

ЭКОНОМИКА, ОРГАНИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ В ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКОМ КОМПЛЕКСЕ

УДК 658:655

Н. Э. Трусевич, Е. П. Бабурко, М. И. Кулак
Белорусский государственный технологический университет
**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА УРОВНЯ СИСТЕМНОСТИ
ОРГАНИЗАЦИОННЫХ СТРУКТУР УПРАВЛЕНИЯ**

Статья посвящена сравнительному анализу с использованием оценок сложностей системы в иерархических организационных структурах управления. Приведены различные иерархические структуры управления с разным числом заместителей директора и подчиненных им управленческих подразделений. Произведен выбор оптимальной структуры из представленного ряда возможных путем сравнения количественных характеристик структуры аппарата управления.

Определены системная, собственная и взаимная сложности, а также сопряженные коэффициенты для каждой приведенной организационной структуры управления. Рассчитано количество информации, характеризующей схему управления, по формуле Хартли. Определены коэффициенты эмерджентности Хартли и эмерджентности Шеннона, составлено соотношение, при расчете которого учитывается относительная информация, т. е. информация, приходящаяся на один базовый или структурный элемент. Предложена модификация формулы Хартли, которая позволит количественно сравнивать схемы управления с одинаковым количеством уровней иерархии и звеньев на них. Исследованы фрактальные свойства организационных структур.

Количественная оценка дает возможность для заданного количества элементов разрабатывать структуры с максимальным уровнем системности. Результаты могут быть использованы для повышения работоспособности предприятия за счет нахождения оптимального расположения звеньев структуры и иерархических связей между ними. Методика исследования может быть применена для других организационных структур управления.

Ключевые слова: иерархическая структура, система управления, сравнительный анализ, теория информации, формула Хартли, формула Шеннона, коэффициент эмерджентности, структурный уровень.

N. E. Trusevich, Ye. P. Baburko, M. I. Kulak
Belarusian State Technological University
**QUANTITATIVE ASSESSMENT OF SYSTEMIC
ORGANIZATIONAL STRUCTURES OF MANAGEMENT**

The article covers a comparative analysis with the use of the system complexity ratings in hierarchical organizational structures of management. Different hierarchical management structures with a different number of deputy directors and their subordinate administrative units are considered. The decision of the optimal structure from the presented possible ones was made by comparing the quantitative characteristics of the management apparatus structure. System, proper and mutual difficulties are determined as well as associated factors for each given organizational management structure. The amount of information describing control scheme is calculated according to Hartley formula.

The coefficients of Hartley and Shannon emergence are determined as well as the ratio is made, the calculation of which the relative information is taken into account, i. e. the information that comes to one base or structural element. A modification of Hartley formula, which will allow to quantitatively compare quantitatively the control scheme with the same number of hierarchic levels and links on them. Fractal properties of organizational structures have been studied.

Quantitative evaluation allows for a given number of elements to design the structure with the highest level of the systemacy. The results can be used to enhance the performance of the enterprise

by finding the optimal location of the units of the structure and hierarchical relationships between them. Research methodology can be applied for other organizational structures of management.

Key words: hierarchical structure, control system, comparative analysis, information theory, Hartley formula, Shannon formula, emergence rate, structural level.

Введение. Иерархические структуры получили наиболее широкое распространение при проектировании систем управления. При этом они могут отличаться количеством звеньев управления, числом уровней иерархии, нормой управляемости и т. д. Выбор оптимальной структуры из ряда возможных должен базироваться на сравнении количественных характеристик структуры аппарата управления.

Основная часть. Сложность системы управления можно охарактеризовать следующими параметрами (сложностями): системной C_c ; собственной C_o и взаимной C_b .

Системная сложность определяется по формуле [1]

$$C_c = \log_2 n_M, \quad (1)$$

где n_M — количество звеньев управления на нижнем уровне; M — количество уровней в системе управления.

Собственная сложность определяется по формуле [2]

$$C_o = \sum_{i=1}^N \log_2 \lambda_i, \quad (2)$$

где N — количество звеньев в системе управления; λ_i — норма управляемости некоторого звена i .

