

СИНЕРГИЗМ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В СФЕРЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДОРОЖНОГО ДВИЖЕНИЯ

Кандидат техн. наук, доцент **Колесов В.И.**
(Тюменский индустриальный университет)

SYNERGISM OF COMPLEX SYSTEMS IN THE SPHERE OF ROAD SAFETY

V.I. Kolesov, Ph.D. (Tech.), Associate Professor
(Tyumen Industrial University)

Безопасность дорожного движения, макро моделирование, обобщенное золотое сечение, параметрическая идентификация модели.

Road safety, macromodeling, generalized golden ratio, parametric identification of the model.

Статья ориентирована на синтез инструментальных средств моделирования стратегий развития систем организации и обеспечения безопасности дорожного движения в «умных регионах». Выполнена параметрическая идентификация макромоделей обобщенного золотого сечения для ряда стран-лидеров и России. Приведены результаты расчетов.

The article is focused on the synthesis of tools for modeling strategies for the development of organization systems and ensuring road safety in "smart regions". Parametric identification of macromodels of the generalized golden section for a number of leading countries and Russia has been performed. The results of calculations are presented.

Введение. В настоящее время наблюдается кризис в сфере управления безопасностью дорожного движения. Он обусловлен отсутствием системного подхода к задаче. О его важности говорил в своё время И.В. Прангишвили - директор Института проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук [1]:

«Система всегда довлеет над своим элементом, определяя его поведение, поэтому если свойства элемента изменены без учета свойств системы, последняя все равно "сделает все по-своему" и нарушит тем самым любые самые смелые планы эксперимента. Целостный, или системный, подход находит все большее применение на практике при анализе поведения сложных систем.»

Институт проблем управления (ИПУ) – признанный авторитет в России. Институтом разработан ряд научных методов повышения эффективности управления, хорошо зарекомендовавших себя на практике [1]. Одним из них является метод «золотого сечения» (или «золотой пропорции»), являющийся основой современного научного направления – «F-технологии» (F – Фибоначчи).

Постановка задачи. Поиск хороших инженерных решений в сфере управления городской мобильностью предполагает убедительную аргументацию целевых показателей управления. Это принципиально важный момент для городской администрации при обосновании городского бюджета. К сожалению, формализованных решений на этот счет пока найти не удалось. Делается попытка хотя бы частично устранить имеющийся пробел.

Решение задачи. Логика решения задачи включает ряд этапов:

1. Введение понятия «эталонная система» и анализ её свойств.
2. Рассмотрение специфики реальной системы.
3. Введение критерия близости реальной системы к эталонной.

4. Примеры практического использования предложенного подхода.

Далее рассмотрена реализацию этих этапов.

Этап 1. Введение понятия «эталонная система» и анализ её свойств. Под эталонными понимаются открытые гармоничные неравновесные системы, отвечающие двум условиям [3]:

- они работают в режиме обобщенного золотого сечения (ОЗС) [2] и имеют параметр порядка $g = s + 1$;
- имеют то же значения порядка g в аналитическом описании диаграммы Парето.

Обобщенное золотое сечение. Тематика построения высокоэффективных гармоничных открытых систем относится к разряду классических. Одним из ведущих специалистов в этой области является Э.М.Сороко. Им установлено [2], что в подавляющем большинстве ситуаций работает закон «обобщенного золотого сечения» (ОЗС), когда между частями единичного отрезка выполняется пропорция

$$(1/x)^s = x/(1-x), \quad (1)$$

из которой следует

$$x^g + x - 1 = 0, \quad (2)$$

где x - доминанта; $1-x = x_c$ - субдоминанта; s и g - так называемые параметры порядка, $g = s + 1$.

Уравнение (2) активно эксплуатируется в задачах анализа и синтеза гармоничных сложных систем, при этом в качестве инструмента анализа используются эталонные системы в метрике обобщенного золотого сечения [3]. Такие системы характеризуются единым параметром порядка g как в уравнении Э.М.Сороко (2), так и в аналитическом описании диаграммы Парето

$$y = 1 - (1-r/n)^g, \quad (3)$$

где r - ранг «веса» r -компонента системы; n – максимальный ранг.

Диаграмма Парето, как известно, является кумулятой (нарастающей суммой) «весов» n -компонентной системы (рис.1).

