

УДК 338.45:622.324

Використання логістичної функції Ферхюльста як функції бажаності для нормування показників безпеки постачання природного газу

Музиченко М.В.

здобувач

Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна

У статті обґрунтовується використання логістичної функції Ферхюльста як функції бажаності для нормування показників безпеки постачання природного газу, використання числової шкали бажаності, яка має градації в пропорціях золотого перетину, як для оцінки окремих часткових показників безпеки постачання природного газу, так і для оцінки єдиного композитного індексу безпеки постачання природного газу.

Ключові слова: логістична функція Ферхюльста, функція бажаності, енергетична безпека, постачання природного газу.

Музыченко Н.В. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛОГИСТИЧЕСКОЙ ФУНКЦИИ ФЕРХЮЛЬСТА КАК ФУНКЦИИ ЖЕЛАТЕЛЬНОСТИ ДЛЯ НОРМИРОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОПАСНОСТИ ПОСТАВКИ ПРИРОДНОГО ГАЗА

В статье обосновывается использование логистической функции Ферхюльста как функции желательности для нормирования показателей безопасности поставки природного газа, использования числовой шкалы желательности, которая имеет градации в пропорциях золотого сечения, как для оценки отдельных частных показателей безопасности поставки природного газа, так и для оценки единого композитного индекса безопасности поставки природного газа.

Ключевые слова: логистическая функция Ферхюльста, функция желательности, энергетическая безопасность, поставки природного газа.

Muzychenko M.V. USE OF THE VERHULST LOGISTIC FUNCTION AS A DESIRABILITY FUNCTION TO NORMALIZE THE NATURAL GAS SUPPLY SECURITY INDICATORS

The article substantiates the use of the Verhuhlst logistic function as a desirability function to normalize the natural gas supply security indicators, and also substantiates the use of a numerical desirability scale that has gradations in the proportions of the golden section, both for estimating individual private natural gas supply security indicators, and for estimating single composite natural gas supply security index.

Keywords: Verhulst logistic function, desirability function, energy security, natural gas supply.

Постановка проблеми у загальному вигляді. У сучасних умовах безпека постачання природного газу є важливою складовою енергетичної безпеки держави, а її забезпечення є одним з першочергових державницьких завдань.

Поточний рівень безпеки постачання природного газу може бути визначений шляхом аналізу основних показників короткотермінової безпеки постачання природного газу, які відображають зовнішні фактори, пов'язані з можливими зривами (перебоями) імпорту природного газу, та внутрішні фактори, пов'язані з виробництвом, перетворенням і розподілом енергії в межах держави. Зовнішні і внутрішні фактори повинні відображати як вразливість до відповідних ризиків і стійкість енергетичної системи держави, так і здатність енергетичної системи держави до протистояння можливим зривам (перебоєм) у постачанні природного газу за рахунок внутрішніх запасів природ-

ного газу та/або використання інших маршрутів постачання природного газу та його постачальників.

Показники безпеки постачання природного газу відрізняються один від одного за своїми сутністю і масштабами вимірювання, мають різні одиниці виміру та діапазони значень. Для їх нормування і оцінювання використовуються різні методичні підходи з використанням різних кількісних або якісних шкал оцінювання. При цьому визначення кількісних параметрів мінімально необхідних або безпечних рівнів показників енергетичної безпеки базується на використанні спостережуваних діапазонів значень відповідних показників або на використанні відповідних експертних оцінок.

Відсутність єдиних методичних підходів до якісної і кількісної оцінки основних показників безпеки постачання природного газу, їх трактування і зіставлення створюють певні проблеми під час визначення рівня енергетичної безпеки.

Особливі труднощі щодо цього виникають під час вирішення багатокритеріальних задач агрегації окремих показників в єдиний узагальнений індекс безпеки постачання природного газу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для розв'язання багатокритеріальних задач формалізації узагальнених показників використовуються різні методи їх побудови. Одним з найбільш відомих методів є використання узагальненої функції бажаності Е. Харрінгтона, яка виникла внаслідок спостережень за реальними рішеннями експериментаторів та має такі корисні властивості, як безперервність, монотонність і гладкість [1].

