

Оценка уровня горизонтальных связей системных компонентов жизненного цикла изделия

С.А. Базуева

*Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ)
имени М.И. Платова*

Аннотация: В статье приведены связи иерархических показателей горизонтальной структурной интеграции, определяющие глобальные и частные цели. Это позволяет решать задачи оптимизации при проектировании сложных систем, планировании и оперативном управлении, учитывая различные внешние воздействия.

Ключевые слова: жизненный цикл, жизненный цикл изделия, модель жизненного цикла, инновационная деятельность, системная инженерия, энтропия, закон Эшби, формула Шеннона, формула Хартли.

Роль энтропии информации для определения устойчивости элементов жизненного цикла

Основными задачами при организации инновационной деятельности современного промышленного предприятия является рост конкурентных преимуществ и выход на новые рынки при помощи усовершенствования продукции или разработки новых изделий, а также оптимизации издержек. Это ведет к:

- увеличению скорости движения материальных потоков;
- усложнению структурных связей при уменьшении их количества;
- уменьшению числа агентов цепочки поставок;
- снижению надежности цепочки поставок.

Все эти процессы приводят к уменьшению уровня устойчивости производственных комплексов. Чтобы избежать данного эффекта важно прорабатывать вопросы связи между элементами жизненного цикла.

Энтропия \mathcal{E} – количественная мера свободы в сложной системе и определяется количеством возможных состояний N_s :

$$\mathcal{E} = \ln N_s$$

Приведенная выше формула справедлива для равновероятных состояний. Если комплекс может быть в n -состояниях — s_1, s_2, \dots, s_n — с вероятностями $p(s_1), p(s_2), \dots, p(s_n)$, то энтропия системы определяется:

$$\mathcal{E} = - \sum_{i=1}^n p(s_i) \ln p(s_i)$$

Энтропия, как и информация, измеряется в битах, таким образом, в формуле можно использовать двоичный логарифм.

Принцип компенсации энтропии – уровень энтропия неизолированной системы может уменьшаться за счет компенсирующего увеличения уровня энтропии в других системах, которые связаны с данной.

Закон «необходимого разнообразия» Эшби – для уменьшения разнообразия необходимо выполнить управляющее воздействие. При увеличении уровня энтропии будет расти размерность сложной системы и количество независимых переменных, а также увеличивается уровень неопределенности и беспорядок. Чтобы их уменьшить, необходимо вводить в систему негэнтропию или информацию. Во время прогрессивного развития растет – негэнтропия, при деструктивных процессах – энтропия.

Согласно закону Эшби когда ЛПР N встречает проблему D , которая имеет неочевидное решение, то есть некоторое разнообразие возможных решений, оценивающееся энтропией \mathcal{E}_D . Данному разнообразию противостоит «разнообразие» исследователя \mathcal{E}_N — разнообразие известных методик решения задачи и способность создавать новые. Задача заключается в том, чтобы минимизировать разность разнообразий $\Delta\mathcal{E} = \mathcal{E}_D - \mathcal{E}_N$, в идеальном случае — к 0. $\Delta\mathcal{E}$ можно уменьшить только за счет роста \mathcal{E}_N . Для решения задачи управления управляющая система должна обладать большим (или равным) разнообразием (свободой выбора), чем объект управления:

$$\mathcal{E}_D \geq \mathcal{E}_N$$

Между компонентами систем имеется обмен данными, причиной которого выступает неравновесное состояние, вот почему уровень

интенсивности связей элементов можно определить отличием компонентов данной сложной системы от структуры, состоящей из совокупности полностью независимых объектов, для которых характерен нулевой уровень интеграционных связей. Поэтому для определения интенсивности связей элементов сложной системы целесообразно использовать информационный функционал различия [1].

