на другой вход демодулятора (ДМ), определяется передатчиком радиолокационной станции.

Сигнал $S_э(t)$ имеет вид

$$S_э(t) = \alpha \eta_э(t),$$

здесь $\eta_s(t)$ – гармоническое колебание, имеющее свою амплитуду α , частоту ω_s и начальную фазу φ_s .

Для упрощения анализа амплитуда сигналов $S_{ПРМ}(t)$ и $S_s(t)$ принята одинаковой. Энергия сигнала на выходе коррелятора есть энергия внутреннего взаимодействия

$$E = \int_{\{T\}} S_{ПРМ}(t) S_s(t) dt = E_0 \rho = P_c T \rho, \quad (7.1)$$

$$\text{где } \rho = \frac{1}{E_0} \int_{\{T\}} S_{ПРМ}(t) S_s(t) dt = \int_{\{T\}} \eta(t) \eta_s(t) dt - \quad (7.2)$$

коэффициент автокорреляции, $\rho = 1$ для идеально согласованных форм принимаемого и эталонного сигналов,

$$E_0 = \int_{\{T\}} S_{ПРМ}^2(t) dt = \int_{\{T\}} S_s^2(t) dt - \quad (7.3)$$

собственная энергия сигналов, T – длительность сигнала, P_c – мощность сигнала.

Анализ выражения (7.1) позволяет сделать следующие выводы:

1. Функционирование устройств оптимального приема основывается на обработке энергии сигнала. Энергия является главным показателем функционирования радиолокационной и любой другой энергосистемы.

2. Качество функционирования устройств оптимального приема (обнаружения и измерения параметров) сигналов определяется не мощностью, а энергией внутреннего взаимодействия $E = P_c T \rho$, зависящей от собственной энергии $E_0 = P_c T$ и коэффициента автокорреляции ρ между принимаемым и эталонным (опорным) сигналом. Энергия определяется на длительности сигнала T .

3. Максимальный энергетический эффект в оптимальном устройстве достигается в том случае, когда обеспечивается совпадение, согласование, полная корреляция, т.е. гармония принимаемых и эталонных сигналов генерируемых в передатчике и приемнике. При гармонии (полной корреляции) имеет место равенство форм сигналов $\eta(t) = \eta_s(t)$, $S(t) = S_s(t)$ вследствие чего возникает многопараметрический резонанс в корреляторе. Количественной оценкой гармонии служит коэффициент автокорреляции ρ , при резонансе равный $\rho = 1$. В этом случае энергия внутреннего взаимодействия становится максимально возможной и равной $E = E_0 = P_c T$.

Напомним, что обычный, или классический резонанс, проявляется в равенстве частот $f_{ПРД} = f_{ПРМ}$, где $f_{ПРД}$ – частота работы передающей станции, $f_{ПРМ}$ – частота настройки контура приемника. Если выполняется равенство $f_{ПРД} = f_{ПРМ}$, то обеспечивается высшее качество и количество энергии принимаемого сигнала, а, следовательно, и высшее качество принимаемого сообщения. Коэффициент автокорреляции $\rho = 1$ определяет суть идеального согласованного, идеально гармонизированного устройства оптимального приема и одновременно гармонию элементарного переданного и элементарного эталонного сигналов.

Наряду с полным согласованием, совпадением принимаемых и эталонных сигналов, генерируемых в передатчике и приемнике, возможен их асинхронизм, рассогласование, т.е. дисгармония.

Асинхронизм – дисгармония выражается неравенствами:

$$\eta(t) \neq \eta_s(t); S_{ПРМ}(t) \neq S_s(t)$$

за счет несовпадения частот, фаз, временной задержки (такта) и других параметров принимаемого и эталонного сигналов.

Для устранения асинхронизма – дисгармонии требуется сформировать подсистему целостной оптимальной синхронизации, которая включает в себя устройства частотной, фазовой и тактовой синхронизации. Подсистема целостной синхронизации является следствием того, что даже элементарный сигнал описывается не одним, а совокупностью параметров (амплитуда, частота, фаза, такт), каждый из которых оказывает влияние на количество и качество энергии внутреннего взаимодействия, на эффективность работы всей энергосистемы.

В каналах с переменными параметрами помимо частоты, фазы, такта необходимо контролировать (измерять) также и амплитуду сигнала. В каналах с постоянными параметрами амплитуда и все временные параметры сигналов считаются постоянными на длительности сигнала T .

Пусть x – обобщенный параметр асинхронизма. На интервале наблюдения T – это постоянная, но не известная в приемном устройстве величина.

Если $S_s(t) = \alpha \eta(t)$ – эталонный (неискаженный) сигнал, а $S_{ПРМ}(t+x)$ – принятый искаженный сигнал, то энергия внутреннего взаимодействия сигналов будет

$$E_1 = \int_{\{T\}} S_{ПРМ}(t+x) S_s(t) dt = E_0 \rho(x), \quad (7.4)$$

где $\rho(x) = \frac{1}{E_0} \int_{\{T\}} S_{ПРМ}(t+x) S_s(t) dt$ (7.5) – коэффициент автокорреляции при асинхронизме.

Асинхронизм – дисгармония может привести к существенному снижению количества и качества энергии внутреннего взаимодействия, что может сопровождаться полной потерей работоспособности устройств оптимального приема (в целом потерей работоспособности радиолокационной станции).

Для восстановления полученных энергетических показателей устройств обработки сигналов необходимо синтезировать оптимальные устройства целостной синхронизации, которые обязаны обеспечить согласование параметров сигналов в виде:

$$x \rightarrow 0, \eta(t+x) \rightarrow \eta(t), S_{ПРМ}(t+x) \rightarrow S_s(t), \text{ при этом } \rho(x) \rightarrow 1, E \rightarrow E_0.$$

Многопараметрический резонанс, при котором $\rho(x) \rightarrow 1$, означает установление жесткого соответствия (в том числе и равенство) не только частот, но фаз и временной задержки (такта). Многопараметрический резонанс обеспечивает устройство целостной синхронизации. Благодаря целостной синхронизации формируется многопараметрический резонанс, формируются лучшие качественно-количественные показатели энергии внутреннего взаимодействия принимаемых и эталонных сигналов.

Анализ функционирования устройств оптимального приема одиночных элементарных сигналов в радиолокации позволяет сформулировать следующие важнейшие научные выводы:

1. В основу научной парадигмы синтеза устройств оптимального приема (обработки) одиночного элементарного сигнала положен способ установления гармонии принимаемого $S_{ПРМ}(t)$ и эталонного $S_s(t)$ сигналов с помощью вычисления операции свертки.

2. Главные показатели устройств оптимального приема, характеризующие работоспособность и эффективность функционирования радиолокационных станций, зависят от энергии внутреннего взаимодействия $E = P_c T \rho$. Работоспособность устройств неоптимальной обработки (приема) определяется мощностью сигнала P_c .

3. Энергия внутреннего взаимодействия принимаемого и эталонного сигналов зависят от собственной энергии $E_0 = P_c T$ и коэффициента автокорреляции сигналов ρ .

4. Для реализации высшего качества и количества энергии внутреннего взаимодействия принимаемого и эталонного сигналов необходимо использовать принципы гармонии и целостности. Принципы гармонии и целостности обеспечивают решение, как оптимального обнаружения сигнала, так и оптимального измерения всех его параметров с помощью подсистемы оптимальной целостной синхронизации. Целостная оптимальная подсистема синхронизации обеспечивает равенство сигналов $\eta(t) = \eta_s(t)$, $S_{ПРМ}(t) = S_s(t)$, т.е. многопараметрический резонанс в подсистеме приема сигналов, а также строгое соответствие частот, фаз и такта.

8. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭНЕРГИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ СИГНАЛЫ

Рассмотрим оптимальный прием двоичных элементарных сигналов типа амплитудной модуляции (АМ).

Одиночный элементарный сигнал, рассмотренный ранее применительно к радиолокации, является энергетическим, но не информационным. Он – регулярный, детерминированный и обеспечивает возможность осуществлять контроль и измерение параметров сигнала, но при этом отсутствует процесс передачи-приема информации. Согласно К. Шеннону, информационным может быть лишь случайное сообщение, случайный сигнал.

Рассмотрим, как осуществляется оптимальный прием сигналов АМ в информационной системе при идеальной синхронизации, т.е. асинхронизм отсутствует. Величина рассогласования принимаемого и эталонного сигналов $x = 0$.

Информационный двоичный сигнал на входе демодулятора имеет вид:

$$S_{IPM}(t, c) = S(t, c) = c\eta(t) = \begin{cases} \eta(t), & c = 1, \\ 0, & c = 0, \end{cases}$$

c – энергетический параметр, принимает случайным образом значение 1 либо 0.

Эталонный (опорный) сигнал подается на второй вход демодулятора. Его можно записать в виде:

$$S_s(t) = c\eta_s(t), \quad c = const.$$

Энергия внутреннего взаимодействия – это энергия сигнала на выходе демодулятора (коррелятора), она имеет вид

$$E = \int_{\{T_0\}} S_{IPM}(t, c) S_s(t, c) dt = \begin{cases} E_0\rho = P_c T_0 \rho, & c = 1, \\ 0, & c = 0, \end{cases} \quad (8.1)$$

$$\rho = \frac{1}{E_0} \int_{\{T_0\}} S_{IPM}(t, c) S_s(t, c) dt = \int_{\{T_0\}} \eta(t) \eta_s(t) dt - \quad (8.2)$$

коэффициент автокорреляции, определяет несогласование формы принимаемого информационного и эталонного сигналов.

$E_0 = P_c T_0$ – собственная энергия сигнала (принимаемого информационного и эталонного); T_0 – длительность; P_c – мощность сигнала.

При полном согласовании принимаемых и эталонных сигналов обеспечиваются равенства:

$$\eta(t) = \eta_s(t), \quad S_{IPM}(t, c) = S_s(t) = c\eta(t), \quad \rho = 1, \quad E = E_0\rho = P_c T_0 \rho = P_c T_0,$$

имеет место многопараметрический резонанс. Энергия внутреннего взаимодействия достигает максимума $E = E_0 = P_c T_0$.

В условиях асинхронизма энергия внутреннего взаимодействия будет:

$$E = E_0\rho(x) \quad (8.3)$$

x – обобщенный параметр асинхронизма;

$\rho(x)$ – коэффициент автокорреляции при асинхронизме.

При асинхронизме $\rho(x) < 1$, это приводит к снижению энергетического потенциала на выходе демодулятора, снижению качества функционирования информационной системы в целом.

Синтез подсистемы оптимальной синхронизации направлен на реализацию высших качественно-количественных показателей энергии внутреннего взаимодействия. При идеальной синхронизации, идеальном совпадении сигналов $x \rightarrow 0, \rho(x) \rightarrow 1, E = P_c T_0 \rho(x) \rightarrow P_c T_0$.

Следует отметить следующий важный фактор. Поскольку энергия каждого элемента сигнала сформулирована на длительности T_0 , то прием, обработка и принятие решения в демодуляторе по каждому из элементов сигнала должны осуществляться после накопления энергии сигнала на длительности T_0 . В этом случае говорят, что в приемнике реализуется поэлементный оптимальный прием (поэлементная оптимальная обработка).

Проведенный анализ показывает подобие процессов оптимального приема одиночных и двоичных элементарных сигналов.

Устройство оптимальной обработки АМ сигналов в информационной системе строятся на основе использования принципов гармонии и целостности. Принципы гармонии и целостности в информационных системах обеспечивают решение задачи оптимального приема и различения двоичных сигналов, а также оптимального измерения параметров сигналов, формируя многопараметрический резонанс.

9. ПРИНЦИПЫ ГАРМОНИИ И ЦЕЛОСТНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ДВОИЧНЫЕ ОРТОГОНАЛЬНЫЕ СИГНАЛЫ

Рассмотрим оптимальный прием двоичных ортогональных сигналов частотной модуляции (ЧМ). Упрощенная структурная схема поэлементного оптимального приема сигналов ЧМ представлена на рис. 8, где ПРМ – высокочастотная часть приемника; ДМ – демодулятор, включающий в себя два коррелятора, а также устройство вычитания (–), РУ – решающее устройство, ПИ – получатель информации.

