

Г. С. Ратушняк, С. Й. Шаманський

**КРИТЕРІАЛЬНИЙ МЕТОД
ОЦІНЮВАННЯ ЗАСОБІВ ОБЛІКУ
В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ**

Монографія

**«УНІВЕРСУМ-Вінниця»
2003**

УДК 621.377.39+621.391.61

Р 25

Рецензенти:

Доктор технічних наук, професор **М. Ф. Друкований**

Доктор технічних наук, професор **В. Ф. Губар**

Доктор технічних наук, професор **А. Ф. Пономарчук**

Рекомендовано до видання Ученою радою Вінницького державного технічного університету Міністерства освіти і науки України (протокол № 9 від 24.04.2003 р.)

Ратушняк Г. С., Шаманський С. Й.

Р 25 Критеріальний метод оцінювання засобів обліку в системах водопостачання. Монографія — Вінниця: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 2003. — 180 с.

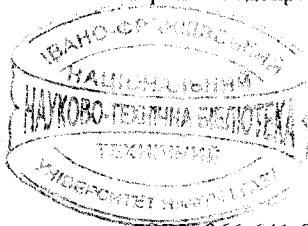
ISBN 966-641-062-1

У монографії викладено основні результати теоретичних та експериментальних досліджень ефективності роботи засобів обліку водоспоживання в системах водопостачання.

Запропоновано ієрархічну систему математичних моделей, алгоритмів та інженерних методик для інтелектуальної підтримки прийняття проектних рішень по оцінюванню та обґрунтуванню вибору оптимальних варіантів засобів обліку в системах.

Для працівників підприємств водопровідно-каналізаційного господарства, проєктувальних і виробничих організацій та студентів і аспірантів водопровідно-каналізаційних і будівельних спеціальностей.

УДК 621.377.39+621.391.61



ISBN 966-641-062-1

© Г. Ратушняк, С. Шаманський, 2003

З М І С Т

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
Розділ 1. ОЦІНЮВАННЯ ЗАСОБІВ ОБЛІКУ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДОСПОЖИВАННЯМ	9
1.1. Стан проблеми вибору оптимальних засобів обліку водоспоживання в системах водопостачання	9
1.2. Класифікація засобів обліку витрати та кількості рідини ...	10
1.3. Методи багатокритеріальної оптимізації	16
1.3.1. Методи послідовної оптимізації	16
1.3.2. Методи оцінювання за узагальненими критеріями	17
1.3.2.1. Нормування частинних критеріїв	17
1.3.2.2. Узагальнені критерії, котрі не потребують нормування частинних.	19
1.3.2.3. Узагальнені критерії, що вимагають нормування частинних.	21
1.3.2.4. Узагальнені критерії по функції належності.	24
1.3.3. Функціонально-вартісний аналіз	25
1.3.4. Метод функції корисності	27
1.3.5. Метод нечітких парних порівнянь Сааті.	30
Розділ 2. ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКІСНИХ ТЕХНІКО- ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ОБЛІКУ ВОДОСПОЖИВАННЯ МЕТРИЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ ..	33
2. 1. Груповий критерій корисності.	33
2.1.1. Формулювання корисності засобів обліку водоспоживання.	33
2.1.2. Структура та методика розрахунку корисності засобів обліку водоспоживання	35
2.1.2.1. Залежність похибки вимірювання від витрати	35
2.1.2.2. Розрахунок повної похибки вимірювання.	38
2.1.2.3. Зв'язок корисності з частинними критеріями надійності	43
2.1.2.3.1. Види показників надійності	43
2.1.2.3.2. Методи розрахунку коефіцієнта ефективності ...	45
2.1.2.3.3. Розрахунок коефіцієнта ефективності.	48
2.1.3. Алгоритм розрахунку корисності.	50
2.2. Груповий критерій плати за корисність.	53
2.2.1. Структура плати за корисність засобів обліку водоспоживання	53
2.2.2. Затрати на придбання засобів обліку водоспоживання ...	54
2.2.3. Затрати на встановлення засобів обліку водоспоживання .	55

2.2.4. Затрати на експлуатацію засобів обліку водоспоживання .	57
2.2.5. Алгоритм розрахунку плати за корисність засобів обліку водоспоживання .	62
Розділ 3. ОЦІНЮВАННЯ ЯКІСНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТА ЕРГОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ОБЛІКУ ВОДОСПОЖИВАННЯ НЕМЕТРИЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ	68
3.1. Метод нечітких парних порівнянь .	68
3.2. Ранжування засобів обліку водоспоживання за функціональними неметричними критеріями .	72
3.2.1. Збурюючі фактори .	73
3.2.2. Функціональні неметричні частинні критерії оцінювання засобів обліку водоспоживання .	76
3.2.3. Ранжування за частинними критеріями стійкості до збурень .	78
3.3. Ранжування засобів обліку водоспоживання за ергономічними неметричними критеріями .	85
3.3.1. Ергономічні характеристики засобів обліку водоспоживання .	85
3.3.2. Ергономічні неметричні частинні критерії оцінювання засобів обліку водоспоживання .	87
3.3.3. Ранжування засобів обліку водоспоживання за частинними критеріями зручності контролю водного потоку .	88
3.4. Алгоритм ранжування засобів обліку водоспоживання за неметричними критеріями .	94
Розділ 4. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ ЗАСОБІВ ОБЛІКУ ДЛЯ САПР УПРАВЛІННЯ ВОДОСПОЖИВАННЯМ	102
4.1. Модифікація методу нечітких парних порівнянь .	102
4.2. Визначення коефіцієнтів важливості групових критеріїв .	109
4.3. Алгоритм ранжування засобів обліку водоспоживання за груповими критеріями .	114
4.4. Обґрунтування вибору оптимального засобу обліку водоспоживання .	121
4.4.1. Формування множини альтернативних варіантів засобів обліку водоспоживання .	121
4.4.2. Розрахунок метричних групових критеріїв оцінки засобів обліку водоспоживання .	125
4.4.3. Ранжування засобів обліку водоспоживання за груповими критеріями .	129
ВИСНОВКИ	145
ДОДАТКИ	147
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	176

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- АОР – абсолютна оцінка рівнів
- БКП – безумовний критерій переваги
- ВОР – відносна оцінка рівнів
- ЕРС – електрорушійна сила
- ЗЕП – змішані ексергетичні показники
- ЗКВП – зручність контролю водного потоку
- ЗОВ – засоби обліку водоспоживання
- ІВА – інженерно-вартісний аналіз
- КВП – контрольно-вимірювальний пристрій
- ККД – коефіцієнт корисної дії
- КР – корисність
- МФК – метод функції корисності
- НПП – нечіткі парні порівняння
- ПДВ – податок на додану вартість
- ПКР – плата за корисність
- ПРВ – подача і розподіл води
- САУ – система автоматизованого управління
- СВП – система водопостачання
- СЗБ – стійкість до збурень
- СН – ступінь належності
- ТПВ – технологічний процес водопостачання
- УКП – умовний критерій переваги
- ФВА – функціонально-вартісний аналіз
- ФН – функція належності
- ЦМК – централізована мережа контролю

ВСТУП

Системи водопостачання досить розвинені в Україні. Виробнича потужність усіх централізованих водопроводів становить 29.5 млн. м³ на добу. Протяжність водопровідних мереж становить понад 177 тис. км. [1]. Централізованим водопостачанням забезпечено біля 100 тисяч комунально-побутових та соціально-культурних об'єктів, мешканці більше 13 млн. квартир та індивідуальних житлових будинків. Всього на побутові потреби використовується біля 3.7 млрд. кубічних метрів води на рік (приблизно така ж кількість води використовується для промислових потреб). Проте сучасний стан водопровідно-каналізаційного господарства характеризується нестачею коштів для забезпечення належного рівня послуг водопостачання та водовідведення. Через це в ряді міст України водопостачання здійснюється сьогодні не цілодобово, а за графіком. В умовах постійного зростання вартості енергоносіїв (вартість електроенергії займає значну частину собівартості послуги водопостачання) необхідною умовою є контроль за водоспоживанням з метою зменшення його нерациональної частини.

Протягом багатьох років існує система розрахунків за водопостачання, котра базується на застосуванні нормативів водоспоживання [2, 4], котрі враховують: розмір житлової площі, кількість мешканців, ступінь благоустрою житла, діаметр трубопроводу тощо. Вони не відображають фактичного споживання води та не стимулюють до її економії. В Україні середнє фактичне водоспоживання складає 328 літрів за добу на одного мешканця, в той час, коли в розвинених країнах – 150 ÷ 240 літрів за добу. В таких

умовах біля 30% води втрачається та використовується нераціонально, що вимагає додаткових затрат біля 1,1 млрд. кВт годин електроенергії щорічно. Це обумовлює необхідність вживання відповідних заходів економії, пріоритетним серед яких є впровадження системи обліку.

З 1995 року Кабміном України приймаються програми [5-7], якими ставилось завдання про впровадження до 2000 року (і продовжено термін виконання до 2002 року) 301.6 тис. засобів загальнобудинкового обліку холодної та 240.2 тис. гарячої води та відповідно 3.7 млн. і 2.4 млн. засобів поквартирного обліку. Через нестачу коштів це завдання не виконано, проте оснащення споживачів засобами обліку триває. Планується впровадження приладів, котрі позитивно зарекомендували себе під час експлуатації. В майбутньому будуть впроваджуватися й нові конструкції.

До засобів обліку водоспоживання ставиться багато різних вимог: підвищення точності вимірювання, досягнення максимальної незалежності результатів вимірювання від зміни параметрів води, підвищення надійності роботи, поліпшення динамічних якостей, розширення діапазону вимірюваних витрат тощо. Різноманіття цих вимог спричинило розробку великої кількості різних методів вимірювання. До недавнього часу витратоміри істотно відрізнялись за конструкцією від лічильників кількості. Тому перші та другі розглядались окремо. Сучасний розвиток комп'ютерної техніки дозволяє на базі будь-якого витратоміра створити лічильник кількості через оснащення його інтегруючим пристроєм. Принципових схем витратомірів існує багато. Найбільш розповсюдженими є ультразвукові, електромагнітні, змінного перепаду тиску. Існують також схеми витратомірів обтікання, силові, вихорові, теплові, оптичні, лазерні, іонізаційні тощо. Вже сьогодні фірми-виготовлювачі випускають засоби обліку, робота яких ґрунтується на різних схемах вимірювання. Всі вони істотно відрізняються як за своїми функціональними характеристиками, так і за вартістю. Кожний виробник активно декларує високу якість саме свого виробу.

Головною проблемою є те, що на сьогодні в Україні зі всього різноманіття конструкцій використовуються переважно тахометричні (крильчасті та турбінні) засоби обліку водоспоживання, котрі відрізняються недостатньо високими метрологічними характеристиками, через що в Україні необлічені витрати досягають 8%, а також низькою надійністю. Їх демонтаж, ремонт та встановлення вимагають великих додаткових затрат. Крім того облік води на час ремонту припиняється, що не сприяє її економії.

Сам технологічний процес водопостачання вимагає регулювання. Автоматизація управління цим процесом, є невід'ємною

частиною підвищення ефективності його функціонування та зменшення нерациональних втрат води на водоводах. Таке управління здійснюється сьогодні в основному без залучення засобів обліку і через це є малоефективним. Несвочасне виявлення та ліквідація аварійних ситуацій (витоків води) внаслідок недостатнього контролю за величинами водних потоків призводить до втрат води, що досягають 27%.

Задача вибору засобів обліку водоспоживання, котра вирішується сьогодні переважно інтуїтивним шляхом, виникає при реконструкції абонентських вводів споживачів з оснащенням їх цими приладами, при проектуванні нових вводів, а також при проектуванні систем управління водоспоживанням.

Відсутність систем автоматизованого проектування управління водоспоживанням з вибором засобів обліку для систем водопостачання визначає актуальність розробки основаних на інженерії знань математичних моделей та алгоритмів підтримки інтелектуальної діяльності при прийнятті проектних рішень оцінювання та обґрунтування вибору оптимальних засобів обліку водоспоживання в системах водопостачання на основі формування єдиної системи критеріїв оцінювання і проведення багатокритеріального оцінювання та ранжування цих приладів. Це сприятиме застосуванню ефективніших типів засобів обліку водоспоживання в народному господарстві України, та вдосконаленню їх перспективних конструкцій, що в свою чергу приведе до економії водних ресурсів, електроенергії та зменшенню затрат, пов'язаних з експлуатацією цих приладів.

Наукові результати, викладені в цій монографії, отримані під час виконання дисертаційної роботи Шаманським С. Й.

РОЗДІЛ 1

ОЦІНЮВАННЯ ЗАСОБІВ ОБЛІКУ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ВОДОСПОЖИВАННЯМ

1.1. Стан проблеми вибору оптимальних засобів обліку водоспоживання в системах водопостачання

На необхідність обладнання абонентних вводів водопроводу засобами обліку водоспоживання (ЗОВ) вказує багато нормативних документів [2-7]. Проте рекомендаціям щодо вибору оптимальних варіантів ЗОВ приділяється недостатньо уваги. Рекомендується вибирати лише діаметр умовного проходу (d_v) виходячи з середньої годинної витрати води за певний період споживання [2, табл. 4]. Для крильчастих водолічильників d_v рекомендується вибирати згідно ГОСТ 6091-84 “Лічильники води крильчасті”, для турбінних – згідно ГОСТ 14167-83 “Лічильники води турбінні”, звужуючих пристроїв – згідно РД 50-213-84.

Сьогодні управління водоспоживанням проводиться шляхом управління потоками в системах подачі і розподілу води (ПРВ) і лише частково механізовано. Воно ґрунтується переважно на досвіді та інтуїції працівників. Нормативні документи [8, 9] рекомендують впровадження систем автоматизованого управління (САУ) розподілом води інформаційно-довідкового типу. Для розрахунку оптимальних режимів роботи насосних станцій [8] рекомендує математичну модель, що виражає взаємозв'язок напору $H_{н. ст.}$ і подачі $Q_{н. ст.}$ води станцією з тиском в диктуючих точках мережі $H_{д. т.}$:

$$H_{н. ст.} = H_{д. т.} + a + b \cdot Q_{н. ст.} + c \cdot Q_{н. ст.}^2 \quad (1.1)$$

де a , b , c – коефіцієнти, що отримуються в результаті статистичної обробки даних про параметри роботи насосних станцій та системи подачі і розподілу води.

Основна частина інформації, що отримується під час гідравлічного розрахунку (втрати напору і витрати по дільницях) при цьому не використовується і є надлишковою. Така модель є досить неточною та інертною. Коефіцієнти a , b , c залежать від багатьох змінних факторів, що в даному випадку не вимірюються. Для підвищення точності необхідно періодично уточнювати цю модель.

В роботах [10-14] розвиваються теоретичні основи побудови САУ систем ПРВ в умовах недостатньої кількості вимірюваних параметрів. При цьому система подачі і розподілу води розглядається як об'єкт, що функціонує в середовищі споживачів води. В якості розрахункових управляючих дій приймається функція прогнозу стану

середовища для різних кроків упередження. В якості моделі системи ПРВ приймається контурно-вузлова модель кільцевої водопровідної мережі. Прогнозування стану моделі здійснюється шляхом задання на множині її розв'язків критерію оптимальності, відповідно до спрогнозованого стану середовища:

$$J = \sum (h_j - h_j^{\min}) \rightarrow \min, \quad (1.2)$$

де h_j, h_j^{\min} – оптимальний та мінімальний необхідний напори в j -тому вузлі системи.

Неповнота і недостовірність вхідної інформації, тобто відсутність вимірювання витрати води в системі ПРВ, та інертність такої моделі, призводить до природних помилок планування (не враховуючи похибку самої моделі, котра також є значною). Для зменшення похибки прогнозування рекомендується проводити уточнення моделі, тобто її стабілізацію.

Відносна економічна ефективність оптимального управління зв'язана з відносним приростом інформаційного забезпечення формулою академіка Трапезнікова В. А.:

$$\frac{\partial}{\partial \epsilon^*} = 1 - B_0 e^{-j/j_0}, \quad (1.3)$$

де j_0 – об'єм інформації, що переробляється САУ у вихідному варіанті;

j – приріст інформації;

B_0 – статистична невпорядкованість об'єкту у вихідному варіанті;

ϵ^* – гранична економічна ефективність САУ при ідеальному управлінні;

ϵ – економічна ефективність з використанням інформації $j_0 + j$;

e – основа натурального логарифму.

Застосування засобів обліку водоспоживання в САУ системами подачі і розподілу води дозволить збільшити об'єм вхідної інформації і підвищити ефективність управління. Для обґрунтування вибору оптимальних ЗОВ для систем водопостачання необхідно провести їх оцінювання та визначити оптимальні варіанти на багатокритеріальній основі.

1.2. Класифікація засобів обліку витрати та кількості рідини

Засоби обліку водоспоживання діляться на витратоміри та лічильники кількості. Прилад, що служить для вимірювання витрати води, яка проходить через нього, називається витратоміром. Прилад, що вимірює кількість пройдені через нього води за деякий проміжок

часу, називається лічильником кількості. Лічильники та витратоміри до цього часу розглядалися незалежно одні від інших. Сучасний рівень розвитку електронної техніки легко забезпечує можливість створення лічильника на базі будь-якого витратоміра через оснащення останнього інтегруючим пристроєм. Це дає підґрунтя для складення єдиної, якомога більш повної класифікації ЗОВ (витратомірів та лічильників).

