

УДК 681.3.007

## МЕТОД СНИЖЕНИЯ ЭНТРОПИИ В ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКАХ ПРИ УПРАВЛЕНИИ ОРГАНИЗАЦИЕЙ

05.25.05

**Виноградова Г.Л.** к.т.н., профессор кафедры Информационных технологий,  
Костромской государственной технологической университет  
vinogrgalina@yandex.ru

*Предложен метод формирования негэнтропийных тенденций в информационных потоках при управлении организацией. Рассмотрен механизм формирования СУ с малоэнтропийными информационными потоками и ее модель, как результат воздействия предложенным методом. В качестве инструментальной поддержки метода предложено использование программного комплекса «Cobra ++».*

**Ключевые слова:** энтропия, совершенствование процессов, адаптивно-поисковая технология создания информационных систем.

UDK 681.3.007

## METHOD FOR DECREASING OF ENTROPY IN THE INFORMATION FLOW IN THE MANAGEMENT OF THE ORGANIZATION

05.25.05

**G.L. Vinogradova**, Candidate of Technical Science, Professor of department  
of information technology, Kostroma State Technological University  
vinogrgalina@yandex.ru

*The authors propose a method of forming negentropic trends in information flow in the management of the organization. It is submitted the mechanism of formation of MS with little entropic flow of information and its model, as a result of the impact of the proposed method. As the instrumental support of the method proposed to use software package «Cobra + +».*

**Keywords:** entropy, process improvement, automated control system.

Системы управления (СУ) многих отечественных промышленных предприятий функционируют по типу иерархических структур со сложными взаимосвязями между уровнями и элементами системы одного уровня. Иерархическая структура системы управления характеризуется как открытая, в

которой по мере усложнения задач, стоящих перед предприятием осуществляется «ввод энтропии» и система неспособна противостоять энтропийным тенденциям, что снижает эффективность деятельности таких систем управления. Одним из факторов «ввода энтропии» является рассогласованность информационных потоков в смежных элементах системы.

В работах академика Прангишвили И.В. большое внимание отводится проблеме энтропии систем и процессов. Повышение энтропии в СУ это объективная закономерность, а одним из ключевых условий эффективного управления сложными системами является необходимость учета уровня энтропии и формирование негэнтропийных тенденций в информационных потоках при управлении организацией [4].

На основе анализа ИСУ установлено, что основными структурными факторами повышения энтропии в таких системах являются: количество уровней иерархии в системе, и связи, прежде всего межструктурные, а также количество функций в процессах, т.е.

$$\mathcal{E}^I = f(U^I, S_{ms}^I, F_p^I) \quad (1)$$

где  $\mathcal{E}^I$  – показатель структурной энтропии, формируемой в процессе управления в ИСУ,  $U^I$  – уровни иерархии в СУ,  $S_{ms}^I$  – множество межструктурных связей в ИСУ,  $F_p^I$  – множество функций в процессах, протекающих в СУ.

Количество информационных потоков, протекающих в СУ, находится в прямопропорциональной зависимости от количества структурных элементов, следовательно, энтропия информационных потоков в таких системах носит ту же зависимость, т.е.

$$\mathcal{E}_p^I = f(\mathcal{E}^I) \quad (2)$$

На основе теории множеств модель организационной структуры СУ иерархического типа, позволяющая идентифицировать основные структурные элементы, формирующие «ввод энтропии», может быть представлена совокупностью элементов

$$SU^I = \langle Sp^I, S_{ms}^I, U^I, P^I \rangle, \quad (3)$$

где  $Sp^I$  – множество структурных подразделений;  $P^I$  – множество информационных потоков, протекающих в ИСУ;  $U^I$  – количество уровней иерархии в СУ.