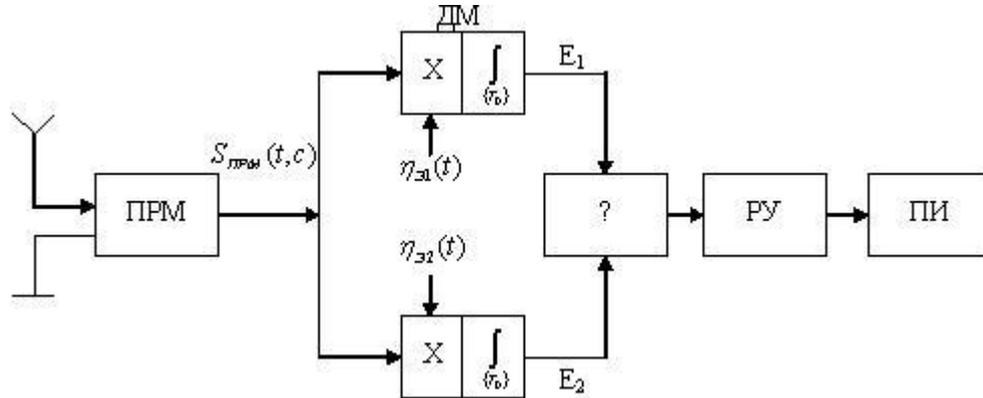


Рис. 8. Структурная схема поэлементного оптимального приема сигналов ЧМ

При использовании частотной модуляции информация передается с помощью параметра частоты гармонического колебания. В частности, информационному символу „1” соответствует гармоническое колебание с частотой ω_1

$$S_1(t, c) = c\eta_1(t) = c \cos(\omega_1 t + \varphi_1).$$

Информационному символу "0" соответствует гармоническое колебание с частотой ω_2

$$S_2(t, c) = c\eta_2(t) = c \cos(\omega_2 t + \varphi_2),$$

при этом $\omega_1 \neq \omega_2$.

Сигналы $S_1(t, c)$ и $S_2(t, c)$ удовлетворяют условию ортогональности

$$\int_{\{t_0\}} S_i(t, c) S_j(t, c) dt = \begin{cases} E_0 = P_c T_0, & i = j; \\ 0, & i \neq j, \end{cases} \quad i, j = \overline{1, 2};$$

$$\int_{\{t_0\}} \eta_i(t) \eta_j(t) dt = \begin{cases} 1, & i = j; \\ 0, & i \neq j, \end{cases} \quad i, j = \overline{1, 2};$$

T_0 – длительность сигнала.

Таким образом, на один из входов демодулятора поступает информационный сигнал $S_{ПРМ}(t, c)$, включающий в себя сигналы $S_1(t, c)$ и $S_2(t, c)$, на другой вход – эталонные (опорные) сигналы $\eta_{12}(t)$ и $\eta_{21}(t)$. В приемнике реализуется оптимальный поэлементный прием двоичных сигналов длительностью T_0 .

Энергия сигнала на выходе коррелятора, использующего эталонный сигнал $\eta_{12}(t)$, равна

$$E_1 = \int_{\{t_0\}} S_{ПРМ}(t, c) \eta_{12}(t) dt. \quad (9.1)$$

Энергия сигнала на выходе коррелятора, использующего эталонный сигнал $\eta_{21}(t)$, будет

$$E_2 = \int_{\{t_0\}} S_{ПРМ}(t, c) \eta_{21}(t) dt. \quad (9.2)$$

Решение относительно переданного сигнала принимается на основе сравнения двух энергий E_1 и E_2 . Если $E_1 > E_2$, то принимается решение в пользу $S_1(t, c)$. Если $E_2 > E_1$, то принимается решение в пользу $S_2(t, c)$.

Обобщающим, интегральным показателем качества функционирования любой информационной системы является достоверность (верность, помехоустойчивость), которая определяется вероятностью ошибки информационного элемента (либо структуры элементов – кодовой комбинации).

Вероятность ошибки произвольных двоичных сигналов определяется выражением

$$P_{ош} = 1 - F\left(\sqrt{\frac{E_0(\rho - r)}{N_0}}\right), \quad (9.3)$$

где F – функция Лапласа, N_0 – спектральная плотность помех.

С геометрической точки зрения помехоустойчивость двоичных сигналов при оптимальном приеме зависит от евклидова расстояния между ними

$$\int_{\{t_0\}} [S_1(t) - S_2(t)]^2 dt \sim E = E_0(\rho - r). \quad (9.4)$$

С физической точки зрения помехоустойчивость зависит от полной энергии внутреннего и внешнего взаимодействия $E = E_0(\rho - r)$, где E_0 – собственная энергия, ρ и r – коэффициенты авто и взаимной корреляции, определяют количество и качество полной энергии взаимодействия сигналов. Двоичные ортогональные сигналы имеют $\rho = 1$, $r = 0$, следовательно,

$$P_{ош} = 1 - F\left(\sqrt{\frac{E_0}{N_0}}\right). \quad (9.5)$$

Вероятность ошибки ортогональных сигналов меньше по сравнению с другими (неортогональными) сигналами благодаря высокому количеству и качеству энергии взаимодействия.

Выражение (9.5) справедливо при идеальной синхронизации, отсутствию асинхронизма. В условиях асинхронизма энергия взаимодействия будет $E = E_0(\rho(x) - r(x))$, x – величина рассогласования принимаемых и эталонных сигналов.

Следует особо отметить, что только оптимальный прием (обработка) сигналов обеспечивает зависимость помехоустойчивости не только от мощности сигнала, но и от его энергии.

Детальный анализ показывает, что коэффициент автокорреляции ρ и взаимной корреляции r могут служить:

- критерием качества энергии взаимодействия;
- мерилем внутренней и внешней гармонии;
- критерием оптимальности целостной информационной системы.

Максимизация гармонии, количественно определяемая величинами ρ и r , обеспечивает минимизацию вероятности ошибки (максимизацию помехоустойчивости) целостной информационной системы.

Анализ энергии взаимодействия ортогональных сигналов $E = E_0(\rho - r)$ показывает, что высшие количественные и качественные показатели технических информационных систем обеспечиваются на основе целостной, системной оптимизации следующих базисных подсистем:

- подсистемы формирования (кодирования и модуляции) оптимальных сигнально-кодовых конструкций, обеспечивающих $\rho \rightarrow 1$, $r \rightarrow 0$;
- подсистемы оптимального приема на основе корреляционной обработки и вычисления энергии внутреннего $E_0\rho$ и внешнего E_0r взаимодействия;
- подсистемы целостной синхронизации, обеспечивающей измерение частоты, фазы, временной задержки с целью достижения многопараметрического резонанса и гармонии сигналов, генерируемых в передатчике и приемнике информационной системы.

Энергия взаимодействия $E = E_0(\rho - r)$ становится максимальной $E = E_0$, когда принимаемый и эталонный сигналы совпадают $S_{ПРМ}(t + x) = S_s(t)$, x – параметр асинхронизма. При $x \rightarrow 0$

достигается многопараметрический резонанс, одновременно достигается максимум гармонии ($\rho \rightarrow 1, r \rightarrow 0, (\rho - r) \rightarrow 1$).

Ортогональные сигналы при оптимальном их приеме и целостной синхронизации формируют идеальную гармонизированную информационную систему.

Более 50-ти лет ученые многих передовых стран интенсивно развивали три базовых направления оптимизации информационных систем:

- устройств кодирования и модуляции сигналов;
- устройств приема (обработки) сигнально-кодовых конструкций, демодуляции, декодирования;
- устройств измерения параметров сигналов для построения оптимальных устройств синхронизации.

Оптимальные устройства начали синтезироваться только после научного обоснования критериев оптимальности, в частности:

- максимума функции правдоподобия;
- максимума функции апостериорной плотности вероятности;
- минимума среднего (условного) риска;
- минимума среднеквадратической ошибки;
- минимаксные критерии и многие другие.

Но перечисленные критерии не позволили перейти к целостности, системным методам оптимизации информационных систем.

Научное обоснование критерия максимума гармонии позволяет сформировать подходы, принципы решения целостной, системной оптимизации сложных энергоинформационных образов, структур различной природы.

Критерий максимума гармонии является универсальным, обобщающим критерием оптимальности и совершенства.

В соответствии с критерием максимума гармонии можно синтезировать сложные технические энергоинформационные, энергетические образы, структуры, системы.

В соответствии с критерием максимума гармонии можно формировать биоэнергоинформационные, биоэнергетические, антропологические сущности, структуры, системы.

Принципы гармонии и целостности применимы для целостной оптимизации сложных технических систем. Принципы гармонии и целостности применимы также для целостного, холистического совершенства антропологических сущностей и структур.

Приведем в концентрированном виде основные энергоинформационные характеристики двоичных ортогональных сигналов:

1. Основание сигналов $M = 2$.

2. Длительность бита информации T_0 .

3. Скорость модуляции $V = \frac{n}{T} = \frac{n}{nT_0} = \frac{1}{T_0}$,

n – число двоичных символов,

T – время передачи.

4. Скорость передачи информации $R = \frac{I}{T} = V \log_2 M$.

5. Ширина спектра сигнала $\Delta F_c = \frac{1}{T_0}$.

6. База сигналов – показатель сложности структуры сигналов

$B \sim \Delta F_c T_0 = n \sim 1$, n – размерность сигнала.

7. Мощность сигнала P_c .

8. Собственная энергия сигнала $E_0 = \int_{\{T_0\}} S^2(t) dt = P_c T_0$.

9. Эвклидово расстояние между сигналами

$\int_{\{T_0\}} [S_1(t) - S_2(t)]^2 dt \sim E = E_0(\rho - r) = E_0$.

10. Помехоустойчивость сигналов при оптимальном когерентном приеме

$$P_{out} = 1 - F\left(\sqrt{\frac{E_0}{N_0}}\right).$$

Двоичные ортогональные сигналы нас интересуют с точки зрения возможности обеспечения высших шенноновских информационных и энергетических показателей, когда основание сигналов M стремится к бесконечности ($M \rightarrow \infty$), а сигналы являются шумоподобными. Изучение элементарных ортогональных сигналов помогает познать способы формирования, обработки и синхронизации сложных ортогональных сигналов.

10. ПРИНЦИПЫ ГАРМОНИИ И ЦЕЛОСТНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МНОГОМЕРНЫЕ СИГНАЛЬНО-КОДОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ

Рассмотренные ранее одиночные и двоичные видео и радиосигналы относятся к элементарным (простым), или с математической точки зрения, одномерным. Одномерные сигналы определяются скаляром c и базисной функцией $\eta(t)$ в виде $S(t, c) = c\eta(t)$. Таковыми являются двоичные сигналы АМ и ФМ. Размерность их функционального (векторного) пространства n минимальная ($n = 1$). Размерность двоичных сигналов ЧМ равна двум ($n = 2$) и определяется двумя ортогональными базисными функциями $\eta_i(t)$, $i = 1, 2$.

Одномерные сигналы реализуют поэлементный оптимальный прием на длительности сигнала T_0 .

В отличие от одномерных некодированных сигналов, кодированные (двоичные и q -ичные) сигналы – многомерные.

Многомерный кодированный сигнал в математической форме имеет вид

$$S(t, C) = C\eta(t) = (c_1, c_2, \dots, c_k, \dots, c_n)\eta(t), \quad (10.1)$$

здесь

C – многомерный вектор;

c_i , $i = \overline{1, n}$ – компоненты вектора, для двоичных кодов $c_i = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$, либо $\begin{cases} +1 \\ -1 \end{cases}$;

$\eta(t)$ – базисная функция (переносчик информации).

Вектор $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ – кодовая комбинация. Кодовая комбинация формируется кодирующим устройством (КУ) передатчика информационной системы путем введения искусственной избыточности. С этой целью в последовательность из k информационных символов по определенному правилу кодирования добавляются $r = n - k$ дополнительных (избыточных) неинформационных символов. Следовательно, код – это совокупность (n, k) кодовых комбинаций, где n – длина, k – число информационных символов.

Общее число возможных кодовых комбинаций $\{S_j(t, C)\}_{j=1}^M$ образует избыточный код. Для двоичных кодов $M = 2^k$.

Таким образом, в передающем устройстве информационной системы наряду с модулятором может быть введено кодирующее устройство для повышения достоверности передаваемой информации. В приемном устройстве наряду с демодулятором имеется декодирующее устройство (ДКУ).

Напомним, что ортогональные коды (сигналы) при $M \rightarrow \infty$ позволяют достичь потенциальные шенноновские результаты (пределы).

Прием кодированных сигналов более сложен по сравнению с приемом элементарных сигналов. Он может осуществляться с помощью двух решающих схем либо одной, реализуя при этом оптимальный прием в целом.

Суть приема (обработки) кодированных сигналов с двумя решающими схемами заключается в следующем. Имеются две решающие схемы. В первой решающей схеме осуществляется обычный поэлементный оптимальный прием двоичных элементарных сигналов $c_i\eta(t)$, $i = \overline{1, n}$ длительностью T_0 и выносятся решение по каждому двоичному символу кодовой комбинации (n, k) кода. Далее

кодированная последовательность длиной в n символов подается в буферный накопитель декодирующего устройства. Декодирующее устройство по определенному алгоритму осуществляет коррекцию (исправление либо обнаружение ошибок) символов кодовой комбинации. После этого последовательность из k откорректированных информационных символов выдается получателю информации. Главное достоинство приема кодированных сигналов с двумя решающими схемами – относительная простота технической реализации.

