

## ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

УДК 681.31.001

БАГАЦЬКИЙ О.В.

Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, м. Київ

### ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ ТА ОЦІНКА ЯКОСТІ НАДАННЯ КОМУНАЛЬНИХ ПОСЛУГ

**Анотація:** Запропоновано створення функцій відповідності для визначення параметру «якість комунальних послуг» та висунуті вимоги до таких функцій. Також наведена методика визначення якості комунальних послуг. Розглянуто дві найбільш розповсюджені аналітичні функції, що задовольняють необхідним вимогам та розраховані основні характеристики цих функцій.

**Анотация:** Предложено создание функций соответствия для определения параметра «качество коммунальных услуг» и определены требования для таких функций. Также приведена методика определения качества коммунальных услуг. Рассмотрено две наиболее распространенные аналитические функции, которые удовлетворяют необходимым условиям и рассчитаны основные характеристики этих функций.

**The Abstract:** Proposed establishment of the parameter functions for determining compliance with the "quality of public utilities" and defines the requirements for these functions. It also describes a method of determining the quality of public utilities. Was considered the two most common analytic functions that satisfy the necessary conditions and calculated the main characteristics of these functions.

#### Постановка проблеми

В сучасних містах існує багато мереж, по яким від виробників до споживачів доправляються різні види комунальних послуг. Мережі характеризуються двома видами параметрів – параметрами потенціалу та потоку [1]. За підтримання параметрів потенціалу відповідає виробник або постачальник послуг, а параметри потоку формує споживач.

До параметрів потенціалу належать напруга та частота в електричній мережі, тиск в мережах холодного водопостачання, тиск та температура теплоносія в мережах гарячого водопостачання та опалення, тиск, температура та теплоутворювальна спроможність газу у газових мережах. Параметри потенціалу вимірюються в іменованих одиницях, наприклад, вольтах, герцах, паскалях та ін..

Умови виробництва та постачання комунальних послуг змінюється в дуже великому діапазоні, споживачі використовують послуги за кількістю та в часі на свій розсуд, тому підтримання параметрів потенціалу з визначеною якістю є великою проблемою для виробників та постачальників послуг, яка, в свою чергу, призводить до проблем при споживанні неякісних послуг.

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сучасні нормативні документи з якості визначають показники якості комунальних послуг як відхилення від нормативних параметрів потенціалу [2], [3], [4].

Нормою може бути діапазон допустимих та максимально припустимих відхилень від номінального значення, діапазон припустимих значень або максимальне (мінімальне) значення параметра потенціалу, які не повинні перебільшуватися (зменшуватися). Таким чином, якщо параметри потенціалу вимірюються, то показники якості за результатами цих вимірювань вираховуються.

Згідно з [4], погіршення показників якості з температури в приміщенні в опалювальний сезон та з температури гарячої води призводить до зменшення оплати за відповідну послугу.

Зменшення температури по відношенню до 18°C на один градус зменшує оплату за послугу на 5%. Якщо температура в приміщенні нижче 12°C, оплата за послугу не повинна стягуватися.

За [4] нормована температура у точці забору гарячої води повинна бути не нижче 50°C та не вище ніж 75°C. при температурі гарячої води понад 50°C оплата проводиться за устанавленими тарифами; від 49°C до 45°C – зменшується на 10% за весь строк відхилення; від 44°C до 40°C – зменшується на 30% за весь строк відхилення; менше 40°C – оплата проводиться за тарифами холодної води за весь строк відхилення.

Відхилення показників якості електро- та газопостачання від норми не пов'язані в нормативних документах [2] та [3] з величиною оплати за них. Також не пов'язаний зі зменшенням оплати зменшення такого показника якості, як тиск теплоносія у опалювальній мережі та тиск газу у газомережі і мережах холодного та гарячого водопостачання.

#### Постановка задачі та мета досліджень

На погляд автора, якість послуги та вплив якості на оплату необхідно визначати не як зменшення оплати за декількома коефіцієнтами, а у більш загальному вигляді, через деяку аналітичну функцію, з застосуванням якої можливо визначити якість для довільного виміряного значення параметру потенціалу.