Класифікація, складена за матеріалами робіт [15 - 36]:

1. *Тахометричні.*
 - 1.1. *Турбінні.*
 - 1.1.1. *З аксіальною турбінкою (влісне турбінні).*
 - 1.1.1.1. *З механічною передачею.*
 - 1.1.1.2. *З магнітною муфтою.*
 - 1.1.1.3. *З індукційною передачею.*
 - 1.1.1.4. *З індуктивною передачею.*
 - 1.1.1.5. *З фотоелектричною передачею.*
 - 1.1.2. *З тангенціальною турбінкою (крильчасті).*
 - 1.1.2.1. *Одноструминні сухохідні.*
 - 1.1.2.1.1. *З осьовою передачею.*
 - 1.1.2.1.2. *З магнітною муфтою.*
 - 1.1.2.2. *Багатоструминні сухохідні.*
 - 1.1.2.2.1. *З осьовою передачею.*
 - 1.1.2.2.2. *З магнітною муфтою.*
 - 1.1.2.3. *Одноструминні мокрохідні.*
 - 1.1.2.4. *Багатоструминні мокрохідні.*
 2. *Ультразвукові.*
 - 2.1. *На ефекті Доплера.*
 - 2.2. *На зміщенні ультразвукової хвилі (УЗХ) середовищем, що рухається.*
 - 2.2.1. *З направленням УЗХ по потоку і проти нього.*
 - 2.2.1.1. *На вимірюванні фазових зсувів УЗХ.*
 - 2.2.1.2. *На вимірюванні тривалості проходження коротких імпульсів УЗХ.*
 - 2.2.1.3. *На вимірюванні різниці частот повторення коротких імпульсів УЗХ.*
 - 2.2.2. *З направленням УЗХ перпендикулярно потоку, та вимірюванні його зміщення.*
 3. *Електромагнітні.*
 - 3.1. *Кондукційні електромагнітні.*
 - 3.1.1. *З круглим каналом.*
 - 3.1.2. *З прямокутним каналом.*
 - 3.2. *Індукційні електромагнітні.*

- 3.2.1. *Власне індукційні.*
- 3.2.2. *Індукційні на кінцевих ефектах.*
- 3.3. *Пондермоторні.*
- 4. *Змінного перепаду тиску.*
- 4.1. *Звужуючі пристрої зі змінним перепадом тиску.*
- 4.1.1. *Витратомірні труби.*
- 4.1.1.1. *Труба Вентурі.*
- 4.1.1.2. *Труба Далла.*
- 4.1.1.3. *Труба Хаттера.*
- 4.1.1.4. *Симетрична витратомірна труба.*
- 4.1.1.5. *Труба Вазі.*
- 4.1.2. *Звужуючі пристрої з діафрагмами.*
- 4.1.2.1. *Діафрагма з вхідним конусом.*
- 4.1.2.2. *Діафрагма з подвійним конусом.*
- 4.1.2.3. *З сегментною діафрагмою.*
- 4.1.2.4. *З ексцентричною діафрагмою.*
- 4.1.2.5. *З кільцевою діафрагмою.*
- 4.1.2.6. *З подвійною діафрагмою.*
- 4.1.2.7. *Зі змінною площею перехідного отвору в діафрагмі.*
- 4.1.3. *Сопла.*
- 4.1.3.1. *Сопло Вентурі.*
- 4.1.3.2. *Сопло Далла.*
- 4.1.3.3. *Подвійне сопло Вентурі.*
- 4.1.3.4. *Циліндричне сопло.*
- 4.1.3.5. *Сопло «чверть круга».*
- 4.1.3.6. *Сопло «половина круга».*
- 4.1.3.7. *«Комбіноване» сопло.*
- 4.2. *Гідравлічні опори зі змінним перепадом тиску.*
- 4.2.1. *Зі створенням опору капілярними трубками.*
- 4.2.2. *Зі створенням опору пористими дисками.*
- 4.2.3. *Зі створенням опору пористими набивками зі стружки.*
- 4.2.4. *Зі створенням опору каліброваними кульками.*
- 4.3. *Центробіжні змінного перепаду тиску.*
- 4.4. *Напірні пристрої змінного перепаду тиску.*
- 4.4.1. *Напірні трубки.*
- 4.4.2. *Напірні усереднювачі.*
- 4.4.3. *Напірні крила.*
- 4.4.4. *Напірні підсилювачі.*
- 4.5. *Витратоміри обтікання зі змінним перепадом тиску.*
- 4.5.1. *Поплавково-пружинні.*
- 4.5.2. *Поплавково-архімедові.*
- 4.5.3. *Кулькові.*

- 5. *Постійного перепаду тиску.*
- 5.1. *Ротаметри.*
- 5.2. *Поплавкові постійного перепаду тиску.*
- 5.3. *Поршневі постійного перепаду тиску.*
- 6. *Змінного рівня.*
- 6.1. *Змінного рівня з затопленим отвором витоку.*
- 6.2. *Щілинні змінного рівня з отвором витоку типу водозливу.*
- 6.2.1. *Щілинні з прямокутним отвором.*
- 6.2.2. *Щілинні з профільованим отвором.*
- 6.2.3. *Щілинні з камерою змінного перетину.*
- 7. *Камерні.*
- 7.1. *Без рухомого розділяючого елемента в камері.*
- 7.1.1. *Камерні з нерухомими камерами.*
- 7.1.1.1. *Камерні з сифонами.*
- 7.1.1.2. *Камерні з клапанами.*
- 7.1.2. *Камерні з рухомими камерами.*
- 7.1.2.1. *З камерами, що перекидаються.*
- 7.1.2.1.1. *Гравіметрично-камерні.*
- 7.1.2.1.2. *Камерно-масові.*
- 7.1.2.1.3. *Об'ємно-камерні.*
- 7.1.2.1.4. *Барабанно-камерні.*
- 7.2. *З рухомими розділяючими елементами в камері.*
- 7.2.1. *Камерно-поршневі.*
- 7.2.1.1. *Однопоршневі.*
- 7.2.1.2. *Багатопоршневі*
- 7.2.2. *Камерно роторні.*
- 7.2.2.1. *З однаковими роторами.*
- 7.2.2.1.1. *З однаковими роторами вісімкоподібної форми.*
- 7.2.2.1.2. *З однаковими роторами трапецевидної форми.*
- 7.2.2.2. *З неоднаковими роторами.*
- 7.2.3. *Камерно-зубчасті.*
- 7.2.3.1. *Камерно-зубчасті з овальними колесами.*
- 7.2.3.2. *Камерно-зубчато-гвинтові.*
- 7.2.4. *Камерно-лопатеві.*
- 7.2.4.1. *З ковзаючими лопатями.*
- 7.2.4.1.1. *З кулачковим управлінням ковзаючими лопатями.*
- 7.2.4.1.2. *З управлінням ковзаючими лопатями кромкою вимірювальної камери.*
- 7.2.4.2. *З лопатями, що складаються.*
- 7.2.5. *Камерно-ковшові.*
- 7.2.6. *Камерно-кільцеві.*
- 7.2.7. *Камерно-дисківі.*

- 7.3. *З еластичними стінками камер.*
- 8. *Вихорові.*
- 8.1. *Вихорові з тілом, що обтікається.*
- 8.2. *Вихорово-обертально-поступальні.*
- 9. *Теплові.*
- 9.1. *Теплові з електричним нагрівом.*
- 9.1.1. *Теплові з внутрішнім нагрівом (контактні).*
- 9.1.1.1. *Теплові калориметричні.*
- 9.1.1.2. *Теплові термоанемометричні.*
- 9.1.1.2.1. *Теплові термокондуктивні.*
- 9.1.1.2.2. *Теплові термоелектричні.*
- 9.1.1.2.3. *Теплові з термобалонном манометричного термометра.*
- 9.1.2. *Теплові з зовнішнім електричним нагрівом (неконтактні).*
- 9.1.2.1. *Теплові з зовнішнім електричним нагрівом приграничного шару.*
- 9.1.2.2. *Квасікалориметричні.*
- 9.1.2.2.1. *Зі стінкою труби, що нагрівається.*
- 9.1.2.2.2. *З симметричним розташуванням термоперетворювачів.*
- 9.1.2.2.3. *З несимметричним розташуванням термоперетворювачів.*
- 9.2. *Теплові з індукційним нагрівом.*
- 9.3. *Теплові з нагрівом рідини теплоносієм.*
- 10. *Оптичні.*
- 10.1. *На ефекті Фізо-Френеля.*
- 10.2. *На ефекті Доплера.*
- 11. *Лазерно-доплерівські.*
- 12. *Іонізаційні.*
- 12.1. *З іонізацією потоку радіоактивним випромінюванням.*
- 12.2. *З іонізацією потоку електричним полем.*
- 13. *Міточні.*
- 13.1. *З радіоактивними мітками.*
- 13.2. *З іонними мітками.*
- 13.2.1. *З іонізацією електричним зарядом.*
- 13.2.1.1. *З іонізацією іскровим електричним зарядом.*
- 13.2.1.2. *З іонізацією коронним електричним зарядом.*
- 13.2.2. *З іонізацією іонізуючим випромінюванням.*
- 13.3. *З хімічними мітками.*
- 13.4. *З тепловими мітками.*
- 13.4.1. *З утворенням міток зовнішнім нагрівачем.*
- 13.4.2. *З утворенням міток внутрішнім нагрівачем.*
- 13.4.3. *Без нагрівача (випадкові теплові мітки).*
- 13.5. *З електромагнітними мітками.*
- 13.5.1. *З магнітними мітками.*

- 13.5.2. *Зі струмовими мітками.*
- 13.6. *З оптичними мітками.*
- 13.6.1. *З оптичними мітками, що займають частину перетину потоку.*
- 13.6.2. *З оптичними мітками, що займають весь перетин потоку.*
- 13.7. *З ядерно-магнітними мітками.*
- 13.8. *Концентраційні.*
- 13.8.1. *З безперервним введенням індикатора і вимірюванням його витрати.*
- 13.8.2. *З короткочасним (залповим) введенням індикатора і вимірюванням його кількості.*
- 14. *Ядерно-магнітно-резонансні.*
- 14.1. *Амплітудно-ядерно-магнітно-резонансні.*
- 14.2. *Частотно-ядерно-магнітно-резонансні.*
- 14.3. *Нутаційно-ядерно-магнітно-резонансні.*
- 14.3.1. *З нутаційною котушкою в однорідному зовнішньому магнітному полі.*
- 14.3.2. *З нутаційною котушкою в неоднорідному зовнішньому магнітному полі.*
- 14.4. *Фазово-ядерно-магнітно-резонансні.*
- 14.5. *На ефекті Мессбауера.*
- 15. *Силові.*
- 15.1. *Силові коріолісові.*
- 15.1.1. *Силові коріолісові з обертальним рухом.*
- 15.1.2. *Силові коріолісові з вібраційним рухом.*
- 15.2. *Силові гіроскопічні.*
- 15.2.1. *Силові гіроскопічні з безперервним обертанням.*
- 15.2.2. *Силові гіроскопічні з вібраційним рухом.*
- 15.3. *Турбосилові.*
- 15.3.1. *Власне турбосилові.*
- 15.3.1.1. *Турбосилові з електроприводом.*
- 15.3.1.2. *Турбосилові з закручуванням потоку за рахунок його потенційної енергії.*
- 15.3.2. *Турбосилові кулькового типу.*
- 15.4. *Перепадно-силові.*
- 15.4.1. *Перепадно-силові по різниці повних тисків потоку.*
- 15.4.2. *Перепадно-силові по різниці статичних тисків.*
- 15.5. *Силові з поворотною лопаттю.*
- 15.5.1. *Силові з врівноваженням вантажем.*
- 15.5.2. *Силові з пружинним врівноваженням.*
- 15.5.3. *Компенсаційні.*
- 16. *Парціальні.*

- 16.1. *З парціальним потоком, що повертається.*
- 16.2. *З парціальним потоком, що утворюється допоміжним середовищем.*
17. *Кореляційні.*
18. *Поляризаційні.*

В СВП використовуються лише тахометричні, ультразвукові, електромагнітні, змінного перепаду тиску, зокрема звужучі пристрої. В майбутньому слід очікувати застосування нових витратомірів зі схемами вимірювання, наведеними в класифікації, та створення на їх основі нових лічильників кількості.

1.3. Методи багатокритеріальної оптимізації

На базі теорії векторної оптимізації, яка ще далека від свого завершення [37] розроблено ряд принципів та прийомів, котрі можуть бути використані для розв'язання деяких практичних завдань.

Засіб обліку водоспоживання являє собою вимірювальну систему, на вхід котрої діє водяний потік, а на виході виводиться інформація про кількість води, що проходить через нього за певний проміжок часу. Серед різноманіття критеріїв оптимальності, що визначають ефективність його функціонування, є такі, кількісне значення котрих бажано максимізувати (надійність роботи, діапазон вимірюваних витрат тощо), та такі, котрі потрібно зменшувати (похибку вимірювання, вплив на систему водопостачання, вартість ЗОВ). Проте між цими характеристиками існує взаємна залежність, виграючи в одних характеристиках, ми неодмінно програємо в інших.

1.3.1. Методи послідовної оптимізації

В роботі [38] запропоновані методи послідовної оптимізації: непідлеглих альтернатив, поступок, ELECTRE. В методах “Множини непідлеглих альтернатив” та “Поступок” складається впорядкована по важливості множина критеріїв оптимальності. Потім проводиться ряд послідовних наближень до оптимального рішення. На першому кроці вибирається таке рішення, при якому максимальним є вищий по рангу критерій. Потім задається допустиме зниження цього критерію та ведеться пошук максимального значення другого за рангом критерію.

Метод ELECTRE ґрунтується на побудові графів переваги по кожному критерію. Потім за допомогою спеціальних прийомів та додаткової інформації будуються узагальнені графи та знаходиться прийнятне рішення.

Такі методи можуть успішно використовуватися для систем, що проєктуються. Для оцінки варіантів уже існуючих ЗОВ в системах

водопостачання їх можна вважати неприйнятними, оскільки вони дають лише досить грубе наближення до рішення, що ґрунтується на інтуїтивному ранжуванні критеріїв по важливості.

1.3.2. Методи оцінювання за узагальненими критеріями

1.3.2.1. Нормування частинних критеріїв

Задача оцінювання ЗОВ відрізняється тим, що частинні (не узагальнені) критерії через різну фізичну природу мають різну розмірність. Частина з них носить якісний характер і взагалі не має розмірності, тобто є неметричними. Запропоновані методи нормування, де замість “натурального” критерію вводиться його відношення до деякої нормуючої величини, тієї самої розмірності [37]. В результаті всі частинні критерії набувають безрозмірного вигляду.

Смисл операції нормування зводиться до наступного: будь-який простір повинен характеризуватися метричністю, а для цього всі його координати повинні мати однакову розмірність. При нормованих частинних критеріях ця вимога виконується, і тоді набуває змісту поняття вектору оцінки. Однак нормування не може проводитися шляхом ділення величини частинного критерію на довільно вибрану величину тієї ж розмірності. Нормуючий дільник повинен мати під собою добре обґрунтовану логічну базу. Розглянемо логіку типових методів нормування.

1. Нормування до заданих значень. По всій множині частинних критеріїв кращому варіанту повинно відповідати більше значення критерію, що розглядається. Наприклад, не можливо задаватися похибкою вимірювання σ для ЗОВ, оскільки з її збільшенням ефективність ЗОВ знижується. Необхідно задаватися оберненою величиною. Назвемо її точністю вимірювання $\tau_0 = \sigma^{-1}$. ЗОВ, що розглядається, можна оцінювати тим, наскільки його кількісне значення критерію точності τ_1 відповідає заданому (оптимальному τ_0). В залежності від величини: $\Delta_1 = \tau_1 / \tau_0$, можна зробити такі висновки:

при $\Delta_1 < 1$ ЗОВ заслуговує низької оцінки, оскільки не забезпечує заданої точності вимірювання; при $\Delta_1 = 1$ ЗОВ заслуговує на увагу; при $\Delta_1 > 1$ можна очікувати, що ЗОВ заслуговує на високу оцінку, в залежності від значень величини Δ за іншими критеріями.

Логічно слабким моментом такого нормування є підсвідоме твердження, що заданою є множина оптимальних значень частинних критеріїв. Інакше не можна пояснити, чому вся сукупність заданих значень цих критеріїв розглядається як зразкова.



2. Нормування до критеріїв приладу, прийнятого за базовий. Розглядаючи такий метод, можна зробити аналогічний хибний висновок, що базовий ЗОВ посідає оптимальну множину таких критеріїв.

3. Нормування до максимуму ґрунтується на таких міркуваннях. Якщо відомо максимальне значення k_i , котре приймає кожний з частинних критеріїв, що розглядаються, по всій множині ЗОВ, які підлягають оцінюванню, можна припустити, що чим ближче частинний критерій до свого максимального значення k_{\max} , тим краще для приладу в цілому. В цьому випадку нормована величина шукається так:

$$\Delta_1 = \frac{k_i}{k_{\max}}. \quad (1.4)$$

4. В якості нормуючих дільників приймається різниця між максимальним k_{\max} та мінімальним k_{\min} значенням критерію по множині варіантів оцінювання:

$$\Delta_1 = k_i / (k_{\max} - k_{\min}). \quad (1.5)$$

Перевагою четвертого способу над третім є те, що він враховує не тільки максимальне значення частинного критерію, що розглядається, але і характер його зміни. Проте головним недоліком обох цих методів є те, що вони дають лінійну залежність критерію в нормованому вигляді від його абсолютної величини, тоді, як вплив зміни частинного критерію на ефективність функціонування засобу обліку водоспоживання не відомий.

5. Нормування по функції належності. Нехай Y – множина значень частинного критерію. Розмита множина G на Y задається функцією належності: $\xi_G : Y \rightarrow [0, 1]$, котра ставить у відповідність кожному елементу $y \in Y$ дійсне число в інтервалі $[0, 1]$. Число ξ_G називають ступінню належності Y до нечіткої множини G . Нечітка множина G записується як множина пар: $G = \{(y, \xi_G(y))\}$.

У відповідності з цим кожний частинний критерій задається у вигляді нечіткої множини: $k_i = \{(k_i, \xi_{k_i}(k_i))\}$, де ξ_{k_i} – функція належності конкретного значення i -го частинного критерію нечіткій множині значень.

Запис частинного критерію в такій формі має високий ступінь інформативності, так, як дає уявлення про його фізичний зміст, конкретне значення, та його “цінність” відносно найкращого значення, котру характеризує функція належності ξ_{k_i} . В роботі [39 стор. 23] приводиться найбільш універсальна функція належності:

$$\xi(k_i) = \left(\frac{k_i - k_{i.\text{нг.}}}{k_{i.\text{нк.}} - k_{i.\text{нг.}}} \right)^{\alpha_i}, \quad (1.6)$$

де k_i – значення i -го критерію для варіанту ЗОВ, що розглядається;

$k_{i.\text{нг.}}$ – значення i -го критерію для найгіршого варіанту;

$k_{i.\text{нк.}}$ – його значення для найкращого варіанту;

α_i – показник надійності.

При $\alpha_i = 1$ отримуємо лінійну, при $0 < \alpha_i < 1$ – випуклу, при $\alpha_i > 1$ – вигнуту залежність. Замість функції належності (1.6) можна скористатися функцією втрати оптимальності за i -тим частинним критерієм, котра має зміст функції належності до найгіршого варіанту:

$$\bar{\xi}(k_i) = 1 - \xi(k_i) = 1 - \left(\frac{k_i - k_{i.\text{нг.}}}{k_{i.\text{нк.}} - k_{i.\text{нг.}}} \right)^{\alpha_i}. \quad (1.7)$$

Перевагою функції належності є те, що вона враховує нелінійність впливу зміни значення критерію на ефективність функціонування приладу. Головна складність полягає у визначенні показника нелінійності α , котрий може бути заданий лише евристично.

Всі перераховані методи нормування мають загальні недоліки: не дозволяють нормувати неметричні критерії, не розкривають об'єктивно існуючих залежностей, являють собою формальну операцію для надання критеріям безрозмірної форми і мають у великій мірі суб'єктивний характер [37, 40, 41].