С точки зрения помехоустойчивости более высоким уровнем развития служит оптимальный прием (обработка) в целом кодированных сигналов. В этом случае в состав демодулятора входит $M = 2^k$ корреляторов (согласованных фильтров) вместо одного (двух) корреляторов при поэлементном приеме. В каждом из корреляторов опорными являются кодированные сигналы типа $S_j(t, C) = (c_{1j}, c_{2j}, \dots, c_{kj}, \dots, c_{nj})\eta(t)$, $j = \overline{1, M}$. При обработке (приеме) в целом демодулятор и декодирующее устройство составляют единое целое.

В пределе, когда величины n и k кодов стремятся к бесконечности, оптимальный прием в целом кодированных сигналов обеспечивает энергетический выигрыш в два раза по сравнению с обработкой сигналов в двух решающих схемах. Для спутниковых информационных систем такой выигрыш является революционным. Однако платой за повышение помехоустойчивости является рост сложности оборудования приемника, пропорциональный величине $M = 2^k$, определяемой числом корреляторов. Поэтому за длительное время ученые смогли разработать квазиоптимальные способы приема в целом, но с линейным ростом сложности оборудования (пропорционально длине кода n), при этом естественно снижается выигрыш в помехоустойчивости сигналов.

Гармония и целостность обработки сигнально-кодовых конструкций в этом случае составляют важнейшие принципы построения оптимальных (квазиоптимальных) информационных систем.

Учет и обеспечение целостности сигнально-кодовых конструкций должен быть не только при разработке подсистемы передатчика, подсистемы приемника, но и подсистемы синхронизации. Исходя из сказанного, очевидно, что лучшие (оптимальные) устройства синхронизации должны быть ориентированы не на применение различного рода пилот-сигналов для построения синхронизации, а на использование рабочей информации, т.е. рабочих (реальных информационных) сигнально-кодовых конструкций.

Лучшие (оптимальные) современные информационные системы уже строятся с применением системного анализа. Они в полной мере используют принципы гармонии и целостности в теории и на практике.

Подсистема передатчика, подсистема приемника и подсистема синхронизации – базовые конструкции информационной системы. Эта совокупность сложных подсистем объединена в единое целое, единый „организм” общей задачей – достичь высших энергетических и информационных показателей.

11. РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЦИПОВ ГАРМОНИИ И ЦЕЛОСТНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ШУМОПОДОБНЫЕ СИГНАЛЫ

Новые информационные и энергетические возможности по сравнению с элементарными (простыми) сигналами открывают сложные шумоподобные сигналы. Существуют две разновидности шумоподобных сигналов:

- последовательные составные;
- параллельные составные.

На основе использования последовательных составных сигналов формируются широкополосные шумоподобные сигналы – ШШС. На основе параллельных составных сигналов – узкополосные шумоподобные сигналы (УШПС).

Шумоподобные составные сигналы математически описываются в виде обобщенного ряда Фурье. Рассмотрим пример одиночного шумоподобного сигнала. Математически его структура описывается выражением

$$S(t, C) = \sum_{i=1}^m c_i \eta_i(t), \quad (11.1)$$

где $C = (c_1, c_2, c_3, \dots, c_m)$ – вектор (кодированная комбинация, кодированная последовательность),

c_i – скаляр, коэффициенты разложения,

$\eta_i(t)$ – линейно независимые (ортонормированные) базисные функции,

m – размерность ряда.

Величина $c_i \eta_i(t)$ формируется в соответствии со случайным (квазислучайным) законом распределения вероятностей элементов c_i .

Согласно центральной предельной теореме теории вероятностей, сумма m случайных величин (процессов) при любом их законе распределения обладает шумоподобной структурой с нормальным (гауссовым) законом распределения вероятностей в том случае, когда m велико (в пределе $m \rightarrow \infty$).

Центральная предельная теорема теории вероятностей указывает путь и способ формирования шумоподобных сигналов.

Пример шумоподобного видеосигнала представлен на рис. 9.

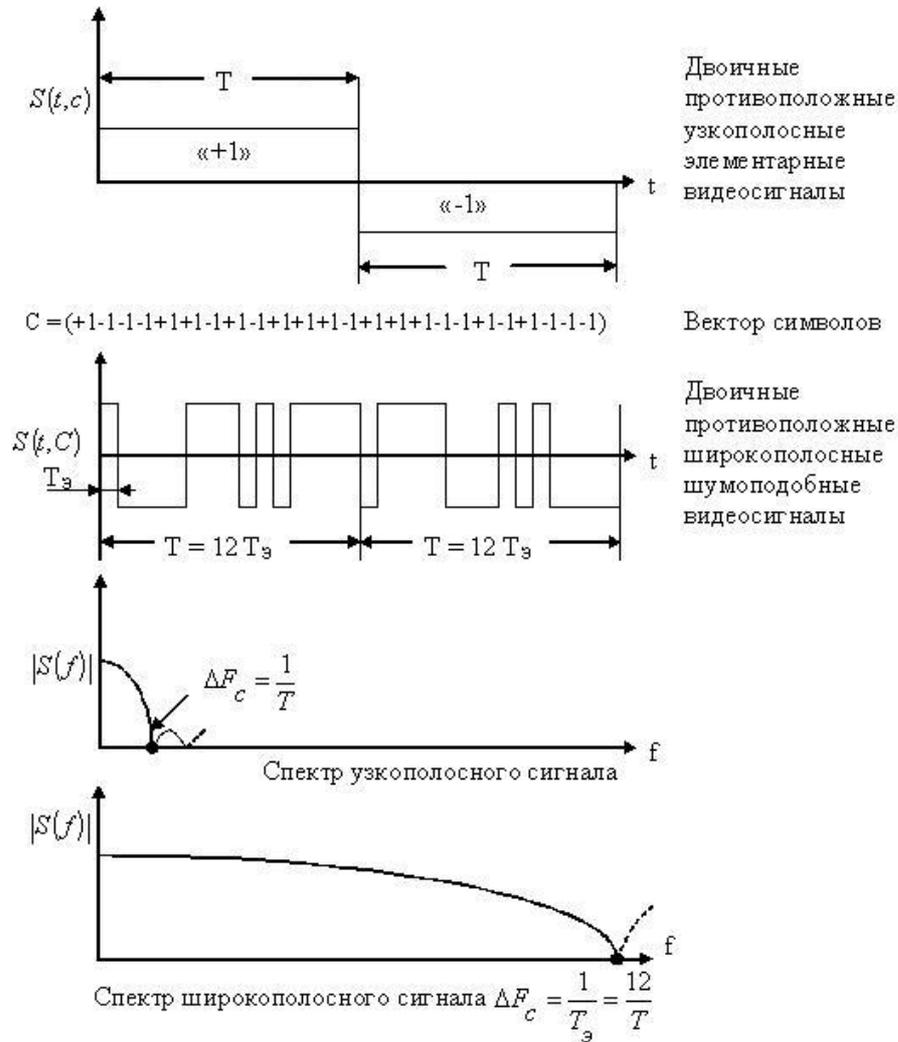


Рис. 9 Временные и спектральные характеристики узкополосных и широкополосных сигналов

Шумоподобная структура видеосигналов определяется двоичными символами случайной кодовой последовательности $C = (100011010110)$ или $C = (1-1-1-111-11-111-1)$. Случайный видеосигнал, порождаемый вектором C , называется последовательным составным. В качестве базисных ортогональных функций $\eta_i(t)$, $i = \overline{1, m}$ в последовательном составном сигнале выступают единичные не перекрывающиеся во времени стробирующие импульсы длительностью $T_э$.

Максимальное число ортогональных базисных функций определяется величиной $m = \frac{T}{T_э}$, где T –

длительность одиночного исходного элементарного видеосигнала, $T_э$ – длительность базисной функции шумоподобного сигнала (на рис. 9 принято, что $m = 12$). В реальных технических системах шумоподобный сигнал формируется на основе использования линейных (нелинейных) рекуррентных случайных (квазислучайных) последовательностей. Если T – длительность одиночного элементарного сигнала, то ширина его спектра $\Delta F_c = \frac{1}{T}$. Ширина спектра

широкополосного шумоподобного сигнала будет равна $\Delta F_{шум} = \frac{1}{T_э} = \frac{m}{T} = m\Delta F_c$, т.е. увеличивается

в m раз по сравнению с элементарным сигналом.

Одиночные элементарные и одиночные широкополосные шумоподобные сигналы применяются в радиолокации и других системах контроля и измерения.

Структурная схема оптимального приема одиночного ШШС совпадает со структурной схемой приема одиночного элементарного сигнала (рис. 7).

В основу научной парадигмы синтеза устройств оптимального приема (обработки) одиночного ШШС положен способ установления гармонии принимаемого $S_{ПРМ}(t, C)$ и эталонного (опорного) $S_э(t, C)$ сигналов с помощью вычисления операции свертки (функционала корреляции). Особенность состоит в том, что в качестве сигналов $S_{ПРМ}(t, C)$ и $S_э(t, C)$ используется широкополосный шумоподобный сигнал вместо элементарного.

Корреляционный функционал, определяющий энергию внутреннего взаимодействия E_1 (внешнее взаимодействие с другими сигналами отсутствует по определению) принимаемого и эталонного сигналов, вычисляется на основе учета целостности структуры ШШС.

При идеальной (оптимальной) целостной синхронизации по частоте, фазе, такту и циклу структура принимаемого и эталонного ШШС математически определяется выражениями

$$S_{ПРМ}(t, C) = \sum_{i=1}^m c_i \eta_i(t), \quad S_э(t, C) = \sum_{i=1}^m c_{эi} \eta_i(t), \quad (11.2)$$

следовательно, при обработке в целом ШШС потенциальная энергия внутреннего взаимодействия будет равна

$$E_1 = \int_{\{T\}} S_{ПРМ}(t, C) S_э(t, C) dt = \sum_{i=1}^m c_i^2 \int_{\{T\}} \eta_i(t) \eta_{эi}(t) dt = \sum_{i=1}^m E_{эi} = mE_{эi} = mE_э = E, \quad (11.3)$$

здесь $E_{эi} = E_э = P_c T_э$ – энергия одного элемента ШШС,

$T_э$ – длительность элемента ШШС,

$E = mE_э = P_c T$ – энергия целостного ШШС,

$T = mT_э$ – длительность целостного ШШС,

P_c – мощность ШШС.

Реализация принципа гармонии и целостности позволяет синхронно накапливать (фокусировать) энергию ШШС, в m раз превышающую энергию одного элемента.

В условиях асинхронизма оптимальный прием в целом ШШС реализуется на основе максимизации коэффициента автокорреляции принимаемого и эталонного ШШС

$$\rho(x) = \frac{1}{E} \int_{\{T\}} S_{ПРМ}(t+x, C) S_э(t, C) dt. \quad (11.4)$$

Полную (целостную) энергию внутреннего взаимодействия ШШС при асинхронизме можно оценить выражением $E = mE_э \rho$, где $\rho = \rho(x)$ – коэффициент автокорреляции ШШС.

Оптимальный поэлементный прием ШШС может быть реализован на основе максимизации совокупности коэффициентов

$$\rho_i(x) = \int_{\{T_s\}} \eta_i(t+x)\eta_{\bar{\alpha}i}(t)dt, \quad i = \overline{1, m}, \quad (11.5)$$

x – обобщенный параметр асинхронизма.

Поэлементный прием ШШС – вырожденный нетипичный случай.

Напомним, что одиночные элементарные сигналы и одиночные сложные шумоподобные сигналы не являются информационными в шенноновском смысле, ибо они детерминированные (регулярные) и предназначены для измерения и контроля параметров сигналов.

Информационные элементарные и информационные сложные составные сигналы определяются выражениями $S(t, c) = c\eta(t)$ и $S(t, C) = \sum_{i=1}^m c_i\eta_i(t)$, где c и C – соответственно одномерные и многомерные энергетические параметры. Величины c и C – случайные.

Информационные двоичные сложные составные сигналы определяются выражениями

$$S_1(t, C) = \sum_{i=1}^m c_{1i}\eta_i(t), \quad S_2(t, C) = \sum_{i=1}^m c_{2i}\eta_i(t). \quad (11.6)$$

Проведем сравнительный анализ достоверности (помехоустойчивости) и качественно-количественных показателей энергии взаимодействия двоичных элементарных ортогональных сигналов и двоичных ортогональных широкополосных шумоподобных сигналов в условиях воздействия на сигналы флюктуационных помех типа белого гауссова шума.

Основное назначение технических энергоинформационных систем – качественная передача-прием информации (сигналов, сообщений, данных).

В системах передачи дискретной (цифровой) информации качество связи оценивается вероятностью ошибки (достоверностью, верностью, помехоустойчивостью) одного бита (элемента) информации либо структуры (совокупности битов, элементов) – кодовой комбинации, кодограммы.

