

СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ В SMART-УРБАНИСТИКЕ

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

SYNERGETIC EFFECT OF COMPLEX SYSTEMS IN SMART-URBANISM

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

Smart-урбанистика, управление городской мобильностью, сложные системы, синергетика, синергизм сложных систем, синергетический выигрыш, взаимосвязь функции полезности и синергетического эффекта, безопасность дорожного движения.

Smart-urbanism, urban mobility management, complex systems, synergetics, synergy of complex systems, synergetic gain, the relationship between the utility function and the synergetic effect, road safety.

Идеи данной статьи являются продолжением темы, поднятой ранее в №№ 4, 8, 10 (2020) и № 10 (2021) журнала «Транспорт: наука, техника, управление». В исследовании делается акцент на изучения эффекта синергизма в ходе диалектического развития сложных систем, к числу которых, несомненно, относятся и транспортные системы. Представлены концептуальная модель процедуры оценки синергетического эффекта и результат анализа синергетического выигрыша. Проведен анализ взаимосвязи функции полезности и синергетического эффекта сложной системы. Установлено, что с изменением доли потребляемого ресурса вклад синергизма в общий системный баланс меняется. Определено, что доля синергетического вклада в полезность системы обеспечения БДД РФ в 2020 г. составляла не менее 26,7 %.

The ideas of this article are a continuation of the topic raised earlier in №№ 4, 8, 10 (2020) and № 10 (2021) of the journal "Transport: Science, Technology, Management". This study focuses on the study of the synergy effect in the course of the dialectical development of complex systems, which undoubtedly include transport systems. A conceptual model of the procedure for evaluating the synergetic effect and the result of the analysis of the synergetic gain are presented. The analysis of the relationship between the utility function and the synergetic effect of a complex system is carried out. It is established that with a change in the share of the consumed resource, the contribution of synergy to the overall system balance changes. It was determined that the share of the synergetic contribution to the usefulness of the system of Road Safety ensuring of the Russian Federation in 2020 was at least 26,7 %.

Введение

По прогнозу ООН, через 30 лет от 6 до 7 млрд человек на Земле будут жить в городах. Увеличение количества горожан стало настоящим драйвером развития урбанистики. Однако, стремительный рост современных городов наталкивается на серьезные трудности, связанные с обеспечением масштабных перемещений городского населения. Проблематика высокоэффективного функционирования городских транспортных систем (ГТС) сегодня становится все более актуальной. Построение ГТС, адекватных реальным закономерностям людских и транспортных потоков – одна из сложнейших задач современности, а управление ими становится малоэффективным без привлечения современных системных средств информационно-интеллектуальной поддержки [1-7]. Ключевыми компонентами таких управленческих систем, как правило, являются подсистемы поддержки городской мобильности, алгоритмическое обеспечение которых начинают широко использовать прогрессивные идеи синергетического управления [8-10]. Суть синергетической концепции системного управления сводится к учёту динамического взаимодействия энергии, вещества и информации при формировании законов регулирования выбранным объектом (процессом). Логичным следствием такого подхода

стало активное продвижение в научной среде идей и возможностей F-технологий (F-Fibonacci), широко опирающихся на обобщённый закон золотого S-сечения (ОЗС), идентифицированный белорусским исследователем Э.М. Сороко [11]:

$$\left(\frac{1}{a}\right)^s = \frac{a}{b}, \quad (1)$$

где a – доминанта;

b – субдоминанта; доминанта и субдоминанта отвечают условию $a + b = 1$;

s – параметр кратности.

Работы Э.М. Сороко [12-14] позволили по-новому взглянуть не только на проблему синтеза оптимальных (гармоничных) систем [15-18], но и породить свежие идеи по оценке их синергизма в различных предметных областях. Это в полной мере относится и к городской мобильности – важнейшему компоненту SMART-урбанистики. Сама по себе тема оценки синергетического выигрыша в сложных системах не является новой. Такие шаги зафиксированы, в частности, в экономике [19-20]. Что же касается транспортной отрасли, то большинство предлагаемых решений в сфере городской мобильности представлено в слабых шкалах, практиче-

ски без опоры на адекватные математические модели. Используемые красивые вербальные конструкции, к сожалению, слабо помогают настоящему делу. Разумеется, создание хороших моделей – дело непростое, но без них реальное управление становится контрпродуктивным.

Делается попытка, хотя бы частично, устранить имеющийся пробел.

1. Алгоритм решения задачи

Системный анализ сложных систем в сфере городской мобильности предполагает решении следующих задач:

- Установление базовых закономерностей функционирования сложных систем.
- Проработка идей синергизма в урбанистике.
- Разработка концептуальной модели процедуры оценки синергетического эффекта.
- Исследование специфики синергизма сложных систем в сфере городской мобильности.
- Анализ нормированного синергетического выигрыша.
- Анализ взаимосвязи функции полезности и синергетического эффекта.