Одним из основных факторов, определяющих степень сложности системы, а, следовательно, формирующих ее структурную энтропию, являются связи основных компонентов системы. В структуре ИСУ это связи между функционально-независимыми подразделениями, реализуемые как различные информационные потоки, которые могут быть описаны моделью

$$S_{ms}^I = \langle S_{ms\_g}^I, S_{ms\_v}^I \rangle, \quad (4)$$

где  $S_{ms\_g}^I = \prod_i S_{ms\_g}^{I^i}$  – множество горизонтальных связей (информационных потоков)  $i$ -го функционального подразделения со смежными функционально-независимыми подразделениями,  $S_{ms\_v}^I = \prod_t S_{ms\_v}^{I^t}$  – множество вертикальных связей (информационных потоков)  $i$ -го функционального подразделения с  $t$ -м смежными функционально-независимыми подразделениями, осуществляемые между уровнями иерархии в СУ при принятии решений.

Подмножество горизонтальных межструктурных связей определяется спецификой их реализации, заключающейся в цикличности, при их осуществлении и определяется равенством

$$S_{ms\_g}^I = f(nSp^I), \quad (5)$$

где  $n$  – количество циклов, осуществляемых в процессе принятия решений при согласованиях между функционально-структурными подразделениями  $S_{ms\_g}^I \geq Sp^I$ . Подмножество вертикальных связей определяется показателем иерархичности системы и описывается уравнением  $S_{ms\_v}^I = f(U^I)$ .

Процессы, реализуемые в организационной структуре СУ, функционирующей по иерархическому типу, могут быть представлены моделью

$$P_j^I = F_p^I \cup S_{p\_g}^I \cup S_{ms\_g}^I, \quad (6)$$

где  $P_j^I$  –  $j$ -процесс, реализуемый в ИСУ,  $S_{p_g}^I$  – горизонтальные связи в процессе  $S_{p_g}^I = \sum_{n=1}^N F_{p_j}^I - 1$ , где  $N$  – количество функций в  $j$ -ом процессе.

Оценка структурной энтропии СУ иерархического типа выполнена на основе соотношения

$$\Theta = \sum_{i=1}^n \left| \frac{x_i^* - x_i}{x_i^*} \right| \omega_i, \quad (7)$$

где  $x_i^*$  – идеальное значение  $i$ -го показателя,  $x_i$  – реальное значение  $i$ -го показателя,  $\omega_i$  – весовой коэффициент  $i$ -го показателя,  $\sum_{i=1}^N \omega_i = 1$  [1]. Весовые коэффициенты значимых факторов, формирующих структурную энтропию, распределены следующим образом:  $\omega(U^I) = 0,2$ ;  $\omega(S_{ms}^I) = 0,4$ ;  $\omega(F_j^I) = 0,4$ . Множество межструктурных связей  $S_{ms}^I$  включает подмножества  $S_{ms_g}^I$  и  $S_{ms_v}^I$ , их весовые коэффициенты распределены соответственно 0,3 и 0,1.

Для энтропийной оценки элементарный фрагмент процесса в ИСУ рассмотрен как система, состоящая из двух элементов, и их взаимосвязи, реализуемой как информационный поток передачи данных для реализации следующей функции (рис. 1).

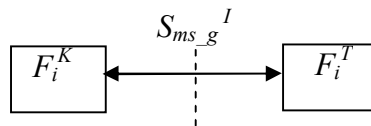


Рис. 1. Схема фрагмента процесса с межструктурными связями

Основными элементами в такой системе являются функции, реализуемые в смежных подразделениях, т.е.  $F_i^K$  – функция  $i$ -го процесса, реализуемого в  $K$ -ом элементе (подразделении) в иерархической СУ,  $F_i^T$  – функция  $i$ -го процесса, реализуемого в  $T$ -ом элементе (подразделении) в иерархической СУ,  $S_{ms_{gi}}^I$  – связь (информационный поток) между элементами горизонтальная (межструктурная) в  $i$ -ом процессе. Исследования связей по-

зволили установить, что они носят циклический характер, число циклов составляет от 1 до 5. Модель связи имеет вид

$$S_{ms\_gi}^I = \sum_1^n |\pm S_{ms\_gi}|, (n = 1, 2, \dots, 5), \quad (8)$$

где  $S_{ms\_gi}^I$  – прямая связь (информационный поток) между структурными подразделениями,  $(-S_{ms\_gi}^I)$  – обратная связь между подразделениями. Доля энтропии, определяемая наличием связей в системе, составляет  $\mathcal{E}_s^I = \mathcal{E}_{sv}^I + \mathcal{E}_{sg}^I = 0,325$ . Общая структурная энтропия ИСУ равна  $\mathcal{E}^I = 0,791$ .