1.3.2.2. Узагальнені критерії, котрі не потребують нормування частинних

Більшість методів векторного синтезу безпосередньо або опосередковано зводяться до скалярного синтезу. Частинні критерії k_i ($i=1 \div n$) об'єднуються в узагальнений $K = f(k_i)$, котрий потім максимізується (або мінімізується). Якщо узагальнений критерій отримують в результаті проникнення у фізичну суть функціонування приладу та розкриття об'єктивно існуючих залежностей між частинними критеріями і узагальненим, то така оцінка є об'єктивною. Однак пошук таких залежностей надзвичайно складний. Тому на практиці узагальнений критерій утворюють шляхом формального об'єднання частинних критеріїв, що неодмінно веде до суб'єктивності отриманого рішення.

Знання аналітичної залежності узагальненого критерію від частинних не потрібно, коли рішення шукати на основі безумовного критерію переваги (БКП). Коли для приладів I та II, що

характеризуються частинними критеріями $k_i^{(I)}$, $k_i^{(II)}$, ($i = 1 \div n$), виконується нерівність

$$k_i^{(I)} \geq k_i^{(II)}, \quad (1.8)$$

в тому числі хоча б для одного критерію ця нерівність виконується строго, то прилад I має вищу оцінку ніж прилад II. БКП не дозволяє розв'язати задачу оцінювання засобів обліку водоспоживання в системах водопостачання, а дає можливість лише показати заздалегідь неефективні конструкції ЗОВ.

Узагальнений критерій можна назвати умовним критерієм переваги (УКП), оскільки за його допомогою задача розв'язується тоді, коли одна або кілька умов (1.8) не виконуються.

В методах формування узагальнених критеріїв на основі відхилень від ідеалу та суми втрат для кожного з частинних критеріїв k_i визначається його значення $k_{i,0}$ для деякого гіпотетичного ідеального варіанту. Тоді різниця $(k_{i,0} - k_i)$ являє собою ступінь відхилення даного варіанту від ідеалу. Проте варіант характеризується n частинними критеріями. Тому кращим потрібно вважати той прилад, для котрого сума різниць між його частинними критеріями та частинними критеріями ідеалу є меншою [37]

$$F(k) = \sum_{i=1}^n (k_{i,0} - k_i). \quad (1.9)$$

Сама по собі абсолютна різниця $(k_{i,0} - k_i)$ не відображає ступінь відхилення критерію від ідеалу. Важливо яку частину складає ця різниця від всього діапазону зміни цього критерію

$$F(k) = \sum_{i=1}^n \frac{k_{i,0} - k_i}{k_{i,0} - k_{i,\min}}. \quad (1.10)$$

При неврівноваженості частинних критеріїв, різна вага кожного може бути відображена ваговим множником або ваговим показником степені:

$$F(k) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \cdot \frac{k_{i,0} - k_i}{k_{i,0} - k_{i,\min}}, \quad (1.11)$$

$$F(k) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{k_{i,0} - k_i}{k_{i,0} - k_{i,\min}} \right)^{\alpha_i}. \quad (1.12)$$

В роботі [42] розвивається метод векторної оптимізації, що базується на мінімізації суми квадратів нормованих відхилень частинних критеріїв від їх мінімально можливих значень. Він описується формулами (1.11) та (1.12) при $\alpha_i = 2$.

1.3.2.3. Узагальнені критерії, що вимагають нормування частинних

Оскільки більша величина одного частинного критерію досягається, як правило, зменшенням інших, то справедливим може бути такий компроміс, при котрому абсолютний рівень зниження одного критерію не перевищує сумарного абсолютного рівня збільшення інших. Позначимо нормовані частинні критерії символами $x_1^{(i)}, x_2^{(i)}, \dots, x_n^{(i)}$, а узагальнений критерій $X^{(i)}$, де i – номер варіанту ЗОВ. Припустимо, що перейшли від розгляду варіанту $X^{(1)}$ до розгляду варіанту $X^{(2)}$, тоді потрібно обчислити по цьому принципу суму абсолютних змін всіх частинних критеріїв:

$$\Delta x_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n (x_i^{(2)} - x_i^{(1)}) = \sum_{i=1}^n x_i^{(2)} - \sum_{i=1}^n x_i^{(1)}. \quad (1.13)$$

У випадку, коли $\Delta x_{\Sigma} > 0$ варіант $x^{(2)}$ є кращим ніж варіант $x^{(1)}$ за принципом справедливої поступки [38]. Якщо ж $\Delta x_{\Sigma} < 0$, то кращим є варіант $x^{(1)}$. Тоді найкращим варіантом будемо вважати той, для котрого $\Delta x_{\Sigma} \leq 0$ при переході від нього до будь-якого іншого.

Таким чином, оптимальним варіантом є варіант з максимальною сумою нормованих частинних критеріїв: $X_{\text{opt}} \longrightarrow \max \sum_{i=1}^n x_i$, тому цей узагальнений критерій отримав назву адитивного. Найкращий варіант відповідає максимуму адитивного критерію.

Різну вагу частинних критеріїв при формуванні узагальненого адитивного критерію прийнято враховувати ваговим коефіцієнтом α .

$$X = \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i, \quad (1.14)$$

при чому $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$. Введення вагових коефіцієнтів [41] створює лише видимість більшої об'єктивності формули (1.14) тому, що їх визначення стикається з серйозними труднощами та зводиться до експертної оцінки.

Адитивний узагальнений критерій хоча і дає уявлення про порівняльні якості варіантів, проте має ряд істотних недоліків [41, 43]: слабкий зв'язок вагових коефіцієнтів з дійсною часткою частинних критеріїв у виконанні приладом своїх функцій; труднощі пошуку об'єктивного способу нормування частинних критеріїв для приведення їх до безрозмірного вигляду; компенсація малої величини одного частинного критерію надлишковою величиною іншого і в результаті неправильна оцінка приладу.

В роботі [44] наводиться ряд прикладів утворення узагальнених (інтегральних) критеріїв, як векторних сум частинних критеріїв (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1.
Методи утворення векторних сум частинних критеріїв

Вид інтегрального критерію	Формула	Геометричний зміст	Примітки
1. Абсолютне середнє арифметичне	$\bar{P}_1 = \frac{\sum P_i}{n}$	Середнє значення	Простий розрахунок
2. Відносне середнє арифметичне	$\bar{P}_2 = \frac{\sum P_i}{nP_{\max}} = \frac{\bar{P}_1}{P_{\max}}$		Порівняння з ідеальним варіантом $P_2 \leq 1$
3. Неврівноважене абсолютне середнє арифметичне	$\bar{P}_3 = \frac{\sum P_i g_i}{\sum g_i}$		Врахування важливості властивостей
4. Неврівноважене відносне середнє арифметичне	$\bar{P}_4 = \frac{\sum P_i g_i}{\sum P_{\max} g_i} = \frac{\bar{P}_3}{P_{\max}}$		$\bar{P}_4 \leq 1$
5. Абсолютне середнє геометричне	$\bar{P}_5 = \sqrt[n]{P_1 \cdot P_2 \cdot \dots \cdot P_n}$	Сторона n-мірного куба, еквівалентного плитці зі сторонами P_1, P_2, \dots, P_n	$\bar{P}_5 = 0$ при $\bar{P}_i = 0$
6. Відносне середнє геометричне	$\bar{P}_6 = \frac{\bar{P}_5}{P_{\max}}$		$\bar{P}_6 \leq 1$
7. Неврівноважене абсолютне середнє геометричне	$\bar{P}_7 = \frac{\sqrt[n]{P_1 g_1 \cdot P_2 g_2 \cdot \dots \cdot P_n g_n}}{g_1 + g_2 + \dots + g_n}$		Неістотна, так як g випадає
8. Неврівноважене відносне середнє геометричне	$\bar{P}_8 = \frac{\bar{P}_7}{P_{\max}}$		- // -
9. Абсолютний вектор	$\bar{P}_9 = \sqrt{P_1^2 + P_2^2 + \dots + P_n^2}$	Діагоналі n-мірної плитки зі сторонами P_1, P_2, \dots, P_n	-
10. Відносний вектор	$\bar{P}_{10} = \frac{\bar{P}_9}{P_{\max}}$		$\bar{P}_{10} \leq 1$
11. Неврівноважений абсолютний вектор	$\bar{P}_{11} = \sqrt{(P_1 g_1)^2 + \dots + (P_n g_n)^2}$		-
12. Неврівноважений відносний вектор	$\bar{P}_{12} = \frac{\bar{P}_{11}}{P_{\max}}$		$\bar{P}_{12} \leq 1$

Більш справедливим виглядає оперування не абсолютними, а відносними поступками. Тобто при переході від розгляду одного

варіанту до розгляду іншого, зміну значень частинних критеріїв виражати в долях тих величин, які мають ці критерії в першому варіанті [41, 45]. В цьому випадку умова оптимальності в математичній формі має вигляд

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta k_i}{k_i} \right) = 0. \quad (1.15)$$

Далі формула (1.15) представляється як диференціал натурального логарифму

$$\sum_{i=1}^n \left(\frac{\Delta k_i}{k_i} \right) = \sum_{i=1}^n d(\ln k_i) = d \left(\sum_{i=1}^n \ln k_i \right) = d \left(\ln \prod_{i=1}^n k_i \right) = 0. \quad (1.16)$$

Оскільки логарифмічна функція є монотонною, умова (1.15) означає, що максимального значення досягає функція, котра стоїть під знаком логарифму останньої рівності формули (1.16). Звідси виводиться

мультиплікативний узагальнений критерій: $K = \prod_{i=1}^n k_i$. При неврівноважених частинних критеріях вводиться ваговий коефіцієнт α_i , у вигляді показника степеня

$$K = \prod_{i=1}^n k_i^{\alpha_i}. \quad (1.17)$$

Цей узагальнений критерій не потребує нормування частинних. В цьому вбачається його головна перевага. Проте, він також має ряд недоліків: компенсує недостатню величину одного частинного критерію надлишковою величиною іншого; немає аргументованого вибору вагових коефіцієнтів.

Метод формування узагальненого критерію на адитивно-мультиплікативній основі являє собою неврівноважену комбінацію адитивного (1.14) та мультиплікативного (1.17) методів у вигляді

$$K = \left[\lambda \sum_{i=1}^n \alpha_i x_i \right] = (1 - \lambda) \prod_{i=1}^n k_i^{\alpha_i}. \quad (1.18)$$

При $\lambda = 1$ маємо чисто адитивний, при $\lambda = 0$ – чисто мультиплікативний узагальнений критерій.

З точки зору фізичної сутності взаємодій елементів системи та частинних критеріїв, що їх відображають [37], формулу (1.18) пояснити неможливо. Це чисто формальна математична операція. В задачі оцінювання ЗОВ не відомо, що в більшій мірі відображає реальність – адитивне чи мультиплікативне об'єднання частинних критеріїв. Тому, утворюючи їх неврівноважену суму, можемо себе запевнити, що не відійшли від істини, коли ваговому коефіцієнту λ

дано потрібне значення. Проте невідомо яким повинно бути це значення.

1.3.2.4. Узагальнені критерії по функції належності

В основі формування узагальнених критеріїв по функції належності лежить концепція, що ефективність будь-якої системи є деякою функцією локальних корисностей, які кількісно оцінюються частинними критеріями. Головною ідеєю є порівняння множини таких критеріїв кожного варіанту $K = (k_1, k_2, \dots, k_n)$ з множиною критеріїв деякого ідеального приладу, або множину найкращих значень кожного частинного критерію по всіх варіантах оцінки $K_{ю.} = (k_{ю.1}, k_{ю.2}, \dots, k_{ю.n})$. Синтез узагальненого критерію зводиться до вигляду функції належності $\xi_{k_{ид}}$ всіх варіантів до нечіткої множини $K_{ид}$, тобто

$$\xi_{K_{ид}} = \xi_{K_{ид}}(k_1, k_2, \dots, k_n). \quad (1.19)$$

В силу недостатньої інформативності множини $K = \{k_i\}$, краще скористатися відповідною множиною функцій належності частинних критеріїв

$$\xi = \{\xi_{k_1}(k_1), \xi_{k_2}(k_2), \dots, \xi_{k_n}(k_n)\}, \quad (1.20)$$

та оцінювати варіанти по функції належності найкращому (ідеальному) варіанту

$$\xi_{K'} = \xi_{K'}\{\xi_{k_1}(k_1), \xi_{k_2}(k_2), \dots, \xi_{k_n}(k_n)\}. \quad (1.21)$$

Тоді множина оцінок варіантів буде нечіткою множиною

$$K' = \{(k_1, k_2, \dots, k_n), \xi_{K'}(\xi_{k_1}(k_1), \xi_{k_2}(k_2), \dots, \xi_{k_n}(k_n))\}. \quad (1.22)$$

Всі відомі узагальнені нормовані критерії оцінки [39] є по суті функціями належності. Однак в багатокритеріальних задачах зусилля слід направляти на пошук універсальної форми функції належності, котра була б добре пристосована до реалізації евристики. Тому заслуговує на увагу форма узагальненого критерію, що запропонована в роботі [46]. Інтерпретована в поняттях теорії нечітких множин, вона має вигляд

$$\xi_K = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\xi_{k_i}(k_i)]^\beta \right\}^{\frac{1}{\beta}}. \quad (1.23)$$

Кращий варіант, з урахуванням коефіцієнтів важливості частинних критеріїв, відповідає більшому значенню функції належності

$$\text{Opt} = \max \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\alpha_i \xi_{k_i}(k_i)]^\beta \right\}^{\frac{1}{\beta}}. \quad (1.24)$$

Навпаки, якщо застосувати функцію належності до найгіршого варіанту $\bar{\xi}_{k_i}$, котра оцінює втрату оптимальності по частинних критеріях, то кращий варіант відповідає меншому значенню функції належності

$$\text{Opt} = \min \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [\alpha_i \bar{\xi}_{k_i}(k_i)]^\beta \right\}^{\frac{1}{\beta}}. \quad (1.25)$$

Аддитивний узагальнений критерій має тенденцію компенсувати одні властивості іншими. Деякі частинні критерії можуть мати і нульові значення. Для того щоб позбутися компенсації нульового значення [46], можна скористатися узагальненим мультиплікативним критерієм по функції належності

$$\xi'_K = \prod_{i=1}^n \xi_{k_i}(k_i), \text{ або } \xi''_K = \sum_{i=1}^n \log \xi_{k_i}(k_i) \quad (1.26)$$

Функція (1.26) приймає нульове значення, якщо будь-яка частинна функція належності дорівнює нулю, тобто накладається заборона на повну компенсацію властивостей. Проте часткова компенсація залишається. Такого ж ефекту можна досягти, застосовуючи функції належності виду (1.24), (1.25), накладаючи необхідні обмеження. При $|\beta| > 1$ розглянуті узагальнені критерії забезпечують вирівнювання якості по частинних критеріях [39]. Зі зростанням β , поліпшення якостей з низьким рівнем відбувається за рахунок погіршення значень інших критеріїв. Тобто жоден частинний критерій не досягає свого максимального значення: "...при $\beta = 1$ (рішення) є найбільш ефективним, оскільки воно максимізує сумарну корисність" [39, стор. 28].

В цьому випадку знову приходимо до адитивного та мультиплікативного узагальнених критеріїв, недоліки котрих були показані раніше.

1.3.3. Функціонально-вартісний аналіз

Функціонально-вартісний аналіз (ФВА) або інженерно-вартісний аналіз (ІВА), це пошук найбільш раціональної конструкції виробу, що забезпечує виконання заданих функцій, при мінімальних затратах. ФВА може бути застосований [47, 48] для оцінювання та вибору оптимальних варіантів шляхом виконання таких основних процедур:

1. Дати чітке визначення функціонального призначення виробу.
2. Встановити перелік основних його функцій.
3. Визначити частинні критерії, по яких буде проходити оцінювання.
4. Визначити граничні значення цих критеріїв.
5. Вибрати множини варіантів конструкцій, що задовольняють граничним значенням критеріїв.
6. Визначити собівартість виготовлення та експлуатації кожного варіанту з вибраної множини.
7. Провести ранжування варіантів за величиною собівартості.

В якості головного показника ефективності можуть виступати зведені витрати на одиницю продукції. В задачі оцінювання засобів обліку водоспоживання – на одиницю інформації про вимірювану кількість води, що пройшла через прилад. При остаточній оцінці враховуються також ергономічні, екологічні та інші фактори, що в основному грають роль обмежень

$$z = \frac{E_n \cdot K + C}{m}, \quad (1.27)$$

де E_n – нормативний коефіцієнт ефективності капіталовкладень;

K – сумарні капіталовкладення;

C – експлуатаційні витрати;

m – кількість продукції у відповідних одиницях, що видається за певний проміжок часу.

Чисельник формули (1.27) це сумарні зведені витрати, віднесені до певного проміжку часу

$$\sum z = E_n K + C. \quad (1.28)$$

Експлуатаційні витрати визначаються

$$C = \beta K + \sum S_{en} + S_o, \quad (1.29)$$

де β – коефіцієнт відрахувань на амортизацію та поточний ремонт;

$\sum S_{en}$ – витрати на енергію;

S_o – витрати на обслуговування та накладні витрати.

Таким чином

$$\sum z = E_n K + \beta K + \sum S_{en} + S_o. \quad (1.30)$$

Отже, ФВА оперує узагальненим критерієм ефективності-вартість, котрий в задачі оцінювання та вибору оптимальних варіантів передбачає фіксацію ефективності на заданому рівні з подальшим ранжуванням варіантів по вартості. Такий підхід можна вважати прийнятним, коли необхідний рівень ефективності якимось чином обґрунтовано.

Різновидністю ФВА можна вважати метод змішаних експертних показників (ЗЕП), котрий передбачає застосування

замість вартісних затрат – ексергетичні [49]. Ексергія – кількість роботи, котра може бути отримана зовнішнім приймачем енергії при зворотній взаємодії термодинамічної системи або потоку енергії з оточуючим середовищем до встановлення повної рівноваги. Під ексергією, затраченою на виробництво будь-якого продукту, розуміють капітальні затрати, але не в грошовій формі, а виражені через енергетичні затрати

$$\sum E_{\text{ств.}} = \sum_m M_i \left(\frac{W_{\text{вид.}}}{\eta_{\text{вид.}}} + \frac{\Delta G}{\Delta \eta_{\text{відн.}}} + \frac{W_{\text{пр.}}}{\eta_{\text{пр.}}} \right) + W_{\text{зал.}}, \quad (1.31)$$

де $\sum E_{\text{ств.}}$ – сумарна ексергія, що затрачена на створення об'єкту;

M_i – маса i -тої деталі з відповідного матеріалу;

$W_{\text{вид.}}$ – мінімальна робота руйнування породи та видобутку сировини;

ΔG – зміна енергії Гіббса для металургійного процесу;

$W_{\text{пр.}}$ – мінімальна робота деформації при прокаті;

$\eta_{\text{вид.}}$, $\eta_{\text{відн.}}$, $\eta_{\text{пр.}}$ – відповідні ККД (видобуток, відновлення, прокатка);

$W_{\text{зал.}}$ – залишкові затрати на обробку, складання, транспортування та інші операції; m – кількість деталей.

