

УДК 62.50

<sup>1</sup>В.В. Павлов, д.т.н., проф.  
<sup>2</sup>В.И. Чепиженко, к.т.н., с.н.с.

## МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТРУКТУРНОГО ФРАКТАЛА СЛОЖНОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

<sup>1</sup>Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН Украины  
E-mail: vpavlov@nau.edu.ua

<sup>2</sup>Государственный научно-исследовательский институт авиации  
E-mail: chiv@nau.edu.ua

*На основе системной концепции исследования динамических процессов эволюции технического состояния сложных, функционально целостных технических систем на всем интервале их жизненного цикла разработана многофункциональная динамическая модель структурного фрактала сложной технической системы.*

**жизненный цикл, интегрированная модель, информация, сложная техническая система, фрактал, функциональное состояние, энергия**

### Постановка проблемы

Современный период экономики Украины характеризуется:

- внедрением сложных рыночных механизмов хозяйствования;
- наличием конфликтов вокруг ограниченных ресурсов;
- существенными финансовыми ограничениями возможностей отечественных предприятий по обновлению и техническому переоснащению производственных мощностей.

Недостаточное обновление парка сложных технических систем (СТС) требует проведения дорогостоящих исследований, направленных на определение их технического и функционального состояний, а также разработки мероприятий по управлению этими состояниями на расширенном эксплуатационном интервале жизненного цикла СТС. Необходимость в проведении аналогичных исследований возникает и при разработке новых СТС, например, в авиационной отрасли Украины это создание региональных сегментов системы аэронавигационного обслуживания по концепции CNS/ATM [1], автоматизированной системы управления (АСУ) авиацией и противовоздушной обороной в Воздушных Силах Украины [2].

Актуальность и особенности исследования СТС связаны с такими факторами:

- ростом ответственности при принятии решений с целью обеспечения качества проектных решений, реализации программ эксплуатации систем и обеспечения эффективности их функционирования;

– противоречиями между существующими технико-экономическими показателями, характеризующими состояние систем и элементов, и повышенными требованиями к их безотказному функционированию;

– необходимостью увеличения материальных затрат на обеспечение безотказности и высокого уровня технического состояния после длительной эксплуатации систем;

– отсутствием возможностей финансового обеспечения;

– необходимостью разработки новых научно обоснованных методов управления функциональным состоянием как на этапе создания таких сложных систем, так и на этапе их эксплуатации.

### Анализ последних исследований и публикаций

Выбор направлений исследования СТС зависит от того, что понимают под системой. От этого в значительной степени зависит решение вопроса о специфических признаках системного подхода и системного анализа, а также в целом системных исследований [3].

В научной литературе существует четыре основных определения системы.

Первую группу составляют наиболее общие определения системы как комплекса элементов, находящихся во взаимодействии [4]. По этому определению системой могут оказаться два любых произвольно выбранных объекта с очень слабыми связями.

Вторая группа определений отражает точку зрения кибернетики, согласно которой выделяются входы и выходы системы [5]. При этом используется концепция "черного ящика", т.е. не раскрывается внутреннее, структурное содержание системы (ящика).

Третью группу составляют определения системы, связывающие её с целенаправленной активностью. Цель – это состояние, которое система должна достичь в процессе своего функционирования [6]. Это направление было развито П. К. Анохиным применительно к функциональным системам. Согласно определению П.К. Анохина строгое сочетание процессов и структур, объединенных для достижения цели, носит название функциональной системы [7].

Четвертую группу определений системы составляют категории: «вещи», «свойства», «отношения», которыми должен обладать объект, чтобы его можно было отнести к категории «система» [8].

Обобщая эти определения, выделим основные характерные черты системы:

- наличие взаимосвязанных элементов или частей;
- наличие входов и выходов;
- функционирование для достижения заданной цели.

Однако это не дает полного определения СТС, так как не содержится описания самого процесса функционирования систем, который характеризуется динамическими (силовыми) и информационными характеристиками. О необходимости такого описания упоминали многие ученые.

В своей статье [9] Ю.М. Горский указывал, что обсуждение вопросов об отношении между информацией и энергией в процессах управления имеет большое значение для развития кибернетики и системного анализа. Однако трудности заключаются в том, что, во-первых, основное понятие кибернетики – информация – еще не имеет достаточно четкого определения, во-вторых, большинство ученых, работающих в области кибернетики, полностью абстрагируются от энергетического фактора.

Для устранения этого затруднения В.Е. Вершин в работе [10] предлагает в связи с созданием теории, связанной с управлением функционированием систем, определить методологические основы для

создания математических моделей. Ими могут быть принципы, основанные на использовании основных законов энергодинамики.

Аналогичные выводы делает Б.Б. Кадомцев. В более сложных системах со сложно организованной внутренней структурой возможно расщепление единой системы на две тесно связанные друг с другом подсистемы. Одну из них по-прежнему можно называть динамической или силовой, а вторую – информационной или управляющей подсистемой [11].

Анализ публикаций и исследований по данной проблеме показывает, что сложившиеся научно-практические подходы не позволяют синтезировать интегрированное единое модельное представление об информационных и энергетических процессах, протекающих в системах. Отсутствуют также подходы одновременных системных исследований динамики основного процесса функционирования системы с динамикой ее структурного и функционального состояний с учетом динамики затрат на изменение этих состояний.

**Целью** данной статьи является разработка и формализация универсальной модели, обладающей большой степенью общности для систем различного вида и устраняющей приведенные противоречия.

#### **Изложение основного материала исследования**

В работе [12] была предложена системная концепция исследования динамических процессов эволюции состояния сложных, функционально целостных технических систем на всем интервале их жизненного цикла на основе использования информационно-энергетической модели общего положения. Такая модель (рис. 1) предусматривает многоуровневое динамическое представление как информационных, так и энергетических и стоимостных процессов, протекающих в процессе функционирования сложных технических систем на эксплуатационном этапе их жизненного цикла.