В основу побудови узагальненої функції бажаності Е. Харрінгтона покладена ідея попереднього перетворення (нормування) всіх розмірних показників в безрозмірні показники якості (функції бажаності), які змінюються від нуля (дуже погана якість) до одиниці (висока якість), тобто натуральні значення окремих показників перетворюються у безрозмірні за одиничною шкалою бажаності [2].

Безпосередньо функції бажаності є такими залежностями:

- 1) двобічні (коли відхилення показника від його оптимального значення в будь-який бік призводять до зниження якості);
- 2) однобічні зростаючі (коли якість зростає під час зростання показника);
- 3) однобічні спадні (коли якість зростає під час зниження показника).

Методика підбору функцій бажаності всіх трьох вищевказаних типів була запропонована Е. Харрінгтоном. Згідно з цією методикою для двосторонньої залежності після попереднього визначення мінімального y_{\min} і максимального y_{\max} значень показника, які відповідають дуже низькій якості (не більше 5%), відповідна функція бажаності має такий вигляд [2; 3]:

$$Y_i = \exp\left\{-\left|y'_i\right|^n\right\}, \quad (1)$$

де y'_i – безрозмірна величина, яка визначається таким чином:

$$y'_i = \frac{2y_i - (y_{\max} + y_{\min})}{y_{\max} - y_{\min}}. \quad (2)$$

У зв'язку з симетричністю цієї функції бажаності оптимальне значення показника визначається як середнє арифметичне мінімального y_{\min} і максимального y_{\max} його значень.

Показник n визначає форму кривої, для його визначення необхідно мати ще одне значення показника y_0 , за якого відома оцінка якості Y_0 :

$$n = \frac{\ln(\ln Y_0^{-1})}{\ln y_{i0}}. \quad (3)$$

Односторонні залежності Е. Харрінгтона мають такий вигляд:

$$Y_i = \exp(-\exp(-y'_i)). \quad (4)$$

При цьому повинно бути вказане оптимальне значення показника, яке відповідає якості не нижче 95%, і найгірше значення показника, яке відповідає якості не більше 5%, а також ще хоча б одне значення показника для перевірки.

Загалом методика Е. Харрінгтона отримала широке розповсюдження під час проведення відповідних досліджень, але внаслідок її громіздкості деякими дослідниками запропоновані більш зручні методики використання функції бажаності. Наприклад, у роботі [4] було запропоновано більш прості і достатньо гнучкі функції бажаності:

– для симетричних двобічних залежностей:

$$Y_i = \exp\left\{-k\left(\frac{y_i - a_i}{b_i - a_i}\right)^2\right\}; \quad (5)$$

– для однобічних залежностей:

$$Y_i = \frac{1}{1 + \exp\left\{-k\left(\frac{y_i - c_i}{a_i - c_i}\right)\right\}}, \quad (6)$$

де a_i – оптимальне значення показника y_i , коли двобічна функція бажаності дорівнює 1, або 100% якості, а однобічна становить не менше 0,95, або 95% якості;

b_i – значення показника, яке відповідає якості менше 0,05, або 5% якості;

c_i – значення показника, яке відповідає якості 0,5, або 50% якості;

k – коефіцієнт, що визначає форму кривої, для остаточного вибору значення якого залучаються відповідні експерти.

Функції бажаності (5; 6) набули достатньо широкого застосування під час проведення досліджень в різних галузях, але під час їх використання для остаточного вибору значення коефіцієнта, що визначає форму кривої функції бажаності, існує потреба у залученні відповідних експертів, що є додатковим суб'єктивним фактором [3; 5–7].

Важливим питанням використання функції бажаності є питання градації безрозмірної шкали бажаності, яка встановлює відповідність між фізичними і психофізичними параметрами і використовується для перетворення значень окремих безрозмірних показників, які знаходяться в діапазоні від 0 до 1, у відповідні бажаності [2; 5].

Для отримання безрозмірної шкали бажаності зручно користуватись розробленими

таблицями відповідностей фізичних параметрів психофізичним (табл. 1).

