

УДК 658.512

Г.В. Лисяной, канд. техн. наук

## МЕТОД АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СИНТЕЗА СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ИЕРАРХИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

*Аннотация.* Предложен формализованный метод автоматизированного синтеза структуры и свойств иерархических систем управления промышленными производствами.

*Ключевые слова:* Многоуровневая система управления, синтез, структура, декомпозиция, критерий эффективности.

G.V. Lisyanyou, PhD

## METHOD OF THE AUTOMATED SYNTHESIS OF STRUCTURE AND PROPERTIES OF HIERARCHICAL CONTROL SYSTEMS

*Abstract.* The formalized method of the automated synthesis of structure and properties of hierarchical control systems offered by industrial productions.

*Keywords:* layered control system, synthesis, structure, decomposition, performance criterion.

Г.В. Лісяной, канд. техн. наук

## МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО СИНТЕЗУ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ ІЕРАРХІЧНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

*Анотація.* Запропоновано формалізований метод автоматизованого синтезу структури та властивостей ієрархічних систем управління промисловими виробництвами.

*Ключові слова.* багаторівнева система керування, синтез, структура, декомпозиція, критерій ефективності.

**Введение.** Синтез структуры иерархических автоматизированных систем управления (АСУ) является первоначальным, очень сложным и ответственным этапом.

В настоящее время синтез их структуры выполняется [5]:

– при использовании агрегативно-декомпозиционного подхода, включающего последовательную декомпозицию выполняемых системой целей, функций и задач путем агрегирования (объединения) элементов на соответствующем уровне детализации для генерирования вариантов построения системы на основе выбранных критериев эффективности;

– путем параметризации исходной задачи по размерности вектора управляющих переменных для отдельных элементов, которые входят в состав сложного объекта. Критерий оптимальности параметризованной задачи экспоненциально зависит от ее размерности и включает коэффициенты, учитывающие сложность алгоритмов оптимизации различных уровней системы управления;

– с представлением системы в виде графа сигналов.

© Лисяной Г.В., 2011

В основе методологического решения данной задачи лежит идея последовательного расширения структуры системы путем присоединения к заданной структуре дополняющейся части, придающей системе требуемые свойства;

– на основе эвристических правил, когда названные структуры нередко приводятся к структурно-порочным системам.

Из анализа литературных источников [1,3,4,6] установлено, что методы формирования структуры иерархических систем управления промышленными производствами заключаются в исчерпывающем задании элементов, которые входят в проектируемую систему, на основе эвристических правил и последующих доводов, требующих огромных временных и денежных затрат. Из этого следует необходимость учета в иерархических системах управления собственной структуры каждого элемента и отыскания средств их формализованного представления, а также решения проблемы формализованного автоматизированного синтеза структуры системы управления.

**Постановка задачи.** Разработать формализованный метод автоматизированного

синтеза структуры и свойств многоуровневых систем управления, основанный на использовании теоретико-множественных конструкций и агрегативно-декомпозиционного подхода.

Используемый подход позволяет предельно обобщенно подойти к проблеме описания сложных систем, к которым относятся иерархические системы управления промышленными производствами.

**Основная часть.** Каждая подсистема иерархической системы управления характеризуется определенным набором входных и выходных переменных и оператором преобразования входных переменных в выходные. Поэтому любую подсистему можно представить в виде следующего упорядоченного множества:

$$S = \langle T, X, Y, F, R, W, G, Z, L, H, \Phi \rangle, \quad (1)$$

где  $T$  – множество моментов времени, в которые наблюдается система;  $X$  – множество входных управляющих сигналов;  $Y, F, R$  и  $W$  – множества соответственно исходных сигналов, возмущающих, информационно-управляющих, информационных сигналов;  $G$  – множество сигнал-операторов управления;  $Z$  – множество состояний системы;  $L, H$  – множества операторов-переходов, соответственно описывающих механизм формирования исходных сигналов и отображающих механизм изменения системы;  $\Phi$  – функционал показателей качества системы.

Обозначим в многоуровневой системе управления соответствующую подсистему как  $S_{ij}$ , где  $i = \overline{1, n}$  – номер уровня;  $j = \overline{1, m}$  – номер соответствующей подсистемы в  $i$ -м уровне;  $n$  – число уровней в системе,  $m$  – число подсистем на  $i$ -м уровне.