Метод формирования неэнтропийных тенденций в системе управления основан на существенном уменьшении уровней иерархии и взаимодействий структурных элементов, т.е. информационных потоков, в процессах принятия решений при подготовке производства. Предлагаемый подход формирует у СУ способность противостоять энтропийным тенденциям, т.е. придание свойства неэнтропийности за счет устранения рассогласованности элементов системы управления предприятием на основе глубокой интеграции ИС и ИТ. Инструментальная поддержка метода носит вариативный характер: традиционный подход к автоматизации СУ с разработкой специализированного ПО и использование новой адаптивно-поисковой технологии создания КИС, построенной на принципах визуального адаптивного программирования, реализованного в программном комплексе (ПК) «Cobra++» [5]. Одной из принципиальных особенностей ПК «Cobra ++» является наличие в его составе универсальных средств синхронизации данных с внешними источниками данных. Анализ принципов, возможностей, основных компонентов и технологий позволил установить принципиальную возможность использования ПК «Cobra ++» в качестве базового при решении проблемы снижения энтропии в ИСУ промышленных предприятий.

Основой предлагаемого метода является формирование подсистемы автоматического принятия решений, создание трехуровневой автоматизированной системы принятия решений (ТАСПР) и декомпозиция функций, протекающих в ИСУ, по трем контурам управления. Первая подсистема ориен-

тирована на принятие решений человеком, в которой решаются слабо структурируемые задачи, в реализации которых на данном этапе развития информационные системы и технологии использоваться не могут. Вторая подсистема поддерживает автоматизированное принятие решений, в которой осуществляются высокоструктурированные управленческие функции. В подсистеме обеспечивается автоматизированный процесс получения и переработки информации, выработки управляющих воздействий, однако окончательное принятие решения остается за человеком. Третья подсистема выполняет автоматическое принятие решения на основе разработанных алгоритмов.

Основой декомпозиции функций по подсистемам является установление закономерностей при формализации этапов в принятии решений на множестве функций управления при подготовке производства промышленного предприятия [3]. Выявление таких закономерностей позволило обнаружить высокую степень формализации взаимосвязей структурных подразделений (основных элементов системы), основанных на формализованных знаниях экспертов. Это позволяет передать функции организации связей между смежными элементами системы (информационные потоки) в автоматический контур управления, что решает проблему рассогласованности при принятии управленческих решений. Таким образом, осуществляется преобразование системообразующих свойств связей смежных элементов в ИСУ, заключающееся в трансформации их способа реализации, т.е. передачи из ручного контура управления в автоматический [2].

Декомпозиция функций основывается на выявленных закономерностях в формализации этапов принятия решений, являющейся концентрированным выражением реализованной управленческой функции. Критерием распределения функций является уровень формализации этапов ( $\beta_i, \beta_{i-1}$ ) принятия решений при реализации  $i$ -ой функции,  $\beta_i$  – конечный этап процесса принятия решения. Функция реализуется в ручном контуре управления ( $U_m$ ), если формальная модель представлена следующим образом

$$F_m = \{f \in U_m | 0 \leq I_s, K_s, W_s, V_s \leq 1; R_s = 0\}, \quad (9)$$

где  $I_s, K_s, W_s, V_s$  – формальное представление этапов процесса принятия решений ( $I_s$  – этап сбора информации,  $K_s$  – этап разработки критериев и ограничений принятия решения;  $W_s$  – этап установления взаимосвязей между факторами, оказывающими влияние на решение;  $V_s$  – этап выработки вариантов решений;  $R_s$  – этап принятия рационального решения).