Водночас недоліком стандартної безрозмірної шкали бажаності є те, що числові оцінки за цією шкалою не мають певного змістового навантаження. Наприклад, вибір оцінок за шкалою бажаності 0,37 і 0,63 пояснюється зручністю розрахунків ($0,37=1/e$, $0,63=1-1/e$), а оцінка 0,37 вважається такою, що зазвичай відповідає межі допустимих значень. Решта оцінок за цією шкалою використовується фактично за замовчуванням.

Таблиця 1
Співвідношення між кількісними значеннями безрозмірної шкали і психологічним сприйняттям людини

Бажаність	Оцінки за шкалою бажаності
Дуже добре	1–0,8
Добре	0,8–0,63
Задовільно	0,63–0,37
Погано	0,37–0,2
Дуже погано	0,20–0

Джерело: [2; 5]

Формулювання цілей статті (постановка завдання). Метою статті є обґрунтування використання логістичної функції Ферхюльста як функції бажаності для нормування показників безпеки постачання природного газу, а також обґрунтування використання числової шкали бажаності, яка має градації в пропорціях золотого перетину, як для оцінки окремих часткових показників безпеки постачання природного газу, так і для оцінки єдиного композитного індексу безпеки постачання природного газу, складовими якого є окремі часткові показники безпеки постачання природного газу.

Виклад основного матеріалу дослідження. Розглянемо можливість і особливості використання логістичної функції Ферхюльста як функції бажаності. Ця функція є сигмоїдальною (S-образною) функцією у такому вигляді [8]:

$$f(x) = \frac{L}{1 + e^{-k(x-x_0)}}, \quad (7)$$

де L – максимальне значення логістичної функції;

x_0 – значення аргументу, за якого функція дорівнює половині свого максимального значення L ;

k – коефіцієнт крутизни кривої в точці x_0 , $k > 0$.

Чим більше значення коефіцієнта k , тим більш круто зростає логістична функція в точці x_0 .

Логістична функція визначена в діапазоні дійсних чисел $[-\infty, +\infty]$ і є зростаючою функцією. Під час наближення аргументу до $+\infty$ функція прагне до свого максимального значення L , а під час наближення аргументу до $-\infty$ функція прагне до нуля. Графік стандартної логістичної функції ($k = 1$, $x_0 = 0$, $L = 1$) представлений на рис. 1.

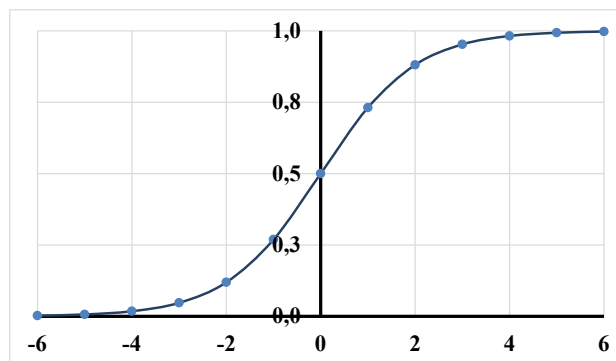


Рис. 1. Графік стандартної логістичної функції [8]

Враховуючи властивості експоненційної функції, на практиці логістичну функцію обчислюють в певному діапазоні дійсних чисел, який є достатнім для забезпечення необхідної точності обчислення цієї функції під час наближення до крайніх її значень (0 і L).

Для більш зручного використання в цілях дослідження (для показників, які не мають від'ємних значень) графік логістичної функції має бути зсунутий праворуч по осі аргументів на таку величину x_0 , щоб значуща область її визначення (від 0 до 1) перебувала в області додатних значень аргументу.

При цьому величина зсуву праворуч x_0 визначається з міркувань необхідної точності обчислення цієї функції під час наближення до крайніх її значень (0 і 1), а саме величина x_0 дорівнює половині необхідної ширини Δ області зміни значень аргументу x , за якого значення функції змінюються від 0 до 1 :

$$x_0 = \frac{\Delta}{2}. \quad (8)$$

Величина Δ є різницею між розглянутими максимальним x_{\max} і мінімальним x_{\min} значеннями аргументу x :

$$\Delta = (x_{\max} - x_{\min}). \quad (9)$$

При цьому значення логістичної функції в точці x_0 завжди дорівнює половині L .