Тогда можно записать, что

$$X_{ij} = C_{ij} Y_{i-1,i}; \quad W_{ij} = D_{ij} Y_{i+1,i}; \quad R_{ij} = B_{ij} Y_{i,i},$$

где:  $C_{ij}, D_{ij}, B_{ij}$  – операторы соответственно управляющих связей, информационных, информационно-управляющих связей.

Наряду с частными показателями эффективности отдельных подсистем существуют показатели всей системы, которыми количественно оценивают степень достижения цели.

В общем случае система оценивается по векторному показателю:

$$\hat{O} = \{ \hat{O}_1, \hat{O}_2, \dots, \hat{O}_n \},$$

где  $\Phi_i, i=1, 2, \dots, n$  – показатели эффективности подсистем.

Эти показатели могут быть использованы на стадии синтеза структуры иерархической системы, при этом основу предлагаемого формализованного метода автоматизированного синтеза иерархической структуры АСУ составляет агрегативно-декомпозиционный подход, который включает два этапа:

- последовательную декомпозицию выполняемых системой целей, функций, задач;
- агрегирование (объединение) элементов подсистем на соответствующем уровне детализации для генерирования вариантов построения системы на основе выбранных критериев эффективности.

Декомпозиция системы может быть осуществлена в соответствии с делением цели управления [1,4]. На основе того, что цель управления может быть достигнута после решения целого комплекса задач можно разделить систему на функционально законченные части, которые отвечают вполне определенным задачам, в результате чего строится иерархия задач управления.

Проведя декомпозицию глобальной задачи, исходя из физического содержания задачи и сложившихся традиций проектирования данного типа систем, получим иерархию задач управления. Формально каждая подзадача решается отдельной подсистемой.

Иерархическую систему управления производством можно представить в виде графа  $G(S, E)$ , где  $S$  – множество вершин, которые представляют собой подзадачи управления глобальной задачи;  $E$  – множество дуг, которые характеризуют связи между задачами.

Введем показатели эффективности всей системы:

норма управляемости  $U$ ;

функция сложности решения глобальной задачи  $K$ .

Для решения задачи по выбору оптимальной структуры иерархии сложной системы и формализации выбора числа уровней предположим, что  $G_1$  – структура с макси-

мально возможным числом подзадач управления (вершин графа  $G_1$ ), имеющая иерархическую структуру.

Определим преобразование графа  $G_1$  в граф  $G_2$  как агрегирование задач управления, которые находятся на одной горизонтали и подчинены одной подсистеме. Также осуществляется преобразование  $G_2 \rightarrow G_3$  и т.д., в результате чего получаем  $\Gamma(G)$  – множество вариантов структуры графа  $G$ .

Задача выбора оптимального варианта структуры  $G_{opt}$  заключается в нахождении такой структуры  $G$ , которая обеспечивает оптимум показателей  $U$  и  $K$ , т.е. относится к многокритериальной задаче определения структуры иерархической системы, обеспечивающей  $opt\Phi(G)$ , где  $\Phi = \{U, K\}$ .

Результатом решения задачи является структура системы с оптимальным числом уровней иерархии.

Представим иерархическую систему (1) как систему, состоящую из  $n$ -уровней:

$$U_i = \left( X_i, Z_i, \Omega_i, \left\{ \varphi_{ij} \right\}, \left\{ \psi_{ij} \right\} \right), \quad (2)$$

$$i = 1, 2, \dots, n; \quad 1 \leq j \leq n$$

где  $X_i$  – множество состояний  $i$ -го уровня ( $X$  – множество состояний системы является декартовым произведением множеств:

$X = \prod_{i=1}^n X_i$ );  $Z_i$  – множество возможных управлений  $i$ -м уровнем;  $\Omega_i$  – множество внешних воздействий на  $i$ -й уровень;  $\varphi_{ij}(x)$  – множество состояний  $j$ -го уровня, которые удовлетворяют требованиям  $i$ -го уровня, находящегося в состоянии  $x \in X_i$ . В частности множество  $\varphi_i$  будем называть собственной целью  $i$ -го уровня, отвечающей его состоянию  $x$ . Если  $\varphi_{ij}(x) = X_j$ , то это будет означать инвариантность состояний  $x$   $i$ -го уровня к состояниям  $j$ -го уровня (отсутствие целеуказаний);  $\psi_{ij}(x)$  – множество допустимых управлений на  $j$ -м уровне, определяющих состояние  $x$  уровня  $U_i$ . Отсутствие ограничений на управляемость  $j$ -м уровнем со стороны уровня  $U_i$ , находящегося в состоянии  $x$ , выражается равенством:  $\psi_{ij}(x) = Z_j$ .