Модель системы  $M_{XSC}$  представлена в форме структуры, содержащей три основные страты:

- страту функциональной динамики системы  $X$ ;
- страту динамики виртуальных изменений параметров системы  $S$ ;
- страту динамики технико-экономических изменений системы (стоимости физического и морально-го старения системы в процессе ее эксплуатации)  $C$ .

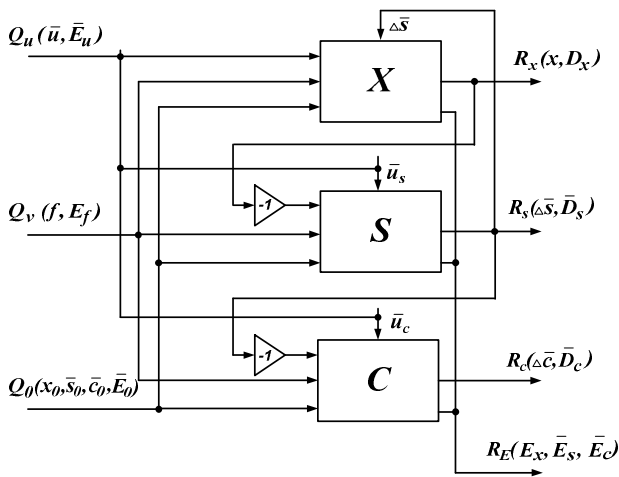


Рис. 1. Информационно-энергетическая модель  $M_{XSC}$  общего положения

Под виртуальными перемещениями параметров динамической системы будем понимать возможные структурные, параметрические и функциональные эволюционные (деградационные) изменения параметров и конфигурации системы, обусловленные ее функционированием (протекание и преобразованием в системе энергии, направленной на совершение работы) на всем эксплуатационном интервале жизненного цикла.

Понятие «виртуальные перемещения» в данной трактовке согласуется с используемым в классической теории автоматического управления понятием обобщенной работы, в которое вкладывается смысл возможных энергетических затрат на управление [13].

Для формализации структурного и функционального содержания страты динамики технико-экономических изменений системы был использован принцип энергетического баланса [14; 15]. Это позволило рассматривать стоимость как эквивалент понятия «энергия».

Предложенное формирование структуры модели предполагает полное согласование входов-выходов соединенных между собой страт, соответствующее общему формальному описанию модели сопряжения агрегатов, предложенному в работах [16–19]:

- взаимодействие между стратами внутри модели осуществляется посредством передачи сигналов (взаимное влияние, осуществляемое вне механизма обмена сигналами, не учитывается);
- внешняя среда характеризуется совокупностью входных  $Q_v$  и выходных  $R_D$  сигналов;
- структура связей между стратами определяется набором фактически реализованных индивидуальных каналов.

На вход модели  $M_{XSC}$  подаются управляющие векторные сигналы целевого управления  $Q_u$ , возмущений  $Q_v$ , а также начальных условий  $Q_0$ .

Выходами модели  $M_{XSC}$  являются:

- вектор  $R_x$  обобщенных координат (основного функционального поведения) системы;
- вектор параметров системы  $R_s$ , характеризующих ее техническое состояние;
- вектор  $R_c$ , характеризующий стоимостное выражение физического и морального старения системы;
- вектор полезной энергии  $R_E$ .

Детально потоки сигналов, протекающих через модель  $M_{XSC}$ , представлены на рис. 2.

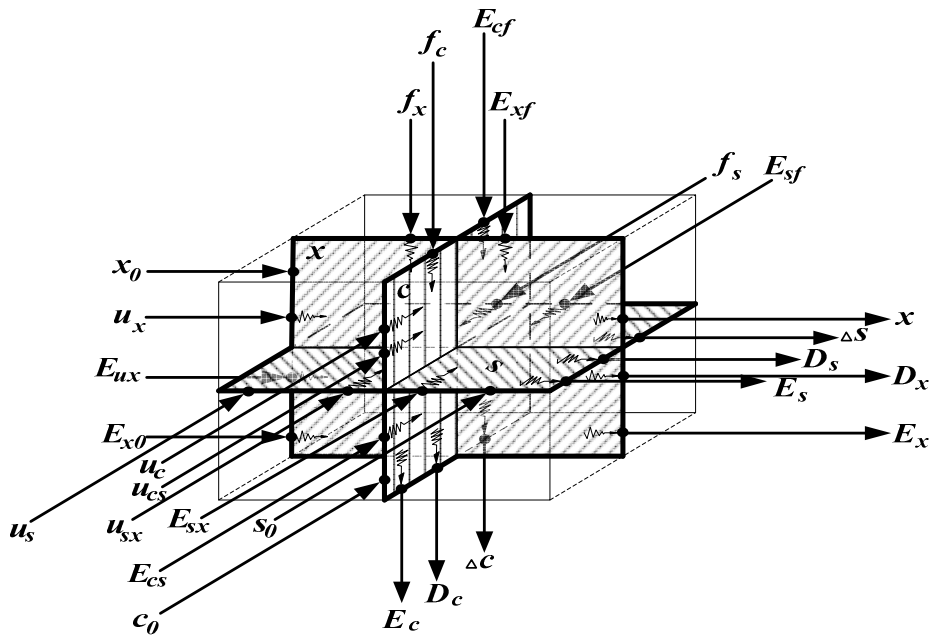


Рис. 2. Потоки сигналов, протекающих через модель  $M_{XSC}$

Всю совокупность сигналов разделим на истоки и стоки. На страту  $X$  в качестве истоков подаются:

1) исток управления функциональным состоянием:

- управление, направленное на обеспечение целевого функционирования системы,  $u_x$ ;
- полезная энергия, предназначенная для обеспечения целевого функционирования системы,  $E_{ux}$ ;
- энергия, заложенная в конструкцию системы в момент времени  $t_1$ , характеризующий начало эксплуатации новой системы (изделия),  $E_{x0}$ ;