Соотношение, определяющее взаимосвязь системной, собственной и взаимной сложности системы [1],

$$C_c = C_o + C_b. \quad (3)$$

Системная сложность C_c представляет собой суммарную сложность (содержание) элементов системы вне связи их между собой (в случае прагматической информации — суммарную сложность элементов, влияющих на достижение цели). Собственная сложность C_o представляет содержание системы как целого (например, сложность ее использования). Взаимная сложность C_b характеризует степень взаимосвязи элементов в системе (т. е. сложность ее устройства, схемы, структуры) [1].

При различной сложности элементов сравнительный анализ с использованием оценок C может дать неверный результат. Поэтому пользуются относительными характеристиками, приведенными к собственной сложности.

Разделив члены выражения (3) на C_o , получим два сопряженных коэффициента:

$$\alpha = -C_b / C_o; \quad (4)$$

$$\beta = C_c / C_o, \quad (5)$$

где $\beta = 1 - \alpha$.

Коэффициент α характеризует степень целостности, связности, взаимозависимости элементов системы. Для организационных структур величина α может быть интерпретирована как характеристика устойчивости, управляемости, степени централизации управления.

Коэффициент β характеризует самостоятельность, автономность частей в целом, степень использования возможностей элементов. Для организационных структур β можно назвать коэффициентом использования элементов в системе.

Знак минус в выражении (4) введен для того, чтобы значение α было положительным, поскольку C_b в устойчивых системах, для которых характерно $C_o > C_c$, формально имеет отрицательный знак. Связанное (остающееся как бы внутри системы) содержание C_b характеризует работу системы на себя, а не на выполнение стоящей перед ней цели (чем и объясняется отрицательный знак C_b).

Последнее важно учитывать при формировании организационных структур управления. Проведем сравнительный анализ иерархических структур (рис. 1), которые могут отображать варианты организационной структуры системы управления, включающие разное число заместителей директора (второй сверху уровень иерархии) и подчиненных им управленческих подразделений.

Сопоставив структуры с использованием расчетов приведенных коэффициентов, можно сделать следующие выводы. Если рассматривается организационная структура предприятия, то α можно трактовать как устойчивость системы, степень сохранения ее целостности, а оценку β — как коэффициент использования возможностей элементов, их свободу. Иными словами, увеличение β можно трактовать как децентрализацию управления, а α как степень централизации управления. Тогда при стремлении к демократизации, децентрализации управления, к более эффективному использованию возможностей сотрудников или структурных подразделений, предоставлению им большей самостоятельности следует выбрать структуру, приведенную на рис. 1, *г*. А при стремлении сохранить целостность предприятия, усилить централизованное управление следует отдать предпочтение структурам, приведенным на рис. 1, *а*, из трехуровневых структур — рис. 1, *в*.

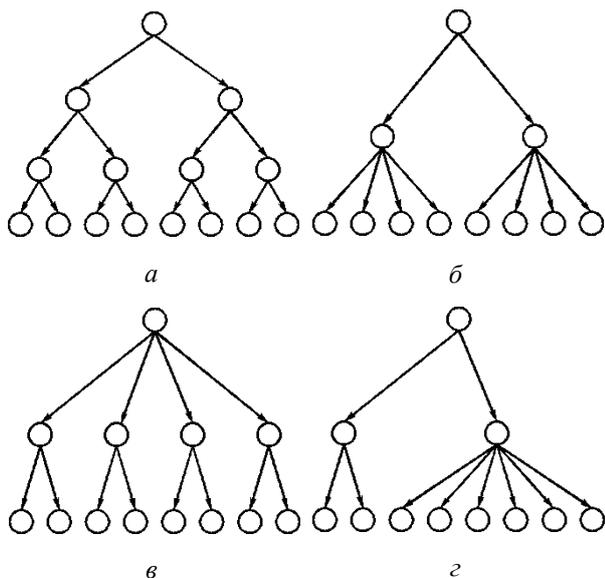


Рис. 1. Иерархические организационные структуры управления:

a — схема 1: $M=4, \lambda=2$; *б* — схема 2: $M=3, \lambda_1=2, \lambda_2=4$; *в* — схема 3: $M=3, \lambda_1=4, \lambda_2=2$; *г* — схема 4: $M=3, \lambda_1=2, \lambda_2^1=2, \lambda_2^2=6$

Количество информации I_X , характеризующей схему управления, определяется по классической формуле Хартли [3]:

$$I_X = \log_2 n_M. \quad (6)$$

В работе [3] предложено системное обобщение классической формулы Хартли (6):

$$I_{XЛ} = \log_2 n_M^\phi = \log_2 \sum_{m=1}^M C_{n_M}^{n_m}, \quad (7)$$

где ϕ — коэффициент эмерджентности Хартли, характеризующий уровень системной организации структуры; m — текущий уровень в системе управления; n_m — количество звеньев на уровне m ; $C_{n_M}^{n_m}$ — число сочетаний из n_M по n_m .