Найбільш важливі показники якості визначають діапазоном припустимих та максимально припустимих відхилень від номінального значення параметру потенціалу (усталене відхилення напруги та частоти в електричній мережі, теплоутворювальна спроможність газу та ін.). В подальшому будемо вважати,

що показник якості може бути різним, але він не змінюється за час споживання комунальної послуги, для якого виконується розрахунок оплати.

**Метою роботи** є створення методики визначення якості комунальної послуги в залежності від відхилень фактично виміряних параметрів потенціалу від їх номінального значення та врахування цієї якості при сплаті за спожиту комунальну послугу.

#### Плата за послугу, якість надання послуги та функція відповідності

Плата за послугу нараховується за мультиплікативною формулою (1). При умові, що показники якості послуги відповідають нормі:

$$P = T \cdot K, \quad (1)$$

де  $P$  – плата за послугу, грн.;  $T$  – тариф за послугу, грн./кВт·г, грн./м<sup>3</sup>;  $K$  – кількість спожитої послуги, кВт·г, м<sup>3</sup>.

Якщо показник якості послуги не відповідає нормі, то доцільно ввести також мультиплікативно в формулу деяку функцію, яка залежить від відхилень значень реального показника від його номінального значення.

Тоді формула (1) перетворюється на формулу (2):

$$P = T \cdot K \cdot y, \quad (2)$$

де  $y$  – функція, яка характеризує відхилення параметру потенціалу від його номінального значення.

У загальному випадку якість надання послуги є відповідність фактично виміряного параметру потенціалу у певного споживача значенню параметра, визначеному в ГОСТ, ДСТУ, ТУ або в іншому нормативному документі.

Сама відповідність характеризується функцією відповідності  $y$ , до якої висуваються наступні вимоги:

Функція відповідності повинна мати в своєму складі як параметр номінальне та граничне значення параметра потенціалу, а як змінну – виміряне значення цього ж параметра.

Діапазон існування виміряних параметрів потенціалу, який визначається граничними значеннями, повинен бути більшим, ніж припустимі та максимально припустимі відхилення від номінального значення.

Функція відповідності повинна бути безрозмірною та змінюватись від одиниці (виміряне значення параметра потенціалу дорівнює номінальному значенню) до граничного значення функції, яке знаходиться між одиницею та мінімумом.

Функція відповідності повинна монотонно зменшуватись зі збільшенням відхилення виміряного параметра потенціалу від номінального значення.

Граничні значення функції відповідності на межах діапазону існування визначаються вимогами споживача з умовами роботоспроможності пристроїв комунальних послуг у споживача та економічними міркуваннями.

Якщо параметр потенціалу відхиляється від номінального значення на більшу величину, ніж діапазон існування, визначення оплати за формулою (2) з урахуванням функції відповідності припиняється, тому що параметр потенціалу стає катастрофічно малим або великим. Для цих випадків повинен діяти інший механізм визначення якості, наприклад, підрахунок часу виходу за діапазон існування з відповідними штрафними санкціями для виробника або постачальника комунальних послуг.

Розглянемо декілька типів функції відповідності.

**Кусково-лінійна функція.** Як відомо, кожен монотонну функцію можливо розкласти в ряд Тейлора і обмежитися, відповідно до допустимої похибки, певною кількістю складових цього ряду.

Припустимо, що враховано тільки постійну складову ряду Тейлора. Тоді необхідно виміряти та розрахувати статистичні параметри відхилення параметрів потенціалу від номінального значення в певному сегменті мережі комунальних послуг і призначити для нього відповідний постійний коефіцієнт, до якого зведеться функція відповідності.

Фактично це еквівалентно зменшенню тарифу на комунальну послугу для цього сегмента. Цей метод погано узгоджується з ринковими умовами, згідно з якими сплачувати необхідно за конкретні кількості і якість спожитої послуги у конкретного споживача.