2) исток возмущения функционального состояния:

- сигнал возмущения, приведенного к входу страты  $X$  целевого функционирования системы,  $f_x$ ;
- трехкомпонентный вектор энергии возмущения целевого функционирования системы  $\bar{E}_{xf}$ ;

3) сток страты функционального состояния:

- выходная координата системы  $x$ ;
- общие потери энергии в системе, вызванные ее конструктивными и эксплуатационными особенностями (люфты в сочленениях, трение, взаимодействие с другими элементами СТС и т.д.),  $D_x$ ;
- полезная энергия, характеризующая динамику протекания  $E_{ux}$  через конструкцию системы,  $E_x$ ;

4) исток структурно-параметрического управления, содержащий трехкомпонентные векторы:

- целевого структурно-параметрического управления виртуальными перемещениями параметров системы  $\bar{u}_s$ ;
- входных сигналов страты виртуальных перемещений параметров системы  $\bar{u}_{sx}$ ;
- энергии, обеспечивающей виртуальные перемещения параметров системы  $\bar{E}_{sx}$ ;

5) исток структурно-параметрических возмущений, содержащий трехкомпонентные векторы:

- возмущений, приведенных к входам страты виртуальных перемещений параметров системы,  $\bar{f}_s$ ;
- энергии возмущения виртуальных перемещений параметров системы  $\bar{E}_{sf}$ ;

6) сток структурно-параметрических изменений, содержащий трехкомпонентные векторы:

- приращения параметров системы  $\Delta \bar{s}$ ;
- потерь энергии, направленной на обеспечение виртуальных перемещений параметров системы,  $\bar{D}_s$ ;
- полезной энергии, характеризующей динамику протекания  $E_{ux}$  через конструкцию системы для изменения ее параметров,  $\bar{E}_s$ ;

7) исток управления стоимостью изменения состояния системы, содержащий трехкомпонентные векторы:

- целевого управления стоимостью  $\bar{u}_c$ ;
- входных сигналов  $\bar{u}_{cs}$  страты  $C$ ;
- входной энергии  $\bar{E}_{cs}$  страты  $C$ ;

8) исток возмущений технико-экономических показателей системы, содержащий трехкомпонентные векторы:

- возмущения  $\bar{f}_c$ , приведенного ко входам страты  $C$ ;
- энергии возмущения  $\bar{E}_{fc}$ , приведенного к входам страты  $C$ ;

9) сток страты стоимости, содержащий трехкомпонентные векторы:

- изменения технико-экономических показателей системы из-за виртуальных перемещений ее параметров  $\Delta \bar{c}$ ;
- потерь энергии, соответствующих изменению стоимости системы из-за виртуальных перемещений ее параметров,  $\bar{D}_c$ ;
- полезной энергии, характеризующей динамику протекания  $\bar{E}_{cs}$  для изменения технико-экономических показателей системы,  $\bar{E}_c$ .

Концептуальная идея, положенная в основу построения модели  $M_{XSC}$  состоит в том, что в любом объекте происходят динамические процессы по стратам, соответствующим состояниям системы:

- функциональному (Soft);
- структурному (Hard).

При этом каждая страта рассматривается в отношении состояния и энергии, согласованных с последующими стратами. Такой подход позволяет рассматривать в своей системной взаимосвязи динамику потоков состояния и потоков энергии. Энергетические потоки управления  $E_u$  и внешней среды  $E_f$ , которые поступают на вход системы, с одной стороны, направлены на получение полезной работы или энергии  $E_x$  [20], а с другой стороны, изменяют внутреннюю энергию системы, что приводит к энергетическим преобразованиям в системе и вызывает эволюционные процессы изменения ее функционального и структурного состояний (рис.3) [21].

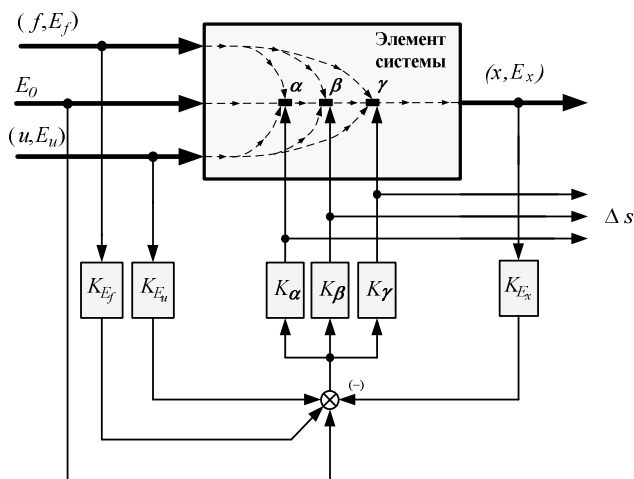


Рис. 3. Структура потоков энергетических преобразований в I-подсистеме, где  $I \in (X, S, C)$

Под функциональным состоянием системы будем понимать совокупность ее динамических поведений, определенных нормативной документацией для целевого функционирования.

Модель  $M_{XSC}$  может служить основой для синтеза управления функциональным состоянием системы как в «малом», так и в «большом» и в «целом».

Под управлением функциональным состоянием системы в «большом» и в «целом» будем понимать целенаправленное изменение (реконфигурацию) некоторой совокупности ее параметров и структуры в ограниченной области функциональных состояний, не являющейся окрестностью любой из особых точек этой области (в «большом»), либо во всей потенциально возможной ограниченной области функциональных состояний (в «целом»).

Функциональное состояние системы определяется изменениями потерь энергии в системе. Это свойство легло в основу построения функционально-операционного образа системы (ФООС)  $M_{XSC}$ , показанного на рис. 4. Анализ ФООС показывает наличие подобия структурного представления каждой страты, или фрактальной организации модели системы, что позволяет единообразно описать ее уровни по любой рассматриваемой компоненте  $x, s, c, E_x, E_s, E_c$ .