Далі розглянемо більш детально практичне використання одиначної логістичної

функції (при $L=1$) як функції бажаності $Y_i(y_i)$ для нормування i -го розмірного показника y_i .

Діапазон зміни i -го розмірного показника y_i від свого мінімального $y_{i \min}$ до свого максимального значення $y_{i \max}$ будемо визначати так:

$$\Delta = (y_{i \max} - y_{i \min}) > 0. \quad (10)$$

Значення аргументу y_{i_0} , за якого функція $Y_i(y_i)$ дорівнює половині свого максимального значення (тобто 0,5), визначаємо таким чином:

$$y_{i_0} = \frac{\Delta}{2} = \frac{(y_{i \max} - y_{i \min})}{2}. \quad (11)$$

Використовуючи Δ , значення коефіцієнта k можна оцінити з точністю, достатньою для забезпечення цілей дослідження, у такий спосіб [9]:

$$k \approx \frac{10}{\Delta}. \quad (12)$$

Значення безрозмірного показника Y_{i_0} – це значення функції в точці y_{i_0} , яке завжди дорівнює 0,5 (50% якості):

$$Y_{i_0} = Y_i(y_{i_0}) = 0,5. \quad (13)$$

Беручи до уваги те, що у формулі (7) логістичної функції знак мінус перед коефіцієнтом k однозначно визначає цю функцію як зростаючу від 0 до L функцію, а також таку важливу властивість логістичної функції [8]:

$$f(-x) = 1 - f(x). \quad (14)$$

можна сказати, що якщо у формулі (7) перед коефіцієнтом k уникнути знака мінус, то ця функція перетвориться у симетричну спадаючу від L до 0 функцію.

Таким чином, для показників, що є односторонніми зростаючими залежності, якість яких зростає до максимального рівня у разі зростання ознаки до її максимального значення, як односторонню зростаючу функцію бажаності будемо використовувати таку функцію:

$$Y_i(y_i) = \frac{1}{1 + e^{-k(y_i - y_{i_0})}}, \quad (15)$$

де y_i – поточне значення i -того розмірного показника;

y_{i_0} – значення i -го розмірного показника, за якого функція бажаності дорівнює половині свого максимального значення, тобто відповідає 50% якості цього показника;

$Y_i(y_i)$ – нормоване безрозмірне значення i -го розмірного показника;

k – коефіцієнт крутизни кривої логістичної функції в точці y_{i_0} ($k > 0$);

$y_{i \max}$ – максимальне значення розмірного показника y_i ;

$y_{i \min}$ – мінімальне значення розмірного показника y_i .

Через властивості логістичної функції значення Y_i в точці y_{i_0} завжди дорівнює 0,5, тобто 50% якості.

Для показників, що є односторонніми зростаючими залежності, якість яких зростає до максимального рівня у разі зменшення ознаки до її мінімального значення, як спадаючу функцію бажаності будемо використовувати таку функцію:

$$Y_i(y_i) = \frac{1}{1 + e^{k(y_i - y_{i_0})}}. \quad (16)$$

Для тих показників, де відхилення від оптимального значення в будь-який бік призводять до зниження якості, як функція бажаності використовуються одночасно функції (15; 16) залежно від того, як співвідносяться між собою поточне і оптимальне значення показника.

Виходячи з того, що функції (15; 16) є симетричними, а оптимальне значення показника $y_{i \text{ opt}}$ відповідає середньому арифметичному значень $y_{i \max}$ і $y_{i \min}$, як функція бажаності в діапазоні зростання показника від мінімального до оптимального значення використовується функція (15) (випадок нормування показника з лівого боку від оптимального значення), а в діапазоні зростання показника від оптимального до максимального значення використовується функція (16) (випадок нормування показника з правого боку від оптимального значення).