Для оцінювання за вихідними показниками в якості цільової функції для ЗОВ потрібно було б прийняти питому кількість інформації про вимірний об'єм води, що видається ЗОВ, віднесену до одиниці затраченої ексергії

$$m = \frac{U}{E}. \quad (1.32)$$

Таким чином, коли всі оцінювані варіанти мають схожу ефективність і відрізняються по затратах, то провести ранжування можна порівняно легко. Головна логічна складність полягає у тому, що ЗОВ характеризується низкою частинних критеріїв, котрі в сукупності визначають його ефективність. Проте функціональна залежність ефективності від частинних критеріїв невідома. Тому якщо прилад 1 переважає прилад 2 по критерію k_1 , але поступається йому по критерію k_2 , котрий до того ж має іншу розмірність, то немає простого способу визначити який з цих приладів має більшу ефективність. В таких умовах застосувати ФВА та ЗЕП не можна.

1.3.4. Метод функції корисності

Найбільш докладно метод функції корисності (МФК) розглядається в роботі [37]. Його головна відмінність полягає у тому, що кожний варіант характеризується тут не одним, а двома

узагальненими критеріями: корисністю (КР) та платою за корисність (ПКР).

Корисністю технічної системи називають деяку кількісну характеристику ступеня виконання системою свого функціонального призначення. Методика формування узагальненого критерію КР кардинально відрізняється від усіх узагальнених критеріїв розглянутих вище. В усіх них виходять з частинних критеріїв, що формулюються шляхом аналізу системи. Частинні критерії об'єднують тим чи іншим (взагалі досить довільним) способом в узагальнений критерій. МФК передбачає іншу логіку руху: виходячи з призначення та сутності системи, шляхом логічного аналізу формується поняття КР системи як деякої узагальненої її характеристики. Потім встановлюється які параметри системи явно впливають на цю характеристику. Ці параметри переводяться в категорію частинних критеріїв. Наприкінці ведеться пошук функціональних зв'язків КР з частинними критеріями. Далі формується поняття ПКР й аналогічно формується перелік її частинних критеріїв. Найбільш універсальною формою плати за корисність є вартість системи, котра не є синонімом вартості в звичайному розумінні. Вона охоплює всі види витрат, пов'язані з проектуванням, виробництвом та експлуатацією протягом всього життєвого циклу системи. Питання про те, які складові вартості повинні враховуватися, досить складне. Вартість системи, що виійшла з серійного виробництва включає початкові затрати на освоєння нових технологічних процесів, на виготовлення оснастки. Тут проявляються такі властивості системи, як її технологічність, ступінь уніфікації і стандартизації. Ці критерії впливають також на співвідношення між затратами власне праці робітників підприємства і затратами матеріалізованої праці у вигляді сировини, матеріалів, придбаних готових виробів. Висока матеріалоемність виробів, що призводить до надлишку в їх масі, може проявитися через вартість матеріалів, які витрачаються на виготовлення деталей та вузлів. Не можна ігнорувати також вартість експлуатації. Для деяких систем остання з часом перевищує вартість виготовлення.

МФК не дає конкретних методів представлення КР та ПКР у вигляді функції частинних критеріїв. Він дає лише загальні рекомендації, передбачаючи творчий підхід до формування цих узагальнених критеріїв. Таке формування, на відміну від розглянутих вище, носить явно виражений дедуктивний характер: "від узагальненого критерію до частинних". Як відомо, дедуктивні висновки мають більшу достовірність ніж індуктивні і дозволяють

виявити об'єктивно існуючі зв'язки між частинними критеріями та узагальненим. Це найбільша перевага цього методу.

Однак МФК має і недоліки. Як правило в усіх технічних системах існують частинні критерії, котрі не впливають безпосередньо ні на КР, ні на ПКР і не можуть бути віднесені до обмежень. Це так звані неметричні критерії, що носять ергономічний та мнемонічний характер. Зустрічаються також неметричні критерії, що впливають на корисність, але не піддаються кількісному розрахунку. Дослідження показують [50, 51], що обидва види таких критеріїв присутні у ЗОВ. В [37] пропонується представляти неметричні критерії в кількісному вигляді за допомогою експертних оцінок. Потім вводити його у функцію КР. Це мотивується тим, що інший загальний метод перетворення неметричних критеріїв у числа просто не відомий. Для проведення експертних оцінок пропонуються різні методи [52], котрі передбачають залучення великої кількості експертів та застосування коефіцієнтів авторитету. Як би не були кваліфіковані експертні оцінки, їх застосування порушує об'єктивність існуючих зв'язків між частинними критеріями та узагальненим.

Оцінювання варіантів проводиться на полі вибору в координатах: корисність – Ψ , плата за корисність – C , де кожний варіант представлений зображуючою точкою. Оцінювання проводиться за принципом близькості до “ідеальної” системи, в якості котрої приймається гіпотетична система, що має кінцеву КР при нульовій ПКР.

На рис. 1.1а за ідеальну приймається система, що зображена точкою І на перетині прямої (1,2) з віссю Ψ . Система, зображена точкою 2, ближче до ідеальної ніж система, зображена точкою 1, отже вона є кращою. При порівнянні систем 1 і 3 видно, що система 3 лежить ближче до точки Б, котра зображує деяку гіпотетичну “безкорисну” систему, тому система 3 є гіршою ніж система 1.

Координати Ψ та C , не можуть бути розраховані абсолютно точно. Згідно [37], кожна зображуюча точка оточена деякою зоною невизначеності радіусом по вертикалі та горизонталі відповідно

$$\Gamma_{\Psi} = \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \Psi}{\partial x_i} \sigma_{\Psi_i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \text{ та } \Gamma_C = \left[\sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial C}{\partial y_j} \sigma_{C_j} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (1.33)$$

де $\sigma_{\Psi_i}^2$, $\sigma_{C_j}^2$ – дисперсії оцінок величин частинних критеріїв корисність (x) та плата за корисність (y);

n, m – кількість частинних критеріїв КР та ПКР відповідно.

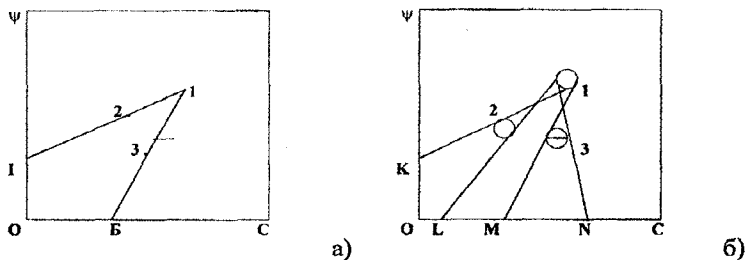


Рис. 1.1. Оцінювання варіантів на полі вибору

При порівнянні систем 1 і 2 з врахуванням зон невизначеності на осях координат вималювались два відрізки: ОК – геометричне місце “ідеальних” систем і OL – геометричне місце некорисних (марних) систем (рис. 1.1б). Зображуюча точка 2 ближче до тих і до інших. Тому визначити яка з них краща не можливо. Якщо дати оцінку системам таким способом не вдається, то потрібно виходити за рамки даної системи й розглядати її місце та роль в системі більш високого рівня, частиною якої вона є.

Велика чутливість МФК до невеликих похибок у визначенні групових критеріїв КР та ПКР зводить нанівець всі переваги у методах розрахунку самих цих критеріїв. Отже для оцінювання та обґрунтування вибору ЗОВ в СВП необхідно шукати інші методи.

1.3.5. Метод нечітких парних порівнянь Сааті

Розглянуті методи передбачають перетворення вектора частинних критеріїв, котрими оцінюється система, до одного чи кількох скалярних інтегральних критеріїв. Їх загальним недоліком є те, що вони недостатньо пристосовані до неметричних (якісних) критеріїв [53]. Перевагою методу нечітких парних порівнянь (НПП) Сааті [54, 55] є те, що він не потребує кількісної оцінки частинних критеріїв та процедури скаляризації. Він може використовувати інформацію про якість варіантів у вигляді парних порівнянь типу: по критерію А варіант 1 приблизно такий самий як варіант 2; по критерію В варіант 1 набагато кращий ніж варіант 2.

Використання теорії нечітких множин, котра викладена в роботах [53, 55–57,60], передбачає наявність функцій належності (ФН), за допомогою котрих лінгвістична інформація перетворюється у кількісну форму. Одним з найбільш поширених методів визначення

ФН є метод нечітких парних порівнянь Сааті [55]. Складність використання цього методу обумовлена необхідністю знаходження власного вектору матриці НПП, котра задається за допомогою спеціально запропонованої шкали. Ця складність збільшується з ростом розмірності універсальної множини, на котрій задається лінгвістичний терм.

Запропоновано метод [53], котрий також використовує матрицю НПП елементів універсальної множини. Але на відміну від методу Сааті, він не потребує знаходження власного вектору матриці, тобто позбавляє трудомістких процедур розв'язання характеристичних рівнянь. Цей метод базується на ідеї розподілу ступенів належності (СН) елементів універсальної множини згідно з їх рангами. Під рангом елемента $u_i \in U$ розуміють число $r_s(u_i)$, котре характеризує значимість цього елемента у формуванні властивості, що описується нечітким термом \bar{S} . При цьому припускається виконання правила: чим більший ранг елемента, тим більший його СН. Правило розподілу СН задається у вигляді співвідношення

$$\frac{\mu_{\bar{S}}(u_1)}{r_s(u_1)} = \frac{\mu_{\bar{S}}(u_2)}{r_s(u_2)} = \dots = \frac{\mu_{\bar{S}}(u_n)}{r_s(u_n)}, \quad (1.34)$$

до котрого додається умова нормування

$$\mu_{\bar{S}}(u_1) + \mu_{\bar{S}}(u_2) + \dots + \mu_{\bar{S}}(u_n) = 1. \quad (1.35)$$

Використовуючи співвідношення (1.34), визначаються СН всіх елементів універсальної множини через СН опорного елемента.

Метод дає можливість обчислювати СН $\mu_{\bar{S}}(u_i)$ елементів $u_i \in U$ до нечіткого терму \bar{S} двома незалежними шляхами: 1) за абсолютними оцінками рівнів (АОР) $r_i, i = \overline{1, n}$, котрі визначаються згідно з методиками, запропонованими в теорії структурного аналізу систем [61]. Для експертних оцінок рангів можна використати 9-ти бальну шкалу (1 – найменший ранг, 9 – найбільший ранг), або принцип термометра [53]; 2) за відносними оцінками рівнів (ВОР)

$r_i, r_j = a_{ij}, i, j = \overline{1, n}$. Самі ФН будуються за таким алгоритмом:

- 1) Задається лінгвістична змінна x .
- 2) Визначається універсальна множина, на котрій задається змінна x .
- 3) Задається сукупність нечітких термів $\{S_1, S_2, \dots, S_m\}$, котрі використовуються для оцінки змінної x .
- 4) Для кожного терму $S_j, j = \overline{1, m}$ формується матриця НПП.
- 5) Обчислюються елементи ФН для кожного терму. Нормування знайдених функцій виконується шляхом ділення на найбільші СН.

При використанні АОР, експертні знання про ранги елементів або їх парні порівняння перетворюються у ФН нечіткого терму. Головною перевагою тут є те, що метод не є надто чутливим до незначних змін у нечітких парних порівняннях, чи в абсолютних оцінках рівнів, тому не потребує залучення великої кількості експертів. Для цього достатньо інформації отриманої від одного експерта.

При використанні відносних оцінок рівнів, метод дозволяє також успішно порівнювати числові значення метричних критеріїв, визначаючи елементи матриці НПП як відношення абсолютних величин частинних критеріїв варіантів, що порівнюються.

Мала чутливість методу до коливань експертних оцінок свідчить про незначний вплив суб'єктивізму на результати оцінювання. Проте як і будь-який метод, що ґрунтується на експертній інформації, результати, оброблені з його використанням, не можуть бути об'єктивними до кінця. Тому розв'язуючи задачу оцінювання ЗОВ, очевидно, є доцільним використати його для дослідження неметричних (якісних) критеріїв.

РОЗДІЛ 2

ОЦІНЮВАННЯ КІЛЬКІСНИХ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ОБЛІКУ ВОДОСПОЖИВАННЯ МЕТРИЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ

2.1. Груповий критерій корисності

Розглянемо кількісні техніко-економічні характеристики ЗОВ, використавши МФК. Для цього сформуємо два узагальнені (групові) критерії оцінювання: корисність і плата за корисність та дослідимо їх за допомогою методів дедуктивної логіки (від групового критерію до частинних) [37].

2.1.1. Формулювання корисності засобів обліку водоспоживання

Формулювання поняття “корисність” стосовно конкретної технічної системи потребує вирішення двох питань.

- 1) В чому полягає головне призначення системи та яку суспільну потребу вона має задовольняти?
- 2) Збільшення якої головної властивості системи визначеного призначення підвищує її корисний суспільний ефект?

Після встановлення головної властивості системи можна давати формулювання узагальненого критерію – корисність системи. Вона охоплює далеко не всю низку частинних критеріїв. Частина з тих, що залишилася має бути врахована в платі за корисність. Що ж стосується не врахованих частинних критеріїв, що впливають безпосередньо на КР системи, то їх рекомендується розбити на дві групи. В одну включити ті, котрі можна розглядати як обмеження. Це дозволить виключити їх з процесу оцінювання варіантів, оскільки таким обмеженням повинні задовольняти всі варіанти. Друга група критеріїв повинна бути врахована в процесі пошуку функціональної залежності між корисністю і частинними критеріями. Пошук цієї залежності являє собою ітеративний процес, в котрому при необхідності може бути уточнене і саме поняття корисності системи.

Будь-який технічний прилад, чи технічна система створюються для використання людьми. Тому виникає питання: чи може корисність бути в принципі об'єктивною характеристикою, тобто незалежною від суб'єкта, коли цей прилад покликаний задовольняти його потреби? В роботі [37] розрізняється:

- 1) КР з точки зору індивідуального користувача.

- 2) КР з точки зору масового виробництва технічних приладів індивідуального користування.
- 3) КР систем суспільного (не індивідуального) користування.

В першому випадку поняття КР дуже суб'єктивне і відрізняється для різних людей. Суб'єктивне тлумачення основного функціонального призначення пристрою призводить до відмінності в частинних критеріях КР. Тому тут КР виступає як суб'єктивна характеристика.

В другому випадку КР хоча теж відображає індивідуальні вподобання людей, проте носить значно більш об'єктивний характер, оскільки є статистичним усередненням множини різних думок.

В третьому випадку цільове (функціональне) призначення пристроїв суспільного (не індивідуального) використання не залежить від волі і свідомості людей. Для сьогоденішнього рівня розвитку техніки воно визначається повністю об'єктивно. В цьому випадку об'єктивно визначиться і КР такого пристрою. Тому ми розглядатимемо ЗОВ як систему суспільного користування. Подальший розгляд потребує правильного визначення корисності.

Формулюючи поняття “корисність” стосовно засобів обліку водоспоживання, на перше з поставлених питань відповімо так: ЗОВ служить для вимірювання кількості води, яка проходить через трубопровід, що ним контролюється, за деякий проміжок часу. Відповідь на друге питання така: ЗОВ встановлюється для того, щоб давати інформацію про кількість води, яка надійшла споживачу. Тому його корисний ефект буде підвищуватися з ростом достовірності інформації, котру від нього отримують. Таким чином, корисність для засобу обліку водоспоживання – є ступінь відповідності його показників дійсній кількості виміряної води.

Якщо, в результаті вимірювання ЗОВ отримують інформацію з похибкою σ_{Σ} (%), то його КР визначається за формулою

$$\psi = 1 - \frac{1}{100} \cdot |\sigma_{\Sigma}|. \quad (2.1)$$

Похибку беруть по модулю тому, що об'єм води, як перерахований, так і недорахований, однаково знижує корисний ефект ЗОВ. Таким чином КР ЗОВ являє собою безрозмірну величину, виражену в долях одиниці, котра показує яка частина пройдені через нього води буде ним зафіксована.

2.1.2. Структура та методика розрахунку корисності засобів обліку водоспоживання

2.1.2.1. Залежність похибки вимірювання від витрати

Оскільки КР визначається сумарною похибкою вимірювання за формулою (2.1), розглянемо які параметри і яким чином будуть спричиняти вплив на цю похибку.

Засоби обліку водоспоживання, що використовуються у практиці для обліку води в СВП, за своїми технічними характеристиками мають діапазон вимірюваних витрат, розбитий на інтервали з такими перехідними точками [62] (Q м³/год. – абсолютна величина витрати):

- Q_c – поріг чутливості (найменша витрата, коли ЗОВ починає реагувати на потік води).
- Q_{min} – найменша витрата, при якій ЗОВ працює з максимальною нормованою паспортом похибкою вимірювання σ_{max} (%).
- Q_t – перехідна витрата, при якій похибка вимірювання дорівнює розрахунковій (паспортній) σ_p (%).
- Q_n – номінальна витрата.
- Q_{max} – найбільша витрата, при котрій похибка вимірювання не перевищує σ_p (%).

Графічне зображення залежності похибки вимірювання від витрати наведено на рисунку 2.1.

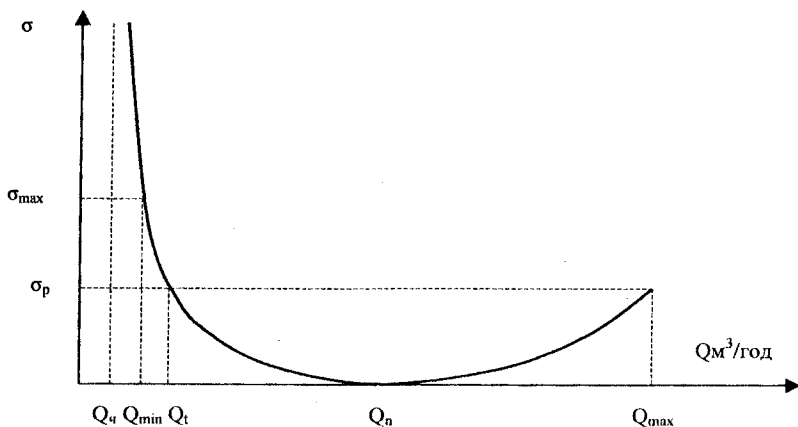


Рис. 2.1. Залежність похибки вимірювання від витрати

Для визначення повної похибки σ_{Σ} необхідно визначити скільки часу і в якому діапазоні витрат буде працювати ЗОВ та визначити похибку вимірювання в кожному з цих діапазонів.

Аналітична залежність похибки вимірювання від витрати (рисунок 2.1) має складний вигляд. Тому її апроксимацію виконуємо не елементарною функцією цілком, а по частинах.