2. Системный подход к решению задачи оценки синергетического эффекта

2.1. Установление базовых закономерностей функционирования сложных систем.

К ним относят:

- первый закон диалектики;
- обобщённый закон золотого S-сечения;
- функцию общей полезности.

Специфика базовых закономерностей подробно рассмотрена в работе [21]. Коротко прокомментируем лишь часть из них, необходимую для решения задачи.

Суть первого закона диалектики – закона единства и борьбы противоположностей – сводится к тому, что, исходя из диалектической сущности явлений, сумма противоположностей образует универсум:

Позитив (P) + негатив (N) = универсум (U).

Суть обобщенного закона золотого S-сечения изложена выше (см. соотношение (1)).

Что же касается функции общей полезности системы (процесса), то её модель идентифицирована в виде (2):

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

где TU – нормированная общая полезность;

x – доля потреблённого ресурса (или блага);

s – параметр кратности

g – добротность системы, $g = 1 + s$.

2.2. Проработка идей синергизма в урбанистике

Управление процессами в современной Smart-урбанистике реализуется сложными многокомпонентными системами. Это в полной мере относится и к социально-экономическим системам в сфере городской мобильности. Как правило, это открытые динамические системы, обладающие, в том числе, свойством самоорганизации, а, следовательно, наделённые синергизмом.

В многокомпонентных системах синергия означает, что целое больше, чем сумма его частей. С инженерной точки зрения, вопрос о синергетическом выигрыше является исключительно важным. В век цифровизации социально-экономических процессов переход к сильным шкалам при оценке такого выигрыша представляется основополагающим. В первую очередь важны системные шаги в этом направлении, а это означает, что необходимо, прежде всего, понять сам механизм генезиса синергетического эффекта. Более того, нет ясности и в вопросе взаимосвязи синергетического эффекта с полезностью системы, хотя оба понятия имеют некую общность, связанную с позитивом.

2.3. Разработка концептуальной модели процедуры оценки синергетического эффекта

Задача такой модели (рис. 1) – донести до пользователя идею подхода.

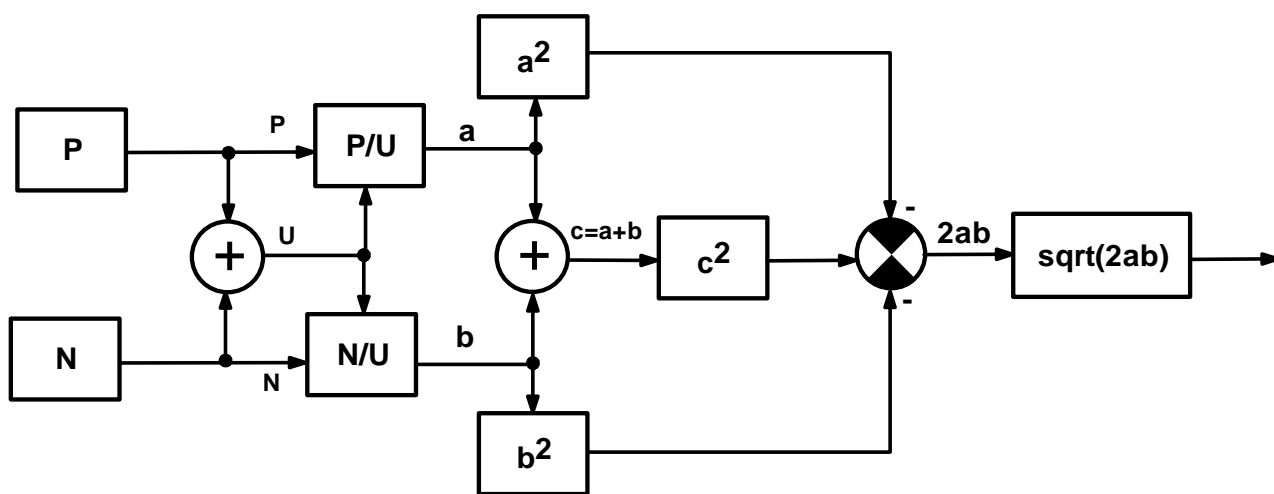


Рис. 1. Концептуальная модель процедуры оценки синергетического эффекта

Модель основана на использовании первого закона диалектики, когда взаимодействуют две сущности, являющиеся одновременно составными частями общего.

Примерами таких противоположностей могут быть порядок и хаос или позитив (P) и негатив (N). В этом случае их сумма принимается как некий универсум (U), т.е.

$$P + N = U.$$

Нормировка на U даёт (см. рис. 1):

$$a + b = 1,$$

где a – доминанта; $a = P/U$;

b – субдоминанта; $b = N/U$.