При цьому для нормування показника з лівого боку від оптимального значення діапазон зміни i -го розмірного показника y_i від свого мінімального $y_{i \min}$ до свого оптимального значення $y_{i \text{ opt}}$ визначається таким чином:

$$\Delta = (y_{i \text{ opt}} - y_{i \min}). \quad (17)$$

Для нормування показника з правого боку від оптимального значення діапазон зміни i -го розмірного показника y_i от свого оптимального значення $y_{i \text{ opt}}$ до свого максимального значення $y_{i \max}$ визначається іншим чином:

$$\Delta = y_{i \text{ opt}} + (y_{i \max} - y_{i \text{ opt}}). \quad (18)$$

Таким чином, на думку автора, використання логістичної функції Ферхюльста як функції бажаності є більш зручним, ніж використання функції бажаності Е. Харрінгтона або інших подібних функцій, а також дає можливість нормувати окремі показники безпеки постачання природного газу з необхідною в цілях дослідження точністю і на їх основі формалізувати узагальнений композитний індекс безпеки постачання природного газу.

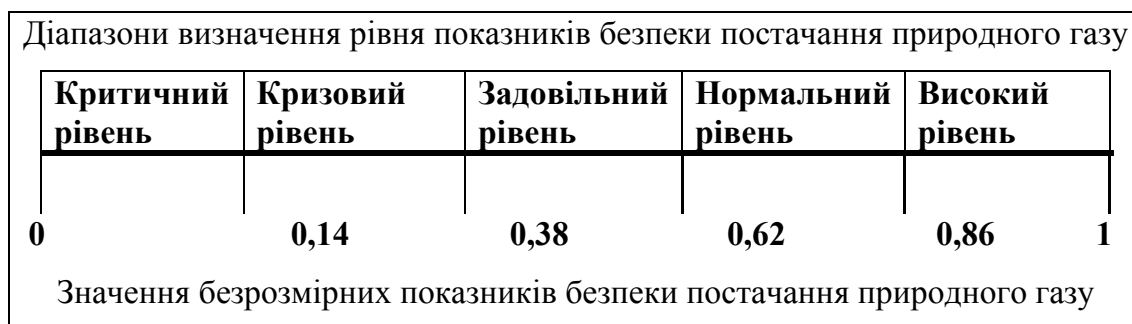


Рис. 2. Числова шкала бажаності для оцінки рівня показників безпеки постачання природного газу

Джерело: розроблено автором

Для оцінювання значень безрозмірних показників безпеки постачання природного газу автором як шкалу бажаності пропонується використовувати безрозмірну одиничну шкалу, яка має градації в пропорціях золотого перетину.

Принцип золотого перетину є широко відомим принципом пропорційного розподілу цілого на нерівні частини, за якого ціле відноситься до більшої частини так, як найбільша частина відноситься до меншої частини. У відсотковому округленому значенні застосування принципу золотого перетину на першому етапі розподілу призводить до поділу цілого на більшу частину (62%) і меншу частину (38%). На другому етапі розподілу більша частина ділиться у співвідношенні приблизно 38% і 24%, а менша частина ділиться у співвідношенні приблизно 24% і 14% тощо.

Пропорції золотого перетину застосовуються в управлінні бізнесом і є основою концепції гармонійного менеджменту, суть якої зводиться до того, що необхідною умовою сталого розвитку складної ринкової соціально-економічної системи є застосування в її структурі пропорцій золотого перетину. Чим більше пропорцій золотого перетину, тим вище стійкість системи до впливу зовнішніх факторів і здатність з меншими витратами відновлювати свою рівновагу [10–12].

Якщо прийняти, що пропорції золотого перетину дійсно є проявом структурної досконалості, то принцип золотого перетину можна розглядати як універсальний закон для побудови оптимальних економічних конструкцій, що забезпечують найвищу ефективність відтворення економічного цілого за рахунок гармонізації його складових частин [10].

Враховуючи вищезазначене, робимо припущення того, що градація шкали бажаності в пропорціях золотого перетину дасть змогу отримати гармонійно збалансовану числову

шкалу, на основі якої можуть бути отримані достовірні оцінки рівня показників безпеки постачання природного газу.

Запропонована числова шкала бажаності є одиничною шкалою і має п'ять основних градацій рівня показників безпеки постачання природного газу, граничні діапазони значень яких розраховані в пропорціях золотого перетину:

- 1) критичний рівень (0–0,14);
- 2) кризовий рівень (0,14–0,38);
- 3) задовільний рівень (0,38–0,62);
- 4) нормальний рівень (0,62–0,86);
- 5) високий рівень (0,86–1).