Результаты расчета количества информации, характеризующей схему управления, по формуле (7), приведены в таблице. Показано, что $I_{XЛ}$ зависит от количества уровней в системе управления. Однако для схем, различных по структуре, но имеющих одинаковое количество звеньев на уровнях (рис. 1, *б*, *г*), показатель $I_{XЛ}$ одинаков. Таким образом, показатель в виде (7) не в полной мере характеризует структуру схем управления.

Для исправления данного недостатка необходимо модифицировать формулу (7):

$$I_{XМ} = \log_2 \left[n_M + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{n_m} C_{n_M}^{\lambda_{m_i}} \right]. \quad (8)$$

Учитывая (6) и (8), получим следующее выражение для коэффициента эмерджентности Хартли:

$$\phi = \frac{\log_2 \left[n_M + \sum_{m=1}^M \sum_{i=1}^{n_m} C_{n_M}^{\lambda_{m_i}} \right]}{\log_2 n_M}. \quad (9)$$

Результаты расчетов по (6)–(9) приведены в таблице.

В 1948 году Клодом Шенноном предложена ставшая классической формула для измерения суммарного количества информации, содержащейся в последовательности из n_M символов, каждый из которых встречается в последовательности n_i раз. Она имеет вид [4]

$$I = - \sum_{i=1}^{n_M} p_i \log(p_i), \quad (10)$$

где p_i — вероятность появления элемента на нижнем (базовом) структурном уровне.

Параметры иерархических структур управления

| Параметр | Схема 1 | Схема 2 | Схема 3 | Схема 4 |
|----------------|---------|---------|---------|---------|
| N | 15 | 11 | 13 | 11 |
| C_e , бит | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 |
| C_o , бит | 7,000 | 5,000 | 6,000 | 4,700 |
| C_b , бит | -4,000 | -2,000 | -3,000 | -1,700 |
| α | 0,571 | 0,400 | 0,500 | 0,362 |
| β | 0,429 | 0,600 | 0,500 | 0,638 |
| I_X , бит | 3,000 | 3,000 | 3,000 | 3,000 |
| $I_{XЛ}$, бит | 6,741 | 5,209 | 6,304 | 5,209 |
| $I_{XМ}$, бит | 8,741 | 8,644 | 8,484 | 8,304 |
| ϕ | 2,914 | 2,881 | 2,828 | 2,768 |
| E_S | 6,279 | 3,782 | 4,074 | 3,782 |
| D | 1,234 | 1,797 | 1,904 | 1,797 |

Если события появления символа равновероятны, то p_i вычисляется по формуле

$$p_i = 1 / n_i. \quad (11)$$

С учетом (11) формула (10) приводится к виду

$$I = \log(n_M). \quad (12)$$

Поскольку (12) и (6) совпадают, то это является указанием на то, что формула Хартли является частным случаем формулы Шеннона (10) [4].

В работе [5] предложено системное обобщение формулы Шеннона, которое позволяет учитывать не только количество элементов на базовом структурном уровне, но и систему их организации на более высоких уровнях. Обобщенная формула имеет вид

$$I_S = \sum_{u=1}^M \log \left(\sum_{i=1}^{n_u} n_i^u \right). \quad (13)$$

По аналогии с коэффициентом эмерджентности Хартли в работе [5] предложен коэффициент

эмерджентности Шеннона E_S . Он представляет собой отношение (13) к (12). Но при его расчете учитывается относительная информация, т. е. информация, приходящаяся на один базовый или структурный элемент. Окончательная формула имеет следующий вид:

$$E_S = \frac{\frac{1}{N} \log(N) + \sum_{u=1}^M \frac{1}{\sum_{i=1}^{n_u} n_i^u} \log(\sum_{i=1}^{n_u} n_i^u)}{\frac{1}{N} \log(N)}. \quad (14)$$

Результаты расчета E_S приведены в таблице.