Якщо обмежитися двома першими складовими ряду Тейлора, то функція відповідності буде лінійною. Відоме рівняння лінійної функції приведено нижче.

$$y = ax + b, \quad (3)$$

де  $y$  – функція відповідності;  $x$  – виміряний параметр потенціалу;  $a$ ,  $b$  – постійні коефіцієнти.

Також відоме рівняння лінійної функції, що задана двома точками  $x_1$ ,  $y_1$  та  $x_2$ ,  $y_2$ , приведено у формулі (4).

$$\frac{y - y_1}{y_2 - y_1} = \frac{x - x_1}{x_2 - x_1}, \quad (4)$$

Вирази для постійних коефіцієнтів з (3) у вигляді функцій від  $y_1$  та  $y_2$  знайдемо у формулах (5) та (6).

$$a = -y_1 \cdot \frac{1}{(x_2 - x_1)} + y_2 \cdot \frac{1}{(x_2 - x_1)}, \quad (5)$$

$$b = y_1 \cdot \left[ 1 + \frac{x_1}{(x_2 - x_1)} \right] - y_2 \cdot \frac{x_1}{(x_2 - x_1)}. \quad (6)$$

Якщо номінальне значення параметру потенціалу  $x_{ном} = x_1 = 1$  знаходиться між двома граничними значеннями параметра потенціалу  $x_{гр\ min}$  та  $x_{гр\ max}$ , то функція відповідності стає кусково-лінійною і визначається двома парами постійних коефіцієнтів  $a_{min}, b_{min}$  та  $a_{max}, b_{max}$ .

Таблиця 1

$X_i$	$Y_{i1}$	$Y_{i2}$	$Y_{i3}$
0,7	0,7	0,8	0,500001
0,8	0,8	0,866667	0,666667
0,9	0,9	0,933333	0,833334
0,95	0,95	0,966667	0,916667
0,975	0,975	0,983333	0,958333
1	1	1	1
1,025	0,975	0,95	0,95
1,05	0,95	0,9	0,9
1,1	0,9	0,8	0,8
1,2	0,8	0,6	0,6
1,3	0,7	0,400001	0,400001

Таблиця 2

№	$Y_{min}$	$Y_{max}$	$a_{min}$	$b_{min}$	$a_{max}$	$b_{max}$
1	0,7	0,7	0,999999	1E-06	-1	1,999999
2	0,8	0,4	0,666666	0,333334	-2	2,999998
3	0,5	0,4	1,666665	-0,666667	-2	2,999998

При цьому для кожного значення параметра потенціалу  $x_i$  між  $x_{гр\ min}$  та  $x_{гр\ max}$  можливо визначити значення функції відповідності  $y_i = K_{Яi}$ , яке у подальшому будемо вважати миттєвим коефіцієнтом якості  $K_{Яi}$ .

Припустимо, що  $y_{ном} = y_1 = 1$  та  $x_{ном} = x_1 = 1$ ;  $x_{гр\ min} = 0,7x_{ном}$ ,  $x_{гр\ max} = 1,3x_{ном}$ . Тоді дві пари коефіцієнтів  $a_{min}, b_{min}$  та  $a_{max}, b_{max}$  розраховуються як функції  $y_{min}$  та  $y_{max}$  за рівняннями, що наведені нижче.

$$a_{min} = -y_{min} \cdot 3, (3) + 3, (3); \quad b_{min} = y_{min} \cdot 3, (3) - 2, (3);$$

$$a_{max} = y_{max} \cdot 3, (3) - 3, (3); \quad b_{max} = -y_{max} \cdot 3, (3) + 4, (3).$$

Розраховані в середовищі Excel миттєві коефіцієнти якості  $K_{Яi}$  і вихідні дані для їх розрахунку та побудовані за ними графіки кусково-лінійних функцій відповідності  $y_{гр\ min} = y_{гр\ max} = 0,7$ ;  $y_{гр\ min} = 0,8$ ;  $y_{гр\ max} = 0,4$  та для  $y_{гр\ min} = 0,5$ ;  $y_{гр\ max} = 0,4$  наведені в таблицях 1 і 2 та на рис. 1.