Таким чином, числова шкала бажаності для оцінки рівня показників безпеки постачання природного газу має такий вигляд (рис. 2).

Якщо порівняти граничні значення показників енергетичної безпеки за цією шкалою з відповідними граничними значеннями показників енергетичної безпеки, що використовуються у моделі енергетичної безпеки MOSES, запропонованої Міжнародним енергетичним агентством, то можна побачити їх певну кореляцію і відповідність значень [13].

Ця числова шкала бажаності може бути використана як для оцінки рівня окремих часткових показників безпеки постачання природного газу, так і для оцінки рівня єдиного композитного індексу безпеки постачання природного газу, складовими якого є часткові показники безпеки постачання природного газу.

Висновки з цього дослідження. Внаслідок проведеного дослідження здійснено обґрунтування використання логістичної функції Ферхюльста як функції бажаності для нормування показників безпеки постачання природного газу, використання числової шкали бажаності, яка має градації в пропорціях золотого перетину, для оцінки окремих часткових показників безпеки постачання природного газу, а також для оцінки узагаль-

неного композитного індексу безпеки постачання природного газу.

Формалізація узагальненого композитного індексу безпеки постачання природного

газу, складовими якого є нормовані часткові показники безпеки постачання природного газу, є предметом подальших досліджень автора.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Пичкалев А. В. Обобщенная функция желательности Харрингтона для сравнительного анализа технических средств / А.В. Пичкалев // Исследования наукограда. – 2012. – № 1. – С. 25–28.
2. Harrington E.C. The desirable function / E.C. Harrington // Industrial Quality Control. – 1965. – Vol. 21. – № 10. – P. 124–131.
3. Егоршин А.А. Моделирование интегрального показателя конкурентного статуса предприятия / А.А. Егоршин, Л.М. Малярец // Коммунальное хозяйство городов : научн.-техн. сб. – Вып. 50. Серия: Экономические науки. – К. : Техника, 2003. – С. 54–65.
4. Дуда Г.Г. Применение симплекс решетчатого планирования для изучения проблемы оптимизации внесения азотных удобрений при интенсивной технологии возделывания озимой пшеницы / Г.Г. Дуда, А.А. Егоршин // Агротехника. – 1998. – № 8. – С. 115–121.
5. Лубенець І.О. Методичні підходи до оцінки економічної безпеки підприємства / І.О. Лубенець // Вісник Запорізького національного університету. Економічні науки. – 2014. – № 2. – С. 244–254.
6. Федулова І.В. Підходи до оцінки рівня готовності підприємства щодо інноваційного розвитку / І.В. Федулова // Вісник Київського національного університету ім. Т.Г. Шевченка. – 2011. – № 124/125. – С. 36–39.
7. Булгакова И.Н. Использование «функции желательности» для формализации комплексного показателя конкурентоспособности промышленного предприятия / И.Н. Булгакова, А.Н. Морозов // Вестник ВГУ. Серия: Экономика и управление. – 2009. – № 2. – С. 54–56.
8. Logistic function [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://en.wikipedia.org/wiki/Logistic_function.
9. Функция Хевисайда [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://ru.wikipedia.org/wiki/Функция_Хевисайда.
10. Sokol K. Assessing the scale and readiness of companies to enter the world market of informational technologies / K. Sokol // L'Association 1901 "SEPIKE" (Index Copernicus). – Poitiers, Osthofen, Los Angeles, 2015. – Edition № 9. – P. 182–186.
11. Иванус А.И. Гармонизация управления инновационным развитием экономики на основе когнитивной технологии (теория и практика) : автореф. дисс. ... докт. экон. наук / А.И. Иванус. – М., 2013. – 44 с.
12. Власова Л.В. Магические числа бизнеса / Л.В. Власова // Экономика и жизнь. – 2006. – № 37 (9147). – С. 35–36. – [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://www.eg-online.ru/article/59381>.
13. Jewell J. The IEA Model of Short-term Energy Security / J. Jewell. – 2011 [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/moses_paper.pdf.