Задача разработки концептуальной модели процедуры оценки синергетического эффекта сводится, к доказательству, во-первых, наличия синергизма

$$(a + b)^2 \geq a^2 + b^2,$$

а, во-вторых, к оценке синергетического эффекта, либо в форме

$$(a + b)^2 - (a^2 + b^2) = 2ab,$$

либо в форме, как это сделано на рис.1:

$$\sqrt{(a + b)^2 - (a^2 + b^2)} = \sqrt{2ab}.$$

Для реализации поставленной задачи использована функциональная схема, приведенная на рис. 1. Она вычисляет 3 величины: a^2 ; b^2 и $c^2 = (a + b)^2 = a^2 + 2ab + b^2$. Затем определяется разность $c^2 - a^2 - b^2 = 2ab$, из которой извлекается квадратный корень.

2.4. Исследование специфики синергизма сложных систем

Под синергизмом понимается свойство системы давать суммарный эффект Eff , отличающийся от суммы

парциальных (частных) эффектов $\sum_{i=1}^n Eff_i$:

$$Eff \neq \sum_{i=1}^n Eff_i. \quad (3)$$

Пусть система включает 2 взаимодействующих процесса, представленных в долях a и b , при этом $a + b = 1$. Компоненты a и b связаны пропорцией $b = m \cdot a$ (где $0 \leq m \leq 1$). Практический интерес представляет достигаемый синергетический эффект взаимодействия компонентов.

Задача в подобной постановке типична для радиотехники и энергетики, при этом обычно используют две оценки: «выигрыш по мощности C_p » и «выигрыш по напряжению C_u ». Для понимания сути дела сделаем небольшой экскурс в электротехнику.

Известно, что мощность P , выделяемая на сопротивлении R , равна $P = U^2/R$ (здесь U – напряжение).

Для простоты примем $R = 1$, тогда $P = U^2$.

Рассмотрим две ситуации:

1) при $U = U_a$ мощность равна $P_a = U_a^2$;

2) при $U = U_b$ мощность равна $P_b = U_b^2$.

Пусть $P_a > P_b$, тогда можно оценить выигрыш по мощности $C_p = P_a/P_b$, но можно оценить и выигрыш по напряжению $C_u = U_a/U_b = \sqrt{P_a}/\sqrt{P_b} = \sqrt{C_p}$.

Действуя далее по аналогии, приняв $a = U_a$ и $b = U_b$, оценим достигаемые выигрыши. В нашем случае выигрыши по мощности и напряжению соответственно равны (4) и (5):

$$C_p = \frac{(a + b)^2}{a^2 + b^2} = 1 + \frac{2 \cdot m \cdot a^2}{a^2 \cdot (1 + m^2)}, \quad (4)$$

$$C_u = \frac{\sqrt{(a + b)^2}}{\sqrt{a^2 + b^2}} = \frac{1 + m}{\sqrt{1 + m^2}}. \quad (5)$$

выигрыши составляют: $C_p = 1,894$; $C_u = 1,376$, а их отношение равно $C_u/C_p = 0,726$. В общем случае это отношение зависит от m и при изменении m от 0 до 1 снижается от 1 до 0,707 (рис. 2).