Значення  $x_{ep\ min}$ ,  $y_{ep\ min}$  та  $x_{ep\ max}$ ,  $y_{ep\ max}$  можуть бути різними, в залежності від конкретних умов, які виникають при використанні комунальних послуг. При цьому постійні коефіцієнти  $a$  та  $b$  розраховують виходячи з формул (5) та (6).

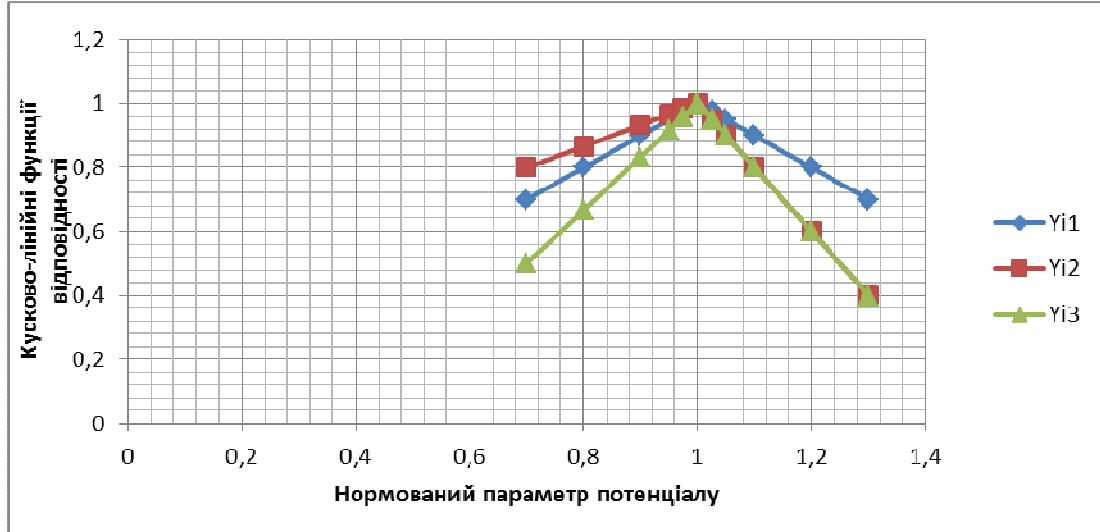


Рисунок 1 – Графіки кусково-лінійних функцій відповідності

**Квадратична функція відповідності.** Три складові ряду Тейлора відповідають квадратичній функції, рівняння якої наведено нижче

$$y = ax^2 + bx + c, \tag{7}$$

де  $x$  – вимірне значення параметру потенціалу;  $y$  – функція відповідності;  $a, b, c$  – постійні коефіцієнти.

Для трьох відомих точок  $x_1, y_1, x_2, y_2$  та  $x_3, y_3$ , які визначаються граничними умовами, можливо побудувати квадратичну функцію відповідності, для чого необхідно знайти коефіцієнти  $a, b, c$ . В математичному плані це зводиться до вирішення лінійної системи з трьох рівнянь з трьома невідомими з використанням для розв’язку, наприклад, методу Гауса за схемою одиничного ділення.

Знайдені формули (8), (9) та (10) для розрахунку  $c, b$  та  $a$  у вигляді функцій від  $y_1, y_2$  та  $y_3$  мають вигляд

$$c = -y_1 \cdot \frac{\alpha}{\gamma} + y_2 \cdot \frac{\beta}{\gamma} + y_3 \cdot \frac{1}{\gamma}; \tag{8}$$

$$b = -y_1 \cdot \left[ \frac{x_2^2/x_1^2}{d} - \frac{e}{d} \cdot \frac{\alpha}{\gamma} \right] + y_2 \cdot \left[ \frac{1}{d} - \frac{e}{d} \cdot \frac{\beta}{\gamma} \right] - y_3 \cdot \frac{e}{d \cdot \gamma}; \tag{9}$$