Частину від Q_n до Q_{\max} апроксимуємо віткою параболи. Канонічне рівняння параболи, вершина котрої знаходиться на початку координат, а вісь проходить вертикально, має вигляд

$$x^2 = 2py \quad (2.2)$$

де x, y - координати точки (не вершини), що належить параболі; p - параметр параболи (відстань від фокуса до директриси).

Оскільки параболу має вершину в точці з координатами $(Q_n; 0)$, застосуємо метод переносу початку координат (рис. 2.2).

Перенесемо початок координат з точки O у точку O' . При цьому координати будь-якої точки $F(Q; \sigma)$ в новій системі координат $Q' O' \sigma'$ стають $F'(Q - Q_n; \sigma)$. Канонічне рівняння параболи приймає вигляд

$$\sigma = \frac{(Q - Q_n)^2}{2p} \quad (2.3)$$

Знайдемо параметр параболи, використовуючи точку $A(Q_{\max}; \sigma_p)$, котра належить параболі і є її вершиною, та координати якої в новій системі координат стають $A'(Q_{\max} - Q_n; \sigma_p)$. Отже рівняння параболи: $(Q_{\max} - Q_n)^2 = 2p\sigma_p$, звідки: $p = (Q_{\max} - Q_n)^2 / 2\sigma_p$.

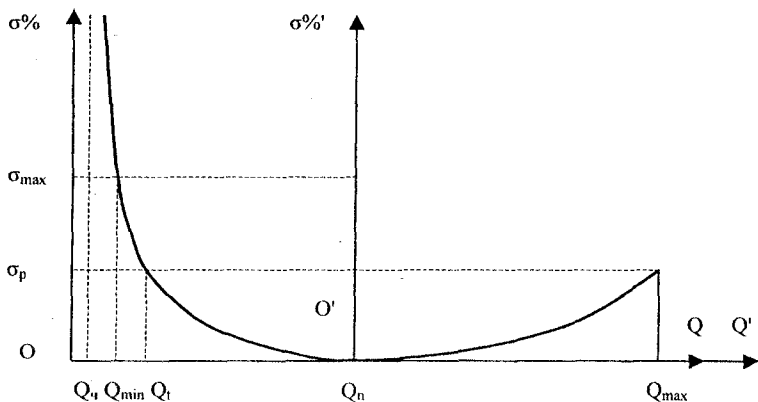


Рис. 2.2. Застосування методу переносу початку координат

Підставивши параметр параболи у формулу (2.3), отримуємо

$$\sigma = \frac{(Q - Q_n)^2 \cdot \sigma_p}{(Q_{\max} - Q_n)^2}, \quad (2.4)$$

де Q – витрата, як незалежна змінна;

σ – похибка вимірювання, як залежна змінна.

Формула (2.4) є аналітичною залежністю похибки вимірювання від витрати на ділянці від Q_n до Q_{\max} .

Ділянку від Q_t до Q_n також апроксимуємо віткою параболи. Знайдемо параметр цієї параболи, користуючись точкою $B(Q_t; \sigma_p)$, котра в новій системі координат має такі координати $B'(Q_t - Q_n; \sigma_p)$. Канонічне рівняння цієї параболи (2.2) матиме вигляд: $(Q_t - Q_n)^2 = 2r\sigma_p$, звідки: $r = (Q_t - Q_n)^2 / 2\sigma_p$. Підставивши цей параметр у формулу (2.3), отримуємо

$$\sigma = \frac{(Q - Q_n)^2 \cdot \sigma_p}{(Q_t - Q_n)^2}. \quad (2.5)$$

Формула (2.5) є аналітичною залежністю похибки вимірювання від витрати на ділянці від Q_t до Q_n .

З рисунка 2.2 видно, що ділянка від Q_{\min} до Q_t є дуже вузькою, похибка вимірювання змінюється дуже швидко, майже по лінійній залежності. Апроксимуємо цей участок прямою лінією.

Рівняння прямої, що проходить через дві точки $M_1(x_1; y_1)$ і $M_2(x_2; y_2)$ має вигляд $(y - y_1) / (y_2 - y_1) = (x - x_1) / (x_2 - x_1)$. Запишемо рівняння апроксимованої прямою лінією ділянки від Q_{\min} до Q_t , використовуючи точки $B(Q_t; \sigma_p)$ і $C(Q_{\min}; \sigma_{\max})$: $(\sigma - \sigma_p) / (\sigma_{\max} - \sigma_p) = (Q - Q_t) / (Q_{\min} - Q_t)$. Після перетворень отримуємо

$$\sigma = \frac{(Q - Q_t) \cdot (\sigma_{\max} - \sigma_p)}{Q_{\min} - Q_t} + \sigma_p. \quad (2.6)$$

Формула (2.6) характеризує залежність похибки вимірювання від витрати на ділянці від Q_{\min} до Q_t .

На ділянці від Q_t до Q_{\min} похибка вимірювання ЗОВ не нормується. Оскільки цей діапазон дуже вузький, а похибка вимірювання в ньому велика, можемо ним знехтувати, припустивши, що похибка вимірювання в усьому діапазоні від 0 до Q_{\min} складає 100%. Отже, корисність ЗОВ в цьому діапазоні витрат, розрахована за формулою (2.1), дорівнює нулю.

Оскільки робота ЗОВ в діапазоні $Q > Q_{\max}$ допускається лише у виняткових випадках і дуже короткий час, його дослідження недоцільне. Припустимо, що похибка вимірювання змінюється тут по тому ж закону, що і в діапазоні $Q_n \div Q_{\max}$ (формула (2.4)).

2.1.2.2. Розрахунок повної похибки вимірювання

Витрата води для реального споживача Q не є величиною сталою, а змінюється на протязі доби. Ця зміна характеризується коефіцієнтом годинної нерівномірності водоспоживання (таблиця 2.1). Отже похибка вимірювання ЗОВ буде також змінюватися протягом доби. Щоб знайти загальну добову похибку, необхідно визначити похибку вимірювання в кожну з годин доби і виразити її в процентах від добової витрати. Це можна зробити, скориставшись формулами (2.4), (2.5), (2.6) в залежності від того, в який діапазон потрапляє годинна витрата води для години, що розглядається.

Коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання K визначається відношенням максимального годинного водоспоживання до середньо-годинного

$$K_r = \frac{Q_{r,\max}}{Q_{r,\text{ср.}}} \quad (2.7)$$

Якщо середню годинну витрату води виразити в процентах від добової витрати, то легко помітити, що вона однакова для всіх коефіцієнтів годинної нерівномірності і дорівнює: $Q_{r,\text{ср.}\%} = 100\% / 24_{\text{дод.}} = 4.17\%$. Прийmemo її за середню процентну годинну константу витрати $K_p = 4.17\%$. Тоді витрату води i -тої години визначимо за формулою

$$Q_i = \frac{Q_{r,\text{ср.}\%i}}{K_p} \cdot Q_{r,\text{ср.}} \quad (\text{м}^3/\text{год}). \quad (2.8)$$

де $Q_{r,\%i}$ - годинна витрата води в процентах від добової витрати для i -тої години, що залежить від коефіцієнту годинної нерівномірності водоспоживання (табл. 2.1);

$Q_{r,\text{ср.}}$ - середня годинна витрата води в трубопроводі, що контролюється ЗОВ ($\text{м}^3/\text{год}$).

У формулі (2.8) $Q_{r,\%i} / K_p$ - коефіцієнт, що показує, у скільки разів витрата води i -тої години відрізняється від середньо-годинної витрати.

Оперувати величиною $Q_{r,\text{ср.}}$ не завжди зручно, зокрема при оцінюванні ЗОВ без прив'язки до конкретного споживача, чи конкретного трубопроводу. В ідеальному варіанті ЗОВ має бути підібрано так, щоб його номінальна витрата Q_n співпадала з величиною $Q_{r,\text{ср.}}$. Оскільки повного збігу не буває, введемо поняття коефіцієнта неспівпадання витрат

$$K_n = \frac{Q_n}{Q_{r,\text{ср.}}} \quad (2.9)$$

й запишемо формулу (2.8) з врахуванням формули (2.9)

$$Q_i = \frac{Q_{г.г.і} \cdot Q_n}{K_p \cdot K_k} \quad (\text{м}^3/\text{год}). \quad (2.10)$$

Таблиця 2.1

Погодинне споживання води в процентах від добової витрати

Години Доби	Коефіцієнт годинної нерівномірності.									
	1.2	1.25	1.3	1.35	1.4	1.45	1.5	1.8	1.9	2.0
0-1	3.5	3.35	3.2	3.0	2.5	2.0	1.5	0.9	0.85	0.75
1-2	3.45	3.25	3.25	3.2	2.65	2.1	1.5	0.9	0.85	0.75
2-3	3.45	3.3	2.9	2.5	2.2	1.85	1.5	0.9	0.85	1.0
3-4	3.4	3.2	2.9	2.6	2.25	1.9	1.5	1.0	1.0	1.0
4-5	3.4	3.25	3.35	3.5	3.2	2.85	2.5	2.35	2.7	3.0
5-6	3.55	3.4	3.75	4.1	3.9	3.7	3.5	3.85	4.7	5.5
6-7	4.0	3.85	4.15	4.5	4.5	4.5	4.5	5.2	5.35	5.5
7-8	4.4	4.45	4.65	4.9	5.1	5.3	5.5	6.2	5.85	5.5
8-9	5.0	5.2	5.05	4.9	5.35	5.8	6.25	5.5	4.5	3.5
9-10	4.8	5.05	5.4	5.6	5.85	6.05	6.25	4.85	4.2	3.5
10-11	4.7	4.85	4.85	4.9	5.35	5.8	6.25	5.0	5.5	6.0
11-12	4.55	4.6	4.6	4.7	5.25	5.7	6.25	6.5	7.5	8.5
12-13	4.55	4.6	4.5	4.4	4.6	4.8	5.0	7.5	7.9	8.5
13-14	4.45	4.55	4.3	4.1	4.4	4.7	5.0	6.7	6.35	6.0
14-15	4.6	4.75	4.4	4.1	4.6	5.05	5.5	5.35	5.2	5.0
15-16	4.6	4.7	4.55	4.4	4.6	5.3	6.0	4.65	4.8	5.0
16-17	4.6	4.65	4.5	4.3	4.9	5.45	6.0	4.5	4.0	3.5
17-18	4.3	4.35	4.25	4.1	4.6	5.05	5.5	5.5	4.5	3.5
18-19	4.35	4.4	4.45	4.5	4.7	4.85	5.0	6.3	6.2	6.0
19-20	4.25	4.3	4.4	4.5	4.5	4.5	4.5	5.35	5.7	6.0
20-21	4.25	4.3	4.4	4.5	4.4	4.2	4.0	5.0	5.5	6.0
21-22	4.15	4.2	4.5	4.8	4.2	3.6	3.0	3.0	3.0	3.0
22-23	3.9	3.75	4.2	4.8	4.7	2.85	2.0	2.0	2.0	2.0
23-24	3.8	3.7	3.5	3.3	2.7	2.1	1.5	1.0	1.0	1.0
Всього	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

Визначена таким чином годинна витрата води для і-тої години буде основою для вибору формули розрахунку похибки вимірювання для і-тої години. Умови вибору такі:

1. Якщо $Q_i \geq Q_n$ – використовуємо формулу (2.4).
2. Якщо $Q_i \leq Q_i < Q_n$ – формулу (2.5).
3. Якщо $Q_{\min} \leq Q_i < Q_i$ – формулу (2.6).
4. Якщо $Q_i < Q_{\min}$ – приймаємо $\sigma = 100\%$. (2.11)

Знайдені похибки вимірювання для кожної з 24-х годин являтимуть собою кількість недорахованої (перерахованої) ЗОВ води, виражену в процентах від годинної витрати. Для визначення повної

добової похибки вимірювання, необхідно виразити ті ж величини в процентах від добової витрати води. Скористаємося формулою знаходження процентів

$$\sigma_i^{\Delta} = \frac{\sigma_i \cdot Q_{\%i}}{100 \%}, \quad (2.12)$$

де K_r – похибка вимірювання i -тої години в процентах від годинної витрати води (%);

σ_i^{Δ} – похибка вимірювання i -тої години в процентах від добової витрати води (%).

Таки чином повна добова похибка вимірювання виразиться формулою

$$\sigma_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{24} \sigma_i^{\Delta}. \quad (2.13)$$

З врахуванням формули (2.1) вираз корисності приймає вигляд

$$\psi = 1 - \frac{1}{100} \cdot \left| \sum_{i=1}^{24} \sigma_i^{\Delta} \right|. \quad (2.14)$$

Тепер зробимо такі позначення, нехай

$i = 0, 1, 2, \dots, n$ – години роботи ЗОВ в діапазоні витрат від Q_n до

Q_{\max} ;

$j = 0, 1, 2, \dots, m$ – те ж саме в діапазоні витрат від Q_t до Q_n ;

$k = 0, 1, 2, \dots, p$ – в діапазоні від Q_{\min} до Q_i ;

$l = 0, 1, 2, \dots, r$ – в діапазоні від нуля до Q_{\min} . (2.15)

Перепишемо формули (2.4), (2.5), (2.6) та припущення, що в діапазоні витрат від нуля до Q_{\min} – $\sigma = 100\%$, з врахуванням умов вибору (2.11) та прийнятих позначень (2.15), а також формули (2.10)

$$\sigma_i = \frac{\left(\frac{Q_{\%i} \cdot Q_n}{K_P \cdot K_H} - Q_n \right)^2 \cdot \sigma_P}{(Q_{\max} - Q_n)^2}; \quad (2.16)$$

$$\sigma_j = \frac{\left(\frac{Q_{\%j} \cdot Q_n}{K_P \cdot K_H} - Q_n \right)^2 \cdot \sigma_P}{(Q_t - Q_n)^2}; \quad (2.17)$$

$$\sigma_k = \frac{\left(\frac{Q_{\%k} \cdot Q_n}{K_P \cdot K_H} - Q_t \right) \cdot (\sigma_{\max} - \sigma_P)}{Q_{\min} - Q_t} + \sigma_P; \quad (2.18)$$

$$\sigma_l = 100\%, \quad (2.19)$$

або те ж саме з врахуванням формули (2.14)

$$\sigma_i^{\partial} = \frac{\left(\frac{Q_{r.\%i} \cdot Q_n}{K_p \cdot K_n} - Q_n \right)^2 \cdot \sigma_p \cdot Q_{r.\%i}}{100 \cdot (Q_{\max} - Q_n)^2}; \quad (2.20)$$

$$\sigma_j^{\partial} = \frac{\left(\frac{Q_{r.\%j} \cdot Q_n}{K_p \cdot K_n} - Q_n \right)^2 \cdot \sigma_p \cdot Q_{r.\%j}}{100 \cdot (Q_t - Q_n)^2}; \quad (2.21)$$

$$\sigma_k^{\partial} = \frac{\left(\frac{Q_{r.\%k} \cdot Q_n}{K_p \cdot K_n} - Q_t \right) \cdot (\sigma_{\max} - \sigma_p) \cdot Q_{r.\%k}}{100 \cdot (Q_{\min} - Q_t)} + \frac{\sigma_p \cdot Q_{r.\%k}}{100}; \quad (2.22)$$

$$\sigma_l^{\partial} = \frac{100 \cdot Q_{r.\%l}}{100}. \quad (2.23)$$

Вираз корисності ЗОВ за формулою (2.14) з врахуванням умов вибору (2.11) запишеться

$$\Psi = 1 - \frac{1}{100} \left(\sum_{i=1}^n \sigma_i^{\partial} + \sum_{j=1}^m \sigma_j^{\partial} + \sum_{k=1}^p \sigma_k^{\partial} + \sum_{l=1}^r \sigma_l^{\partial} \right), \quad (2.24)$$

або з врахуванням формул (2.20), (2.21), (2.22), (2.23) та (2.24)

$$\Psi = 1 - \frac{1}{100} \left[\sum_{i=1}^n \frac{\left(\frac{Q_{r.\%i} \cdot Q_n}{K_p \cdot K_n} - Q_n \right)^2 \cdot \sigma_p \cdot Q_{r.\%i}}{100 \cdot (Q_{\max} - Q_n)^2} + \sum_{j=1}^m \frac{\left(\frac{Q_{r.\%j} \cdot Q_n}{K_p \cdot K_n} - Q_n \right)^2 \cdot \sigma_p \cdot Q_{r.\%j}}{100 \cdot (Q_t - Q_n)^2} + \sum_{k=1}^p \left(\frac{\left(\frac{Q_{r.\%k} \cdot Q_n}{K_p \cdot K_n} - Q_t \right) \cdot (\sigma_{\max} - \sigma_p) \cdot Q_{r.\%k}}{100 \cdot (Q_{\min} - Q_t)} + \frac{\sigma_p \cdot Q_{r.\%k}}{100} \right) + \sum_{l=1}^r Q_{r.\%l} \right] \quad (2.25)$$

Фізичний зміст залежності (2.25) проілюстровано на рисунку 2.3. Споживання води відбувається в деякому діапазоні витрат від $Q_{\text{найм.}}$ до $Q_{\text{найб.}}$ (рис. 2.3а), котрий повинен знаходитись всередині

робочого діапазону ЗОВ від Q_{\min} до Q_{\max} . При збільшенні паспортної похибки вимірювання ЗОВ та незмінному робочому діапазоні (рис. 2.3б) крива залежності σ від Q з віддаленням від Q_n зростає скоріше. Похибки вимірювання кожної години роботи ЗОВ $\sigma_{i,j,k,l}^d$, котрі знаходяться в заштрихованій області будуть більшими, отже більшою буде і сумарна похибка вимірювання σ_{Σ} , а значить корисність ЗОВ зменшиться. При зменшенні діапазону робочих витрат ЗОВ (рис. 2.3в) спостерігаємо ту ж картину. Формула (2.25) являє собою аналітичну залежність проілюстрованих факторів.