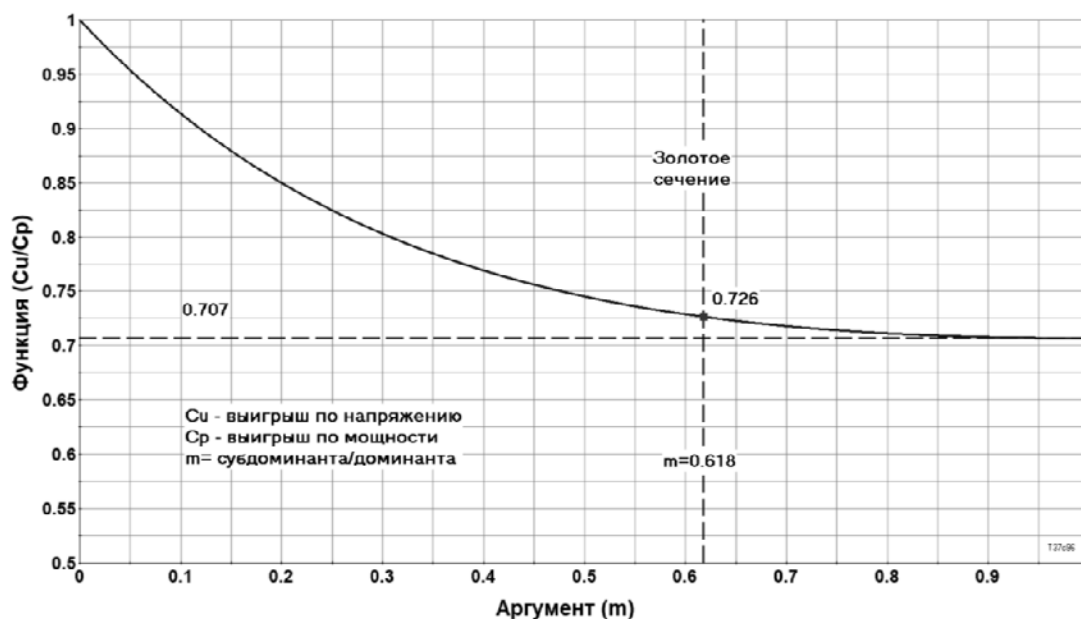


Рис. 2. Соотношение выигрышей по напряжению и мощности

Легко заметить, что обе оценки, как и ожидалось, связаны соотношением $C_u = \sqrt{C_p}$. Преимущество оценки C_u – совпадение размерности эффекта с размерностью взаимодействующих компонентов, поэтому выбор сделан в её пользу.

Для дальнейшего анализа нам потребуется связать синергетический эффект с долей потреблённого ресурса x , которая по смыслу является субдоминантой (см. (2)).

Учитывая, что $m = b/a = b/(1-b)$ (здесь b - субдоминанта), получим (6):

$$m = x/(1-x). \quad (6)$$

Подстановка (6) в (4) и (5) даёт (7) и (8):

$$C_p = 1 + \frac{2 \cdot m \cdot a^2}{a^2 \cdot (1+m^2)} = 1 + \frac{2 \cdot x/(1-x)}{(1+(x/(1-x))^2)}; \quad (7)$$

$$C_u = \frac{1+m}{\sqrt{1+m^2}} = \frac{1+x/(1-x)}{\sqrt{1+(x/(1-x))^2}}. \quad (8)$$

Есть ещё одна величина, представляющая серьёзный практический интерес – это доля синергетической компоненты ($DC_u = \frac{C_u-1}{C_u} = 1 - \frac{1}{C_u}$) в общем балансе C_u (9):

$$C_u = 1 - \frac{\sqrt{1+(x/(1-x))^2}}{1+x/(1-x)}. \quad (9)$$

Модели $C_p(x)$; $C_u(x)$ и $DC_u(x)$ приведены на рис. 3.

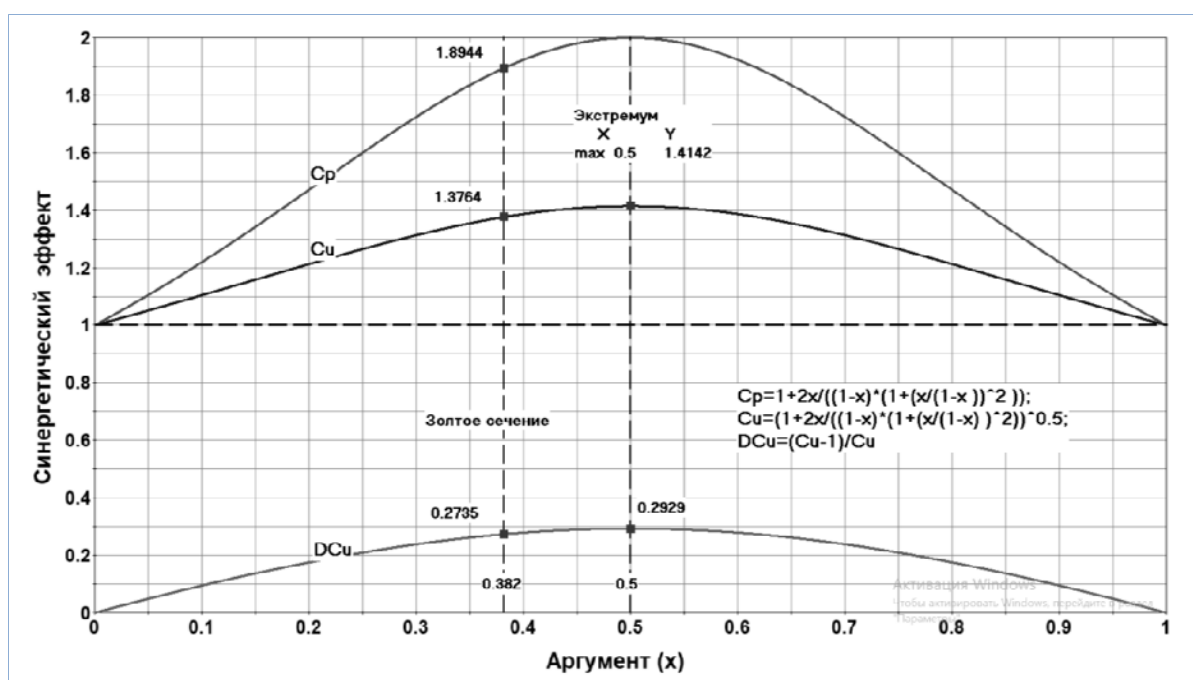


Рис. 3. Синергетический эффект

2.5. Анализ нормированного синергетического выигрыша (по напряжению)