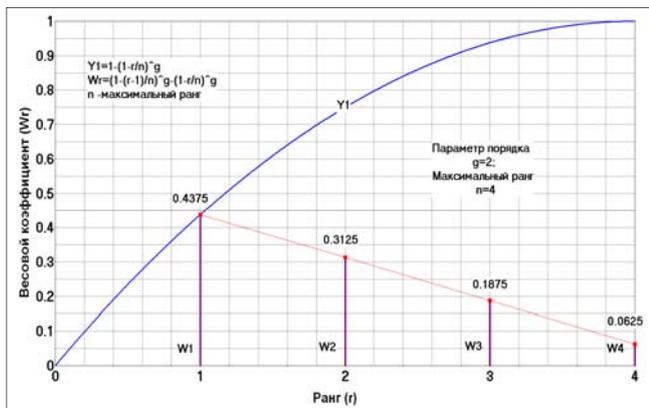


Рис.1. Весовые коэффициенты

Важной особенностью соотношения (3) является возможность формализовать «вес» w_r каждого r -компонента системы

$$w_r = y_r - y_{r-1} = \left(1 - \frac{r-1}{n}\right)^g - \left(1 - \frac{r}{n}\right)^g. \quad (4)$$

Легко убедиться, что «веса» отвечают условию нормировки $\sum_{r=1}^n w_r = 1$. Так, например, при $n = 3$ имеем

$$\sum_{r=1}^3 w_r = w_1 + w_2 + w_3 = \left[1 - \left(1 - \frac{1}{3}\right)^g\right] + \left[\left(1 - \frac{1}{3}\right)^g - \left(1 - \frac{2}{3}\right)^g\right] + \left(1 - \frac{2}{3}\right)^g = 1$$

Следует обратить внимание на то, что в эталонной системе структура «весов» чётко детерминирована, поэтому может использоваться для оценки уровня организованности самой системы. Численной характеристикой такой оценки является структурная относительная энтропия H_n

$$H_n = \left[- \sum_{r=1}^n w_r \cdot \ln(w_r) \right] / \ln(n), \quad (5)$$

при этом, чем меньше H_n , тем выше уровень организованности системы. Уровнем организованности системы можно управлять (изменяя H_n путём вариации структуры «весов»). Численной характеристикой чувствительности к управлению является эластичность H_n относительно w_r

$$EL_r = \frac{\Delta H_n / H_n}{\Delta w_r / w_r},$$

которая, как показано на рис. 2, не остаётся постоянной. Наибольший интерес представляют её значения в области золотого сечения ($g=2$), когда систему считают гармоничной. Лучший результат соответствует боль-

шому значению модуля эластичности. Анализ рис. 2 показывает, что с точки зрения эффективности (при $g=2$) наиболее перспективно управлять уровнем летальности, а наименее успешно - уровнем автомобилизации. Это следует учитывать администрациям регионов при обосновании годового бюджета.

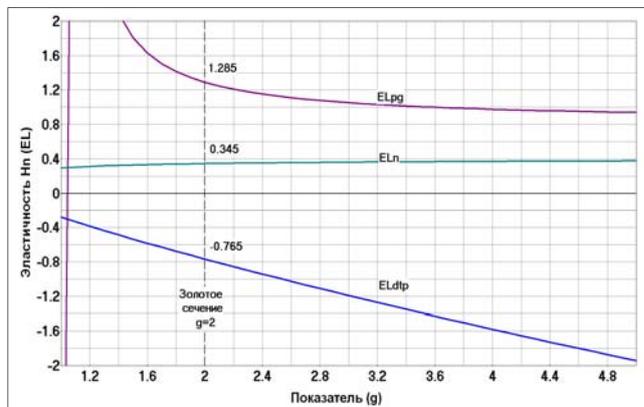


Рис.2. Эластичность H_n относительно «весов» w_r

Анализируя соотношения (4) и (5), легко предвидеть, что величины H_n и g должны быть однозначно связаны (рис. 3), т.е. по g можно найти H_n .

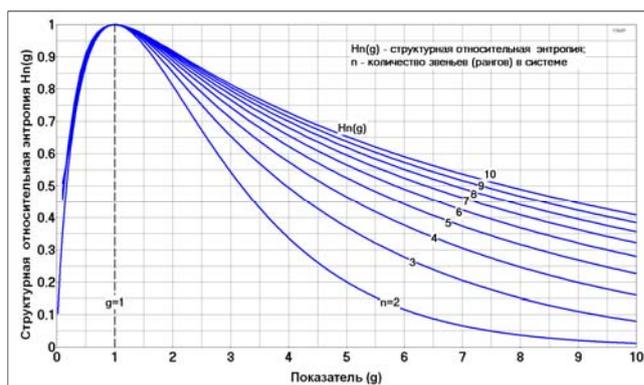


Рис.3. Структурная относительная энтропия $H_n(g)$

В свою очередь возможно решения и обратной задачи: вычисление g по значению H_n . При заданном числе компонентов n показатель g может быть оценен по известному значению H_n на основе регрессионного анализа. Так, в случае $1 < g < 10$ при $n=3$ оценка равна