Организационная структура может быть представлена как фрактальный кластер [2]. В этом случае количество уровней в системе управления M и количество звеньев N связаны между собой формулой

$$N = \left(\frac{M}{a}\right)^D, \quad (15)$$

где D — фрактальная размерность структуры; a — используемый масштаб. Из условия $N = 1$ и $M = 1$ следует, что $a = 1$.

Результаты расчета D по формуле (15) для схем на рис. 1 приведены в таблице. Показано, что во всех случаях величина D находится в диапазоне $1 < D < 2$. Для схемы на рис. 1, а, она ближе к 1, а для остальных — к 2. Зависимость фрактальной размерности линейных организационных структур от количества уровней и нормы управляемости приведена на рис. 2.

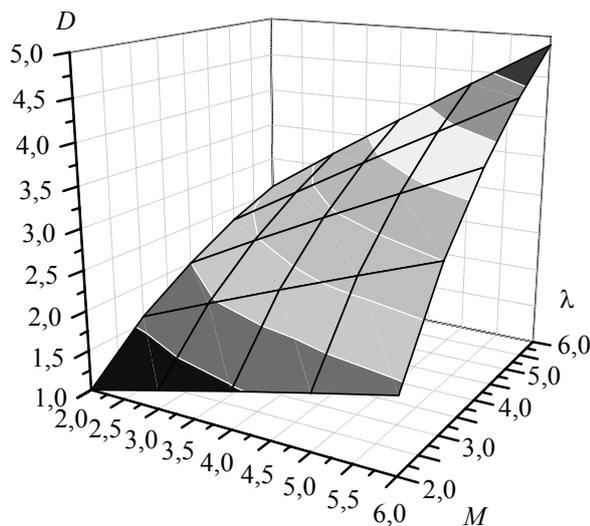


Рис. 2. Зависимость фрактальной размерности линейных организационных структур от количества уровней и нормы управляемости

При увеличении нормы управляемости и количества уровней фрактальная размерность возрастает от 1 до 4,895. Значение $D = 1$ соответ-

ствует вырождению кластера в линию. Для схем с $\lambda = 3D$ находится в диапазоне $1,585 < D < 3,001$. Схемы (кластеры) могут быть плоскими вплоть до трехмерных. Для схем с $\lambda = 4$ и выше D может быть больше 3, т. е. схема представляет собой гиперкластер.

Зависимость фрактальной размерности линейных организационных структур от количества уровней с распределенной нормой управляемости приведена на рис. 3. При увеличении λ от 2 до 6 D растет от 1 до 3,496. При уменьшении λ от 6 до 2 D растет не столь заметно.

Зависимость фрактальной размерности для трехуровневых функциональных организационных структур от нормы управляемости приведена на рис. 4. Показано, что изменение нормы управляемости на нижнем уровне оказывает более существенное влияние на D , чем на среднем.

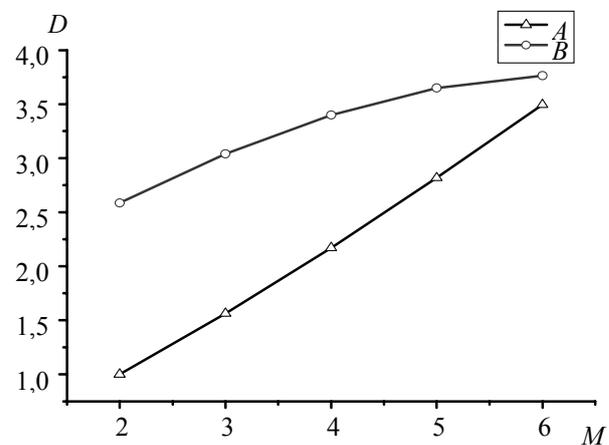


Рис. 3. Зависимость фрактальной размерности линейных организационных структур от количества уровней с распределенной нормой управляемости: А — при увеличении λ от 2 до 6; В — при уменьшении λ от 6 до 2