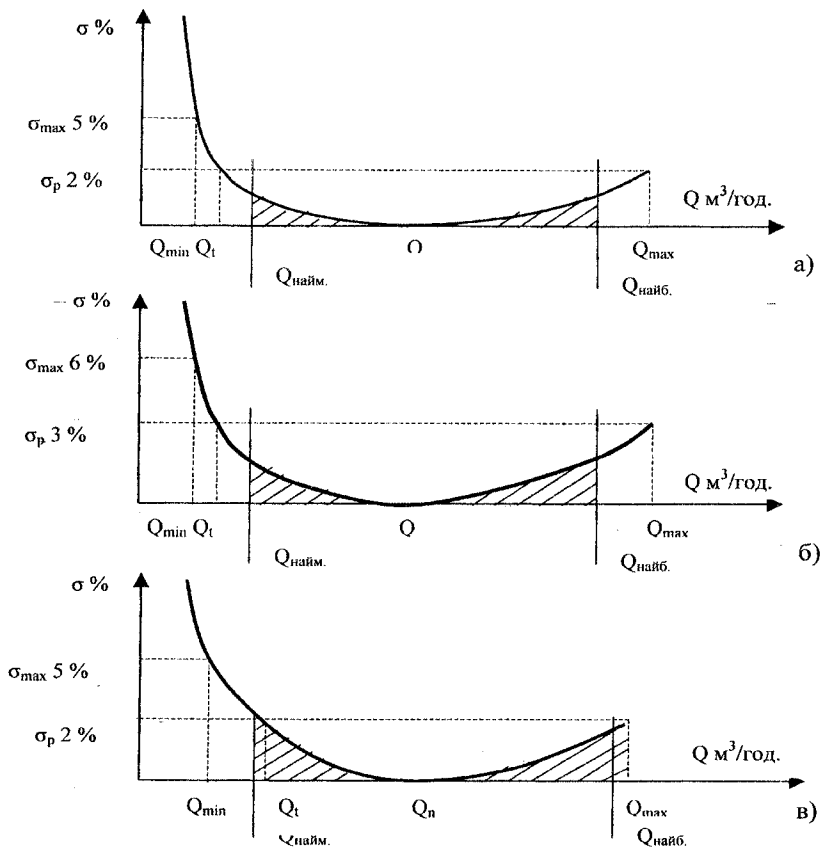


Рис. 2.3 Ілюстрація залежності похибки вимірювання від метрологічних характеристик ЗОВ та діапазону вимірюваних витрат

2.1.2.3. Зв'язок корисності з частинними критеріями надійності

2.1.2.3.1. Види показників надійності

Корисність ЗОВ, що має високі метрологічні характеристики, буде незначною, якщо він має низьку надійність і швидко виходить з ладу. При формулюванні КР попередньо зовсім не враховувались показники надійності. В зв'язку з цим, при дослідженні їх функціональних зв'язків з КР, стоїть питання про необхідність уточнення початкового формулювання КР.

Засіб обліку водоспоживання є виробом конкретного призначення. Крім того, згідно класифікації по групах виробів, його можна віднести до групи I – виріб з двома рівнями працездатності: номінальним і нульовим. Строго кажучи, ЗОВ можна було б віднести до групи II – виріб з багатьма рівнями, включаючи рівні проміжної (зниженої) працездатності. Оскільки в результаті різних зовнішніх впливів, зберігаючи працездатність, він може знизити свої метрологічні характеристики. Однак ймовірність такої події при правильній експлуатації досить невисока, а її наслідки надто негативні, щоб розглядати ЗОВ як прилад зі зниженою працездатністю. Доцільніше віднести цей випадок до стану повної відмови. До того ж введення проміжних рівнів працездатності призводить до ряду методологічних ускладнень [63], котрі виправдані лише тоді, коли проміжні рівні можуть задовольнити користувача, а ймовірність попадання приладу у відповідну підмножину рівнів не надто мала. В задачі оцінювання ЗОВ доцільніше ввести в оцінку деяку похибку, проте звести всі стани приладу до двох підмножин з двома рівнями працездатності.

Визначимо відмову ЗОВ як перехід його зі стану з номінальною працездатністю в стан з нульовою працездатністю; і відновлення – як зворотний перехід.

Виділяють два види показників надійності:

1. Технічні показники, котрі характеризують процеси переходу із одного стану в інший поза їх зв'язком з результатами роботи приладу. До них відносяться: T – середнє напрацювання на відмову (год.); T_B – середній час відновлення (год.); λ – інтенсивність відмов; μ – інтенсивність відновлень.

2. Оперативні – характеризують вплив процесів переходу із одного стану в інший на вихідний ефект. До них відносяться: K_r – коефіцієнт готовності; K_{op} – коефіцієнт оперативної готовності; $P(t)$ – ймовірність безвідмовної роботи приладу протягом часу виконання завдання; K_{ef} – коефіцієнт збереження ефективності.

Очевидно, що технічні показники надійності погано узгоджуються з фізичним змістом корисності. Розглянемо детальніше оперативні показники.

$R(t)$ – прийнятний показник тільки для тих приладів, для котрих можна чітко визначити час виконання завдання (наприклад; час однієї операції або час одного циклу). Роботу ЗОВ не можна розбити на операції чи на цикли. Він працює безперервно, тому цей показник застосовувати недоцільно.

K_{or} – ймовірність того, що прилад працюватиме протягом інтервалу заданої довжини h , починаючи з деякого поточного моменту часу t . В роботі ЗОВ не можна виділити інтервал заданої довжини h , тому K_{or} застосовувати також недоцільно.

K_r – ймовірність перебування приладу в стані номінальної працездатності до початку роботи, або в будь-який момент часу t . K_r розраховується за формулою

$$K_r = \frac{T}{T + T_B}, \quad (2.26)$$

де T, T_B – технічні показники надійності.

K_r – більш прийнятний показник, однак його фізичний зміст погано узгоджується з фізичним змістом КР.

K_{ef} – частина номінальної ефективності, котра зберігається при наявності відмов приладу. Розглянемо цей показник детальніше. Позначимо фактори надійності множиною траєкторій, тобто переходів ЗОВ з одного стану в інший, символом G . Інші фактори ненадійності позначимо символом множини Ω . Тобто: $\Psi = \Psi(G, \Omega)$. При деяких нежорстких обмеженнях, функцію $\Psi(G, \Omega)$ можна представити у вигляді добутку, виділивши в якості співмножника номінальну КР Ψ_0 , тобто КР при повній справності ЗОВ. Очевидно, що вона не залежить від його показників надійності.

$$\Psi(G, \Omega) = R(G, \Omega) \Psi_0(\Omega). \quad (2.27)$$

Співмножник $R(G, \Omega)$ являє собою коефіцієнт збереження ефективності

$$R(G, \Omega) = \frac{\Psi(G, \Omega)}{\Psi_0(\Omega)} = K_{ef}. \quad (2.28)$$

З цього випливають обмеження: показник КР повинен бути таким, щоб $\Psi_0(\Omega) \neq 0$. Більший КР повинно відповідати більше значення функції Ψ . Оскільки відмови можуть призводити лише до зниження КР, то $\Psi_0(\Omega)$ буде максимальним значенням Ψ , тобто: $\Psi_0(\Omega) \geq \Psi(G, \Omega)$.

Тоді, очевидно, $K_{\text{эф}} \leq 1$, причому з підвищенням надійності при інших рівних умовах $K_{\text{эф}} \rightarrow 1$. Легко впевнитися, що цьому обмеженню функція КР задовольняє. Фізичний зміст $K_{\text{эф}}$ простий. Він показує, яка частина номінальної КР зберігається за наявності відмов ЗОВ. $(1 - K_{\text{эф}})$ – є та відносна величина на котру знижується КР ЗОВ в наслідок його відмов.

Таким чином, фізичний зміст $K_{\text{эф}}$ добре узгоджується з фізичним змістом функції КР і уточнення формулювання останньої, з врахуванням впливу критеріїв надійності, не потребується.

Недоліком $K_{\text{эф}}$ є те, що він характеризує надійність тільки в зв'язку з особливостями застосування приладу і тому не визначає і не дозволяє розраховувати інші, додаткові показники, наприклад середні затрати на ремонт, або розраховувати надійність стосовно до іншого застосування. Однак функція КР у зв'язку з особливостями застосування ЗОВ. Вона також не передбачає врахування затрат на ремонт (вони будуть враховані у платі за корисність). Питання про застосування ЗОВ для інших цілей також не ставиться. Таким чином, для задачі обґрунтування вибору оптимальних ЗОВ в СВП, відзначені недоліки перетворюються в переваги.

2.1.2.3.2. Методи розрахунку коефіцієнта ефективності

1. Усереднення за траєкторіями [63].

Робота приладу розглядається на інтервалі його застосування t_p (до першої відмови). Запишемо вираз показника КР $\Psi_{(a)}$ для випадку, коли на інтервалі t_p реалізується деяка траєкторія $g \in G$. Він визначається усередненням значень вихідної КР $\Psi(\omega, g)$ по всіх можливих на цій траєкторії реалізаціях факторів ненадійності ω (множину цих реалізацій позначимо Ω_g)

$$\Psi_{(g)} = \int_{\Omega_g} \psi(\omega, g) dQ(\omega, g), \quad (2.29)$$

де $dQ(\omega, g)$ – елемент ймовірності деякої реалізації факторів ненадійності $\omega \in \Omega_g$.

Зазначимо, що зараз розглядається загальний випадок, тобто прилад з багатьма рівнями працездатності. Щоб обчислити КР з врахуванням відмов (Ψ), інтеграл (2.29) необхідно усереднити ще раз, тепер уже по всіх можливих траєкторіях $g \in G$

$$\Psi = \int_G \int_{\Omega_g} \psi(\omega, g) dQ(\omega, g) dP(g), \quad (2.30)$$

де $dP(g)$ – елемент ймовірності траєкторії g .

Вихідний вираз (2.28) для коефіцієнта збереження ефективності можна перетворити тепер так

$$K_{\text{эф}} = \frac{\Psi}{\Psi(g_0)} = \int_G \frac{\Psi(g)}{\Psi(g_0)} dP(g) = \int_G W(g) dP(g), \quad (2.31)$$

де $W(g) = \Psi(g)/\Psi(g_0)$ – відносна КР g-тої траєкторії.

Формула (2.31) є практичною розрахунковою формулою для обчислення коефіцієнта ефективності. Усереднення по траєкторіях є найбільш загальним методом розрахунку $K_{\text{эф}}$, котрий принципово не обмежується особливостями приладу та видом показника корисності.

II. Усереднення за станами.

Відмінність від попереднього випадку полягає в тому, що тут усереднення проводиться не по всіх траєкторіях, а тільки по тим g_i , кожна з яких відповідає перебуванню приладу в деякому i-тому стані від початку і до кінця роботи. Кількість станів кінцева і інтеграл переходить в суму

$$K_{\text{эф}} = \sum_i W_i \cdot P_i, \quad (2.32)$$

де $P_i = P(g_i)$ – ймовірність того, що прилад опиниться в i-тому стані до початку роботи і надалі залишиться в ньому;

$W_i = W(g_i)$ – відносна КР приладу в i-тому стані (на i-тій траєкторії) або вага стану.

Таким чином тут відкидаються траєкторії, що відповідають переходам зі стану в стан. Похибка тим менша, чим менша ймовірність таких переходів за час t_p . Це в свою чергу має місце або при малому t_p або при високій безвідмовності і малій ремонтпридатності приладу. Тобто коли час роботи малий у порівнянні з середнім часом між переходами.

Саме цей випадок розглянуто в [64], де ймовірності P_i обчислюються за допомогою коефіцієнтів готовності складових частин приладу

$$P_i = \prod_{k_i} K_{r,k_i} \prod_{l_i} (1 - K_{r,l_i}), \quad (2.33)$$

де k_i – індекси, що стосуються складових, справних в i-тому стані; l_i – несправних в i-тому стані.

З цього видно, що метод усереднення за станами може бути застосований практично тільки для приладів “миттєвої” (дуже короткочасної) дії. Очевидно, що для ЗОВ його застосувати недоцільно.

III. Усереднення за вимогами.

Згідно [64], цей метод застосовується переважно для систем масового обслуговування, які призначаються для обробки потоку “вимог”, КР котрих характеризується або середньою якістю “вимог”, що обслуговуються за деякий час, або середньою ймовірністю

обслуговування “вимоги”. Перевіримо, чи отримасмо ми задовільний результат, якщо розглядатимемо ЗОВ як систему масового обслуговування. Визначимо “вимогу”, як вимірювання одного метра кубічного води g . Охарактеризуємо вхідний потік загальною кількістю “вимог” $Q_{вх}$, що надійшли за час роботи t_p . Нехай Q_0 – кількість вимог з $Q_{вх}$, що обслуговуються справним ЗОВ; Q – те ж саме при наявності відмов. Q і в загальному випадку Q_0 – випадкові величини. В цих позначеннях КР ЗОВ характеризується одним з двох показників:

$$\Psi = M[Q] \text{ та } \Psi = \bar{P} = \frac{M[Q]}{Q_{вх}}, \quad (2.34)$$

де \bar{P} – середня ймовірність обслуговування вимоги.

Запишемо визначення $K_{еф}$. однакове для обох показників

$$K_{еф} = \frac{M[Q]}{M[Q_0]}, \quad (2.35)$$

де $M[Q]$ – математичне очікування вимог, що обслуговуються ЗОВ з відмовами; $M[Q_0]$ – те ж саме для справного ЗОВ.

Позначимо $M[Q_0] = N_0$ і запишемо $K_{еф}$. у вигляді

$$K_{еф} = \frac{M[Q]}{N_0}. \quad (2.36)$$

– В свою чергу $M[Q] = Q_{вх} \cdot P$, де P – ймовірність обслуговування вимоги. Введемо ймовірність обслуговування вимог повністю справним ЗОВ P_0 . Вона не залежить від його надійності. Позначивши співвідношення $\frac{P}{P_0} = K$, можна записати

$$K_{еф} = \frac{Q_{вх} \cdot P}{N_0} = \frac{Q_{вх} \cdot P_0 \cdot K}{N_0} = \frac{Q_0}{N_0} \cdot K. \quad (2.37)$$

Відношення $\frac{Q_0}{N_0}$ означає долю вимог в їх загальній кількості, що обслуговується безвідмовним ЗОВ. Воно також не залежить від надійності. Отже $K_{еф}$. визначається як ймовірність K , усереднена по всіх вимогах.

Нехай t – момент початку обслуговування вимоги, котрий має місце десь в інтервалі $t_p - t_{вим}$. Доля таких вимог буде: $\frac{dt}{t_p - t_{вим}}$.

Ймовірність того, що обслуговування вимоги не буде зірвано відмовою (K), дорівнює, очевидно, ймовірності справного стану ЗОВ на всьому інтервалі $t_{вим}$, котра постійна і дорівнює $K_{ог.}(t_{вим})$ (дивись технічні показники надійності). Усреднивши по вимогах можна записати

$$K_{еф} = \int_0^{t_p - t_{вим}} K_{ог.}(t_{вим}) \frac{dt}{t_p - t_{вим}} = K_{ог.}(t_{вим}). \quad (2.38)$$

Таким чином приходимо до коефіцієнта оперативної готовності і часу обслуговування вимоги, тобто часу вимірювання 1 м³ води. Коефіцієнт оперативної готовності K_{op} погано узгоджується з фізичним змістом КР ЗОВ, а час вимірювання 1 м³ води можна задати лише усереднено, що призводить до помилки.

2.1.2.3.3. Розрахунок коефіцієнта ефективності

Найбільш прийнятним для розрахунку коефіцієнта ефективності засобів обліку водоспоживання може бути метод усереднення за траєкторіями. Розрахуємо його для приладу з двома рівнями працездатності.

ЗОВ відновлюється в режимі очікування, в роботі не відновлюється. Вихідна КР пропорційна сумарному часу безвідмовної роботи, тобто

$$\Psi(\omega, g) = A(\omega) \sum_n t_n(g), \quad (2.39)$$

де $A(\omega)$ – множник, що залежить від факторів ненадійності ω ;

$t_n(g)$ – тривалість n -го інтервалу безвідмовної роботи ЗОВ ($\sum t_n(g) = t_p$) на g -тій траєкторії.

Для розрахунку коефіцієнта ефективності застосуємо формулу (2.31). Вважаємо, що робота починається в момент $t = 0$, момент відмови позначимо через ξ . Вага траєкторії приладу, справного в момент $t = 0$ дорівнює:

$$W(\xi) = \begin{cases} \xi/t_p & \text{при } \xi < t_p \\ 1 & \text{при } \xi \geq t_p \end{cases}. \quad (2.40)$$

Ймовірність кожної такої траєкторії дорівнює

$$dP(\xi) = K_r f(\xi) d\xi, \quad (2.41)$$

де $f(\xi)$ – густина розподілу напрацювання на відмову.

Запишемо формулу (2.31) і застосуємо інтегрування по частинах

$$\begin{aligned} K_{ef} &= \int_0^{\infty} W(\xi) dP(\xi) = \frac{K_r}{t_p} \int_0^{t_p} \xi f(\xi) d(\xi) + K_r \int_{t_p}^{\infty} f(\xi) d(\xi) = \\ &= \frac{K_r}{t_p} \int_0^{t_p} P(\xi) d\xi - \frac{K_r}{t_p} \xi P(\xi) \Big|_0^{t_p} + K_r P(\xi) \Big|_{t_p}^{\infty} = \frac{K_r}{t_p} \int_0^{t_p} P(\xi) d\xi - \\ &- K_r P(t_p) + K_r P(t_p) = \frac{K_r}{t_p} \int_0^{t_p} P(\xi) d\xi. \end{aligned} \quad (2.42)$$

При експоненційному розподілі $P(\xi)$

$$K_{ef} = \frac{K_r}{t_p} \int_0^{t_p} e^{-\lambda \xi} \tau d\xi \quad (2.43)$$

або:

$$K_{\text{эф.}} = \frac{K_r \cdot T}{t_p} \cdot \left(1 - \exp \left[- \frac{t_p}{T} \right] \right). \quad (2.44)$$

З врахуванням формули (2.26)

$$K_{\text{эф.}} = \frac{T^2}{t_p \cdot (T + T_B)} \cdot \left(1 - \exp \left[- \frac{t_p}{T} \right] \right). \quad (2.45)$$

У вираз оперативного показника надійності $K_{\text{эф.}}$ увійшли і технічні показники: середнє напрацювання на відмову T , а також середній час відновлення T_B .

Експоненційний розподіл випадкових відмов – це єдиний розподіл, який має властивість, котра полягає в тому, що, коли прилад ще не відмовив до моменту часу t , то розподіл його часу безвідмовної роботи буде таким самим, як і у абсолютно нового приладу [64]. Вираз для розрахунку корисності ЗОВ з врахуванням показників надійності за формулою (2.28) включає в себе вирази (2.25) і (2.45) як складові частини й описується формулою (2.46).

$$\Psi = \left\{ 1 - \frac{1}{100} \left[\sum_{i=1}^n \frac{\left(\frac{Q_{r.\%i} \cdot Q_n}{K_p \cdot K_n} - Q_n \right)^2 \cdot \sigma_p \cdot Q_{r.\%i}}{100 \cdot (Q_{\max} - Q_n)^2} + \sum_{j=1}^n \frac{\left(\frac{Q_{r.\%j} \cdot Q_n}{K_p \cdot K_n} - Q_n \right)^2 \cdot \sigma_p \cdot Q_{r.\%j}}{100 \cdot (Q_i - Q_n)^2} + \sum_{k=1}^n \left(\frac{\left(\frac{Q_{r.\%k} - Q_n - Q_i}{K_p \cdot K_n} \right) \cdot (\sigma_{\max} - \sigma_p) \cdot Q_{r.\%k}}{100 \cdot (Q_{\min} - Q_i)} + \frac{\sigma_p \cdot Q_{r.\%k}}{100} \right) + \sum_{l=1}^r Q_{r.\%l} \right] \right\} \cdot \frac{T^2}{t_p \cdot (T + T_B)} \cdot \left(1 - \exp \left[- \frac{t_p}{T} \right] \right) \quad (2.46)$$

Отримані в результаті дедуктивного дослідження групового критерію корисності частинні критерії є такі:

1. Q_{\min} – мінімальна витрата води з робочого діапазону витрат ЗОВ ($\text{м}^3/\text{год.}$).
2. Q_i – перехідна витрата води з робочого діапазону витрат ЗОВ ($\text{м}^3/\text{год.}$).