$$g(H_n) = -370.059 \cdot H_n^7 + 1438.766 \cdot H_n^6 - 2325.406 \cdot H_n^5 + 2030.659 \cdot H_n^4 - 1048.7241 \cdot H_n^3 + 335.1466 \cdot H_n^2 - 73.4987 \cdot H_n + 14.17315 \quad (6)$$

Есть ещё один нюанс в соотношении (4), который заслуживает пристального внимания: старший «вес» w_1 в эталонной системе связан с показателем g соотношением

$$w_1 = 1 - \left(1 - \frac{1}{n}\right)^g, \quad (7)$$

и это свойство использовано далее при разработке критерия близости реальной системы к эталону.

Этап 2. Специфика реальной системы. Предметной областью анализа являются региональные системы организации и безопасности дорожного движения (ОБДД). При разработке их алгоритмического обеспечения в последнее время активно используется кибернетический подход. Его идея заключается в выделении базовых компонентов системы и оценке их вклада («веса») в эффективность управления. Суть способа подробно изложена в ряде авторских работ [4, 5]. На рис. 4 представлена структура процедуры анализа реальной

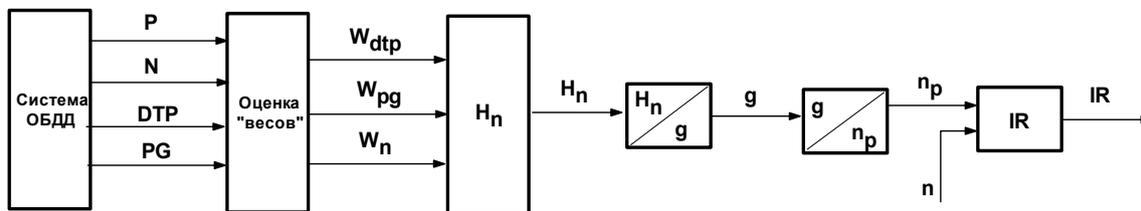


Рис.4. Структура процедуры анализа реальной системы

В ходе обработки данных использованы следующие рабочие алгоритмы:

$$w_r = Q_r / \sum_{r=1}^n Q_r, \quad (8)$$

где r - ранг компонента системы (рангу 1 соответствует идентификатор dp , рангу 2 - pg , рангу 3 - n); $Q_n = \ln(P/N)$; $Q_{dp} = \ln(N/DTP)$; $Q_{pg} = \ln(DTP/PG)$.

Далее по найденным «весам», в соответствии с (5), вычислялась относительная энтропия H_n , а по ней, на основании (6), – параметр порядка системы g .

Этап 3. Введение критерия близости реальной системы к эталонной.

Если для реальной n -компонентной системы вычислены весовые коэффициенты w_r и по ним (в соответствии с (5)) найдена относительная энтропия H_n , то можно ставить вопрос о принадлежности этой системы к разряду эталонных. Для этого необходимо по найденному значению H_n оценить показатель g с тем, чтобы затем соотнести реальную систему с эталонной, опираясь на подходящий критерий. Формирование критерия (обозначим его n_p) можно реализовать на основе соотношения (7), используя значение «веса» w_1

$$n_p = \frac{1}{1 - (1 - w_1)^{1/g}}. \quad (9)$$

Для эталонной системы значение n_p всегда равно n , в то время как для реальной системы n_p может быть иным. Это позволяет классифицировать реальные системы по индексу

$$IR = n_p / n, \quad (10)$$

который служит мерилем их синергизма, а, следовательно, и инструментом для выбора разумной стратегии совершенствования систем. Сама идея оценки уровня

системы, в которой приняты следующие обозначения: P – население региона; N – количество зарегистрированных транспортных средств; DTP – количество ДТП в год; PG – количество погибших в год W_{dp} – «вес» ДТП; W_{pg} – «вес» летальных исходов; W_n – «вес» уровня автомобилизации; n – максимальный ранг; H_n – относительная энтропия; g – параметр порядка; n_p – реальная ранговая оценка; IR – ранговый индекс, $IR = n_p / n$.