В системах передачи аналоговой информации используются свои методы оценки качества связи.

Вероятность ошибки определяется величиной $p = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N}$, где n – число ошибочно принятых битов (элементов, кодовых комбинаций, кодограмм), N – общее число переданных битов (элементов, кодовых комбинаций, кодограмм).

В теории вероятностей величина $\frac{n}{N}$ называется частотой. Вероятность есть предел (\lim) частоты, когда $N \rightarrow \infty$.

Таким образом, качество (качественная величина) в информационных системах, в частности, системах управления и связи, имеет четкое количественное выражение. Во всех коммерческих и специальных информационных системах требования по качеству (вероятности ошибки) стандартизованы.

Вероятность ошибки зависит от многих регулярных и случайных мешающих факторов. Все они известны специалистам по связи во всех деталях и подробностях. Главным энергетическим показателем, определяющим качество передачи-приема информации, является отношение сигнал/шум $P_c/P_{ш}$, где $P_c, P_{ш}$ – соответственно мощность сигнала и мощность шума на входе приемника.

Помехоустойчивость информационной системы, использующей двоичные ортогональные сигналы и оптимальные методы приема (обработки), зависит (при идеальной синхронизации) от энергетического соотношения

$$\frac{E}{N_0} = \frac{P_c}{P_{ш}} T_c \Delta F_c,$$

где $E = P_c T_c$ – энергия,

T_c – длительность,

ΔF_c – ширина спектра сигнала,

$$N_0 = \frac{P_u}{\Delta F_c} - \text{спектральная плотность шума.}$$

При неидеальной синхронизации качество связи зависит от величины $\frac{E(\rho-r)}{N_0} = \frac{P_c}{P_u} T_c \Delta F_c (\rho-r)$, где ρ и r – коэффициенты авто- и взаимной корреляции при асинхронизме.

Для простых (элементарных) двоичных сигналов (типа амплитудной, частотной, фазовой модуляции) величина $T_c \Delta F_c \sim 1$, поэтому расход энергии на один бит информации (при идеальной синхронизации) равен

$$\frac{E}{N_0} = \frac{P_c}{N_0 \Delta F_c} = \frac{P_c}{P_u} = \frac{P_c T_0}{N_0}, \text{ где } T_0 = T_c = \frac{1}{\Delta F_c} - \text{длительность одного бита информации.}$$

Вероятность ошибки одного бита информации p при использовании двоичных ортогональных сигналов и оптимальных методов приема на фоне белого гауссова шума со спектральной плотностью N_0 определяется выражением $p = 1 - F\left(\sqrt{\frac{E(\rho-r)}{N_0}}\right)$, где $F(x)$ – функция Лапласа.

Таким образом, качество работы информационной системы, а именно, помехоустойчивость количественно определяется либо значением вероятности ошибки, либо энергетическим потенциалом $\frac{E(\rho-r)}{N_0}$. Высшая (потенциальная) помехоустойчивость, высшее качество достигается при идеальной синхронизации. В этом случае справедливо $r \rightarrow 0, \rho \rightarrow 1, (\rho-r) \rightarrow 1$. Энергетический потенциал

становится равным $\frac{E}{N_0} = \frac{P_c T_0}{N_0}$. Когда достигается идеальная синхронизация, (устраняется

асинхронизм), следовательно, устанавливается гармония, тогда основное устройство оптимального приемника коррелятор (согласованный фильтр) осуществляет наилучшее согласование по всем временным (спектральным) параметрам (характеристикам) принимаемых и эталонных (опорных) сигналов, обеспечивает лучшую их корреляцию между собой. В корреляторе возникает сложный многопараметрический резонанс. При этом параметром резонанса в корреляторе выступает не только частота, а сложная (целостная) форма сигнала, определяемая частотой, амплитудой, фазой, временной задержкой либо сложная форма спектра сигнала при использовании согласованного фильтра вместо коррелятора.

В результате резонанса формируются лучшие количественные и качественные показатели энергии внутреннего и внешнего взаимодействия информационной системы. В этом и заключается основная суть гармонии технических энергоинформационных систем.

В гармонизированных технических энергоинформационных системах такие категории как гармония, качество, количество взаимосвязаны, взаимообусловлены и объединены в едином энергетическом показателе $\frac{E(\rho-r)}{N_0}$. На примерах реализации технических энергоинформационных

систем можно демонстрировать диалектическое единство качественных и количественных изменений в природе, а также иллюстрировать действие гармонии в виде философско-математического закона (механизма) развития на практике.

Построение гармонизированных технических энергоинформационных систем стало возможным благодаря успешному решению трех проблем: формирования оптимальных (ортогональных) сигналов (сигнально-кодовых конструкций), синтеза оптимальных устройств приема (обработки) сигналов, синтеза оптимальных устройств синхронизации.

Разработка теории и техники реализации лучших (оптимальных) способов формирования и обработки (приема) сигналов оказала колоссальное революционное влияние на специалистов информационных технологий. В ранее существовавших информационных системах рост качества (помехоустойчивости) можно было обеспечить главным образом за счет роста мощности сигнала P_c . Но на всех этапах развития информационных систем постоянно существовали многочисленные ограничения по росту излучаемой мощности сигнала. Рост качества функционирования

информационной системы на основе роста мощности сигнала был самый простой, а потому и самый примитивный способ решения сложной проблемы.

Освоение новых технологий формирования и обработки даже элементарных двоичных сигналов вселило веру специалистам в свои возможности, и, прежде всего, в неограниченные возможности разума человека.

Стало очевидным, что качество работы информационных систем может быть улучшено не только за счет непосредственного роста мощности сигнала, но и роста количества и качества энергии взаимодействия сигналов $E = P_c T_c (\rho - r)$, достигаемого путем:

- формирования оптимальных структур сигналов;
- применения оптимальных способов приема (обработки) сигналов;
- создания оптимальных устройств синхронизации для управления величинами авто- и взаимной корреляции сигналов.

Для анализа и синтеза лучшей (оптимальной) технической информационной системы в полной мере могут использоваться принципы системного анализа, системного проектирования. Создание лучшей целостной информационной системы свелось к оптимизации трех базисных подсистем:

- подсистемы передатчика;
- подсистемы приемника;
- подсистемы синхронизации.

Лучшая информационная система стала реализуемой, когда были сформированы лучшие (оптимальные) сигналы, лучшие (оптимальные) способы приема (обработки) сигналов, лучшие (оптимальные) способы синхронизации подсистем передачи и приема. В итоге была решена проблема создания гармонизированных технических энергоинформационных систем.

Главная цель создания гармонизированных технических энергоинформационных систем – обеспечить высший энергетический потенциал, высшие качественно-количественные показатели энергетики, а, следовательно, и высшее качество помехоустойчивости (достоверности, верности) передачи-приема информации. Несмотря на то, что указанные ранее три базисные подсистемы были оптимизированы в 80-х годах прошлого столетия, никто из исследователей-естественников, тем более философов-гуманитариев не смогли проанализировать целостную техническую энергоинформационную систему с позиций гармонии. Как форму, так и содержание гармонизированных технических энергоинформационных систем определил автор данной работы.

По сравнению с элементарными (простыми) новые свойства и возможности обеспечивают шумоподобные сигналы, в частности, широкополосные шумоподобные сигналы (ШШС).

Двоичные ортогональные ШШС математически определяются выражением (), для которых выполняется условие ортогональности.

Если основой элементарных сигналов является информационный элемент, то в основе сложных составных ШШС находится структура – случайная последовательность из m базисных элементов (компонент, составляющих). Для формирования ШШС широкое применение нашли линейные (нелинейные) рекуррентные случайные (квазислучайные) m -последовательности. Двоичные ШШС – это сложные последовательные составные сигналы. Широкополосная структура сигналов формируется с помощью последовательной передачи m двоичных импульсов на интервале длительности одного бита информации T_0 , при этом $T_0 = mT_s$, где T_s – длительность одного элемента ШШС. Следовательно, относительно ширины спектра исходного информационного сигнала

$\Delta F_c = \frac{1}{T_0}$, ширина спектра ШШС будет равна $\Delta F_{шшс} = \frac{1}{T_s} = \frac{m}{T_0} = m\Delta F_c$, т.е. увеличивается в m раз.

С информационной точки зрения ШШС обладают очень высокой избыточностью. Можно считать, что в m -последовательности только один символ является информационным, а остальные $(m-1)$ – избыточные, неинформационные.

Размерность и метрика полностью определяют базу ШШС. Она равна $B_{шшс} = m(\rho - r)$. При идеальной синхронизации $\rho \rightarrow 1, r \rightarrow 0$, следовательно, ортогональные ШШС обеспечивают базу $B_{шшс} = m = \Delta F_{шшс} T_0$.

База ШШС определяет количественно гармонию сложных составных сигналов, структурную гармонию. Структурная гармония (гармония энергоинформационной структуры) – это наилучший способ объединения элементов в единое целое. Критерием качества объединения

энергоинформационных элементов структуры служит энергия. Наилучший способ объединения элементов на основе их когерентного (синхронного) накопления обеспечивает фокусирование энергии, формируя полную энергию взаимодействия E_0 высокого качества и количества, равную $E_0 = mE_s$, где E_s – энергия одного элемента ШШС, m – размерность ШШС.

Если двоичные элементарные сигналы имеют базу $B_s = \Delta F_c T_0 \sim 1$, то двоичные ШШС имеют базу $B_{шшс} = m \gg 1$. Величина m может достигать значение 10^6 и выше.

Энергетический потенциал двоичных элементарных сигналов определяется величиной

$$\frac{E_0}{N_0} = \frac{P_c \Delta F_c}{N_0 \Delta F_c} = \frac{P_c}{P_{ш}} \Delta F_c T_0 = \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_s, \text{ где } \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_s - \text{отношение сигнал/шум на входе приемника. При}$$

использовании двоичных элементарных сигналов энергетический потенциал на входе решающего устройства $\frac{E_0}{N_0}$ совпадает с отношением сигнал/шум на входе приемника $\left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_s$.

Широкополосные шумоподобные сигналы сохраняют тот же энергетический потенциал на входе решающего устройства $\frac{E_0}{N_0}$, но отношение мощности сигнал/шум на входе приемника будет в m раз

меньше, чем у элементарных сигналов, что следует из соотношения

$$\frac{E_0}{N_0} = \frac{E_0 \Delta F_{шшс}}{N_0 \Delta F_{шшс}} = \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{шшс} \Delta F_{шшс} T_0 = \left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{шшс} B_{шшс}.$$

Если базу двоичных ШШС сделать равной $B_{шшс} = m = 10^7$, то высшее качество передачи информации в условиях действия в канале связи флюктуационных помех потребует обеспечения энергетического потенциала на входе решающего устройства $\frac{E_0}{N_0} \sim 10$. В этом случае отношение

сигнал/шум по мощности на входе приемника будет $\left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{шшс} = 10^{-6}$ – сигнал принимается под шумом.

Трансформация $\left(\frac{P_c}{P_{ш}} \right)_{шшс} = 10^{-6}$ на входе приемника в энергетический потенциал $\frac{E_0}{N_0} \sim 10$ на входе

решающего устройства обеспечивается за счет оптимальной обработки в целом сложного ШШС. При этом базовым устройством служит коррелятор (согласованный фильтр). Имеет место прекрасная демонстрация перехода количества в качество, достигаемое путем когерентного (синхронного) накопления малых энергий элементов ШШС длительностью T_s в высокий энергетический потенциал $E_0 = P_c T_0$ на длительности бита информации $T_0 = m T_s$.

В оптимальных информационных системах формирования и обработки как элементарных, так и широкополосных шумоподобных сигналов достижение гармонии и качественно-количественные изменения энергии взаимодействия – единый процесс.

Принцип же построения лучшей (оптимальной) технической энергоинформационной системы при использовании двоичных элементарных сигналов и двоичных ортогональных ШШС остается единым – это формирование гармонии и целостности.

В заключении отметим, что приведенный выше энергетический показатель двоичных ортогональных ШШС на входе решающего устройства $\frac{E_0}{N_0}$ справедлив при идеальной синхронизации.

При асинхронизме энергетический показатель будет равен $\frac{E_0}{N_0}(\rho-r)$, где ρ и r характеризуют авто- и взаимную корреляцию.

Таким образом, техническое освоение категорий гармония и целостность на практике открывает новые возможности по неограниченному совершенствованию систем управления связи и в целом информационных систем.