Отображения  $\varphi_i$  и  $\psi_i$  определяют приоритетность уровней (2). Действительно, при определении значения  $\varphi_i(x)$  (соответственно  $\psi_i(x)$ ) ( $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$ ) в первую очередь учи-

тываются элементы множества  $\varphi_{1i}(x_1)$ , потом  $\varphi_{2i}(x_2)$  и т.д. до  $\varphi_{ni}(x_n)$  (соответственно  $\psi_{1i}(x_1)$ ,  $\psi_{2i}(x_2)$ , ...,  $\psi_{ni}(x_n)$ ).

Сохраняя принятую индексацию, будем считать, что уровень  $U_k$  является вышестоящим по отношению к  $U'_k$ , если  $k < k'$  ( $U_k > U_{k'}$ ).

Следовательно, можно говорить об упорядоченном множестве уровней (2) системы  $U$

$$U_1 > U_2 > \dots > U_n,$$

взаимосвязь которых, как сверху вниз, так и снизу вверх характеризуется функциями  $\varphi_{ij}$  и  $\psi_{ij}$  ( $i, j=1, 2, \dots, n$ ) и не ограничивается при этом взаимодействиями между соседними уровнями.

Состояние  $x$  системы  $U$  будем называть идеальным (или решением системы), если  $x$  является неподвижной точкой многозначного отображения  $\varphi$ , т.е.  $x \in \varphi(x)$ . Если множество неподвижных точек отображения  $\varphi$  не пустое ( $F_{ix}\varphi \neq \emptyset$ ), то система  $U$  является разрешимой.

Иерархическая система потенциально управляема в состоянии  $x$ , если существует такое управление  $z \in \psi(x)$ , что  $z(x) \in \varphi(z(x))$ , и полностью управляема в состоянии  $x$ , если  $\forall \omega \in \Omega \exists z \in \psi(x)$ , то  $z(\omega(x))$  – неподвижная точка отображения  $\varphi$ . В общем виде под управлением иерархической системы следует понимать конечную последовательность управлений  $z_1, z_2, \dots, z_p$ , которая переводит состояние  $x$  системы в состояние  $x_p$ , таким образом, что

$$z_1(x) = x_1, \quad z_i(x_{i-1}) = x_i, \quad (i=2, 3, \dots, p).$$

Тогда множеством управлений системы является множество конечных последовательностей  $Z^*$  над  $Z$ . Если ввести в рассмотрение функцию  $f: Z \rightarrow R$  множества  $Z$  во множество действительных чисел, то можно говорить, например, о «стоимости» управления и решать задачу об оптимальном управлении в иерархических системах.

Для разрешимости системы  $U$  необходимо, чтобы  $F_{ix}\varphi_{11} \neq \emptyset$ . Действительно, если  $x=(x_1, x_2, \dots, x_n)$  – неподвижная точка отображения  $\varphi$ , то  $x_1 \in \varphi_1(x)$ .

В силу определения  $\varphi_1$ :

$$\varphi_1(x) \cap \varphi_{11}(x) \neq \emptyset, \quad \varphi_1(x) \subseteq \varphi_{11}(x),$$

следовательно,  $x_1 \in \varphi_{11}(x_1)$ .

Пусть  $X_1, X_2, \dots, X_n$  являются непустыми компактными выпуклыми множествами в банаховых пространствах  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Тогда для того чтобы иерархическая система (1) была решаемой, достаточно, чтобы отображения  $\varphi_{ki} (1 \leq i, k \leq n)$  были замкнутыми и выпуклыми.