Суммарный эффект при отсутствии и наличии синергизма соответственно равен (10) и (11):

$$C_1 = \sqrt{a^2 + b^2} = a \cdot \sqrt{1+m^2}; \quad (10)$$

$$C_2 = \sqrt{(a+b)^2} = a \cdot (1+m). \quad (11)$$

Кратность выигрыша за счёт синергизма составляет (12):

$$C = \frac{C_2}{C_1} = \frac{1+m}{\sqrt{1+m^2}}. \quad (12)$$

При $m=0$; $C=C_{\min}=1$, а если $m=1$, то $C=C_{\max}=2/\sqrt{2}=\sqrt{2}$.

Введём нормировку (13):

$$C_n = \frac{C - C_{\min}}{C_{\max} - C_{\min}} = \left(\frac{1+m}{\sqrt{1+m^2}} - 1 \right) / (\sqrt{2} - 1). \quad (13)$$

График C_n приведён на рис. 4. Ось ординат характеризует достигнутый успех C_n , а ось абсцисс – величину m . Выделена первая точка Парето, в которой сумма ординаты и абсциссы равна 1 (14):

$$C_{n\text{opt}} + m_{\text{opt}} = 1. \quad (14)$$

Важно при этом заметить, что выполнение условия (14) свидетельствует о работе первого закона диалектики.

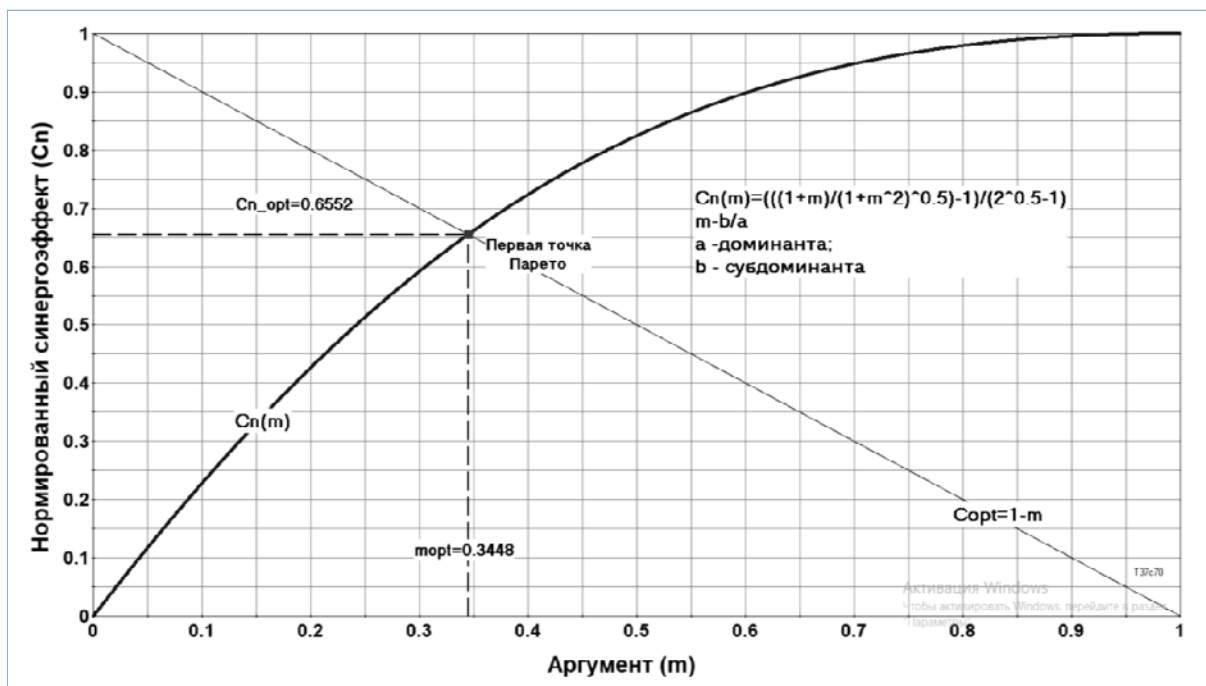


Рис. 4. График нормированного синергетического эффекта C_n

Анализ соотношения (13) показал, что функция C_n имеет эквивалентное аналитическое представление в виде (15):

$$C_n = 1 - (1 - m)^{g_m}, \quad (15)$$

где g_m — показатель, характеризующий добротность системы, порождающей синергетический эффект.

$$g_m = \frac{\ln(m_{opt})}{\ln(1 - m_{opt})}, \quad (16)$$

где m_{opt} — значение m в первой точке Парето.