Структурно-функциональным фракталом принята «сборка» (3) в работе [12].

В соответствии с работой [22] фракталом называется структура, состоящая из частей, подобных целому. Как известно из работ [22–25], основным свойством фракталов является их структурная инвариантность (самоподобие) на каждой страте.

Это позволяет использовать принцип масштабной инвариантности для структурного понимания системы связей технического объекта произвольной сложности.

Модель  $M_{XSC}$  запускается в работу в момент времени  $t_1$ , который является началом эксплуатации новой системы или началом отсчета какого-либо этапа эксплуатации после ремонта, восстановительных работ, хранения и т.д. Функционально-операционный образ системы включает в себя:

- страту функциональной динамики;
- страту динамики виртуальных изменений параметров системы;
- страту динамики технико-экономических изменений системы.

Все операторы  $W_i^I$ ,

где  $i \in (1, \dots, 8, f_1, \dots, f_4, u)$ ,  $I \in (X, S, C)$ ,

являются операторами не выше второго порядка.

Операторы  $W_i^I$ , где  $i \in (2, 8)$ ,  $I \in (X, S, C)$ , характеризуют согласование сигналов в модели между стратами и выполняют роль согласования темпов протекания процессов в модели. Кроме того, структура и параметры этих операторов определяют эффекты последствия, остаточной деградации либо релаксации (самовосстановления) системы.

Для определения момента перехода системы из одного качественного состояния в другое (прогноза) в модель системы включены «наблюдатели», предназначенные для интегрального накопления информации об энергетических преобразованиях в системе при ее функционировании на всем эксплуатационном этапе ее жизненного цикла.

Квадратичные функционалы

$$\mathfrak{S}_{ij} = \int_{t_1}^{t_2} F(\zeta) dt$$

характеризуют потребную суммарную энергию (полезную энергию), которую необходимо затратить на целевое функционирование системы.

Аргументы подынтегральных функций  $F(\zeta)$  принадлежат множеству

$$\zeta \in \{\ddot{x}^2, \dot{x}^2, x^2, \Delta \dot{s}^2, \Delta s^2, \Delta c^2, \Delta \ddot{c}^2, \Delta \dot{c}^2, \Delta c^2\}.$$

«Наблюдатели» выполняют роль перемишки между информационным и энергетическим уровнями модели. Такое структурное построение модели позволяет проводить измерение потерь (диссипации) энергии в процессе ее преобразования из одного вида в другой в процессе функционирования системы.

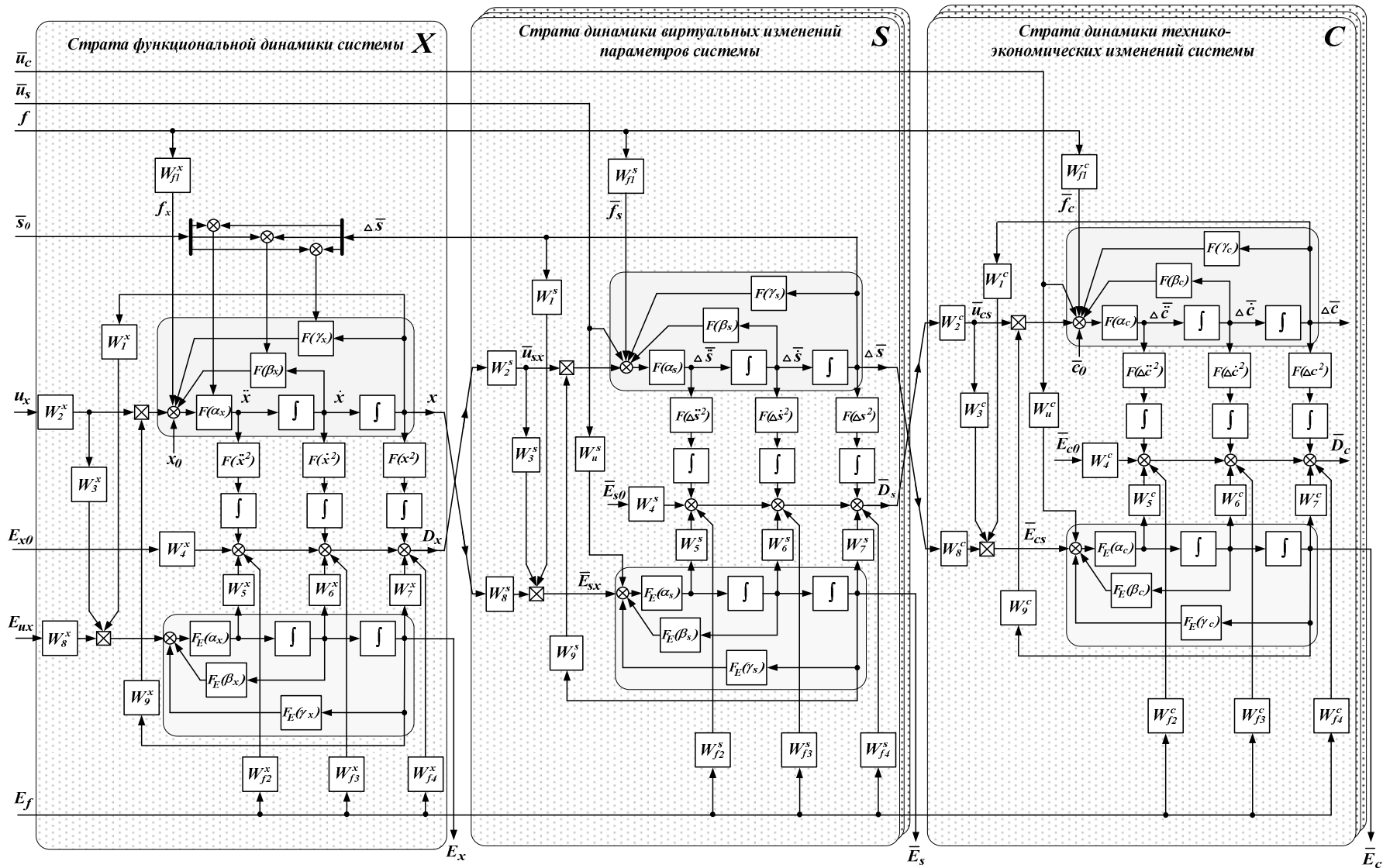


Рис.4. Функционально-операционный образ системы

Характерной особенностью схемы, показанной на рис. 4, является инверсия сигналов (рис.5) при переходе от одной страты к другой.