3. Q_n – номінальна витрата води з робочого діапазону витрат ЗОВ ($\text{м}^3/\text{год.}$).
4. Q_{\max} – максимальна витрата води з робочого діапазону витрат ЗОВ ($\text{м}^3/\text{год.}$).
5. σ_p – номінальна нормована похибка вимірювання ЗОВ (%).
6. σ_{\max} – максимальна нормована похибка вимірювання ЗОВ (похибка в перехідному діапазоні) (%).
7. K_r – коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання.
8. K_n – коефіцієнт неспівпадання витрат.
9. T – середнє напрацювання ЗОВ на відмову (год.).
10. T_B – середній час відновлення ЗОВ (год.).
11. t_p – встановлене безвідмовне напрацювання ЗОВ (год.).

Коефіцієнт неспівпадання витрат K_n , який розраховується за формулою (2.9), є величиною, котра показує у скільки разів номінальна витрата з робочого діапазону ЗОВ перевищує середню витрату води в трубопроводі, на котрому цей прилад встановлено. Якщо оцінка ЗОВ проводиться без їх прив'язки до конкретного споживача, то для спрощення розрахунку можна задатись припущенням, що ЗОВ підібрано так, щоб його номінальна витрата Q_n співпала з середньою у трубопроводі $Q_{г.ср.}$. В такому випадку слід приймати $K_n = 1$.

Коефіцієнт годинної нерівномірності водоспоживання K_r також є характерною конкретного споживача, чи конкретного магістрального трубопроводу. При розгляданні ЗОВ без прив'язки до них, можна прийняти середнє значення цього коефіцієнта – $K_r = 1.5$.

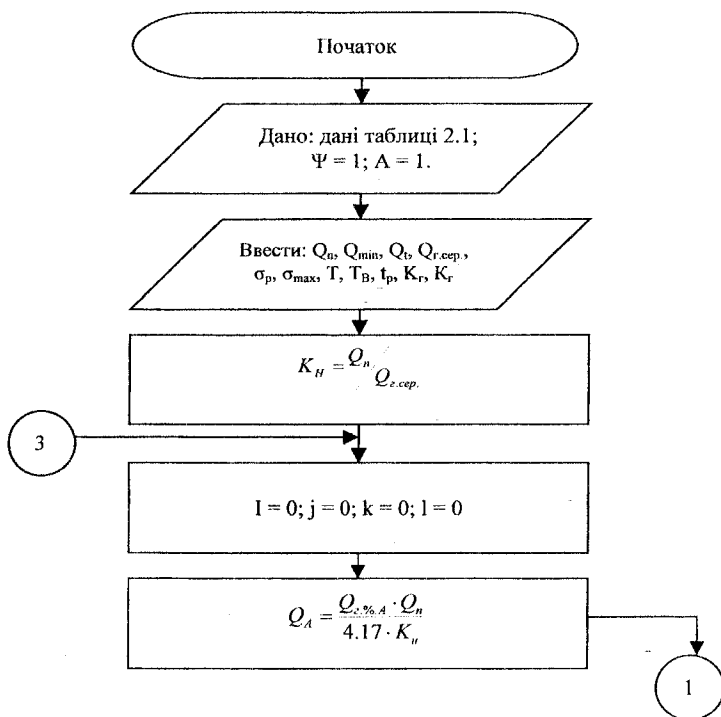
2.1.3. Алгоритм розрахунку корисності

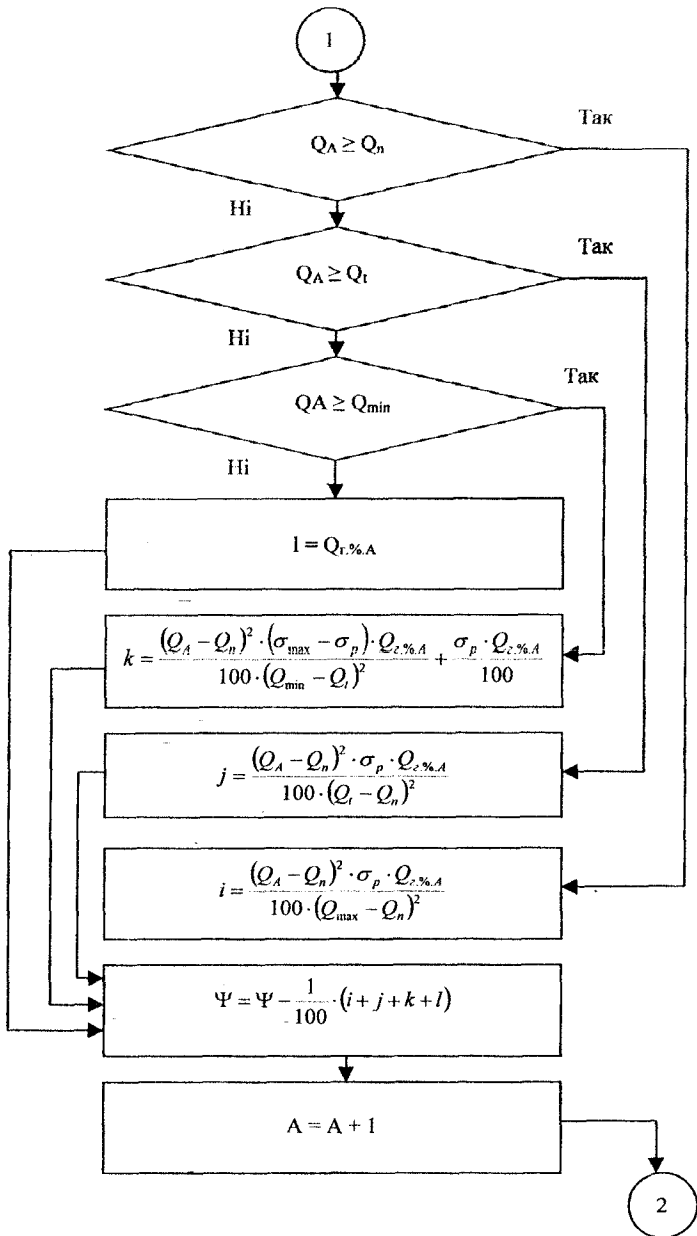
Для розрахунку КР ЗОВ за формулою (2.46) необхідно виконати такі кроки:

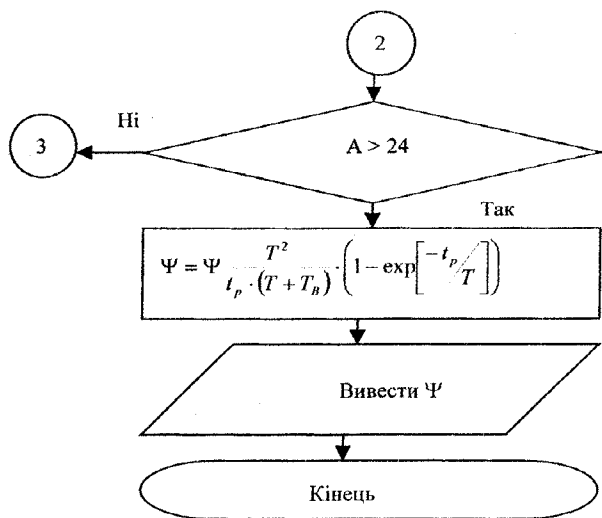
1. Задатись кількісним значенням частинних критеріїв КР: Q_{\min} , Q_i , Q_n , Q_{\max} , σ_p , σ_{\max} , T , T_B , t_p . Тобто технічними та метрологічними характеристиками ЗОВ, що розглядається.
2. Задатись середньою годинною витратою води на об'єкті, чи магістральному трубопроводі, водоспоживання котрого контролюється ЗОВ: $Q_{г.ср.}$, а також розрахувати коефіцієнт неспівпадання витрат за формулою (2.9).
3. Задатись максимальною годинною витратою води на тому ж об'єкті $Q_{г.макс.}$ та розрахувати коефіцієнт годинної нерівномірності за формулою $K_z = \frac{Q_{z,\max}}{Q_{z,\text{ср.}}}$.
4. Розрахувати витрату води в трубопроводі Q_i для кожної з 24-х годин доби за формулою (2.10). При цьому годинну витрату

- води для i -тої години, виражену в процентах від добової витрати $Q_{г.\%i}$; слід вибирати з таблиці 2.1.
- Провести порівняння годинних витрат води Q_i кожної з 24-х годин з перехідними точками діапазону вимірюваних витрат ЗОВ, що розглядається. А саме: Q_{\min} , Q_b , Q_n , Q_{\max} .
 - В залежності від того, між якими перехідними точками буде знаходитись витрата i -тої години, присвоїти її індекс i, j, k, l за умовами позначень (2.15).
 - Підставивши у формулу (2.46) отримані годинні витрати у відповідності з присвоєними індексами. Підставити також у формулу (2.46) технічні показники надійності, перехідні точки діапазону вимірюваних витрат ЗОВ та його нормовані похибки вимірювання.
 - Провести обчислення та отримати значення КР ЗОВ, що розглядається.

Блок-схема алгоритму розрахунку КР ЗОВ







2.2. Груповий критерій плати за корисність

2.2.1 Структура плати за корисність засобів обліку водоспоживання

При формуванні корисності ЗОВ виключались з розгляду ті параметри (частинні критерії), що відображають затрати, понесені заради досягнення корисного ефекту. Це зроблено через те, що такі затрати не впливають на функціонування ЗОВ. Розглянемо їх зараз.

Підставою для віднесення деякого значимого параметру до категорії частинних критеріїв плати за корисність (ПКР) є наступна ознака. Якщо числове значення якого-небудь параметру, що не визначає безпосередньо КР, бажано завжди зменшувати і цей параметр прямо, чи опосередковано відображає ті затрати, на котрі потрібно погоджуватися заради набуття КР, то такий параметр є частинним критерієм групового критерію ПКР.

Груповий критерій ПКР носить економічний характер [37] і включає всі види затрат на забезпечення процесу вимірювання кількості та витрати води, що проходить через трубопровід, який контролюється ЗОВ, приведені до безрозмірної форми.

Щоб вимірювати кількість води, що проходить через трубопровід, потрібно понести затрати на придбання ЗОВ – $C_{ЗОВ}$.

Придбаний ЗОВ потрібно встановити на трубопровід, понісши при цьому затрати на встановлення – C_B . Після цього ЗОВ вимагатиме затрат на експлуатацію – C_E [65]. Для приведення групового критерію ПКР до безрозмірної форми, розділимо всі затрати на середню ціну базових ЗОВ – $Ц_B$, в якості яких зручно прийняти найбільш розповсюджені на сьогодні в Україні механічні лічильники води крильчастого типу марки “ВСКМ”, що виготовляються ВАТ “Електротермометрія м. Луцьк. Тому в загальному вигляді ПКР виразиться формулою

$$C = \frac{1}{Ц_B} \cdot (C_{л.} + C_B + C_E). \quad (2.47)$$

2.2.2. Затрати на придбання засобів обліку водоспоживання

Затрати на виготовлення будь-якої технічної системи розбивають на дві групи [85]:

1. Затрати на розробку:

$$C_{роз.} = F(C_{поп.}, C_{пр.}, C_{екс.}, C_{дос.}, C_{вип.}, C_{дор.}), \quad (2.48)$$

де $C_{поп.}$ – затрати на попередні дослідження;

$C_{пр.}$ – затрати на проектування;

$C_{екс.}$ – затрати на експериментальні пристрої;

$C_{дос.}$ – затрати на виготовлення дослідних зразків;

$C_{вип.}$ – затрати на випробовування дослідних зразків;

$C_{дор.}$ – затрати на доробку документації.

2. Затрати на власне виготовлення:

$$C_{виг.} = F(C_{зар.}, C_{нак.}, C_{під.}, C_{приб.}, C_{мат.}), \quad (2.49)$$

де $C_{зар.}$ – зарплата виробничих робітників;

$C_{нак.}$ – накладні витрати;

$C_{під.}$ – затрати на підготовку виробництва;

$C_{приб.}$ – прибуток підприємства;

$C_{мат.}$ – затрати на матеріали та придбані вироби.

Хоча структура затрат на придбання ЗОВ видається простою, в дійсності виникають труднощі. Формула (2.48) справедлива лише в тому випадку, коли розробка нового приладу починається з ескізного та технічного проектів і продовжується далі без відхилень від її складових частин. Як показує досвід, при розробці нового ЗОВ можуть використовуватися не пов’язані з ним дослідження, проекти, експериментальні пристрої тощо. Проведені в результаті роботи дослідження, можуть бути використані для інших систем і т. д. До того ж деякі складові формул (2.48) і (2.49) можуть складати комерційну таємницю фірми-виготовлювача. Враховуючи це, доцільно не розглядати структуру затрат на придбання ЗОВ, а

замінити їх відпускнуо ціною – $C_{ЗОВ}$, яка в даний час діє на підприємстві, що виготовляє ЗОВ.

2.2.3. Затрати на встановлення засобів обліку водоспоживання

Для встановлення ЗОВ необхідно виготовити водолічильний вузол та разом з самим приладом змонтувати його на трубопроводі. Тому

$$C_B = F(C_{\text{вуз.}}, C_{\text{мон.}}), \quad (2.50)$$

де $C_{\text{вуз.}}$ – затрати на виготовлення вузла;

$C_{\text{мон.}}$ – затрати на монтаж вузла.

Величина затрат на виготовлення водолічильного вузла залежить від таких характеристик.

1. Способу монтажу водолічильного вузла на трубопроводі. Їх є два: на накидних гайках (різьбовий) та на монтажних фланцях (фланцевий). Як правило фланцевий спосіб передбачено для ЗОВ діаметром умовного проходу $d_y = 50$ мм. і більше. Але існують і такі ЗОВ, котрі можна монтувати обома способами.

2. Діаметру умовного проходу (калібру) ЗОВ, оскільки комплектуючі різного калібру мають різну вартість.

Необхідно враховувати також вартість додаткових пристроїв, необхідних для функціонування ЗОВ, як то вирівнювач потоку, фільтр-відстійник тощо. В загальному випадку запишемо

$$C_{\text{вуз.}} = F(C_{\text{в.мат.}}, C_{\text{в.зар.}}), \quad (2.51)$$

де $C_{\text{в.мат.}}$ – затрати на матеріали і комплектуючі для виготовлення вузла;

$C_{\text{в.зар.}}$ – зарплата робітників за виготовлення вузла.

Для виготовлення водолічильних вузлів з різним способом монтажу необхідно матеріалів відповідного калібру:

- з різьбовим кріпленням: згонів – 6 шт., муфт – 8 шт., вентилів – 3 шт., контргайок – 8 шт., труби сталльної – 3 м., кисню та карбіду – в залежності від калібру вузла;
- з фланцевим кріпленням: котушок – 6 шт., фланців – 8 шт., засувок – 3 шт., резинових прокладок – 6 шт., труби сталльної – 3 м., кисню та карбіду – в залежності від калібру вузла.

Тому затрати на матеріали для виготовлення вузла запишемо так (індекс “i” відноситься лише до вузлів з різьбовим кріпленням; “j” – з фланцевим кріпленням)

$$C_{\text{в.мат.}} = 6 \cdot (C_{\text{зг.і.}} + C_{\text{кот. j.}} + C_{\text{прок. j.}}) + 8 \cdot (C_{\text{муф.і.}} + C_{\text{кг.і.}} + C_{\text{фл. j.}}) + \\ + 3 \cdot (C_{\text{вен.і.}} + C_{\text{зас. j.}}) + 3 \cdot G_{\text{т.}} \cdot C_{\text{т.}} + G_{\text{б. j.}} \cdot C_{\text{б. j.}} + G_{\text{г. j.}} \cdot C_{\text{г. j.}} + \\ + G_{\text{ш. j.}} \cdot C_{\text{ш. j.}} + P_{\text{к.в.}} \cdot C_{\text{к.}} + G_{\text{кар. в.}} \cdot C_{\text{кар.}} + C_{\text{д.}} (\text{грн}), \quad (2.52)$$

де $C_{\text{зг.і.}}$, $C_{\text{муф.і.}}$, $C_{\text{кг.і.}}$, $C_{\text{вен.і.}}$ – вартість згона, муфти, контргайки та вентиля і-го калібру відповідно (грн.);

$C_{\text{кот. j.}}$, $C_{\text{прок. j.}}$, $C_{\text{фл. j.}}$, $C_{\text{зас. j.}}$ – вартість котушки, прокладки, фланця та засувки j-го калібру відповідно (грн.);

$G_{\text{т.}}$ – вага 1 метра труби відповідного діаметру (кг.);

$C_{\text{т.}}$ – вартість 1 кг. цієї труби (грн.);

$G_{\text{б. j.}}$, $G_{\text{г. j.}}$, $G_{\text{ш. j.}}$ – витрата болтів, гайок, шайб для виготовлення вузла (кг.);

$P_{\text{к.в.}}$, $G_{\text{кар. в.}}$ – витрата кисню (атм.) та карбиду (кг.);

$C_{\text{к.}}$, $C_{\text{кар.}}$ – вартість 1 атм. кисню та 1 кг. карбиду відповідно (грн.);

$C_{\text{д.}}$ – вартість додаткових пристроїв (грн.).

Водолічильний вузол складає слюсар-ремонтник 4-го розряду, затрачуючи при цьому праці від 2-х до 3.55 людино-годин, в залежності від калібру вузла. Його зарплата складає:

$$З_1 = L_{\text{сл.і.}} \cdot N_{\text{сл.}} \cdot K_{\text{пр.і.}} \quad (\text{грн.}), \quad (2.53)$$

де $L_{\text{сл.і.}}$ – затрати праці слюсара на виготовлення водолічильного вузла (л-год.);

$N_{\text{сл.}}$ – годинна тарифна ставка слюсара (грн/год.);

$K_{\text{пр.і.}}$ – коефіцієнт преміальної оплати слюсара.

Введемо коефіцієнт додаткових виробничих нарахувань, котрий можна записати у вигляді

$$K_1 = K_{\text{зар.}} + \frac{K_{\text{н.}} \%}{100 \%}, \quad (2.54)$$

де $K_{\text{зар.}}$ – коефіцієнт нарахувань на зарплату;

$K_{\text{н.}} \%$ – процент накладних витрат (цехових та загально-експлуатаційних) (%).