синергизма сложных систем не нова. Она, в частности, с успехом используется в современной фармакологии [6], когда оценивается эффект совместного применения (AB) двух лекарственных средств A и B . В такой ситуации возможны несколько видов синергизма:

- потенцирование, когда $AB > A + B$, или $1 > A/AB + B/AB$;
- суммация, когда $AB = A + B$, или $1 = A/AB + B/AB$;
- аддитивность, когда $AB < A + B$, или $1 = A/AB + B/AB$.

Синергетический подход – это мейнстрим в открытых самоорганизующихся системах [7], и развитие его идей в сфере безопасности дорожного движения имеет безусловную перспективу.

Этап 4. Примеры практического использования предложенного подхода. Предметной областью выбрана сфера обеспечения безопасности дорожного движения (БДД) в крупных городах [11].

В ходе развития системы обеспечения БДД любой страны, как правило, изменяется структура весовых коэффициентов w_i , а, следовательно, и значение энтропии, именно поэтому практический интерес представляет системная динамика энтропии $H(t)$.

Было бы интересно выполнить такой анализ для всех стран мира, однако это очень масштабная работа, поэтому на первом этапе пришлось ограничиться небольшим числом стран-лидеров в сфере обеспечения БДД с включением в их число России [8].

В качестве доказательной базы привлечена 11-летняя статистика по восьми странам мира [9,10], при этом из числа транспортных средств (ТС) были исключены все неавтомобильные ТС. Отсутствующие данные для автопарка дополнялись методом интерполяции. Пример исходных данных, необходимых для расчета значений коэффициентов передачи звеньев процесса формирования дорожно-транспортной аварийности для США и России приведён в табл. 1.

Исходные данные (2003...2013 гг.) для анализа системной динамики безопасности дорожного движения в США и России [9,10]

Год	Страны мира							
	Соединенные Штаты Америки [9]				Российская Федерация [10]			
	Население, тыс. чел.	Парк ТС, тыс. ед.	Кол-во ДТП в год, ед.	Число погибших, чел.	Население, тыс. чел.	Парк ТС, тыс. ед.	Кол-во ДТП в год, ед.	Число погибших, чел.
2003	290107,9	158129,6	1963000	42884	144963,6	26973,7	204267	35602
2004	292805,3	156541,5	1900000	42836	144168,2	29025,3	208558	34506
2005	295516,6	154953,4	1855000	43510	143474,2	31087,6	223342	33957
2006	298379,9	153000,3	1746000	42708	142753,6	32558,1	229140	32724
2007	301231,2	151530,1	1711000	41259	142221,0	35466,6	233000	33308
2008	304093,9	151778,4	1630000	37423	142008,8	38275,1	218322	29936
2009	306771,5	147623,9	1517000	33808	141904,0	39282,8	203618	27659
2010	309348,2	147013,0	1572400	32999	142856,5	40661,3	199434	26567
2011	311663,4	145424,9	1559835	32479	142865,4	42861,7	199868	27953
2012	313998,4	143836,8	1665186	33782	143056,4	45470,6	203597	27991
2013	316204,9	142248,7	1621073	32719	143347,1	47881,8	204068	27025
2014	316003,1	140660,7	1678000	32744	143666,9	49540,4	199720	26963
2015	317001,4	139072,6	1748000	35092	146267,3	51591,9	184000	23114

Аналогичные таблицы исходных данных [9] были составлены и для шести остальных стран (Канады, Великобритании, Франции, Германии, Италии и Швеции). Для каждого года по каждой стране были рассчитаны значения коэффициентов передачи звеньев K_n , $K_{др}$, и K_{pg} , а по ним - значения весовых коэффициентов w_n , $w_{др}$ и w_{pg} .

Далее по найденным «весам» в соответствии с (5), (6), (9) и (10) вычислялись относительная энтропия H_n , параметр порядка системы g , критерий n_p , ранговый индекс IR и определялись их усредненные оценки (табл.2)

Таблица 2

Усреднённые оценки показателей

Страна	Относительная энтропия (H_n)	Параметр порядка (g)	Критерий (n_p)	Индекс (IR)
США	0.7132	2.6874	3.7913	1.2637
Канада	0.7741	2.3732	3.5126	1.1708
Великобритания	0.7846	2.3213	3.4612	1.1537
Франция	0.7063	2.7230	2.9822	0.9940
Германия	0.7822	2.3329	3.5921	1.1973
Италия	0.7437	2.5268	3.5264	1.1754
Швеция	0.7939	2.2762	3.3380	1.1126
Россия	0.7820	2.3352	2.6621	0.8873

По индексу IR построено ранговое распределение стран (рис.5).