Определение интенсивности связей информационных элементов системы управления жизненным циклом изделия

Чтобы получить аналитическое выражение используем две гипотезы: H_1 , по которой x и y – зависимые переменные, которые имеют совместную плотность распределения $f(x, y)$, и H_2 , по которой x и y – независимые переменные, которые имеют плотность распределения $g(x)$ и $h(y)$. В этом случае информационную степень различия определяется в виде:

$$\begin{aligned} \text{Int}(y, x) &= \iint f(x, y) \log \frac{f(x, y)}{g(x)h(y)} dx dy = \iint f(x, y) \log \frac{f_1(x)f_2(y|x)}{g(x)h(y)} dx dy = \\ &= \iint f(x, y) \log \frac{g(x)h(y|x)}{g(x)h(y)} dx dy = \iint f(x, y) \log \frac{h(y|x)}{h(y)} dx dy. \end{aligned}$$

Чтобы определить уровень интенсивности интеграции, воспользуемся выражением для интенсивности связей между элементами

$$\begin{aligned} \text{Int}(x_1, x_2, \dots, x_n) &= \int \dots \iint f(x_1, x_2, \dots, x_n) \log \frac{f(x_1, x_2, \dots, x_n)}{f(x_1)f(x_2)\dots f(x_n)} dx_1 dx_2 \dots dx_n = \\ &= \int \dots \iint f(x_1, x_2, \dots, x_n) \log \frac{f(x_1)f(x_2|x_1)f(x_3|x_1x_2)\dots f(x_n|x_1\dots x_{n-1})}{f(x_1)f(x_2)\dots f(x_n)} dx_1 dx_2 \dots dx_n = \\ &= \int f(x_1, x_2, \dots, x_n) \left[\log \frac{f(x_2|x_1)}{f(x_2)} dx_1 + \log \frac{f(x_3|x_1x_2)}{f(x_3)} dx_2 + \dots + \log \frac{f(x_n|x_1\dots x_{n-1})}{f(x_n)} dx_n \right] = \\ &= \int f(x_1, x_2, \dots, x_n) \log \frac{f(x_2|x_1)}{f(x_2)} dx_1 + \int f(x_1, x_2, \dots, x_n) \log \frac{f(x_3|x_1x_2)}{f(x_3)} dx_2 + \dots \end{aligned}$$

$$.. + \int f(x_1, x_2, \dots, x_n) \log \frac{f(x_n | x_1 \dots x_{n-1})}{f(x_n)} dx_n.$$

Максимальные оценки интеграции можно получить, используя комбинаторный подход, развитый в работах В. Гоппа [2]. Классическая формула Шеннона для не равновероятных событий модифицируется в формулу Хартли при равновероятных событиях, имея вид для максимального значения энтропии $I = \text{Log} W$, (1) где W – число чистых состояний [3, 4].

Оценка интенсивности связей элементов жизненного цикла изделия

Для оценки интенсивности связей системы данное выражение учтем, что вероятны смешанные состояния, являющихся нелинейной суперпозицией или одновременной реализацией чистых состояний "из W по m ", всего вероятно достижение C_W^m состояний. Системное обобщение формулы Хартли:

$$I = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M C_M^m.$$

Представим сумму в форме ряда слагаемых:

$$I = \text{Log}_2 (C_W^1 + C_W^2 + \dots + C_W^M). \quad (1)$$

Первое слагаемое в (1) определяет объем информации по классической формуле Хартли, а другие – дополнительную информацию, получаемую за счет иерархической структуры системы или смешанных состояний. Учитывая, что при $M=W$ по формуле бинома Ньютона [5]:

$$\sum_{m=0}^M C_W^m = 2^W \quad \text{или} \quad \sum_{m=1}^M C_W^m = 2^W - 1 \quad (2), \quad \text{где } M - \text{смешанные состояния.}$$

Формула (2) позволяет оценить максимальный объем информации, который может содержаться в элементе системы с учетом его вхождения в различные подсистемы ее иерархической структуры [6]. В реальных сложных системах имеются не все возможные сочетания элементов i -го уровня иерархии, так как есть правила запрета. Чтобы определить коэффициент внутрисистемной организации:

$$Int_k = \text{Log} \sum_{m=1}^M C_w^m - \text{Log} W = \text{Log} \frac{(2^w - 1)}{W}. \quad (3)$$

Уровень интенсивности связей иерархического уровня отражает степень системности объекта на определенном уровне и может меняться от 0 (минимальный, системность отсутствует) до $W/\text{Log}_2 W$ (максимальный). Для определенного количества элементов системы есть максимальный уровень системности, который реально не достигается из-за действий правил запрета [7, 8]. Максимально возможную оценку количества информации можно преобразовать к виду:

$$Int_k \leq \text{Log} \frac{2^w - 1}{W}. \quad (4)$$

Так как $C_w^m = \frac{W!}{m!(W-m)!}$ выражение (1) имеет вид:

$$Int_k = \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M \frac{W!}{m!(W-m)!}, \quad (5) \text{ где } 1 \leq M \leq W.$$