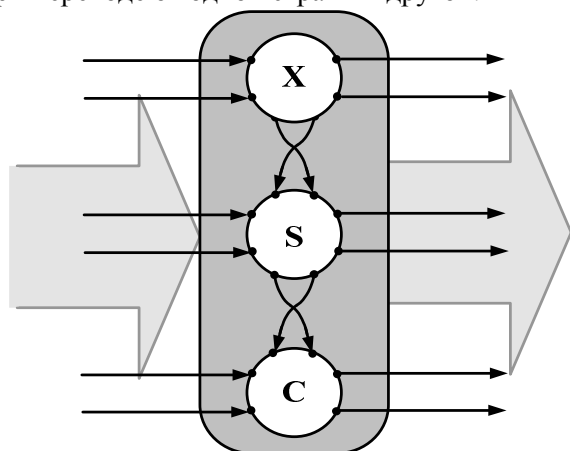


Рис. 5. Схема инверсного соединения сигналов входа-выхода между стратами

Инверсия – это преобразование информационных сигналов в энергетические сигналы и наоборот.

В полученной структуре ФООС просматриваются реализации принципов теории организации сложных систем, отражающих основные законы сохранения и их математическое отображение целостности системы в терминах теории групп параллельного переноса (transportation) и вращения (rotation) с одновременным замещением и превращением «вещества» (продуктов) страт на структурных шагах системы, а также расщепления (divergence) в биокibernетических структурах, таких, как структуры ДНК и нейронные сети, которые являются основой всего «сущего». Типовая структура ДНК, выступающая в роли системного фрактала, показана на рис. 6.

Структура ДНК – обычная двойная спираль. Устойчивость структуры определяется так называемой свободной энергией, от которой зависит, в каком направлении пойдет химическая реакция – в прямом или в обратном. Ею же определяется конформация – перегибы и сочленения – больших молекул ДНК, РНК и белков.

Химическая система всегда стремится к состоянию с наименьшей свободной энергией. Свободная энергия двух взаимно дополняющих цепей нуклеотидов минимальна, когда они образуют двойную спираль.

На рис. 6 просматриваются структурные свойства переноса по слоям, вращения, «скрещивание» (crossing) связей между компонентами системы при переходе от одной страты на другую. Подобие структуры ФООС и структуры ДНК очевидно. Очевидно и подобие ФООС с нейронными сетями (рис. 7).

С одной стороны, данное свойство позволяет использовать весь богатый опыт биокibernетики для анализа и синтеза СТС на всем эксплуатационном интервале их жизненного цикла и тесную связь информационных и энергетических компонентов их функционирования.

С другой стороны, результаты создания и исследования ФООС могут оказаться полезными для углубления знаний в биокibernетических системах типа ДНК, нейронные сети и т. д.

Еще одной характерной особенностью схемы, показанной на рис. 4, является структурное подобие функционально-операционных образов на каждой страте системы. Подобие заключается в том, что в сходные моменты времени в одинаковых точках каждой из страт значения переменных величин, характеризующих состояние системы на одной страте, пропорциональны соответствующим величинам на других стратах и могут быть выражены через коэффициенты подобия [26].



Рис. 6. Структура спирали ДНК

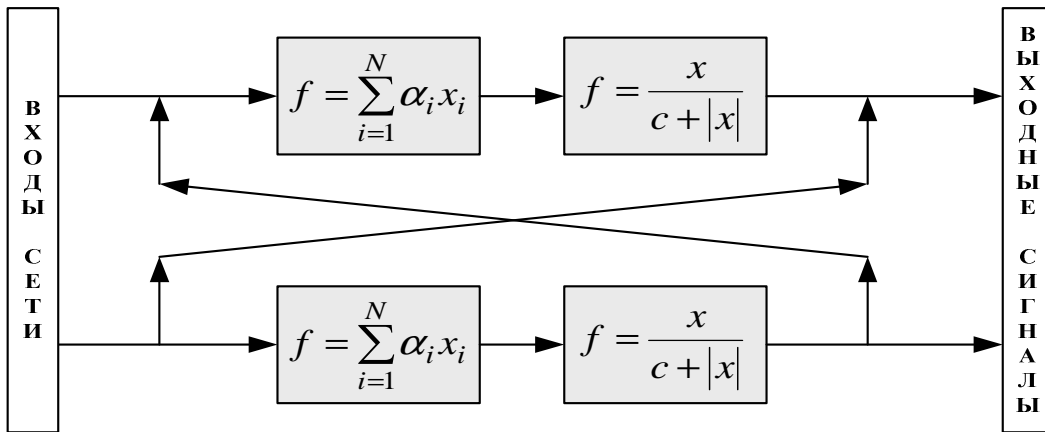


Рис. 7. Структура нейронной сети

Важным свойством создаваемой структуры модели является поливалентность – способность образовывать связи. Поливалентность состоит в свойстве модели отображать способность интегрирования в сложные комплексы на основе закона необходимого разнообразия Эшби [27] применительно к свойству разнообразия валентности по основным необходимым технически значимым связям (рис. 8).