Действительно при этих условиях множество состояний  $X$  иерархической системы является компактным выпуклым множеством в банаховом пространстве

$$x = \prod_{i=1}^n x_i$$

В силу определения отображений  $\varphi_j (j=1, 2, \dots, n)$  для всех  $x \in X$  отображение  $\varphi_j(x)$  не пустое и для каждого  $j$

$$\exists k: \varphi_j(x) = \bigcap_{i=1}^k \varphi_{ij}(x).$$

Поэтому для всех  $j$  отображение  $\varphi_j(x)$  является замкнутым и выпуклым как непустое пересечение выпуклых множеств. Тогда отображение

$$\varphi = \bigcap_{j=1}^k \varphi_j$$

будет удовлетворять условиям замкнутости и компактности, и по теореме Какутани о неподвижных точках имеем  $F_{ix} \varphi \neq \emptyset$ .

Функциональная структура системы  $G$  может быть представлена в виде [2]

$$G = \langle \{S_i\}, p_i, (S_i, S_j), p_{ij} \rangle, \\ i=1, m; j=1, m; i \neq j,$$

где  $\{S_i\}$  – множество функциональных подсистем, или элементов системы, ориентированных на выполнение  $i$ -й функции, структура которых считается определенной и не подлежит дальнейшему разбиению средствами используемого метода декомпозиции в границах данного исследования;  $p_i$  – количественные характеристики  $i$ -й подсистемы, такие как: производительность, интенсивность и др.;  $(S_i, S_j)$  – связи между  $i$ -й и  $j$ -й ( $i \neq j$ ) подсистемами, установленные для реализации  $i$ -й функции;  $p_{ij}$  – количественные характеристики связей, например, пропускная способность, протяженность и др.

Важным методологическим моментом является тезис о том, что система функций определяет структуру, а не наоборот:

$$F_i \rightarrow G_i = \langle \{S_{ij}\}, (S_{ij}, S_{ik}) \rangle, f_{ij} \rightarrow G_{ij} \subset G_i.$$

Таким образом, цель, сформированная во внешней среде на основе выделенной проблемы определяет макрофункцию системы, которая, в свою очередь, позволяет, в рамках существующей структуры, выделить подмножество системообразующих связей, принимающих непосредственное участие в выполнении цели.

Обозначим:

$S_{ij}$  – системообразующий элемент  $j$ -го уровня, принимающий участие в реализации  $i$ -й функции;  $(S_{ij}, S_{ik}) = R_i$  – системообразующая связь.

Понятие структурной системообразующей компоненты  $G$

$$G = \langle \{S_i\}, (S_i, S_j), i \neq j \rangle, \text{ или } G = \langle \{S_i\}, R_i \rangle$$

является актуальным, поскольку анализируется существующая функциональная система. Если реализовалась бы задача синтеза, то проектировалась бы система, все элементы и связи которой являлись бы системообразующими. Выделение в функциональной структуре системообразующей компоненты позволяет далее проводить процесс анализа, ориентируясь на систему конкретного целевого назначения.

Реализация функций в системе происходит путем «вложения» функциональной многослойной иерархии  $\Phi = \{F_i\}$  в многоуровневую структуру  $G$ , а получение искомого решения обеспечивается решением системы задач.

Определим сущность задачи  $D$  выражением:

$$D = \langle Y, f, Z, X, \Omega, \mathcal{Z} \rangle, \quad (3)$$

где  $Y$  – допустимое множество решений;  $f$  – алгоритм выбора критерия;  $Z$  – критерий выбора;  $X$  – множество параметров;  $\Omega$  – множество неопределенностей;  $\mathcal{Z}$  – алгоритм сокращения неопределенности.

Выражение (3) можно записать в виде

$$D : Y_{opt} = \text{extr } f(X, \mathcal{Z}(\Omega)),$$

где  $Y_{opt} \in Y$ .

Множество параметров  $X$  связано с функционированием системы, а множество неопределенностей  $\Omega$  – с влиянием случайных факторов, воздействующих в условиях развивающихся положительных и негатив-

ных тенденций.

Уточнение сущности и состава задач возможно после соответствующей классификации задач, например, при выделении глобальной задачи, задач координации, задач управления – как в иерархической системе управления. При этом устанавливается соответствие между задачами и реализующими их компонентами системы: пусть  $D$  – глобальная задача,  $D_\gamma$  – задачи координации;  $D_M$  – задачи управления;  $D_P$  – технологические задачи, тогда:

$$D \rightarrow G_1, D_\gamma \rightarrow G_2, D_M \rightarrow G_3, D_P \rightarrow G_4,$$

причем

$$\bigcup_{i=1}^{i=4} G_i = G.$$

Сокращение множества неопределенностей, связанного с решением задачи, обеспечивается учетом внешних и внутренних факторов, определяющих изменение состояния системы:

$$\varphi : T \times T \times X \times \Omega \times U \rightarrow U, \quad (4)$$

где  $T$ ,  $X$ , и  $\Omega$  – множества соответственно моментов времени, параметров системы и неопределенностей;  $U$  – множество состояний системы;  $\varphi$  – переходная функция состояния.