Принципиальным является вопрос — каковы значения координат первой точки Парето? Она должна одновременно отвечать как первому закону диалектики, так и закону обобщенного золотого сечения (ОЗС), т.е. быть точкой пересечения линий C_n и C_{opt} (рис. 4). Таким образом, она должна являться решением уравнения (17):

$$\left(\frac{1+m}{\sqrt{1+m^2}} - 1 \right) / (\sqrt{2} - 1) = 1 - m. \quad (17)$$

Корень уравнения (17) равен $m_{opt} = 0,3448$, тогда, следуя (14), ордината равна $C_{n_{opt}} = 1 - m_{opt} = 1 - 0,3448 = 0,6552$.

Итак, первая точка Парето нормированной диаграммы $C_n(m)$ достигается *всегда* при $m_{opt} = 0,3448$, а это означает, что m_{opt} является инвариантом нормированного синергетического эффекта большинства сложных систем.

Кроме того важно отметить, что по своей сути добротность

$$g_m = \frac{\ln(m_{opt})}{\ln(1 - m_{opt})} = \frac{\ln(0,3448)}{\ln(1 - 0,3448)} = 2,5183$$

также является инвариантом.

2.6. Анализ взаимосвязи функции полезности и синергетического эффекта

2.6.1. Зависимость показателей синергетического эффекта от параметра m

В фундаментальном законе обобщенного золотого S-сечения кратность S и добротность g связаны соотношением $S = g - 1$. Это в полной мере относится и к алгоритму (15), поэтому справедливо условие $S_m = g_m - 1$. Практический интерес представляет взаимосвязь показателей $S_m = g_m - 1$ и g_m с координатой m_{opt} (рис. 4), поскольку это позволит идентифицировать модель взаимодействия синергизма и полезности.

Структура модели $g_m(m)$ представлена алгоритмом (15), а сама модель имеет вид $g_m(m) = \frac{\ln(m_{opt})}{\ln(1 - m_{opt})}$.

Что же касается модели $S_m(m)$, то структура её следует из условия $S_m = g_m - 1$, а аналитическая запись со-

$$\text{ответствует виду } S_m(m) = \frac{\ln(m_{opt})}{\ln(1 - m_{opt})} - 1.$$

2.6.2. Анализ взаимосвязи функции полезности и синергетического эффекта

Инженерная интуиция наводит на мысль о латентной (скрытой) связи общей полезности системы и достигаемого в ней синергетического эффекта. В этом есть своя логика. Действительно, оба понятия ассоциируются с позитивом, поэтому подозрения на их связь небеспочвенны. В то же время какие-либо

исследования в этом направлении авторам не известны.

В такой ситуации разумно сделать лишь первые робкие шаги и выявить для начала явные количественные связи этих понятий.

Наиболее интересной представляется связь нормированной общей полезности $TU(x)$ с долей синергетического компонента $DC_u(x)$ в общем балансе (рис. 5).