12. ПРИНЦИПЫ ГАРМОНИИ И ЦЕЛОСТНОСТИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ МНОГООСНОВНЫЕ ШУМОПОДОБНЫЕ СИГНАЛЫ

Развитием двоичных сложных составных сигналов, к которым относятся и двоичные ШШС, явились сложные многоосновные составные сигналы. К.Шеннон научно обосновал структуры сигналов, обеспечивающие достижение высших, потенциальных информационных и энергетических показателей систем связи. Гениальность К.Шеннона состояла в том, что он теоретически обосновал правильный вектор развития систем управления и связи на столетия вперед. Миллионы его последователей способствовали внедрению теории на практике, особенно в период интенсивной гонки вооружений между двумя сверхдержавами, в период холодной войны между СССР и США. Результаты К.Шеннона стремились в первую очередь использовать в информационных системах военного и специального назначения. В этих системах получены наилучшие теоретические и практические результаты. Борьба за высшее качество информационных систем – помехоустойчивость, достоверность свелась к формированию высшего энергетического потенциала, обеспечиваемого путем практического использования принципов гармонии и целостности, созданию высшего уровня развития гармонизированных технических энергоинформационных систем.

Многоосновные сложные составные сигналы имеют вид

$$S_k(t, C) = \sum_{i=1}^m c_{ki} \eta_i(t), \quad k = \overline{1, M}, \quad (12.1)$$

M – основание сигналов.

Для двоичных сложных составных сигналов $M = 2$. Основание сигналов M в выражении () может быть произвольным.

Выражения для коэффициентов авто- и взаимной корреляции многоосновных ортогональных сигналов имеют вид аналогичный двоичным элементарным ортогональным сигналам

$$\frac{1}{E} \int_{\{T\}} S_i(t, C) S_j(t, C) dt = \begin{cases} 1, & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases} \quad i, j = \overline{1, M}, \quad (12.2)$$

где E – энергия, T – длительность сигналов.

Многоосновные ортогональные последовательные составные сигналы порождают широкополосную шумоподобную структуру. На основе использования многоосновных параллельных составных структур формируются узкополосные шумоподобные сигналы.

Оптимальный прием (обработка) в целом сложных многоосновных сигналов поясняется с помощью рис.10.

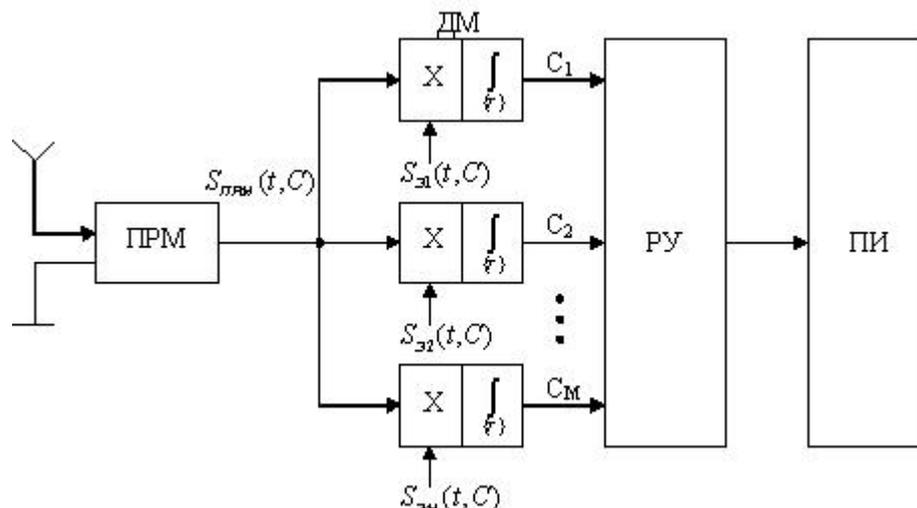


Рис. 10. Оптимальная обработка в целом многоосновных сигналов

В основу научной парадигмы синтеза устройств оптимальной обработки в целом многоосновных сигналов может быть положен способ установления гармонии принимаемого $S_{ПРМ}(t, C)$ и эталонных (опорных) сигналов $S_{sk}(t, C)$, $k = \overline{1, M}$ путем вычисления операции свертки.

Решающее устройство (РУ) сравнивает отклики на выходах всех корреляторов и принимает решение в пользу наиболее правдоподобного сигнала.

Доказано, что среди всех разновидностей сложных сигналов минимальный расход энергии на один бит информации $\frac{P_c T_0}{N_0} = \ln 2 (\sim 0,7)$ обеспечивают многоосновные ортогональные шумоподобные сигналы. Реализация гармонии и принципов целостности обеспечивает энергетический потенциал сложного кодированного сигнала $\frac{E}{N_0} = \frac{P_c T_0}{N_0} B_{кис}$, где $B_{кис}$ – база многоосновных кодированных шумоподобных сигналов, определяется структурой сигналов и уровнем достигнутой гармонии.

Когда основание сложных сигналов M велико (в пределе $M \rightarrow \infty$), то база $B_{кис} \gg 1$, поэтому $\frac{E}{N_0} \gg 1$. Высокий энергетический потенциал $\frac{E}{N_0}$ обеспечивается за счет применения оптимальных способов формирования и обработки сложных сигналов.

В итоге достигается сколь угодно высокое качество передачи-приема информации (вероятность ошибки $p \rightarrow 0$), скорость передачи информации стремится к своему максимальному значению, определяемому пропускной способностью канала связи и все это выполняется с минимальными затратами энергетики на бит информации (при минимальном значении мощности сигнала P_c).

Благодаря К.Шеннону теоретически обоснован не только путь развития, но и принципы построения высокоэффективных информационных систем. Принципы гармонии и целостности являются всеобщими и универсальными в реализации высокоэффективных информационных систем.

Высшие общенаучные достижения в лучших технических системах помогут на основе использования изоморфизма познать принципы совершенствования энергоинформационных структур и систем различной природы, в том числе антропологических.

13. КАЧЕСТВО ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ МНОГОКАНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ

Как уже было доказано, важнейшим показателем качества функционирования информационной системы является достоверность (верность, помехоустойчивость) и она зависит от качественно-количественных показателей энергии взаимодействия сигналов, в частности, от количественных показателей гармонии – коэффициентов авто- и взаимной корреляции, определяющих также и базу сигналов.

При идеальной синхронизации и оптимальном поэлементном приеме индивидуальных ортогональных переносчиков информации достоверность их приема в многоканальной информационной системе будет совпадать с достоверностью приема ортогональных элементарных сигналов в одноканальной информационной системе. При этом справедливы соотношения:

$$x \rightarrow 0, \rho \rightarrow 1, r \rightarrow 0, \frac{E}{N_0} = \frac{E_0}{N_0} = \frac{P_c T_0}{N_0} = \frac{P_c}{P_{и}}, E = E_0(\rho - r) = E_0. E_0 - \text{собственная энергия сигналов.}$$

Однако при наличии асинхронизма наблюдаются существенные отличия коэффициентов авто- и взаимной корреляции ρ и r для одноканальных и многоканальных информационных систем.

Для одноканальных систем справедливы выражения $\rho \sim \rho_{ii}(x) = \int_{\{T_0\}} \eta_i(t+x)\eta_i(t)dt$, $i = \overline{1, 2}$ – коэффициент автокорреляции, определяет внутреннюю гармонию принимаемого сигнала $\eta_i(t+x)$ и эталонного (опорного) $\eta_{si}(t)$, формируемого в приемном устройстве. При идеальной синхронизации $\rho \sim \rho_{ii}(x) = 1$.

Величина $r \sim r_{ij}(x) = \int_{\{T_0\}} \eta_i(t+x)\eta_{j_i}(t)dt$, $i, j = \overline{1, 2}$, $i \neq j$ – коэффициент взаимной корреляции,

определяет внешнюю гармонию сигналов.

Для многоканальных систем коэффициент автокорреляции $\rho \sim \rho(x)$ определяется выражением

$$\rho \sim \rho_{ii}(x) = \int_{\{T_0\}} \eta_i(t+x)\eta_{i_i}(t)dt, \quad (13.1)$$

здесь принято допущение равенства между собой всех величин $\rho_{ii}(x)$, $i = \overline{1, m}$.

Коэффициент взаимной корреляции $r \sim r(x)$ определится выражением

$$r \sim r_{ij}(x) = \int_{\{T_0\}} \eta_i(t+x)\eta_{j_j}(t)dt, \quad i, j = \overline{1, m}, \quad i \neq j. \quad (13.2)$$

Физически величина $r(x)$ определяет взаимную энергию, точнее энергию помех, обусловленную переходом индивидуальных сигналов из одного канала в другой. Любая помеха, в том числе и переходная, ухудшает качество передачи полезной информации.

Учитывая выражение $S_T(t) = \sum_{i=1}^m c_i \eta_i(t)$ для группового сигнала многоканальной системы, можно записать интегральный показатель переходных помех-шумов неортогональности в каждом из каналов многоканальной информационной системы в виде

$$r(x) = \sum_{i=1}^m r_{ij}(x) = \sum_{i=1}^m \int_{\{T_0\}} \eta_i(t+x)\eta_{i_i}(t), \quad i \neq j. \quad (13.3)$$

В условиях асинхронизма и оптимального поэлементного приема коэффициенты взаимной корреляции принимаемых и эталонных сигналов одноканальных и многоканальных информационных систем существенно отличаются. В многоканальных информационных системах при постоянной мощности сигнала асинхронизм приводит к значительному росту энергии внешнего взаимодействия $E_0 r(x)$, падению базы сигналов, увеличению „шумов неортогональности”, снижению достоверности.

„Шумы неортогональности” — это внутренние шумы, их еще называют „информационная грязь”, или же системными помехами. Но они оказывают такое же мешающее воздействие на полезный сигнал, как и внешние естественные шумы (помехи). Слово системные отражает природу происхождения „шумов неортогональности” – это следствие низкого качества научного обоснования и проектирования технической энергоинформационной системы в целом и, прежде всего, заложенная изначально дисгармония базисных функций – первоосновы нормальной работы многоканальной системы.

Как следует из выражения (13.3), при фиксированном значении $r_{ij}(x)$ энергия „шумов неортогональности” увеличивается с ростом числа активно работающих абонентов. При любых конечных, но отличных от нуля значениях $r_{ij}(x)$, с ростом числа m возможно такое накопление энергии „шумов неортогональности”, что многоканальная система подавит себя сама, самоуничтожится.

Никто не станет пользоваться услугами системы обмена информацией, в которой абоненты будут мешать друг другу, либо подавлять энергетически других абонентов.

Негармонизированная антропологическая структура-коллектив, общество индивидов, в котором не сформулированы и не сформированы правила, эталоны, каноны этики взаимодействия людей, полностью подобна рассмотренной технической энергоинформационной многоканальной структуре с ярко выраженными „шумами неортогональности”, „информационной грязью”.

Чтобы обеспечить высокое качество обмена информацией, необходимо установить правила, законы наилучшего объединения элементов (компонент) в единую целостность и неукоснительно их выполнять. Это общие требования, необходимые для формирования гармонии. Они справедливы для всех энергоинформационных (биоэнергоинформационных) структур и систем различной природы.

Передача-прием информации в многоканальной системе – это единый процесс как формирования общего (группового) сигнала на основе объединения совокупности индивидуальных, так и выделение (селекция) индивидуальных сигналов из общего (группового) сигнала.

Гармония в многоканальных системах – это диалектическое единство как наилучшего способа объединения индивидуальных переносчиков информации различных абонентов в единое целое (групповой сигнал), так и наилучшего способа выделения (селекции) из единого целого (группового сигнала) индивидуальных сигналов различных абонентов. Гармония в биоэнергоинформационных (антропологических) структурах и системах – это диалектическое единство интересов эго и целого, личности и общества, возможностей роста энергетики индивида и энергетики коллектива.

Правильное взаимодействие абонентов в многоканальной системе обусловлено необходимостью эффективного использования дорогостоящих общих средств связи и линий связи (стволов) – проводных кабельных, волоконно-оптических, радиорелейных, спутниковых.

Гарантировать высшую помехоустойчивость и надежность функционирования многоканальной системы возможно на основе правильного выбора совокупности индивидуальных ортогональных базисных функций, используемых в качестве переносчиков информации.

Ортогональные переносчики информации при идеальной их синхронизации потенциально способны обеспечить идеальную гармонию информационных и эталонных сигналов в многоканальной информационной системе.

Обратимся вновь к „классическому” варианту процесса передачи и приема информации в многоканальной информационной системе (рис.11).

На передающей стороне имеется m независимых источников сообщений. Каждое сообщение преобразуется в передающем устройстве в цифровую (двоичную) информацию. Во всех m каналах цифровая информация передается в канал связи с помощью своих индивидуальных переносчиков $\eta_i(t)$, $i = 1, m$. Канал (линия) связи, или "ствол", является единым, общим для передачи информации от всех абонентов (пользователей), поэтому необходимо сформировать из индивидуальных групповой (линейный) составной сигнал

$$S_T(t, C) = \sum_{i=1}^m S_i(t, c) = \sum_{i=1}^m c_i \eta_i(t). \quad (13.4)$$

Решение по каждому информационному двоичному символу в приемном устройстве (рис.10) выносится на основе анализа энергии взаимодействия $E = E_0(\rho - r)$, здесь r – интегральный показатель переходных помех (шумов) неортогональности, определяющийся в соответствии с выражением (13.3), ρ – коэффициент автокорреляции.