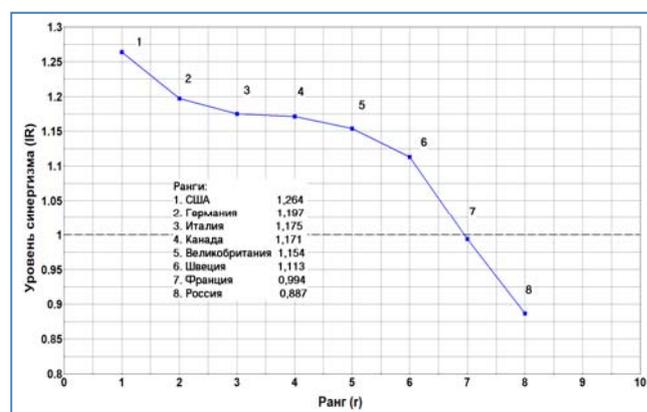


Рис.5. Параметрическое ранговое распределение стран

Уровень $IR=1$ соответствует эталонной системе. В случае, если у реальной системы $IR>1$, то считается, что достигнут положительный синергетический эффект в сравнении с эталоном. Как видим, у России результат пока негативный, хотя ситуация меняется к лучшему.

В принципе можно сконструировать 5-балльную систему оценки уровня синергизма, используя, например, функцию Харрингтона [11]. Это позволит выполнять рейтинг анализируемых регионов (стран) в привычной шкале.

Рабочие алгоритмы, предложенные в статье, прошли программное тестирование. Они ориентированы на использование в ядре алгоритмического обеспечения систем управления Smart-регионом. Сегодня идеи синергетического управления [12] успешно прогрессируют.

Литература

1. Прангишвили И.В. Проблемы эффективности управления сложными социально-экономическими и организационными системами //Имущественные отношения в РФ, 2006. - № 11 (62). - С. 82-86.
2. Сороко Э.М. Золотые сечения, процессы самоорганизации и эволюции систем: Введение в общую теорию гармонии систем. Изд. 4-е. - М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. - 264 с.
3. Колесов В.И. Эталонные системы в метрике обобщенного золотого сечения // Новые информационные технологии в нефтегазовой отрасли и образовании: материалы VIII Международной научно-технической конференции; Тюмень: ТИУ, 2019. – С.11-16.
4. Kolesov V. Cybernetic modeling in tasks of traffic safety management / V. Kolesov, A. Petrov // Transportation research procedia. - 2017. - № 20. - P. 305-310.
5. Petrov A. Entropic analysis of dynamics of road safety system organization in the largest Russian cities / A. Petrov, V. Kolesov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. - 2018. - Vol. 177. - 012015.
6. Синергизм в действии лекарственных средств. – URL: <https://medic-1.ru/sinergizm-v-deistvii-lekarstvennyh-sredstv-yavleniya-nablyudaemye-pri.html> (дата обращения 2.2.2020 г.)
7. Хакен Г. Синергетика, - М.: Мир. 1980, . – с. 405.
8. Kolesov V. System dynamics of process organization in the sphere of trafficSystem dynamics of proscæfsestyoragsasnuirzaantcioen in the sphere of traffic safety assurance/ V. Kolesov, A. Petrov // Transportation research procedia. - 2018. - № 36. - P. 286-294.
9. UNECE. 2017. Statistics of Road Traffic Accidents in Europe and North America. VolumeLIV. URL: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/main/wp6/publications/RAS-2017.pdf> (дата обращения 25.11.2017 г.).
10. Госавтоинспекция МВД России. Показатели состояния безопасности дорожного движения. URL: <http://stat.gibdd.ru/>. (дата обращения 27.11.2017 г.).
11. Колесов, В. И. Стратегическое управление в нечетких условиях / В. И. Колесов // Инновации в управлении региональным и отраслевым развитием. Материалы Всероссийской с международным участием научно-практической конференции. - Тюмень, ТюмГНГУ. - 2014. - С. 143 - 147.
12. Колесников А.А. Синергетическая теория управления, М.: Энерго-атомиздат, 1994, 344 с.

Сведения об авторе:

Колесов Виктор Иванович – Заслуженный работник высшей школы РФ, ведущий научный сотрудник, Тюменский индустриальный университет, кафедра «Автомобильного транспорта, строительных и дорожных машин». Адрес: 625001Тюмень, ул. Луначарского, 2, каб. 605. Телефон: 8(3452) 68-10-09, e-mail: vikolesov@yandex.ru.