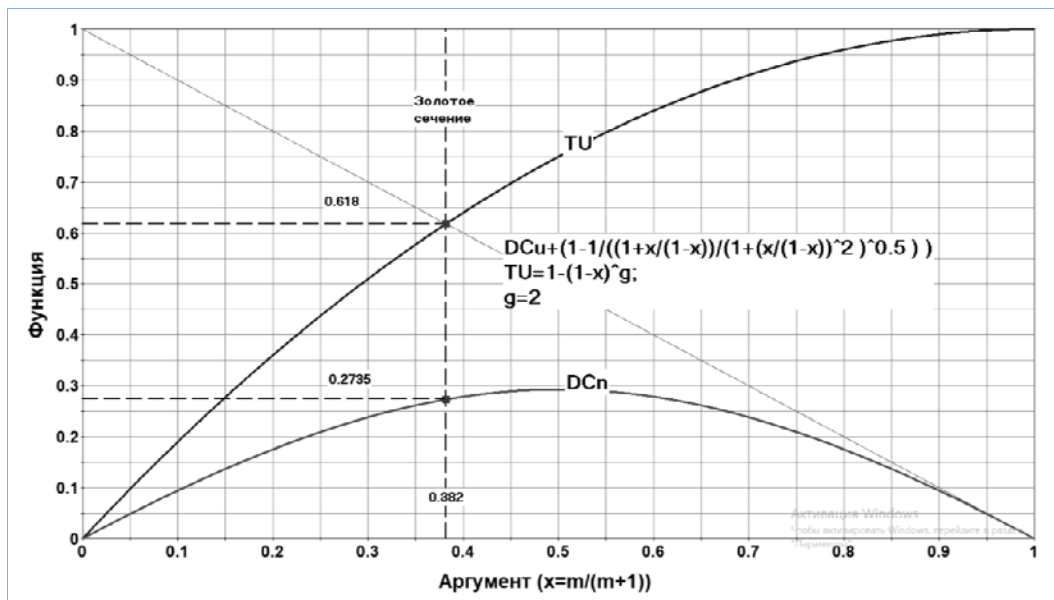


Рис. 5. Взаимосвязь между синергетическим эффектом и полезностью

Анализ рис. 5 показывает, что с изменением доли потребляемого ресурса вклад синергизма в общий баланс меняется. В реальной ситуации важна оценка доли синергетического вклада в окрестности рабочей точки. Так, в режиме классического золотого сечения доля такого вклада составляет около 28 %. При дальнейшем росте добротности системы g (т.е. при уменьшении x_{opt}) доля синергетического вклада имеет тенденцию к снижению. Тем не менее, уровень его будет не меньше 20 % при повышении добротности до 6.

3. Практическое решение задачи идентификации фактической добротности российской системы обеспечения безопасности дорожного движения и ее увязка с долей синергетического вклада

В качестве примера приведём результаты оценки фактического уровня синергизма в сфере дорожной безопасности – одной из ключевых сфер реализации городской мобильности. Вопрос, интересующий нас, сформулируем следующим образом: «Насколько близка текущая ситуация в сфере обеспечения БДД в Российской Федерации к ситуации, когда системный синергетический выигрыш максимален?»

Для ответа на этот вопрос воспользуемся данными информационной базы данных ГИБДД Российской Федерации (табл. 1).

Таблица 1

Данные о фактическом уровне БДД в России в 2020 г. [22]

Население РФ, чел.	Парк транспортных средств, ед.	Количество ДТП, ед./год	Количество погибших в ДТП, чел./год
146 171 015	62 721 765	137 662	15 788

Базовые идеи по определению величины относительной энтропии системы обеспечения БДД Hn приведены в работах [23-25]. Здесь представлены не только методика определения непосредственно значений относительной энтропии системы обеспечения БДД Hn , но и показана связь между Hn и величиной системной добротности g . Пользуясь методикой [23-25] и учитывая фактические данные (табл. 1) было определено, что расчетное значение относительной энтропии для варианта трехзвенного причинно-следственного механизма формирования дорожно-транспортной аварийности $Hn-3$ в РФ в 2020 г. составило $Hn\text{ РФ-}2020 = 0,755$, что соответствует системной добротности $g_{2020} = 2,4674$. Это означает, что доля синергетического вклада в полезность системы обеспечения БДД РФ в 2020 г. составляла не менее 26,7 %.

Заключение

Полученные результаты входят в ядро алгоритмического обеспечения системы «Городская мобильность». Они ориентированы на ряд перспективных инженерных приложений, в частности, на:

- поиск новых путей повышения эффективности городской мобильности;
- синтез оптимальных систем управления городской мобильностью, учитывающих позитивный вклад синергизма;
- совершенствование алгоритмического обеспечения для систем управления городской мобильностью.

Все рабочие алгоритмы прошли программное тестирование.