Независимый способ формирования и обработки информации в каждом из каналов многоканальной системы обеспечивает количественную меру базы (гармонии) индивидуальных информационных и эталонных элементарных сигналов, равную $B_s = (\rho - r)$. При идеальной внутренней и внешней гармонии индивидуальных и эталонных сигналов $\rho = 1$, $r = 0$, следовательно $E = E_0$.

Главное достоинство рассматриваемого варианта использования многоканальной системы – обеспечение возможности двухстороннего энергоинформационного обмена между m абонентами. „Классический” вариант использования многоканальной системы приемлем в "мирный" период жизни абонентов.

В экстремальных случаях, в условиях чрезвычайных, "боевых", когда требуется высокий энергетический потенциал для надежной передачи информации, многоканальная система должна работать в ином – особом режиме.

Многоканальная система может обеспечить увеличение количественной меры базы сложных структур сигналов в m раз, но для этого надо отказаться от независимой передачи информации m абонентов и весь энергетический ресурс системы отдать в распоряжение одного абонента – лидера. Лидер для организации управления должен иметь в своем распоряжении полную энергоинформационную структуру.

С целью повышения надежности и достоверности управления в передающем устройстве многоканальной системы формируется обычный групповой сигнал. Однако групповой сигнал есть одновременно сложный составной сигнал размерности m , структура которой имеет вид

$$S(t, C) = S_T(t, C) = \sum_{i=1}^m c_i \eta_i(t).$$

Информационным здесь является лишь один символ, остальные $(m - 1)$ символы неинформационные, избыточные. Можно также считать, что каждый из m символов несет одну и ту же информацию, что сопровождается увеличением в m раз времени

передачи одного бита информации. Если $V = \frac{1}{T_0}$ – скорость передачи символов, T_0 – длительность одного бита информации, то длительность сложного составного сигнала будет $T = mT_0$. При этом энергия составного сигнала равна $E = mE_0$, E_0 – энергия одного индивидуального элементарного двоичного сигнала.

Полный ансамбль двоичных составных сигналов имеет вид

$$S_j(t, C) = \sum_{i=1}^m c_{ji} \eta_j(t), \quad j = \overline{1, M}, \quad M = 2^m. \quad (13.5)$$

Обработка в целом и принятие решения для такого ансамбля сигналов в приемном устройстве сводится к отысканию наиболее правдоподобной свертки

$$\int_{\{t\}} S_i(t, C) S_{\rightarrow j}(t, C) dt, \quad i, j = \overline{1, M}. \quad (13.6)$$

Максимальную достоверность обеспечивает когерентная обработка в целом с когерентным сложением базисных функций составного сигнала и некогерентная обработка в целом с синхронным накоплением огибающих базисных функций составного сигнала. С точки зрения достоверности указанные способы приема в целом практически равноценны, но синхронное накопление проще в технической реализации, нежели когерентное сложение.

Если установлена синхронизация по частоте, фазе, такту, циклу, то база B_c сложных составных сигналов $S_j(t, C)$, $j = \overline{1, M}$ при оптимальной их обработки в целом равна $B_c = m(\rho - r) = m$. Обработка в целом составного сигнала дает возможность вынести решение относительно информационного символа на основе использования энергии $E = mE_0$, что обеспечивает высокую достоверность передачи команд управления.

Рассматривая лучшие (оптимальные, квазиоптимальные) способы формирования, обработки, синхронизации элементарных сигналов в многоканальных системах и сложных (составных) сигналов в информационных одноканальных системах, можно сделать следующие выводы:

– качественно-количественные показатели внутреннего и внешнего взаимодействия элементарных сигналов E определяются собственной энергией E_0 и их формой в виде коэффициентов авто- и взаимной корреляции ρ и r , при этом

$$E = E_0(\rho - r); \quad (13.7)$$

– качественно-количественные показатели энергии внутреннего и внешнего взаимодействия сложных (составных) сигналов одноканальных информационных систем и групповых сигналов многоканальных информационных систем определяются энергией E_s и типом (видом, образом, характером) кодовой структуры, при этом

$$E = mE_s(\rho - r), \quad (13.8)$$

здесь: E_s – энергия элемента сложного составного сигнала одноканальной системы либо энергия индивидуального элементарного сигнала многоканальной системы;

m – число элементов кодовой структуры составного сигнала, либо число каналов многоканальной системы;

ρ и r – коэффициенты авто- и взаимной корреляции.

Если величина $(\rho - r)$ – количественная мера гармонии элементарных сигналов, то $m(\rho - r)$ – количественная мера гармонии сложных сигналов, сложных структур. Количественная мера гармонии учитывает совместно как размерность m , так и метрику $(\rho - r)$ функционального (векторного) пространства, определяющего математическую модель сигналов.

С физической точки зрения количественная мера гармонии сложных составных сигналов, сложных структур $m(\rho - r) = \frac{E}{E_s}$ характеризует потенциальный выигрыш по энергии, обеспечиваемый сложным сигналом по сравнению с собственной энергией одного элементарного индивидуального сигнала.

Энергия взаимодействия сложных сигналов достигает наивысшее значение
 $E = mE_0$, если $(\rho-r)=1$, $\rho=1$, $r=0$. (13.9)

Следовательно, на основе реализации гармонии сложных сигналов, сложных структур обеспечивается фокусирование энергии отдельных компонент.

Теоретическое и практическое освоение обработки в целом сложных составных сигналов произвело революцию как в радиолокации, так и системах управления и связи.

Анализ технических энергоинформационных систем показывает, что на основе гармонии сложных структур сигналов можно обеспечить рост энергии путем сложения потенциалов отдельных компонент.

Однако помимо сложения потенциалов компонент, гармония обеспечивает умножение потенциалов компонент, а также совместное сложение и умножение потенциалов компонент. Именно на такой основе можно получить эффект синергетического усиления энергии, когда наблюдается рост потенциала, пропорциональный степени размерности m сложной структуры, например, m^2 , m^3 , m^4 и т.д.

14. НАУЧНАЯ ПАРАДИГМА СИСТЕМНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ

Рассмотрим некоторые понятия, необходимые для системного анализа, системной оптимизации.

Элемент (от лат. *elementum*) – составная часть сложного целого.

Элементарный (от лат. *elementarius*)– простейший, первоначальный.

Компонент (от лат. *componens*) – составляющий, составная часть, элемент чего-либо.

Структура (от лат. *structura*) – строение, расположение, порядок.

Структура – совокупность элементов, компонент, образующих сложное составное целое.

Структура (от греч. *η δομη – доми*) – сочленение, компоновка.

Структура – целое, составленное из компонент, элементов, частей.

Структура – целое, составленное из предметов, объектов, субъектов.

Форма энергетического параметра в составной структуре может иметь вид $C = (c_1, c_2, \dots, c_m)$, где C – вектор, c_i – i -ый компонент, или проекция вектора на одну из его координат (осей), m – размерность вектора.

Система – совокупность элементов, структур и связей между ними, образующих некоторое единство, целостность.

Принципиально важным для системы по сравнению со структурой является следующее утверждение: в системе между элементами, предметами, объектами, субъектами должны быть функциональные, информационные соединения, связи. Минимальное количество элементов, компонент в системе равно двум. Когда количество компонент, элементов мало, то система называется элементарной (простой).

Если количество элементов, компонент велико (значительно больше единицы), система называется сложной, или большой.

Информационная (энергоинформационная) система – совокупность технических средств: элементов (устройств), структур и подсистем вместе с источником и получателем сообщений и связей между ними, объединенных в единое целое для передачи и приема информации (сообщений).

Информационная система достигает своей цели на основе взаимнооднозначного преобразования сообщений в индивидуальные, групповые и линейные сигналы в подсистеме передачи и обратного их преобразования в сообщения подсистемой приема.

Математическая модель энергоинформационного образа элемента определяется выражением

$$S = c\eta, \quad (14.1)$$

здесь c – энергетический параметр.

С математической точки зрения c – одномерная величина, или скаляр;

η – математический символ, обозначающий форму элемента. Этот символ характеризует уникальность (неповторимость) образа элемента.

Энергоинформационный образ элемента (компонента) может иметь более сложную форму, например,

$$S = C\eta, \quad (14.2)$$

где $C = (c_1, c_2, \dots, c_n)$ – многомерный энергетический параметр, вектор с компонентами (c_1, c_2, \dots, c_n) ;

η – форма образа элемента.

Совокупность $\{S_i\}_{i=1}^m$ образует алфавит, последовательность элементов, m – объем алфавита информационных элементов;

$S_i = c_i \eta_i$ – i -ый элемент, $i = \overline{1, m}$;

c_i – энергетический параметр, скаляр;

η_i – образы элементов.

На основе совокупности элементов строится многомерная информационная структура. Информационный элемент и информационная структура – основа, фундамент, стержень информационной системы. Элемент, структура и система связаны и объединены друг с другом. Это составляющие единой целостности.

Широкое применение находит многомерная структура, состоящая из m линейно независимых ортогональных компонент обобщенного ряда Фурье

$$S = \sum_{i=1}^m c_i \eta_i, \quad (14.3)$$

где η_i – ортонормированные базисные элементы,

c_i – коэффициенты разложения, одномерная величина, имеет энергетическую природу,

m – размерность обобщенного ряда.

Информационная структура как совокупность информационных элементов одновременно есть информационная подсистема.

Математически k -ую подсистему S_k информационной системы S можно представить в виде аналогичном выражению (14.3), т.е.

$$S_k = \sum_{i=1}^{m_k} c_{ki} \eta_i, \quad k = \overline{1, n}, \quad (14.4)$$

где c_{ki} – коэффициенты разложения,

η_i – базисные элементы,

m_k – размерность ряда k -ой подсистемы.

Таким образом, информационная система – это такая система, которая состоит из совокупности информационных подсистем, информационных структур или же информационных элементов. Их функционирование направлено на достижение единой цели.

В наиболее общем виде математическая модель информационной системы имеет вид

$$S = \sum_{k=1}^n S_k, \quad (14.5)$$

здесь S_k – независимые подсистемы,

n – размерность, или число подсистем.

Если $n \gg 1$, $m_k \gg 1$, то информационная система большая (сложная).

Принимая во внимание (14.4) и (14.5), математическая форма информационной системы может быть определена выражением

$$S = \sum_{k=1}^n S_k = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^{m_k} c_{ki} \eta_i. \quad (14.6)$$

Следовательно, информационная система – это, с одной стороны, многомерная совокупность подсистем S_k , $k = \overline{1, n}$, с другой стороны, многомерная совокупность базисных элементов $c_{ki} \eta_i$, $i = \overline{1, m_k}$, $k = \overline{1, n}$. Размерности n и m_k определяют соответственно число подсистем полной

системы и число базисных элементов в подсистеме. Когда $n \gg 1$, $m_k \gg 1$ (либо $n \cdot m_k \gg 1$), то информационная система является большой.

Функционирование информационной системы целиком и полностью определяется индивидуальными сигналами $S_i(t, c)$, $i = \overline{1, m_k}$ в элементах, а также групповыми сигналами $S_k(t, C)$, $k = \overline{1, n}$ в подсистемах и интегральным (линейным) сигналом $S(t)$ в полной (целостной) системе.

Математическая модель одномерного индивидуального сигнала в i -ом элементе имеет вид

$$S_i(t, c) = c_i \eta_i(t), \quad (14.7)$$

здесь c_i – энергетический параметр, скаляр,

$\eta_i(t)$ – базисная функция, определяющая сигнал i -го элемента.

Математическая модель многомерного группового сигнала в k -ой подсистеме

$$S_k(t, C) = \sum_{i=1}^{m_k} c_{ki} \eta_i(t), \quad k = \overline{1, n}, \quad (14.8)$$

где $C = (c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{km_k})$ – вектор энергетических параметров группового сигнала k -ой подсистемы,

c_{ki} – энергетический параметр i -го элемента k -ой подсистемы,

$\eta_i(t)$, $i = \overline{1, m_k}$ – базисные функции, описывающие индивидуальные сигналы k -ой подсистемы.

Общий (линейный) сигнал $S(t)$ в информационной системе можно представить в виде следующего энергоинформационного многомерного образа

$$S(t) = \sum_{k=1}^n S_k(t, C) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^{m_k} c_{ki} \eta_i(t). \quad (14.9)$$

Таким образом, любая информационная система – это многомерная совокупность групповых сигналов $S_k(t, C)$ подсистем S_k , $k = \overline{1, n}$ и многомерная совокупность индивидуальных сигналов $c_{ki} \eta_i(t)$, $i = \overline{1, m_k}$, $k = \overline{1, n}$ в соответствующих информационных элементах.