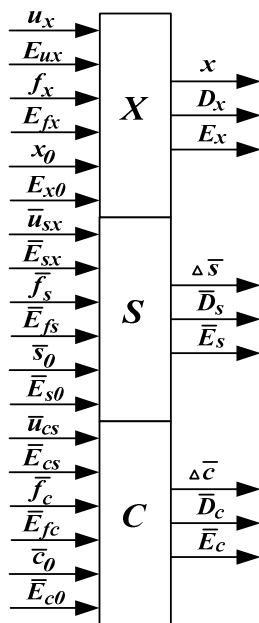


Рис. 8. Схема возможных связей трехстратного структурного фрактала системы

Приведенная трактовка процессов в системе дает возможность применить понятия и методологию теории динамических систем для решения вопроса управления функциональным и структурным состоянием на всем интервале жизненного цикла системы.

Это позволило ввести понятие начального состояния системы по всем переменным

$$x_0 = x(t_0),$$

$$E_{x0}, \bar{s}_0 = \bar{s}(t_0),$$

$$\bar{E}_{s0}, \bar{c}_0 = \bar{c}(t_0), \bar{E}_{c0}.$$

Энергетические состояния  $E_{x0}, \bar{E}_{s0}, \bar{E}_{c0}$  целостной системы идеально соответствуют эксплуатационно-функциональным требованиям, изложенным в нормативной документации на идеальную (новую) систему.

Структурной схеме, показанной на рис. 4, сопоставляется так называемая когнитивная карта системы (рис. 9) – (верхний уровень рассмотрения). Ее системная формализация дается упорядоченной системой обыкновенных дифференциальных уравнений. Это позволяет обеспечить полноразмерное согласование модели по всем входящим и образующим систему компонентам.

Упорядоченная система имеет ряд особенностей.

Первая особенность заключается в том, что все элементы системы соединены структурно-логическими функциями  $\delta = \{0, 1\}$ . Такое формализованное описание соединения элементов системы и формирования в ней связей соответствует структурному описанию сложных систем, приведенному в работе [28]. Для многомерных систем массив этих функций образует упорядоченную матрицу, которая характеризует связность элементов структурной схемы. Это позволяет проводить переключения на структурной схеме не только элементов самой системы, но и энергетических потоков и возмущающих сил, которые сопровождают функционирование элементов системы.



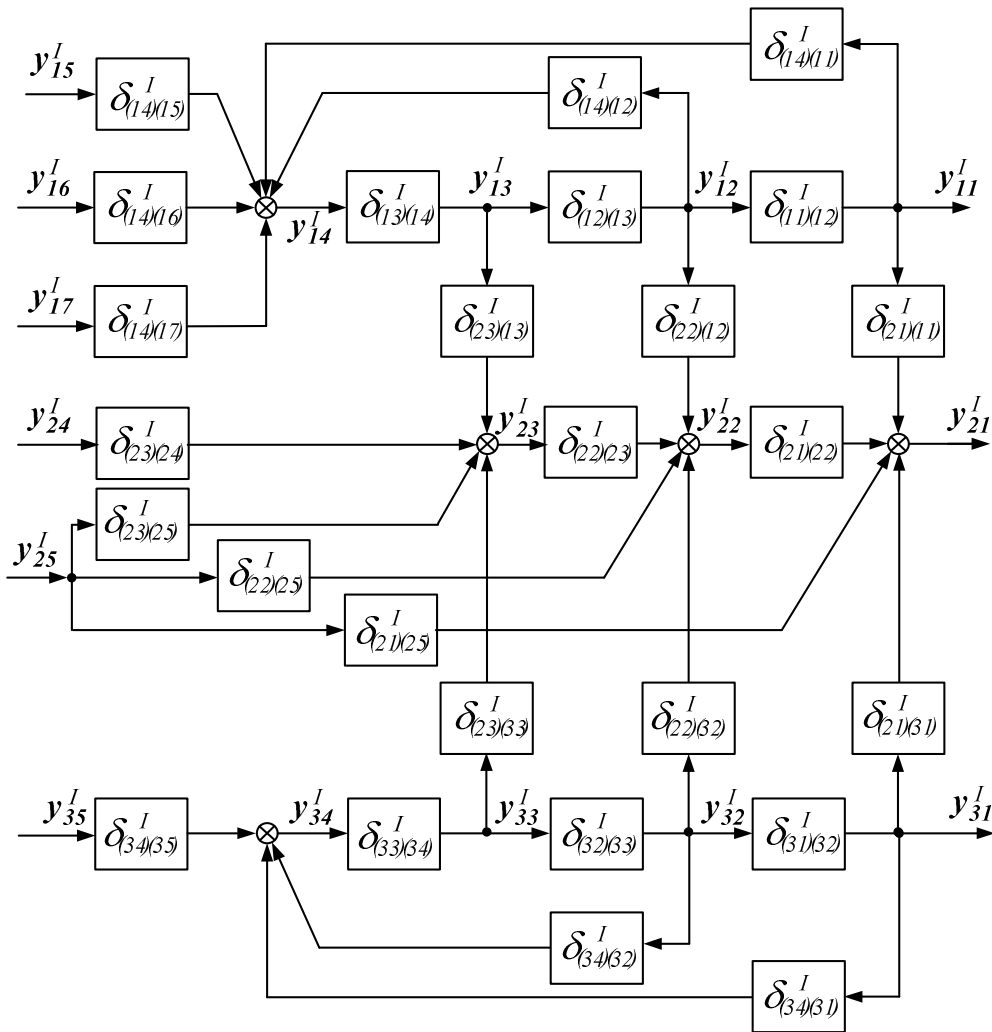


Рис. 9. Когнитивная карта образа подсистемы  $I \in (x, s, c)$

Вторая особенность упорядоченной системы заключается в наличии в ней параметров управления состоянием структуры системы. Под управлением понимается логическое изменение структуры системы в зависимости от стратегии образования управляющих структурных функций.