Литература

1. Жанказиев, С. В. Научные подходы к формированию государственной стратегии развития интеллектуальных транспортных систем [Текст] / С. В. Жанказиев, В. М. Власов // Автотранспортное предприятие. – 2010. – № 7. – С. 2-10.
2. Жанказиев, С. В. Научные основы и методология формирования интеллектуальных транспортных систем в автомобильно-дорожных комплексах городов и регионов: автореферат дис. ... д-ра. техн. наук: 05.22.10 / Жанказиев Султан Владимирович. – М. 2012. – 43 с.
3. Клепиков, Н. С. Интеллектуальные транспортные системы для безопасного города [Текст] / Н. С. Клепиков // Автоматизация в промышленности. – 2018. – № 4. – С. 19-21.
4. Нирман, Д. С. Интеллектуальные транспортные системы и цифровизация в целом, как драйверы роста ВВП России [Текст] / Д. С. Нирман // Инновации и инвестиции. – 2018. – № 5. – С. 330-332.
5. Меренков, А. О. Транспортные системы городов: развитие пассажирских сервисов цифрового типа [Текст] / А. О. Меренков // Транспортное дело России. – 2019. – № 6. – С. 73-75.
6. Савин, В. Г. Городские интеллектуальные транспортные системы: мировой опыт оптимизации потоковых процессов и пути развития [Текст] / В. Г. Савин // Modern Economy Success. – 2020. – № 5. – С. 126-132.
7. Швецов, В. Л. Особенности построения интеллектуальных транспортных систем в российских городах [Текст] / В. Л. Швецов. // Мир дорог. – 2020. – № 131. – С. 72-75.
8. Колесников, А. А. Синергетическая теория управления [Текст] / А. А. Колесников. – Москва: Энергоатомиздат, 1994. – 344 с.
9. Хакен, Г. Синергетика: Принципы и основы. Перспективы и приложения [Текст] / Г. Хакен. – Москва: УРСС: ЛЕНАНД, 2015. – 448 с.
10. Никроис, Г. Познание сложного. Введение [Текст] / Г. Никроис, И. Пригожин. – Москва: Элиториал УРСС, 2003. – 344 с.
11. Сороко, Э. М. Золотые сечения, процессы самоорганизации и эволюции систем: Введение в общую теорию гармонии систем [Текст] / Э. М. Сороко. – Москва: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2012. – 264 с.
12. Сороко, Э. М. Структурная гармония систем [Текст] / Э. М. Сороко. – Минск: Наука и техника, 1984. – 264 с.
13. Сороко, Э. М. Критерий гармонии самоорганизующихся социоприродных систем. Научный доклад [Текст] / Э. М. Сороко. – Владивосток: Общ. институт ноосферы ДВО АН СССР, 1989. – 83 с.
14. Сороко, Э. М. Самоорганизация систем: проблемы меры и гармонии: автореф. дис... доктора филос. наук: 09.00.01 / Сороко Эдуард Михайлович. – Минск. 1991. – 43 с.
15. Винер, Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине [Текст] / Н. Винер. – Москва: Наука, 1983. – 344 с.
16. Прангишвили, И. В. Проблемы эффективности управления сложными социально-экономическими и организационными системами [Текст] / И. В. Прангишвили // Имущественные отношения в РФ. – 2006. – № 11(62). – С.82-86.
17. Иванус, А. И. Основы гармоничного менеджмента (Концепция F-технологии) [Текст] / А. И. Иванус. Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова, РАН, 2004. – 82 с.
18. Пантелеев, А.В. Синтез оптимальных систем управления при неполной информации [Текст] / А.В. Пантелеев, Семенов В.В. – Москва: Изд-во МАИ (НИУ), 1992. – 192 с.
19. Урасова, А. А. Синергетический и системно-синергетический подходы к управлению региональным промышленным комплексом [Текст] / А. А. Урасова // Экономика и управление: проблемы и решения. – 2017. – Том 5. – № 8. – С. 79-83.
20. Гераськина, И. Н. Системно-синергетический подход к развитию социально-экономических систем [Текст] / И. Н. Гераськина, К. П. Веретин // Экономика и предпринимательство. – 2019. – № 10 (111). – С. 1178-1184.
21. Колесов, В. И. Базовые закономерности в Smart-урбанистике [Текст] / В. И. Колесов, Е. В. Киселёва // Инновации в управлении региональным и отраслевым развитием: материалы Национальной с международным участием научно-практической конференции. – Тюмень: ТИУ, 2020. – С. 93-98.
22. Сайт ГИБДД МВД РФ. Показатели состояния безопасности дорожного движения. – URL: <http://stat.gibdd.ru/> (дата обращения: 8.08.2021).
23. Kolesov, V. Cybernetic Modeling in Tasks of Traffic Safety Management / V. Kolesov, A. Petrov // Transportation Research Procedia. – 2017. – № 20. – Pp. 305-310.
24. 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.
25. Колесов, В. И. Структурная энтропия сложных систем в метрике обобщенного золотого сечения [Текст] / В. И. Колесов, О. Ф. Данилов, А. И. Петров, М. Л. Гуляев // Транспорт: наука, техника, управление. – 2020. – № 8. – С. 3-6.

Сведения об авторах:

Колесов Виктор Иванович - Заслуженный работник высшей школы РФ.

Место работы: Тюменский индустриальный университет, лаборатория цифровых технологий в новой городской мобильности, ведущий научный сотрудник.

Адрес: 625027, г. Тюмень, ул. Мельникайте 72, ауд. 221.

Телефон: +7(904) 876-05-55,
e-mail: vikolesov@yandex.ru.

Петров Артур Игоревич.

Место работы: Тюменский индустриальный университет, лаборатория цифровых технологий в новой городской мобильности, ведущий научный сотрудник.

Адрес: 625027, г. Тюмень, ул. Мельникайте 72, ауд. 221.

Телефон: +7(912) 079-19-91,
e-mail: artigpetrov@yandex.ru.