$$a = y_1 \cdot \left[ \frac{1}{x_1^2} + \frac{x_2^2/x_1^2}{d} - \left( \frac{e}{x_1 \cdot d} - \frac{1}{x_1^2} \right) \cdot \frac{\alpha}{\gamma} \right] - y_2 \cdot \left[ \frac{1}{x_1 \cdot d} - \left( \frac{e}{x_1 \cdot d} - \frac{1}{x_1^2} \right) \cdot \frac{\beta}{\gamma} \right] + y_3 \cdot \left[ \left( \frac{e}{x_1 \cdot d} - \frac{1}{x_1^2} \right) \cdot \frac{1}{\gamma} \right], \tag{10}$$

$$\text{де } \alpha = x_3^2 \cdot \left( \frac{1}{x_1^2} + \frac{x_2^2/x_1^2}{x_1 \cdot d} \right) - x_3 \cdot \frac{x_2^2/x_1^2}{d}; \quad \beta = x_3^2 \cdot \frac{1}{x_1 \cdot d} - x_3 \cdot \frac{1}{d};$$

$$\gamma = x_3^2 \cdot \left( \frac{e}{x_1 \cdot d} - \frac{1}{x_1^2} \right) - x_3 \cdot \frac{e}{d} + 1; \quad d = x_2 - x_1 \cdot \frac{x_2^2}{x_1^2}; \quad e = 1 - \frac{x_2^2}{x_1^2}.$$

Для граничних умов  $x_1 = x_{ном} = 1, x_2 = x_{ep\ min} = 0,7x_{ном}, x_3 = x_{ep\ max} = 1,3x_{ном}$  коефіцієнти  $a, b, c$  розраховуються відповідно до формул, наведених нижче

$$c = -y_1 \cdot 10,11118 + y_2 \cdot 7,21674 + y_3 \cdot 3,88893;$$

$$b = y_1 \cdot 22,222389 - y_2 \cdot 12,764464 - y_3 \cdot 9,444544;$$

Розраховані в середовищі Excel миттєві коефіцієнти якості  $K_{Яi}$ , вихідні дані для їх розрахунку та їх графіки для  $y_{ep \min} = y_{ep \max} = 0,7$ ;  $y_{ep \min} = 0,8$ ;  $y_{ep \max} = 0,4$  та для  $y_{ep \min} = 0,5$ ;  $y_{ep \max} = 0,4$  наведені в 3 і 4 та на 2.

Таблиця 3

$X_i$	$Y_{i1}$	$Y_{i2}$	$Y_{i3}$
0,7	0,7	0,8	0,5
0,8	0,866777	0,955682	0,788969
0,9	0,966777	1,022349	0,955635
0,95	0,991736	1,022301	0,993105
0,975	0,997955	1,013932	1,000375
1	1	1	1
1,025	0,997872	0,980504	0,991981
1,05	0,99157	0,955445	0,976319
1,1	0,966445	0,888635	0,922063
1,2	0,866113	0,688255	0,721823
1,3	0,699003	0,398859	0,399282

Таблиця 4

№	$Y_{\min}$	$Y_{\max}$	$a$	$b$	$c$
1	0,7	0,7	-3,33887	6,676083	-2,33721
2	0,8	0,4	-4,45078	8,233	-2,78222
3	0,5	0,4	-6,1151	12,06234	-4,94724