Выражение (4) можно записать в виде

$$U(t) = \varphi(t, \tau, x(t-\tau), \Omega(t-\tau), u(\tau)), t > \tau.$$

Таким образом, дескриптивная модель системы  $S$  может быть получена в результате идентификации системы в виде

$$S = \langle C, P, \Phi, F, D, X, \Omega, Y, U, G, \varphi, \Psi \rangle, \quad (5)$$

где  $C$ ,  $P$  и  $D$  – множества соответственно целей, проблем и задач;  $F$  – система функций;  $\Phi$  – макрофункция системы;  $X$  – множество входных воздействий;  $\Omega$ ,  $Y$  и  $U$  – множества соответственно неопределенностей, выходов и состояний;  $G$  – структура системы;  $\varphi$  – функция состояния;  $\psi$  – функция выхода.

Диагностика поведения системы, таким образом, предполагает:

- определение полного набора факторов  $\Omega$ , влияющих на состояние системы, установление степени их значимости и определение наиболее существенных (факторный анализ);

- определение вида зависимости  $\varphi$ .

Заметим, что задача идентификации в формальной постановке требует определения

состояния системы по данным о поведении системы в прошлом.

При синтезе структуры многоуровневой системы управления важно исходить из понятия системы  $S$  как подмножества декартового произведения некоторого семейства множеств:

$$\{V_i | i \in I\} S \subset \prod_{i=1} V_i,$$

где  $I$  – множество индексов с учетом существования глобальной реакции системы

$$R : X \times \prod_{i \in I_1} V_i \rightarrow \prod_{j \in I_2} V_j,$$

где  $I_1 \cup I_2 = I$  и  $I_1 \cap I_2 = \emptyset$ ;  $X$  – некоторое абстрактное множество, называемое множеством состояний.

Множество возможных управлений  $Z$  и множество внешних воздействий  $\Omega$  являются множествами отображений:

$$\begin{aligned} \forall z \in Z \quad Z : X \rightarrow X, \\ \forall \omega \in \Omega \quad \Omega : X \rightarrow X. \end{aligned}$$

причем

$$Z = \prod_{i=1}^n Z_i, \quad \Omega = \prod_{i=1}^n \Omega_i,$$

так что

$$\begin{aligned} z(x) &= (z_1(x_1), z_2(x_2), \dots, z_n(x_n)), \\ \omega(x) &= (\omega_1(x_1), \omega_2(x_2), \dots, \omega_n(x_n)) \end{aligned}$$

для всех  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in X$ ,

где  $z_i \in Z_i : X_i \rightarrow X_i$ ,  $\omega_i \in \Omega_i : X_i \rightarrow X_i$ .

Будем полагать, что множества  $Z_i$  и  $\Omega_i$  содержат элемент  $\Lambda$  такой, что  $\Lambda(x) = x$  для всех  $x \in X_i$  и для  $i = 1, 2, \dots, n$

$$\varphi : X \rightarrow P(X), \quad \psi : X \rightarrow P(Z),$$

где  $P(\cdot)$  – совокупность всех непустых подмножеств множества  $n$ ;  $\varphi$  и  $\psi$  – диагональные произведения  $\varphi = \bigtriangleup_{i=1}^n \varphi_i$ ,  $\psi = \bigtriangleup_{i=1}^n \psi_i$  отображе-

ний,  $\varphi_i : X \rightarrow P(X_i)$ ,  $\psi_i : X \rightarrow P(Z_i)$ ,  
( $i = 1, 2, \dots, n$ )

Для каждого  $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  имеем:

$$\varphi(x) = \prod_{i=1}^n \varphi_i(x), \quad \psi(x) = \prod_{i=1}^n \psi_i(x),$$