Рассмотрим многоканальную информационную систему в качестве примера большой системы.

Структурная схема передатчика и приемника одного из вариантов построения многоканальной информационной системы представлена на рис.10 и рис.11.

Сердцевиной любой многоканальной информационной системы являются индивидуальные сигналы – переносчики информации. В качестве индивидуальных переносчиков информации целесообразно использовать совокупность ортогональных сигналов. Рассмотрим примеры ортогональных энергоинформационных сигналов (функций).

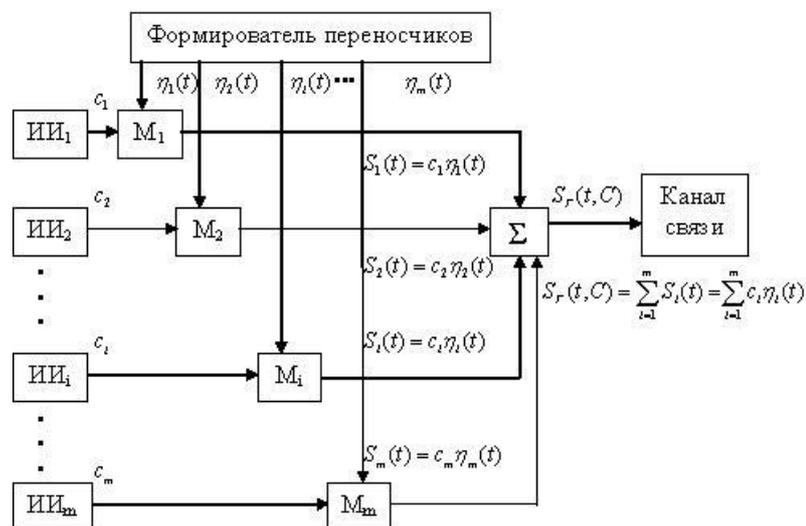


Рис. 11 Передающее устройство многоканальной системы.

Простейшим примером ортогональных функций являются гармонические

$$S(x) = a \cos x, \quad S(x) = b \sin x,$$

где a, b – постоянные коэффициенты;

x – текущая переменная.

Приведенная функция $S(x)$ – элементарная, простая.

В спектрально-корреляционной теории сигналов широко используется совокупность гармонических частот вида:

$$S(t) = \eta(t) = \begin{cases} \cos \omega t, \cos 2\omega t, \dots, \cos m\omega t, \\ \sin \omega t, \sin 2\omega t, \dots, \sin m\omega t. \end{cases}$$

Приведенные функции ортогональны на интервале наблюдения $\{t\} = T_0 = \frac{1}{f} = \frac{2\pi}{\omega}$.

Совокупность одномерных элементарных гармонических функций образует многомерную структуру – ряд Фурье

$$S(x) = \sum_{i=1}^m [a_i \cos ix + b_i \sin ix],$$

m – размерность ряда.

Ряд Фурье – математическая трактовка процесса объединения отдельных компонент в единое целое.

Развитием ряда Фурье служит обобщенный (канонический, правильный) ряд Фурье

$$S(t, C) = \sum_{i=1}^m c_i \eta_i(t),$$

здесь c_i – коэффициенты разложения, скаляр;

C – вектор коэффициентов разложения;

$\eta_i(t)$ – нормированные линейно независимые базисные функции;

m – размерность ряда.

В качестве базисных функций могут использоваться гармонические, полиномиальные, Уолша функции и др.

Гармонические колебания используются для формирования одиночных, двоичных элементарных сигналов амплитудной, частотной и фазовой модуляции во всех энергоинформационных системах.

Большая многоканальная информационная система S математически определяется выражением

$$S = \sum_{i=1}^m S_i, \quad (14.10)$$

где S_i – одноканальные энергоинформационные подсистемы, размерность большой многоканальной системы $m \gg 1$.

В состав каждой из подсистем передатчика входит источник информации $ИИ_i$ и базовый энергоинформационный элемент M_i (модулятор), $i = \overline{1, m}$.

Индивидуальные информационные сигналы в передатчике имеют вид $S_i(t, c) = c_i \eta_i(t)$, $i = \overline{1, m}$.
Общий (групповой) сигнал описывается обобщенным рядом Фурье

$$S_T(t, C) = \sum_{i=1}^m S_i(t, c) = \sum_{i=1}^m c_i \eta_i(t). \quad (14.11)$$

здесь $C = (c_1, c_2, \dots, c_m)$ – информационный вектор,

c_i , $i = \overline{1, m}$ – информационные символы вектора C ,

$\eta_i(t)$ – ортогональные переносчики информации многоканальной системы,

m – число каналов системы.

В приемнике многоканальной информационной системы (рис.12) на основе анализа группового сигнала $S_T(t, C)$ подсистема оптимальной синхронизации формирует синхронные и синфазные эталонные (опорные) сигналы $\eta_{i_i}(t)$, $i = \overline{1, m}$.

С помощью демодуляторов $ДМ_i$, $i = \overline{1, m}$, базовым энергоинформационным элементом (устройством) которого является коррелятор (либо согласованный фильтр), осуществляется оптимальная селекция (разделение) индивидуальных сигналов $S_i(t, c) = c_i \eta_i(t)$ и оптимальная их обработка. После демодуляции информационные символы c_i поступают к „своим” получателям информации $ПИ_i$, $i = \overline{1, m}$.

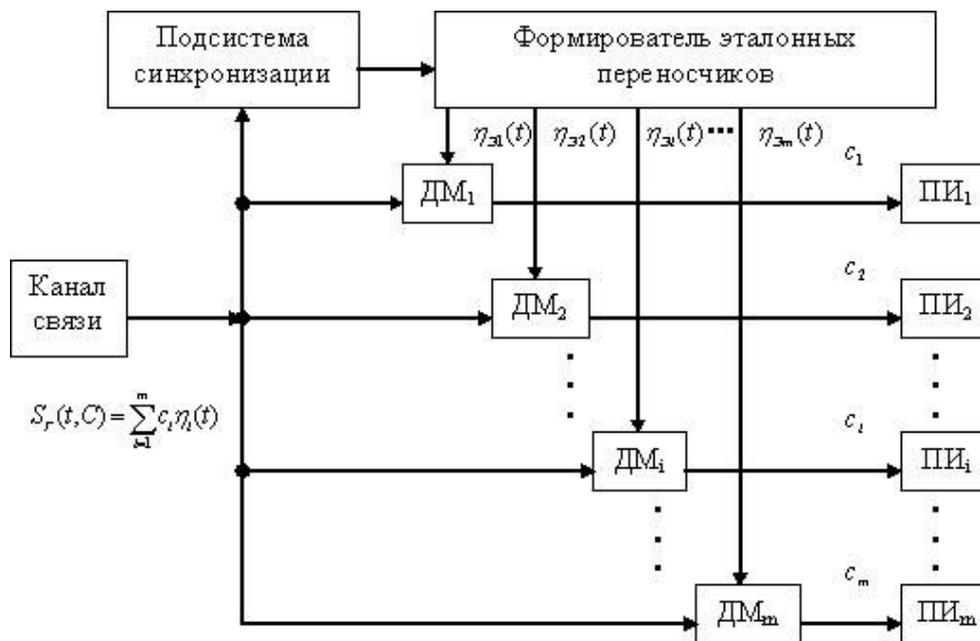


Рис. 12 Приемное устройство многоканальной системы

Действие оператора оптимального разделения (селекции) $П_j$ (операции выделения j -го индивидуального информационного сигнала) сводится к вычислению операции свертки

$$П_j \{ S_T(t, C) \} = П_j \left\{ \sum_{i=1}^m c_i \eta_i(t) \right\} = \sum_{i=1}^m П_j c_i \eta_i(t) = \sum_{i=1}^m c_i \int_{\{t\}} \eta_i(t) \eta_{j_i}(t) dt = \begin{cases} c_j, & i = j, \\ 0, & i \neq j. \end{cases} \quad (14.12)$$

Оператор оптимального разделения способен наилучшим образом выделить "свой" сигнал и не допустить проникновения „чужих”. Чтобы это обеспечить переносчики информации $\eta_i(t)$, $i = \overline{1, m}$ должны быть ортогональными.

Ортогональность – достаточное условие разделения между собой переносчиков информации в многоканальных информационных системах, а также базисных компонент сложных составных сигналов. Ортогональные компоненты обладают качествами исключительности и неповторимости, что и позволяет надежно их селектировать, выделять из единого целого, которое само сформировано путем сложения отдельных компонент.

Ортогональные переносчики позволяют строить синхронные многоканальные информационные системы с разделением сигналов по форме.

Реализация синхронных многоканальных систем сопряжено со значительными техническими трудностями построения подсистем синхронизации. Подсистему синхронизации можно упростить, если использовать переносчики, удовлетворяющие условию ортогональности в усиленном смысле.

Условию ортогональности в усиленном смысле удовлетворяют следующие элементы ряда Фурье:

$$\eta_1(t) = \cos \omega t, \quad \eta_2(t) = \cos 2\omega t, \quad \dots, \quad \eta_m(t) = \cos m\omega t,$$

либо

$$\eta_1(t) = \sin \omega t, \quad \eta_2(t) = \sin 2\omega t, \quad \dots, \quad \eta_m(t) = \sin m\omega t.$$

В общем виде условие ортогональности в усиленном смысле определяется выражением

$$(\eta_i \cdot \eta_j) = \int_{\{T_0\}} \eta_i(t + \tau) \eta_j(t) dt = 0, \quad i \neq j, \quad 0 \leq \tau \leq T_0, \quad (14.13)$$

T_0 – длительность сигнала.

Рассмотрим методику вычисления энергии взаимодействия сигналов применительно к многоканальной информационной системе.

Исходные условия:

- $S_i(t, c) = c_i \eta_i(t)$, $i = \overline{1, m}$ – совокупность индивидуальных информационных ортогональных сигналов, сформированных в подсистеме передачи многоканальной системы;
- в подсистеме приема используются оптимальные способы обработки сигналов и целостная синхронизация, т.е. сформирована совокупность эталонных (опорных) индивидуальных сигналов $S_{\text{э}i}(t, c) = c_{\text{э}i} \eta_{\text{э}i}(t)$, $i = \overline{1, m}$.

Будем считать, что совокупность индивидуальных сигналов в подсистемах передачи и приема является эквидистантной (равноэнергетической), следовательно, собственная энергия индивидуальных сигналов на интервале наблюдения $\{T_0\}$ равна

$$\int_{\{T_0\}} S_i^2(t, c) dt = E_{0i}, \quad i = \overline{1, m},$$

$$\int_{\{T_0\}} S_{\text{э}i}^2(t, c) dt = E_{0i}, \quad i = \overline{1, m},$$

здесь $E_{01} = E_{02} = \dots = E_{0i} = \dots = E_{0m} = E_0$.

Энергия внутреннего взаимодействия любого из индивидуальных информационных сигналов многоканальной системы со своим эталоном имеет вид

$$E_{1i} = \int_{\{T_0\}} S_i(t, c) S_{\text{э}i}(t, c) dt = E_0 \rho_i, \quad i = \overline{1, m}, \quad (14.14)$$

где $\rho_i = \frac{1}{E_0} \int_{\{T_0\}} S_i(t, c) S_{\text{э}i}(t, c) dt$ – коэффициент автокорреляции.

Для упрощения анализа будем считать, что $\rho_1 = \rho_2 = \dots = \rho_m = \rho$. Следовательно, $E_0 \rho_i = E_0 \rho$, $E_{1i} = E_1 = E_0 \rho$, $i = \overline{1, m}$.

С теоретической и практической точек зрения интерес представляют два крайних случая:

- полное согласование информационных и эталонных индивидуальных сигналов;
- между информационными и эталонными индивидуальными сигналами существует рассогласование, определяемое обобщенным показателем x или $x(t)$. Здесь x – постоянная на интервале наблюдения $\{T_0\}$, величина рассогласования, $x(t)$ – процесс рассогласования. В дальнейшем для упрощения анализа показатель рассогласования будет представлен величиной x .

При полном согласовании информационных и эталонных индивидуальных сигналов существует совпадение, слияние, равенство $S_i(t, c) = S_{\text{э}i}(t, c)$, $\eta_i(t) = \eta_{\text{э}i}(t)$, $i = \overline{1, m}$.

В корреляторе имеет место многопараметрический резонанс, вследствие чего коэффициент автокорреляции достигает максимума ($\rho \rightarrow 1$). Энергия внутреннего взаимодействия становится максимальной $E_1 = E_0 \rho = E_0$ и равной значению собственной энергии индивидуальных сигналов. Таким образом, в режиме резонанса обеспечиваются высшие количественные и качественные показатели энергии внутреннего взаимодействия рассматриваемых сигналов.