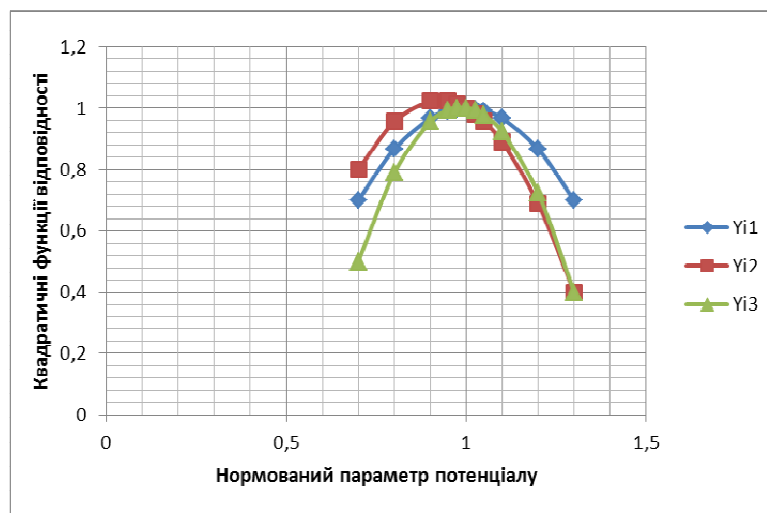


Рисунок 2 – Графіки квадратичних функцій відповідності.

### Порівняльний аналіз функцій відповідності.

В документі [4] приведені коефіцієнти, які необхідно використовувати для зменшення оплати за гарячу воду при зменшенні її температури.

Розраховані миттєві коефіцієнти якості для зазначених коефіцієнтів у вигляді графіка представлені на 3.

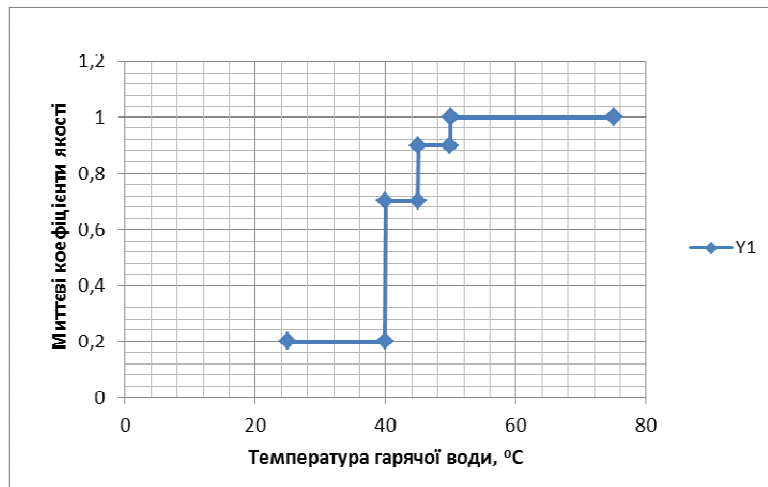


Рисунок 3 – Миттєві коефіцієнти якості для температури гарячої води

Оскільки в [4] визначено, що починаючи з температури 39 °C і нижче за використання гарячої води сплачують як за холодну воду, то миттєвий коефіцієнт якості для цих температур дорівнює відношенню тарифу за холодну воду до тарифу за гарячу воду, тобто 0,2.

При побудові графіку миттєвих коефіцієнтів якості вважалось, що температура 39,9 °C, 44,9 °C, 49,9 °C дорівнюють відповідно 39 °C, 44 °C, 49 °C, тобто округлення відбувалось шляхом відкидання десяткових часток.

Недоліком графіку, що зображений на рисунку 1 є порівняно невеликий діапазон зміни напрямків потенціалу, які призводять до зміни коефіцієнтів якості та невеликий діапазон значень миттєвих коефіцієнтів якості.

За формулою з документу [4] розрахована та побудована функція відповідності для температур у житловій кімнаті, що характеризує якість опалення в даній кімнаті. Кусково-лінійна функція наведена на рис. 4.

Недоліком цієї функції є малий діапазон значень функції, що змінюється при зміні параметрів потенціалу.

Кусково-лінійні функції відповідності наведені на рисунку 1, характерні тим, що значення першої похідної поблизу номінального значення параметра потенціалу та на кінці діапазону існування однакові. Це є недоліком кусково-лінійної функції, тому що з нормативних документів [3], [4] відомо, що невелике відхилення (до 5 %) вважається допустимим і в цьому діапазоні функція відповідності повинна бути якомога ближче до 1.