Третья особенность состоит в универсальности, т. е. возможности реализации в модели двух типов стратегий управления:

– стратегии принудительного управления структурой системы, формализуемой структурно-логическими функциями  $\delta^I_{(ij)(kl)}(\varphi)$ ,  $I \in (x, s, c)$  и характеризующей включение–выключение (установку–снятие) элемента в процессе проведения эксплуатационно-технологических операций его ремонта, технического обслуживания, восстановления, замены и т.д.;

– стратегии автоуправления функциональным (техническим) состоянием включенного в структуру системы элемента, формализуемой структурно-логическими функциями  $\delta^I_{(ij)(kl)}(\bar{x})$ ,  $I \in (x, s, c)$  и характеризующей исправность элемента.

Суммарная логическая функция для состояния структуры системы имеет вид

$$\delta^I_{(ij)(kl)} = \delta^I_{(ij)(kl)}(\bar{x})\delta^I_{(ij)(kl)}(\varphi),$$

где

$$\delta^I_{(ij)(kl)}(\varphi) = \begin{cases} 1 - \text{если элемент находится} \\ \text{в "условно" рабочем состоянии;} \\ 0 - \text{если "нет"}. \end{cases}$$

$$\delta'_{(ij)(kl)}(\bar{x}) = \begin{cases} 1 - \text{если элемент находится} \\ \text{в исправном состоянии;} \\ 0 - \text{если в аварийном состоянии.} \end{cases}$$

Анализ структуры упорядоченной матрицы позволяет сделать заключение о степени связности элементов системы и степени их энергетической насыщенности.

В реальных системах не все связи могут быть разорваны на физическом уровне. Это может быть вызвано конструктивными особенностями элементов конструкции системы или экономической (технологической) нецелесообразностью.

Введение структурно-логических функций даст возможность учитывать технологические особенности восстановления технического состояния элементов системы.

Входные и выходные связи модели ФООС позволяют формировать образы сложных многомерных систем в виде фрактальных кристаллов (рис. 10).

### Выводы

1. В разработанной многофункциональной динамической модели структурного фрактала СТС реализованы базовые принципы теории организации сложных систем, отражающие основные законы сохранения и их математическое отображение целостности системы в терминах теории групп параллельного переноса, вращения и расщепления.

2. Модель позволяет использовать знания биокбернетики для анализа и синтеза СТС на всем эксплуатационном интервале их жизненного цикла.

3. Предложенная модель является фундаментом для синтеза управления динамическими процессами целевого функционирования сложных многомерных систем, их структурными и функциональными состояниями, а также технико-экономическими и энергетическими процессами.

4. Результаты исследования модели могут оказаться полезными при изучении биокбернетических систем и систем искусственного интеллекта.

### Литература

1. Павлов В.В. Функціональна „віртуальність” – концепція майбутніх CNS/ATM систем / В.П. Харченко, В.В. Павлов, С.В. Павлова // Вісник НАУ. – 2004. – № 2. – С. 19–23.

2. Біла книга 2008. Оборонна політика України / – К.: МО України, 2009. – 100 с.

3. Садовский В.Н. Основания общей теории систем / В.Н. Садовский. – М.: Наука, 1974. – 279 с.

4. Советский энциклопедический словарь / гл. ред. А. М. Прохоров. – 4-е изд., испр. и доп. – М.: Сов. энциклопедия, 1990. – 1630 с.

5. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине / Н. Винер – М.: Сов. радио, 1968. – 328 с.

6. Фетисов В.А. Основы системного анализа / В.А. Фетисов. – Л.: ЛИАП, 1988. – 55 с.

7. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы / П.К. Анохин. – М.: Наука, 1980. – 197 с.

8. Ерохина Е.А. Теория экономического развития: системно-синергетический подход / Е.А. Ерохина – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1999. – 160 с.

9. Горский Ю.М. Отношение между информацией и энергией в процессах управления / Ю. М. Горский // Вопросы кибернетики. Энергетический подход к исследованию систем. – М.: АН СССР, 1977. – Вып. 32. – С. 62–73.

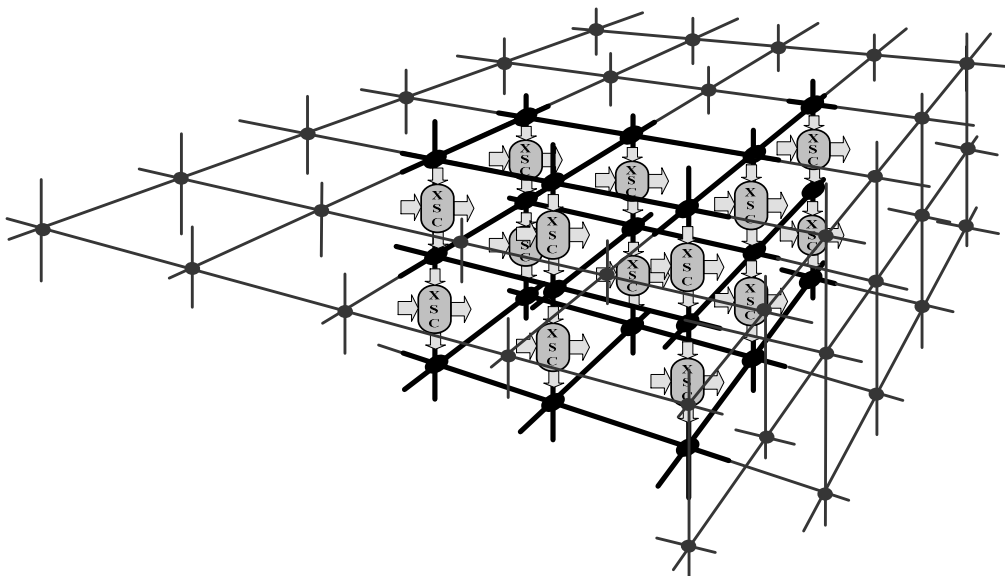


Рис.10. Фрагмент модели многомерной системы, образованной в виде фрактального кристалла