Функция, реализуется в автоматизированном контуре ( $U_{ma}$ ), если выполняется условие

$$F_{ma} = \{f \in U_{ma} | (I_s, K_s, W_s) = 1; 0 < V_s, R_s < 1\}. \quad (10)$$

Функция реализуется в автоматическом режиме ( $U_a$ ), если формальная модель имеет вид

$$F_a = \{f \in U_a | (I_s, K_s, W_s, V_s, R_s) = 1\}. \quad (11)$$

Автоматически принятое решение может быть формализовано одним из двух вариантов: в первом случае решение поступает в виде расчетного показателя, то есть:  $R(v_1, v_2 \dots v_n) \rightarrow \underset{k \in K}{optim}$ , где  $K$  – критерий принятия рационального решения. Во втором случае решение реализуется одной из альтернатив: «да – нет», «есть – нет», «удовлетворяет – не удовлетворяет», выбор которой зависит от наличия или отсутствия необходимых условий.

Множество функций, реализуемых в новой СУ, представлено совокупностью

$$F^{mэ} = \langle F_a^{mэ}, F_{ah}^{mэ}, F_h^{mэ} \rangle, \quad (12)$$

где  $F^{mэ}$  – множество функций, реализуемых в СУ с малоэнтропийными связями,  $F_a^{mэ}$  – функции, реализуемые в автоматическом контуре управления,  $F_{ah}^{mэ}$  – функции, реализуемые в автоматизированном контуре управления,  $F_h^{mэ}$  – функции, реализуемые в ручном контуре управления.

Установлено, что при решении задачи декомпозиции функций ИСУ выполняется принцип «золотой пропорции». Этот принцип является универсальной и объективной закономерностью сложных систем, использование

которой повышает эффективность их управления и является основой стабильности систем, в том числе и организационных систем управления [4]. Применительно к области исследования модель «золотого соотношения» принимает вид

$$F_a^{mэ} : (F_h^{mэ}; F_{ah}^{mэ}) = (F_h^{mэ}; F_{ah}^{mэ}) : F^{mэ}. \quad (13)$$

На основании этого положения получено соотношение количества функций с участием ЛПР в СУ с малоэнтропийными связями  $F^{mэ} \approx 0,618 F^l$ , что подтверждено ранее проведенными исследованиями [3].

Результатом воздействия метода является трансформация ИСУ в СУ с малоэнтропийными связями (информационными потоками). В качестве критериев эффективности новой системы управления выступают:

- минимизация «ввода энтропии» при реализации управления предприятием,
- максимальный уровень автоматизации управленческих функций (число автоматических ПР),
- оптимальный уровень иерархий в процессе принятия решений,
- минимизация системных связей (информационных потоков) на основе совершенствования их свойств,
- минимальное время получения и обработки информации, т.е.  $t_{ai} \leq t_{hi}$ , где  $t_{ai}$  – время получения и обработки информации в автоматическом контуре управления,  $t_{hi}$  – время получения и обработки информации в ручном контуре управления.

Формальными характеристиками новой структуры системы организационного управления являются: значительное снижение многомерности системы через показатели количества уровней иерархий и связей между смежными элементами.

Модель структуры системы управления с малоэнтропийными связями примет вид

$$SU^{mэ} = \langle Sp^{mэ}, S_{ms\_v}^{mэ}, U^{mэ}, P^{mэ} \rangle, \quad (14)$$



где  $SU^{mэ}$  – СУ с малоэнтропийными системными связями,  $Sp^{mэ}$  – структурные подразделения в СУ с малоэнтропийными связями;  $S_{ms\_v}^{mэ}$  – множество межструктурных связей в новой СУ;  $P^{mэ}$  – множество процессов, протекающих в СУ с малоэнтропийными связями;  $U^{mэ}$  – количество уровней иерархии в СУ.

Модель  $j$ -го процесса, осуществляемого в СУ с малоэнтропийными системными связями имеет вид

$$P_j^{mэ} = F_p^{mэ} \cup S_{p\_g}^{mэ}, \quad (15)$$

где  $S_{p\_g}^{mэ}$  – горизонтальные связи в  $j$ -ом процессе,  $F_p^{mэ}$  – функции  $j$ -го процесса,  $S_{p\_g}^{mэ} = \sum F_p^{mэ} - 1$ .