где  $\varphi_i(x)$  определяются значениями многозадачных отображений:

$$\varphi_{ki} : X_k \rightarrow P(X_i), \quad (k = 1, 2, \dots, n),$$

как первое непустое множество в последовательности

$$A_n \subseteq A_{n-1} \subseteq \dots \subseteq A_1$$

$$A_m = \bigcap_{k=1}^m \varphi_{ki}(x_k), \quad (m=1,2,\dots,n).$$

Аналогично  $\psi_i(x)$  – первое непустое пересечение  $B_m = \bigcap_{k=1}^m \psi_{ki}(x_k)$  в последовательности:  
 $B_n \subseteq B_{n-1} \subseteq \dots \subseteq B_1.$

**Заключение.** В данной статье предложен формализованный метод автоматизированного синтеза структуры и свойств иерархических систем управления, который позволяет предельно обобщенно подойти к проблеме описания сложных систем, и дает возможность наделять полученные конструкции конкретными математическими структурами, что способствует детальному их изучению.

#### Список использованной литературы

1. Боголюбов А. А. Формирование структуры сложной системы управления / А. А. Боголюбов, В. Б. Галютин // Теоретические и прикладные проблемы создания систем управления технологическими процессами: Тезисы докладов Всесоюз. науч.-технич. совещания. – Челябинск: ЧГУ. – 1990. – С.3–17.

2. Лисяной Г. В. Метод оптимизации структуры АСУ / Г. В. Лисяной // Девятая конф. «Математическое моделирование и информационные технологии» 20-22 октября 2009. Сб. тезисов. – Одесса: 2009. – 40 с.

3. Михайлов К.М. Методологические аспекты построения информационной структуры автоматизированной системы управления / К. М. Михайлов, В. С. Кокошко. // Вест. ХНТУ. – 2002. – № 1 (14). – С. 216–221.

4. Ильясов Б. Г. Синтез динамических систем методом последовательного расширения структуры / Б. Г. Ильясов, С. Ф. Бабак // Вопросы проектирования информационных и кибернетических систем. – Уфа: Техника. – 1987. – С. 21–26.

5. Определение структуры и свойств иерархической автоматизированной системы управления механическим производством / А. Н. Богач, В. И. Живица, Г. М. Клещев, Г. В. Лисяной, О. В. Синявский // Наук.-техн. журнал «Холодильна техніка і технологія». – 2006. – № 4 (102). – С. 97–98.

6. Попцов С. Л. Иерархические системы: подход к описанию структуры и свойств /

С.Л. Попцов // Математические методы оптимизации и структурирования систем: Межвуз. темат. сб. – Калинин: КГУ, 1980. – С. 35–74.

Получено 07.11.2011

#### References

1. Bogolyubov A. A., Galyutin V. B. Formation of the structure of a complex system management // Theoretical and applied problems of control systems creation process: Proceedings of the All-Union Scientific-Technical Meeting. - Chelyabinsk: CSU, 1990. – P. 3–17 [in Russian].

2. Lisyany G. V. A method of optimizing the structure of ACS / Ninth Conf. "Mathematical Modeling and Information Technologies", 20-22 October 2009. Sat theses. – Odessa: 2009. – 40 p. [in Russian].

3. Mikhailov K. M., Kokoshko V. S. Methodological aspects of the construction of information infrastructure tomatizirovannoy auto-control system / The West. HNTU. – 2002. – № 1(14). – P. 216–221 [in Russian].

4. Ilyasov B. G., Babak S. F. Synthesis of dynamic systems by expanding sequential structure / Sat: Design Issues of information and cybernetic systems. – Ufa: Engineering: 1987. – P. 21–26 [in Russian]

5. Bogach A. N., Givitsa V. I., Kleshev G. M., Lisyany G. V., Sinyavskiy O. V / Determining the structure and properties of s-rarhicheskoy automated control system for mechanical production Nauk. – Tech. Journal "Refrigerated tehnika i tehnologiya." – 2006. – № 4 (102). – P. 97–98 [in Russian].

6. Poptsov S. L Hierarchical systems: an approach to the description of the structure and properties / Mathematical Methods for determinizatsii and structuring systems: Intercollege. thematic.sat – Kalinin: KSU. – 1980. – P. 35–74 [in Russian].



Лисяной

Геннадий Владимирович,  
канд. техн. наук, доц.  
каф. соц.-гум. дисциплин  
Од. фил. Европейск. ун-та,  
г. Одесса, ул. В. Стуса, 2, д,  
тел. (048) 757-87-31,  
м. тел. 067-519-42-72