10. *Вершин В.Е.* Законы энергодинамики при решении задач управления экономическими объектами / В.Е. Вершин // Вопросы кибернетики. Энергетический подход к исследованию систем. – М.: АН СССР, 1977. – Вып. 32. – С. 103 – 114.
11. *Кадомцев Б.Б.* Динамика и информация / Б.Б. Кадомцев. – М.: Ред. журн. «Успехи физических наук», 1999. – 396 с.
12. *Павлов В.В.* Концепция моделирования и анализа эволюции технического состояния сложных технических систем на максимально возможном интервале их жизненного цикла / В.В. Павлов, В.И. Чепиженко // Кибернетика и вычислительная техника. – 2009. – № 157. – С. 3 – 16.
13. *Справочник по теории автоматического управления* / под ред. А.А. Красовского. – М.: Наука, 1987. – 712 с.
14. *Первозванский А.А.* Математические модели в управлении производством / А.А. Первозванский. – М.: Наука, 1975. – 616 с.
15. *Методы алгоритмизации непрерывных производственных процессов* / В.В. Иванов, А.И. Березовский, В.К. Задирака и др. – М.: Наука, 1975. – 400 с.
16. *Бусленко Н.П.* Лекции по теории сложных систем / Н.П. Бусленко, В.В. Калашников, И.Н. Коваленко. – М.: Сов. радио, 1973. – 440 с.
17. *Цвиркун А.Д.* Основы синтеза структуры сложных систем / А.Д. Цвиркун. – М.: Наука, 1982. – 200 с.
18. *Месарович М.* Теория иерархических многоуровневых систем / М. Месарович, Д. Мако, И. Такахаара. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
19. *Кугаенко А.А.* Синтез динамических моделей народного хозяйства и методы прогнозирования социально-экономических процессов / А.А. Кугаенко. – М.: Прометей, 1991. – 294 с.
20. *Ландау Л.Д.* Теоретическая физика: учеб. пособие. В 10 т. Т. I. Механика / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука, 1988. – 216 с.
21. *Чепиженко В.І.* Енергетична концепція ядра для моделювання CALS – процесів у складних технічних системах / В.І.Чепіженко // Вісник НАУ. – 2009. – № 3(40). – С. 76–82.
22. *Божокин С.В.* Фракталы и мультифракталы / С.В. Божокин, Д.А. Паршин. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 128 с.
23. *Кроновер Р.М.* Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории / Р.М. Кроновер. – М.: Постмаркет, 2000. – 352 с.
24. *Морозов А.Д.* Введение в теорию фракталов / А.Д. Морозов. – Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 160 с.
25. *Федер Е.* Фракталы / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
26. *Гухман А.А.* Введение в теорию подобия / А.А. Гухман. – М.: Высш. шк., 1973. – 296 с.
27. *Эшби У.Р.* Введение в кибернетику / У.Р. Эшби. – М.: Изд-во иностранной лит., 1959. – 432 с.
28. *Тимченко А.А.* Основы системного проектирования та системного аналізу складних об'єктів: Основы системного підходу та системного аналізу об'єктів нової техніки / А.А.Тимченко. – К.: Либідь, 2004. – 288 с.

Стаття надійшла до редакції 01.02.10.

<sup>1</sup>В.В. Павлов, <sup>2</sup>В.І. Чепіженко

### БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНА ДИНАМІЧНА МОДЕЛЬ СТРУКТУРНОГО ФРАКТАЛА СКЛАДНОЇ ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

<sup>1</sup>Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН України

<sup>2</sup>Державний науково-дослідний інститут авіації

**інтегрована модель, складна технічна система, енергія, інформація, функціональний стан, життєвий цикл, фрактал**

На основі системної концепції дослідження динамічних процесів еволюції технічного стану складних, функціонально цілісних технічних систем на всьому інтервалі їхнього життєвого циклу розроблена багатофункціональна динамічна модель структурного фрактала складної технічної системи. Об'єднання в запропонованій моделі інформаційного й енергетичного рівнів дозволяє інтегровано моделювати динамічні процеси цільового функціонування системи, еволюційні процеси зміни її станів, структурні зміни в системі в процесі експлуатації, а також динамічні процеси зміни вартості системи на всьому експлуатаційному інтервалі її життєвого циклу. Запропонована модель є фундаментом для синтезу керування динамічними процесами цільового функціонування складних багатомірних систем, їх структурними та функціональними станами, а також керування вартісними й енергетичними процесами.

<sup>1</sup>Vadim V. Pavlov, <sup>2</sup>Valery I. Chepizhenko

### MULTIFUNCTION DYNAMIC MODEL OF STRUCTURAL FRACTAL OF COMPLEX TECHNICAL SYSTEM

<sup>1</sup>International Scientific-Educational Center of Information Technologies and Systems of the National Academy of Sciences of Ukraine

<sup>2</sup>State Scientific & Research Institute of Aviation

**complex technical system, integrated model, information, energy, fractal, functional state, life cycle**

On the basis of system conception of evolution dynamic processes research of the complex, functionally integral technical systems technical state on all of interval of their life cycle the multifunction dynamic model of structural fractal of the complex technical system is developed. Information and power levels association in the offered model allows integrately to model the dynamic processes of system purpose functioning, changing evolutionary processes of its state, structural changes in the system in the exploitation process, and also dynamic processes of the system cost changing on all of operating interval of its life cycle. The offered model is foundation for the synthesis of control the dynamic processes of purpose functioning of the complex multidimensional systems, for their structural and functional states, and also control cost and power processes.