$\text{Log}_2 1 = 0$, выражение (5) приобретает вид:

$$Int_k = \sum_{n=2}^w \text{Log}_2 n + \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M \frac{1}{m!(W-m)!}, \quad (6)$$

Коэффициент интенсивности связей иерархического уровня:

$$Int_k = \sum_{n=2}^w \text{Log}_2 \frac{n}{W} + \text{Log}_2 \sum_{m=1}^M \frac{1}{m!(W-m)!W}.$$

Данные показатели связи элементов определяют уровень “горизонтальной” связности элементов системы [9, 10].

Выводы

На основании проделанного исследования, можно сделать следующие выводы:

1. Сложность системы определяется количеством информации.
2. Чем больше объектов в системе, тем большее количество от всего совокупного объема информации составляют системные данные.

3. Системные данные зависят от количества элементов сложной системы и типа связей между компонентами.

4. При росте уровня системности, большая доля информации будет содержаться во взаимосвязях ее компонентов.

Литература

1. Панов М.П. Жизненный путь и цикл развития организации. Практическое пособие. – М.: Инфра-М. – 2016. – 98 с.
 2. Гоппа В. Д. Введение в алгебраическую информацию. М.: – 1995. – 202 с.
 3. Фиговский О. Инновационный инжиниринг – путь к реализации оригинальных идей и прорывных технологий // Инженерный вестник Дона, 2014, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2321.
 4. Лазутин Ю.Д. Качество жизненного цикла промышленных изделий – М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. – 320 с.
 5. Ицхак Кальдерон Адизес. Управление жизненным циклом корпорации – СПб: Питер, 2015. – 512 с.
 6. Губич Л., Ковалев М., Паткевич Н. Внедрение на промышленных предприятиях информационных технологий поддержки жизненного цикла продукции – Минск: Беларуская Навука, 2013. – 190 с.
 7. Михайлов А.А., Михайлова С.А. Оценка структурной интеграции информационно-измерительных систем – Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Технические науки, 2007. № 6. с. 22-26.
 8. Аксенов К. А. Коалиционная модель мультиагентного процесса преобразования ресурсов // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 ч. 2. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1437.
 9. Dale B.G. Managing Quality.–3-rd ed. – Blackwell Publishers, Oxford – 1999. 63 p.
-

10. Dickenson R.P., Campbell D.R. and Azarov V.N. Quality management implementation in Russia Strategies for change// International Journal of Quality & Reliability Management, №1. 2000. – pp. 66-81.

References

1. Panov M.P. Zhiznennyj put' i cikl razvitija organizacii. Prakticheskoe posobie. [Course of life and cycle of development of the organization]. M.: Infra-M. 2016. 98 p.
2. Goppa V. D. Vvedenie v algebraicheskiy informaciyu. [Introduction to algebraic information] M. 1995. 202 p.
3. Figovskij O. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2014, №1. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2014/2321.
4. Lazutin Ju.D. Kachestvo zhiznennogo cikla promyshlennyh izdelij. [Quality of life cycle of industrial products]. M.: MGTU im. N. Je. Baumana, 2017. 320 p.
5. Ichak Kal'deron Adizes. Upravlenie zhiznennym ciklom korporacii. [Management of life cycle of corporation]. SPb : Piter, 2015. 512 p.
6. Gubich L., Kovalev M., Patkevich N. Vnedrenie na promyshlennyh predpriyatijah informacionnyh tehnologij podderzhki zhiznennogo cikla produkcii. [Introduction at the industrial enterprises of information technologies of support of life cycle of production]. Minsk: Belaruskaja Navuka, 2013. 190 p.
7. Mikhajlov A.A., Mikhajlova S.A. Izvestiya vy`sshix uchebny`x zavedenij. Severo-Kavkazskij region: Texnicheskie nauki, 2007. № 6. pp. 22-26.
8. Aksenov K. A. Inzhenernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1437.
9. Dale B.G. Managing Quality. 3rd ed. Blackwell Publishers, Oxford. 1999. 63 p.
10. Dickenson R.P., Campbell D.R. and Azarov V.N. International Journal of Quality & Reliability Management, 17. №1. 2000. pp. 66-81