Ортогональные сигналы позволяют сформировать высшие показатели энергии внутреннего взаимодействия, при этом выполняются условия $\rho \rightarrow 1$, $E_1 = E_0 \rho \rightarrow E_0$.

При рассогласовании информационных и эталонных индивидуальных сигналов справедливо соотношение $S_{\text{э}i}(t, c) = S_i(t + x, c)$, $i = \overline{1, m}$, следовательно, энергия внутреннего взаимодействия будет равна

$$E_1(x) = \int_{\{T_0\}} S_i(t,c)S_{\bar{j}i}(t,c)dt = \int_{\{T_0\}} S_i(t,c)S_i(t+x,c)dt = E_0\rho_1(x) = E_0\rho(x), \quad i = \overline{1,m}, \quad (14.15)$$

$$\rho_1(x) = \rho(x) = \frac{1}{E_0} \int_{\{T_0\}} S_i(t,c)S_i(t+x,c)dt, \quad i = \overline{1,m} - \text{коэффициент автокорреляции информационных и}$$

эталонных сигналов при их рассогласовании.

Энергия внешнего взаимодействия между информационным и эталонным индивидуальным сигналом в многоканальной системе определяется выражением

$$E_{2II} = \int_{\{T_0\}} S_i(t,c)S_{\bar{j}j}(t,c)dt = E_0r_{ij}, \quad i \neq j, \quad i, j = \overline{1,m}, \quad (14.16)$$

где $r_{ij} = \frac{1}{E_0} \int_{\{T_0\}} S_i(t,c)S_{\bar{j}j}(t,c)dt$ – коэффициент взаимной корреляции указанных сигналов.

Для упрощения математических выражений будем считать, что $r_{ij} = r = const$, $i, j = \overline{1,m}$, следовательно, $E_0r_{ij} = E_0r$.

Величина $E_{2II} = E_0r$ характеризует в информационных системах энергию „шумов неортогональности”, или „системных помех”. Ортогональные сигналы обеспечивают коэффициент взаимной корреляции $r = 0$, величина $E_{0r} = 0$. Физически это означает, что в многоканальной системе отсутствует "информационная грязь" и нет ограничений по наращиванию большого (потенциально возможного) количества каналов.

При рассогласовании информационных и эталонных сигналов $S_{\bar{j}j}(t,c) = S_j(t+x,c)$, поэтому

$$E_{2II}(x) = \int_{\{T_0\}} S_i(t,c)S_{\bar{j}j}(t,c)dt = \int_{\{T_0\}} S_i(t,c)S_j(t+x,c)dt = E_0r_{ij}(x) = E_0r, \quad i, j = \overline{1,m} \quad (14.17)$$

Наличие „шумов неортогональности” снижает качество работы информационной системы.

Полная энергия взаимодействия, включающая в себя энергию внутреннего и внешнего взаимодействия индивидуальных информационных и эталонных сигналов, в многоканальной системе будет

$$E_{2II} = \int_{\{T_0\}} S_i(t,c)S_{\bar{j}j}(t,c)dt = \begin{cases} E_0\rho, & i = j, \\ E_0r, & i \neq j, \end{cases} \quad i, j = \overline{1,m}. \quad (14.18)$$

Для ортогональных сигналов коэффициенты авто и взаимной корреляции имеют следующие значения

$$\frac{1}{E_0} \int_{\{T_0\}} S_i(t,c)S_{\bar{j}j}(t,c)dt = \begin{cases} \rho = 1, & i = j, \\ r = 0, & i \neq j, \end{cases} \quad i, j = \overline{1,m},$$

следовательно, ортогональные индивидуальные сигналы потенциально способны обеспечить формирование идеально гармонизированной многоканальной информационной системы, реализующей высшие количественные и качественные показатели полной энергии внутреннего и внешнего взаимодействия $E_{2III} = E_0$.

В основу научной парадигмы системной оптимизации многоканальной информационной системы положен способ установления гармонии совокупности индивидуальных информационных сигналов $S_i(t,c)$, $i = \overline{1,m}$ и эталонных $S_{\bar{j}i}(t,c)$, $i = \overline{1,m}$ сигналов путем их сравнения с помощью вычисления операции свертки.

Практическое внедрение принципов гармонии и целостности обеспечивается на основе:

– формирования совокупности индивидуальных ортогональных переносчиков информации $S_i(t,c) = c_i\eta_i(t)$, $i = \overline{1,m}$ в подсистеме передачи;

– формирование совокупности индивидуальных эталонных ортогональных сигналов $S_{\bar{j}i}(t,c) = \eta_{\bar{j}i}(t)$, $i = \overline{1,m}$ в подсистеме приема;

– синтеза совокупности устройств оптимальной селекции и обработки в подсистеме приема совместно с целостной оптимальной подсистемой синхронизации путем максимизации гармонии – коэффициентов автокорреляции $\rho(x)$ и минимизации коэффициентов взаимной корреляции $r(x)$.

Следовательно, системная оптимизация может осуществляться на основе установления гармонии между совокупностью индивидуальных информационных $S_i(t, c)$, $i = \overline{1, m}$ и индивидуальных эталонных $S_{ji}(t, c)$, $i = \overline{1, m}$ сигналов. В этом случае имеет место поэлементная оптимизация в каждой одноканальной подсистеме полной многоканальной системы.

Осуществить системную оптимизацию возможно также и на основе установления гармонии группового информационного сигнала $S_r(t, C)$ с эталонными сигналами. Собственная энергия группового (целостного) сигнала $S_r(t, C) = \sum_{i=1}^m S_i(t, c)$ определяется выражением

$$\int_{\{T_0\}} S_r^2(t, C) dt = \sum_{i=1}^m \int_{\{T_0\}} S_i^2(t, c) dt = mE_0. \quad (14.19)$$

Когерентное (синхронное) сложение совокупности индивидуальных сигналов обеспечивает количественный рост энергии целостного сигнала в m раз по сравнению с энергией индивидуального сигнала.

Энергия внутреннего взаимодействия между групповым информационным и групповым эталонным будет

$$E_{1r} = \int_{\{T_0\}} \sum_{i=1}^m S_i(t, c) \sum_{i=1}^m S_{ji}(t, c) dt = \sum_{i=1}^m \int_{\{T_0\}} S_i(t, c) S_{ji}(t, c) dt = mE_0 \rho_i = mE_0 \rho, \quad i = \overline{1, m}, \quad (14.20)$$

$$\rho = \rho_i = \frac{1}{E_0} \int_{\{T_0\}} S_i(t, c) S_{ji}(t, c) dt, \quad i = j, \quad i, j = \overline{1, m}, \quad - \text{коэффициент автокорреляции между}$$

индивидуальным и эталонным сигналами.

Энергия внешнего взаимодействия между групповым информационным сигналом $S_r(t, C)$ и эталонным индивидуальным $S_{ji}(t, c)$, $j = \overline{1, m}$ имеет вид

$$E_{2r} = \int_{\{T_0\}} S_r(t, C) S_{ji}(t, c) dt = \sum_{i=1}^m \int_{\{T_0\}} S_i(t, c) S_{ji}(t, c) dt = \sum_{i=1}^m E_0 r_{ij} = mE_0 r, \quad (14.21)$$

$$r = r_{ij} = \frac{1}{E_0} \int_{\{T_0\}} S_i(t, c) S_{ji}(t, c) dt, \quad i \neq j, \quad i, j = \overline{1, m}, \quad - \text{коэффициент взаимной корреляции между}$$

индивидуальным и эталонным сигналами.

Процесс одновременной максимизации совокупности коэффициентов автокорреляции $\rho = \rho(x)$ (x – обобщенный параметр асинхронизма) и минимизации совокупности коэффициентов взаимной корреляции $r = r(x)$ обеспечивают реализацию системной оптимизации многоканальной информационной системы на основе индивидуальной (поэлементной) обработки информационных сигналов $S_i(t, c)$, $i = \overline{1, m}$.

Однако групповой сигнал $S_r(t, C) = \sum_{i=1}^m S_i(t, c)$ – это, с одной стороны, совокупность индивидуальных элементарных сигналов $\sum_{i=1}^m S_i(t, c)$, где c – скаляр, с другой стороны, сложный составной сигнал $S_r(t, C)$, где $C = (c_1, c_2, \dots, c_m)$ – вектор. Если сигналы $S_i(t, c)$ обеспечивают индивидуальную гармонию, то $S_r(t, C)$ – групповую, или структурную гармонию, зависящую от вектора C .

Структурная (групповая) гармония – это наилучший способ объединения компонент (составляющих) в единое целое.

Критерием качества объединения компонент для энергоинформационных структур служит энергия. Наилучший способ объединения (сложения) компонент на основе когерентного (синхронного) их накопления может обеспечить формирование энергии, формируя полную энергию $E = mE_0$ высокого качества и количества, где E_0 – энергия индивидуального информационного сигнала, m – число компонент группового сигнала.

Полная системная оптимизация включает в себя индивидуальную гармонизацию на уровне индивидуальных информационных и эталонных сигналов и структурную (групповую) гармонизацию на уровне группового сигнала. Установление индивидуальной и структурной (групповой) гармонии позволяет достичь максимального значения энергии взаимодействия в многоканальной информационной системе, равное mE_0 , m – число каналов, E_0 – собственная энергия индивидуального сигнала в одном канале.

Таким образом, системная оптимизация, реализованная на основе использования принципов гармонии и целостности, позволяет осуществить формирование – фокусирование полной энергии mE_0 многоканальной информационной системы путем когерентного (синхронного) сложения энергий E_0 отдельных компонент.

При синхронизме (дисгармонии) происходит снижение количества и качества энергии взаимодействия многоканальной информационной системы в соответствии с выражением

$$E = mE_0(\rho - r).$$

Коэффициенты авто- и взаимной корреляции, определяющие количественно гармонию, в существенной мере влияют на количество и качество энергии взаимодействия многоканальной системы.

Анализ системной оптимизации позволяет сделать выводы:

1. Системная оптимизация, основанная на использовании принципов гармонии и целостности, обеспечивает реализацию потенциально возможных энергоинформационных показателей простых и сложных систем.

2. Системная оптимизация может осуществляться на основе установления индивидуальной гармонии элементов – гармонии между совокупностью индивидуальных информационных $S_i(t, c)$, $i = \overline{1, m}$ и индивидуальных эталонных $S_{ji}(t, c)$, $i = \overline{1, m}$ сигналов. В этом случае имеет место поэлементная оптимизация в каждой элементарной подсистеме полной информационной системы. Энергия взаимодействия достигает величины $E = E_0(\rho - r) = E_0$, E_0 – энергия информационного элемента, $(\rho - r)$ – гармония элементов.

3. Системная оптимизация, основанная на использовании принципов гармонии и целостности, обеспечивает высшие качественно-количественные показатели сложных информационных систем путем установления структурной (групповой) гармонии. Полная энергия взаимодействия при этом достигает величины $E = mE_0(\rho - r) = mE_0$, E_0 – энергия элемента, m – число элементов сложной структуры, $m(\rho - r)$ – гармония структуры.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Научное обоснование способов формирования нового, совершенного человека – проблема не только чрезвычайной важности, но и чрезвычайной сложности.

Мы уверены в том, что с научной и методической точки зрения решение указанной проблемы будет облегчено путем условного разделения ее на две части.

Первая часть – проведение анализа и синтеза оптимальных технических простых и сложных энергоинформационных элементов, структур и систем различной природы.

Вторая часть – научное обоснование с использованием изоморфизма способов формирования совершенного человека как сложной энергоинформационной (биоэнергоинформационной) сущности, структуры, системы.

Энергия и информация – это то, что объединяет ВСЕ, казалось бы, необъединимым и помогает решить то, что считалось нерешаемым. Таков наш подход в решении проблемы формирования аристос антропос – совершенного человека.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шеннон Клод. Работы по теории информации и кибернетике/ Перев с англ. – М.: Издательство ИЛ, 1963. – 829 с.
2. Липтон Брюс. Биология убеждений: Кто управляет сознанием клеток/ Перев с англ. – М.: ООО Издательство "София", 2010. – 224 с.
3. Липтон Брюс Х., Бхаэрман Стив. Спонтанная эволюция: Позитивное будущее и как туда добраться/ Перев. с англ. – М.: ООО Издательство "София", 2010. – 576 с.

N.P. SUVOROV, I.G. SUVOROVA

COSMOTHEORY CONCEPTS. PRINCIPLES OF HARMONY AND INTEGRITY IN ENERGY SYSTEMS (Communication 23)

The authors have continued to research ways of forming the perfect person, based on the knowledge of principles of optimal energy-systems of different nature.

Keywords: harmony, integrity.

Дата поступления 09.07.2012 г.