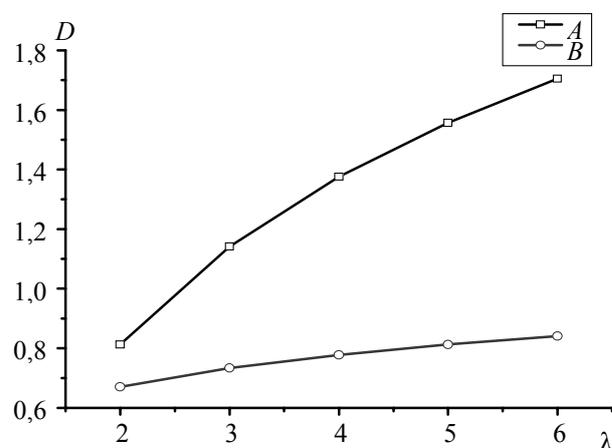


Рис. 4. Зависимость фрактальной размерности для трехуровневых функциональных организационных структур от нормы управляемости: А — в зависимости от λ на нижнем уровне; В — в зависимости от λ на втором уровне

Заключение. Таким образом, предлагаемая модификация формулы Хартли (8) позволяет количественно сравнивать схемы управления с одинаковым количеством уровней иерархии и звеньев на них. Как показано в таблице, $I_{ХМ}$ для всех схем имеет разные значения.

Коэффициент эмерджентности Хартли ϕ характеризует уровень системной организации структуры. У схемы с $M=4\phi$ больше, чем у

схем с $M=3$. Для схем с $M=3$ он имеет наибольшее значение для схемы 2. С практической точки зрения (9) дает возможность для заданного количества элементов разрабатывать структуры с максимальным уровнем системности.

Установлено, что фрактальная размерность линейных и функциональных организационных структур изменяется от 0,671 до 4,895 и зависит от количества уровней и нормы управляемости.

Литература

1. Волкова В. Н., Денисов А. А. Основы теории систем и системного анализа. СПб.: Изд-во СПбГПУ, 2003. 520 с.
2. Кулак М. И., Ничипорович С. А., Медяк Д. М. Методы теории фракталов в технологической механике и процессах управления: полиграфические материалы и процессы. Минск: Белорусская наука, 2007. 419 с.
3. Луценко Е. В. Автоматизированный системно-когнитивный анализ в управлении активными объектами. Краснодар: КубГАУ, 2002. 605 с.
4. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Изд-во иностранной литературы, 1963. 830 с.
5. Луценко Е. В. Количественная оценка уровня системности на основе меры информации К. Шеннона (конструирование коэффициента эмерджентности Шеннона) // Научный журнал КубГАУ, 2012, № 79 (05). С. 1–57.

References

1. Volkova V. N., Denisov A. A. *Osnovy teorii sistem i sistemnogo analiza* [Basics of theory and systems analysis]. St. Petersburg, Izd-vo SPbGPU Publ., 2003. 520 p.
2. Kulak M. I., Nikiporovich S. A., Medyak D. M. *Metody teorii fraktalov v tekhnologicheskoy mekhanike i processakh upravleniya: poligraficheskiye materialy i protsessy* [Methods of fractal theory in the process mechanics and control processes: printing materials and processes]. Minsk, Belorusskaya nauka Publ., 2007. 419 p.
3. Lucenko E. V. *Avtomatizirovannyi sistemno-kognitivnyy analiz v upravlenii aktivnymi obyektami* [An automated system-cognitive analysis in the management of active objects]. Krasnodar, KubGAU Publ., 2002. 605 p.
4. Shannon K. *Raboty po teorii informatsii i kibernetike* [Work on information theory and cybernetics]. Moscow, Izd-vo inostrannoy literatury Publ., 1963. 830 p.
5. Lucenko E. V. Quantification of level of a system, based on information measures of K. Shannon (building rate of emergence of Shannon). *Nauchnyj zhurnal KubGAU* [Scientific journal of the KubSAU], 2012, no. 79 (05), pp. 1–57.

Информация об авторах

Трусевиц Надежда Эдуардовна — кандидат экономических наук, доцент кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: trusevich@belstu.by

Бабурко Екатерина Павловна — магистрант кафедры полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lagutina@belstu.by

Кулак Михаил Иосифович — доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой полиграфических производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kulak_mi@tut.by

Information about the authors

Trusevich Nadezhda Eduardovna — PhD (Economics), Assistant Professor, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: trusevich@belstu.by

Baburko Yekaterina Pavlovna — Master's degree student, the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: baburko@belstu.by

Kulak Mikhail Iosifovich – DSc (Physics and Mathematics), Professor, Head of the Department of Printing Production. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kulak_mi@tut.by

Поступила 18.08.2016