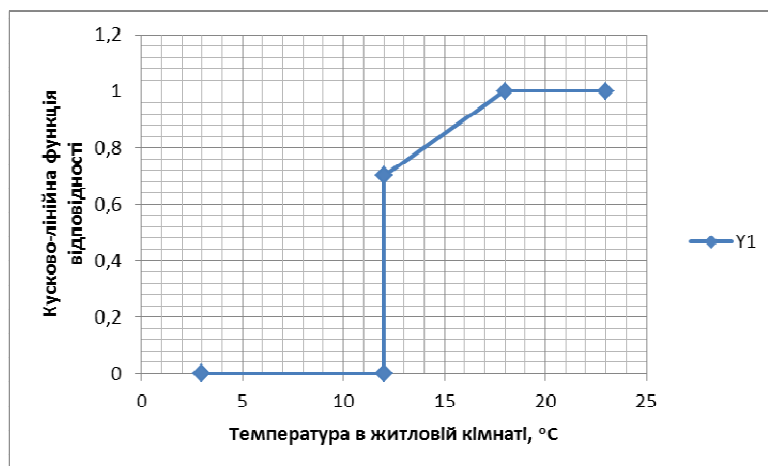


Рисунок 4 – Графік функції відповідності для температури в житловій кімнаті

Квадратичні функції відповідності зображені на рис. 2. В математичному відношенні квадратична функція (7) є параболою з віссю, що паралельна осі ординат. Тому вимогам, які сформульовані для функцій відповідності в цій статті, задовольняють не всі квадратичні функції. Наприклад, якщо номінальне значення параметру потенціалу знаходиться посередині між значеннями  $X_{gp\ min}$  та  $X_{gp\ max}$  то повинна виконуватись умова  $Y_{gp\ min} = Y_{gp\ max}$ , що на рис. 2 відповідає функції  $Y_1$ .

У загальному випадку значення  $Y_{gp\ min}$  та  $Y_{gp\ max}$  можуть бути заданими довільними, в залежності від конкретних умов при використанні конкретних комунальних послуг. Наприклад, перевищення напруги в електричній мережі може призвести до псування приладів або навіть їх загоряння, тому  $Y_{gp\ max}$  повинен бути меншим, а зниження напруги може призвести тільки до втрати роботоспроможності, і тому  $Y_{gp\ min}$  може бути більшим. На рис. 2 цьому випадку відповідає функція  $Y_3$  при  $Y_{gp\ min} = 0,5$ ;  $Y_{gp\ max} = 0,4$ .

Однак при цьому максимальне значення функції відповідності досягається при  $x = 0,975$  і дорівнює 1,000375, що у математичному сенсі не відповідає вимогам до функції відповідності.

З метою кількісного визначення впливу зміщення та величини максимуму функції відповідності виконані розрахунки для  $Y_{gp\ min} = 0,8$ ;  $Y_{gp\ max} = 0,4$ . Цей випадок зображений на рис. 2 у вигляді графіку для функції  $Y_2$ . Для 100 % різниці граничних значень максимум зсувається на 10 %, тобто до 0,9, а величина збільшується на 2,2 %, тобто до 1,0223, як це видно з табл. 3.

Таким чином, в практичних розрахунках для визначення миттєвих коефіцієнтів якості ці похибки не є визначальними.

Відхилення параметра потенціалу від номінального значення на 5 % призводить до зменшення по відношенню до одиниці значення лінійної функції відповідності ( $y_1$  на рис. 1) на 5 %, а зменшення значення квадратичної функції з тими ж граничними значеннями складає 0,2 %, що в 25 разів менше попереднього результату.

Саме тому квадратична функція більш відповідає вимогам до функції відповідності бути якомога ближче до одиниці при відхиленні параметру потенціалу на 5% від номінального значення.

#### Методика визначення якості комунальних послуг

1. З урахуванням вимог споживача та умов роботоспроможності приладів визначається граничні значення відхилень параметрів потенціалу  $X_{gp\ min}$  та  $X_{gp\ max}$ .