Связи межструктурные в новой СУ соответствуют количеству связей вертикальных т.е.

$$S_{ms\_v}^{mэ} = \left( \sum_{h=1}^{\psi} F_h^{mэ} + \sum_{ah=1}^{\varphi} F_{ah}^{mэ} \right) - 1 \quad (16)$$

Количество уровней принятия решений составит

$$U^{mэ} = \{u^{mэ}\}; u_{\sigma}^{mэ}; \sigma = 1, 2, 3. \quad (17)$$

Графическое представление процесса, протекающего в СУ с малоэнтропийными связями (информационными потоками), представлена на рис. 2.

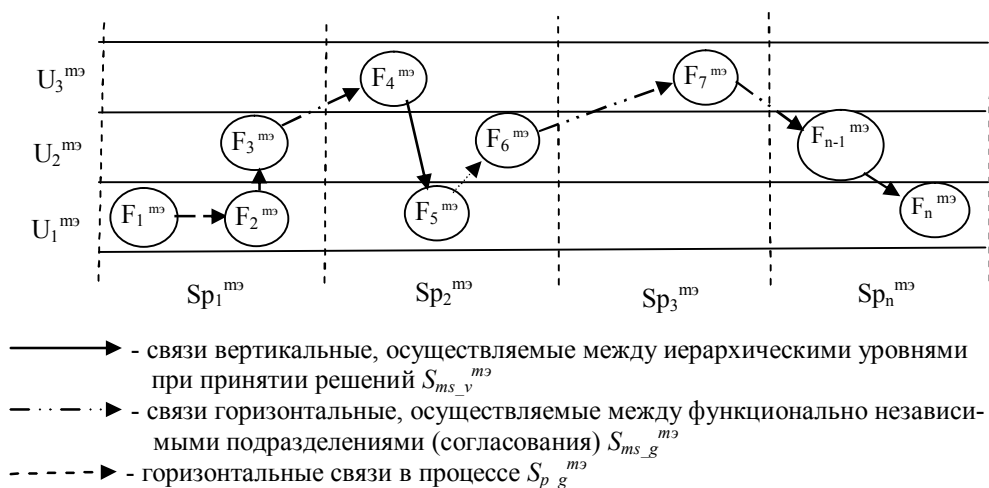


Рис. 2. Модель  $i$ -го процесса в СУ с малоэнтропийными связями

При оценке общей энтропии, формируемой в СУ с малоэнтропийными связями, установлено, что ее показатель соответствует  $\mathcal{E}^I = 0,08$ , что значительно меньше, чем показатель энтропии иерархической СУ. Доля энтропии, определяемая связями в системе, также значительно сокращается и составляет  $\mathcal{E}_{ms}^{mэ} = 0,03$ .

Таким образом, на базе проведенных исследований разработан метод совершенствования многоуровневых структур систем организационного управления предприятием, на основе системного анализа компонентов, формирующего энтропизацию СУ и информационных потоков, протекающих в процессе управления. Метод позволяет: в организационном аспекте формировать негэнтропийные тенденции путем минимизации элементов и связей (информационных потоков) между элементами системы на основе преобразований их системообразующих свойств, в информационном аспекте – выступает как технология проектирования автоматизированной системы управления предприятием на основе новой адаптивно-поисковой технологии, построенной на визуальном адаптивном программировании.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев И.П. Искусство анализа данных // Информационные технологии. – 2003. – № 5. – С. 31-36.
2. Виноградова Г.Л. Автоматизация процедур согласований в бизнес-процессах машиностроительного предприятия // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. Научтехиздат. – 2009. – № 1. – С. 57-60.
3. Виноградова Г.Л. Классификация функций управления при проведении эволюционного реинжиниринга бизнес-процессов // Известия ТулГУ. – Сер. Бизнес-процессы и бизнес-системы. – Вып. 1. – Тула. – 2005. – С. 3–7.
4. Прангишвили И.В. Системный подход и повышение эффективности управления. Ин-т проблем упр. им. В.А. Трапезникова РАН. – М.: Наука, 2005, 422 с.
5. Шведенко В.Н., Набатов Р.А. Технология быстрой разработки баз данных и приложений пользователя в системе «Cobra++» // Программные продукты и системы. – 2008. – № 2. – С. 23-25.