2. Розраховуються числові коефіцієнти для функцій відповідності за формулами і будується функція відповідності.

3. Діапазон граничних змін параметрів потенціалу поділяється на декілька ділянок, серед яких обов'язково повинні бути діапазони припустимих та максимально припустимих відхилень.

4. Для кожної межі між ділянками розраховуються коефіцієнти якості, наведені у табл. Таблиця 5 та на рис. 5, які у подальшому використовуються для розрахунку плати за послугу.

Таблиця 5.

X	$Y_{min}=0,7$ $Y_{max}=0,7$		$Y_{min}=0,8$ $Y_{max}=0,4$		$Y_{min}=0,5$ $Y_{max}=0,4$	
	$K_{лін}$	$K_{кв}$	$K_{лін}$	$K_{кв}$	$K_{лін}$	$K_{кв}$
0,7 - 0,8	0,7	0,7	0,8	0,8	0,5	0,5
0,8 - 0,9	0,8	0,85	0,85	0,95	0,65	0,8
0,9 - 0,95	0,9	0,95	0,95	1	0,85	0,95
0,95 - 1,0	0,95	1	1	1	0,9	1
1	1	1	1	1	1	1
1,0 - 1,05	0,95	1	0,9	0,95	0,9	1
1,05 - 1,1	0,9	0,95	0,8	0,9	0,8	0,9
1,1 - 1,2	0,8	0,85	0,6	0,7	0,6	0,7
1,2 - 1,3	0,7	0,7	0,4	0,4	0,4	0,4

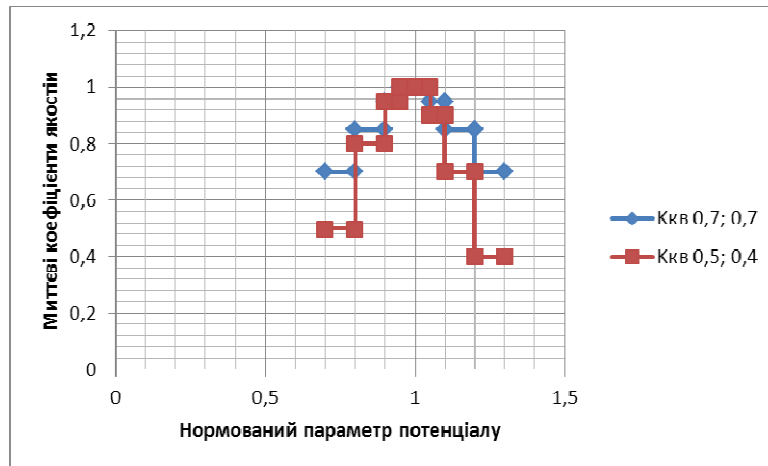


Рисунок 5 – Миттєві коефіцієнти якості квадратичних функцій відповідності для різних граничних умов

### Висновки

Таким чином, в статті якість надання комунальної послуги визначена як ступінь відповідності вимірних параметрів потенціалу параметрам потенціалу, визначених в нормативних документах. Ступінь відповідності визначається функцією відповідності, значення якої для певного значення вимірюваного параметру потенціалу є миттєвим коефіцієнтом якості. Проаналізовано два можливих типи функцій відповідності (кусково-лінійна та квадратична) та описано основні недоліки та переваги обох цих типів. Також наведена методика визначення якості комунальних послуг.

### Список літератури

1. И.П. Норенков, «Основы автоматизированного проектирования», М., МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2006. – 448 с.
  2. ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
  3. ГОСТ 5542-87 «Газы горючие природные для промышленного и коммунально-бытового назначения».
  4. Постанова Кабінету Міністрів №151 від 17 лютого 2010 року.
- Стаття надійшла: 15.03.2012.

### Відомості про авторів

**Багацький Олексій Валентинович** – молодший науковий співробітник Інституту кібернетики ім. В. М. Глушкова НАН України, м. Київ, пр. Глушкова, 40, (044) 526-34-51.