З врахуванням формул (2.52), (2.53), (2.54), а також з врахуванням коефіцієнта рентабельності – K_2 , та коефіцієнта ПДВ – K_3 , затрати на виготовлення вузла приймають вигляд

$$C_{\text{вуз.}} = (C_{\text{в.мат.}} + K_1 \cdot З_1) \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (\text{грн.}), \quad (2.55)$$

де $K_1 \cdot З_1 = C_{\text{в.зар.}}$ – затрати на заробітну плату при виготовленні вузла (грн.).

Затрати на монтаж водолічильного вузла в загальному випадку запишемо

$$C_{\text{мон.}} = F \cdot (C_{\text{м.мат.}}, C_{\text{м.зар.}}), \quad (2.56)$$

де $C_{м.мат.}$ – затрати на матеріали для монтажу вузла;

$C_{м.зар.}$ – зарплата робітників.

Для монтажу водолічильного вузла за допомогою газозварювального апарату необхідно кисень та карбід. Тому

$$C_{м.мат.} = P_{к.м.} \cdot C_{к.} + G_{кар.м.} \cdot C_{кар.} \quad (\text{грн.}), \quad (2.57)$$

де $P_{к.м.}$ – витрата кисню (атм.);

$G_{к.м.}$ – витрата карбиду (кг.) при монтажі.

Монтаж виконують слюсар-ремонтник, та електрогазозварювальник 4-го розрядів. При цьому необхідні затрати їх праці від 1.5 до 3.45 та від 1.0 до 2.4 людино-годин відповідно, в залежності від калібру вузла. Їх зарплата складає

$$Z_2 = L_{сл.2} \cdot N_{сл.} \cdot K_{пр.1} + L_{зв.} \cdot N_{зв.} \cdot K_{пр.2} + L_{зв.} \cdot N_{зв.} \cdot \frac{K_{шк.} \%}{100\%} \quad (\text{грн.}), \quad (2.58)$$

де $L_{сл.2}$, $L_{зв.}$ – затрати праці слюсаря та зварювальника на монтаж вузла (л·год.);

$N_{зв.}$ – тарифна ставка зварювальника (грн/год.);

$K_{пр.2}$ – коефіцієнт преміальної оплати зварювальника;

$K_{шк.} \%$ – процент доплати зварювальнику за шкідливість (%).

З врахуванням формул (2.57), (2.58), запишемо затрати на монтаж водолічильного вузла

$$C_{мон.} = (C_{м.мат.} + K_1 \cdot Z_2) \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (\text{грн.}), \quad (2.59)$$

Затрати на встановлення ЗОВ приймають вигляд

$$C_{В.} = (C_{в.мат.} + C_{м.мат.} + K_1 \cdot (Z_1 + Z_2)) \cdot K_2 \cdot K_3 \quad (\text{грн.}), \quad (2.60)$$

2.2.4. Затрати на експлуатацію засобів обліку водоспоживання

Вираз для обчислення річних затрат на експлуатацію ЗОВ має вигляд

$$C_E = C_{кон.} + C_{ен.} + C_{пов.} + C_{рем.} \quad (\text{грн.}), \quad (2.61)$$

де $C_{кон.}$ – затрати на контроль за показниками (грн/рік.);

$C_{ен.}$ – затрати на електроенергію та інші ресурси, необхідні для функціонування ЗОВ (грн/рік.);

$C_{пов.}$, $C_{рем.}$ – затрати на перевірку та ремонт ЗОВ (грн/рік.).

Контроль за показниками ЗОВ на вводах споживачів ведеться фахівцем відділу збуту водопостачального підприємства, котрий щомісяця знімає показники ЗОВ. Його зарплата

$$Z_3 = 12 \cdot \frac{170}{S_k} \cdot N_k \cdot K_{пр.3} \quad (\text{грн.}), \quad (2.62)$$

де 12 – коефіцієнт для переведення в річні затрати;

170 – середня кількість робочих годин на місяць;

S_k – норматив обслуговування лічильників на одного фахівця зі збуту (шт.);

N_k – годинна тарифна ставка фахівця (грн/год.);

$K_{пр.3}$ – коефіцієнт преміальної оплати фахівця.

Затрати на контроль за показниками виражаються формулою

$$C_{кон.} = 3_3 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \text{ (грн.)} \quad (2.63)$$

Більшість ЗОВ, крім механічних, в процесі роботи споживають електроенергію (в деяких ЗОВ застосовуються й інші ресурси, наприклад барвник в міточних витратомірах та лічильниках, але їх величина незначна і ними можна знехтувати). Затрати на електроенергію виражаються формулою

$$C_{ен.} = P \cdot 24 \cdot 365 \cdot \Pi_{ен.} \text{ (грн.)} \quad (2.64)$$

де 24 – кількість годин в одній добі;

365 – кількість днів в одному році;

P – потужність, що споживається ЗОВ (кВт.);

$\Pi_{ен.}$ – вартість 1 кВт·год. електроенергії (грн.).

Чергова перевірка (калібрування) ЗОВ проводиться у строки, визначені паспортом приладу. Тому річні затрати на перевірку виражаються

$$C_{пов.} = \frac{1}{t_{п.}} \cdot (r \cdot C_{з.в.} + C_{вл.п.}) \text{ (грн.)} \quad (2.65)$$

де $t_{п.}$ – паспортний термін перевірки ЗОВ (років);

r – коефіцієнт виду перевірки ($r = 1$ при поверці на проливному стенді;

$r = 0$ для ЗОВ, що перевіряються без демонтажу з трубопроводу);

$C_{з.в.}$ – затрати на демонтаж ЗОВ та його встановлення після перевірки (грн.);

$C_{вл.п.}$ – затрати на власне перевірку ЗОВ (грн.).

Демонтаж та встановлення ЗОВ виконує слюсар-ремонтник 4-го розряду. При цьому затрачується праця від 2.17 до 2.87 людино-годин. Зарплата слюсаря-ремонтника складає

$$3_4 = L_{сл.з.} \cdot N_{сл.} \cdot K_{пр.1} \text{ (грн.)} \quad (2.66)$$

де $L_{сл.з.}$ – затрати праці слюсаря на зняття (демонтаж) та встановлення ЗОВ (л·год.).

Затрати на зняття та встановлення ЗОВ виражаються формулою

$$C_{з.в.} = 3_4 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \text{ (грн.)} \quad (2.67)$$

Затрати на власне перевірку (калібровку) ЗОВ складаються з вартості перевірки представником держстандарту, вартості використаної для перевірки води (при поверці проливним способом на проливному стенді), та затрат на зарплату слюсаря лабораторії контрольної

вимірювальних приладів (КВП) 4-го розряду. Виконуючи повірку (калібровку) слюсар КВП затрачує праці від 0.58 до 1.06 людино-годин в залежності від калібру ЗОВ. Для повірки одного приладу різних калібрів проливним способом необхідно використати від 2 до 13 м^3 води.

Зарплата слюсаря КВП складає

$$Z_5 = L_{\text{сл.4}} \cdot N_{\text{КВП}} \cdot K_{\text{пр.4}} \text{ (грн.)}, \quad (2.68)$$

де $L_{\text{сл.4}}$ – затрати праці слюсаря КВП на виконання повірки одного ЗОВ (л-год.);

$N_{\text{КВП}}$ – годинна тарифна ставка слюсаря КВП (грн./год.);

$K_{\text{пр.4}}$ – коефіцієнт преміальної оплати слюсаря КВП.

Затрати на повірку виразимо формулою

$$C_{\text{пов.}} = \frac{1}{t_{\text{п}}} \cdot [(r \cdot Z_4 + Z_5) \cdot K_1 + (C_{\text{вод.}} + C_{\text{ст.}}) \cdot V_{\text{п.}} + C_{\text{пов.}}] \cdot K_2 \cdot K_3 \text{ (грн.)}, \quad (2.69)$$

де $V_{\text{п.}}$ – об'єм води, необхідний для повірки одного ЗОВ (м^3) (при безпроливному способі повірки $V_{\text{п.}} = 0$);

$C_{\text{вод.}}$, $C_{\text{ст.}}$ – вартість 1 м^3 води та стоків, що витрачаються при повірці (грн.);

$C_{\text{пов.}}$ – вартість виконання повірки представником держстандарту (грн.).

Вартість одного ремонту ЗОВ – $C_{\text{р.1}}$ складається з суми затрат на зняття (демонтаж) та встановлення ЗОВ $C_{\text{з.в.}}$, що обчислюється за формулою (2.67), та затрат на власне ремонт (відновлення) $C_{\text{вл.р.}}$. Для обчислення $C_{\text{вл.р.}}$ введемо поняття коефіцієнта затрат на ремонт – $K_{\text{р.}}$, як відношення середньої вартості ремонту базових ЗОВ до середньої вартості цих приладів

$$K_{\text{р.}} = \frac{C_{\text{р.б.сер.}}}{C_{\text{б.}}} \quad (2.70)$$

Застосувавши його до всіх типів ЗОВ, затрати на власне ремонт виразимо формулою

$$C_{\text{вл.р.}} = K_{\text{р.}} \cdot C_{\text{л.}} \text{ (грн.)}. \quad (2.71)$$

Для визначення річних затрат на ремонт, визначимо середню кількість ремонтів на рік

$$N_{\text{р.}} = \frac{12 \cdot (T_1 - T_2)}{T_1 \cdot T_3} \text{ (шт.)}, \quad (2.72)$$

де T_1 – строк служби ЗОВ (міс.);

T_2 – гарантія безвідмовної роботи ЗОВ виробником (міс.);

T_3 – гарантійний строк роботи, котрий гарантує ремонтна майстерня після ремонту (міс.).

Тоді річні затрати на ремонт складуть

$$C_{\text{рем.}} = N_p \cdot C_{p.1} = N_p \cdot (3_4 \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 + K_p \cdot \Pi_n) \text{ (грн.)}. \quad (2.73)$$

Використовуючи формули (2.61), (2.63), (2.64), (2.69) та (2.72), отримуємо затрати на експлуатацію ЗОВ

$$C_E = \left[\left(3_3 + \frac{1}{t_n} \cdot (r \cdot 3_4 + 3_5) + N_p \cdot 3_4 \right) \cdot K_1 + \frac{1}{t_n} \cdot ((C_{\text{вод.}} + C_{\text{ст.}}) \cdot V_{\text{пов.}} + \Pi_{\text{пов.}}) \right] \cdot K_2 \cdot K_3 + P \cdot 24 \cdot 365 \cdot \Pi_{\text{сел.}} + N_p \cdot K_p \cdot \Pi_n \text{ (грн.)}. \quad (2.74)$$

Вираз для обчислення ПКР ЗОВ, згідно формул (2.47), (2.60) і (2.74), приймає вигляд

$$C = \frac{1}{\Pi_6} \cdot \left\{ \Pi_{\text{ЗОВ}} + \left[\left(3_1 + 3_2 + 3_3 + \frac{1}{t_n} \cdot (r \cdot 3_4 + 3_5) + N_p \cdot 3_4 \right) \cdot K_1 + C_{\text{в.мат.}} + C_{\text{м.мат.}} + \frac{1}{t_n} \cdot ((C_{\text{вод.}} + C_{\text{ст.}}) \cdot r \cdot V_{\text{пов.}} + \Pi_{\text{пов.}}) \right] \cdot K_2 \cdot K_3 + P \cdot 24 \cdot 365 \cdot \Pi_{\text{сел.}} + N_p \cdot K_p \cdot \Pi_{\text{ЗОВ}} \right\}. \quad (2.75)$$

У відповідності з формулою (2.75), структура групового критерію плати за корисність ЗОВ має вигляд, що наведено на рисунку 2.4.

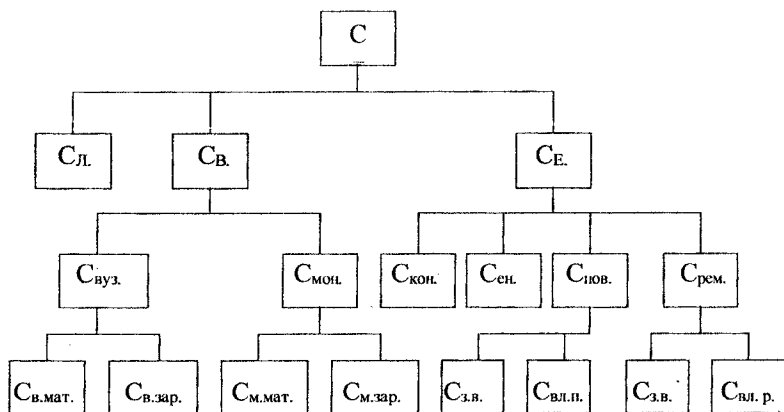


Рис. 2.4. Структура групового критерію плати за корисність ЗОВ

Плата за корисність ЗОВ є функцією від затрат, пов'язаних з придбанням, встановленням та експлуатацією приладів. Отримані в результаті дедуктивного дослідження групового критерію ПКР частинні критерії є такі:

1. $\Pi_{\text{ЗОВ}}$ – ціна на ЗОВ, що розглядається (грн.).
2. t_n – паспортний термін повірки ЗОВ (років).

3. γ – вид повірки ЗОВ. Цей критерій може набувати лише двох значень: $\gamma = 0$ при повірці ЗОВ безпродливним методом без його демонтажу з трубопроводу, $\gamma = 1$ при повірці ЗОВ на проливному стенді.
4. T_1 – гарантійний строк служби ЗОВ (міс.).
5. T_2 – гарантія безвідмовної роботи ЗОВ виробником (міс.).
6. T_3 – гарантія безвідмовної роботи, котру дає ремонтна майстерня, після ремонту типу ЗОВ, що розглядаються (міс.).
7. D_u – діаметр умовного проходу (калібр) ЗОВ. При застосуванні методики, що розглядається, до розв'язання конкретних задач може постати питання про доцільність застосування на тому, чи іншому об'єкті ЗОВ різного калібру. Оскільки діаметр умовного проходу впливає на велику кількість економічних та техніко-економічних показників, що добре видно з формул (2.52), (2.57), цей показник повинен розглядатися як один з частинних критеріїв групового критерію ПКР.
8. $V_{\text{пов.}}$ – об'єм води, необхідний для повірки ЗОВ (м^3).
9. P – потужність, що споживається ЗОВ (кВт.). Цей частинний критерій стосується лише електричних ЗОВ. Для тих ЗОВ, котрі не споживають електроенергії під час роботи, слід приймати $P = 0$.
10. Спосіб монтажу ЗОВ. Цей критерій може приймати лише два значення: різьбовий спосіб та фланцевий спосіб. Опосередкований зв'язок цього частинного критерію з груповим критерієм ПКР добре видно з формули (2.52). Тут різним складовим частинам, що відповідають різьбовому та фланцевому способу монтажу ЗОВ присвоєно індекси “i” та “j” відповідно.
11. C_d – вартість додаткових пристроїв, необхідних для функціонування ЗОВ (грн.).

У вираз для обчислення ПКР (формула (2.75)) увійшло і багато інших показників. Такі як: величини затрат праці та годинні тарифні ставки працівників, що виконують роботи по виготовленню та монтажу водолічильних вузлів, ремонту та повірці ЗОВ, витрата та питома вартість матеріалів і комплектуючих, необхідних для забезпечення процесу вимірювання приладом, економічні коефіцієнти тощо. Проте їх не можна розглядати як частинні критерії ПКР, оскільки ці величини не є незалежними. Їх переважна більшість залежить від двох факторів: калібру ЗОВ, а отже і калібру водолічильного вузла та способу його монтажу на трубопроводі.

1.2.5. Алгоритм розрахунку плати за корисність засобів обліку водоспоживання

Для розрахунку плати за корисність ЗОВ за формулою (2.75) необхідно виконати такі кроки:

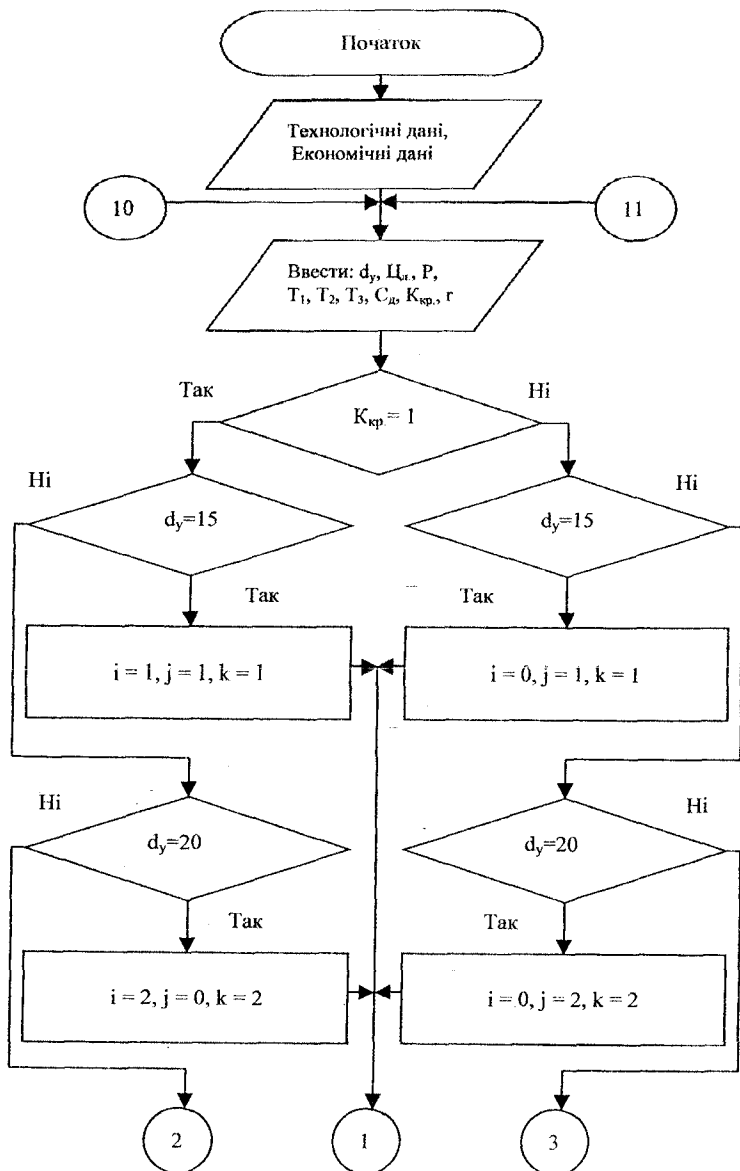
1. Задатись кількісним значенням частинних критеріїв ПКР: $\Pi_{\text{ЗОВ}}, t_{\text{ш}}, r, T_1, T_2, T_3, D_y, V_{\text{пов.}}, P, C_d$.
2. Визначити спосіб монтажу ЗОВ на трубопроводі.
3. Розрахувати зарплату слюсаря-ремонтника Z_1 за складання водолічильного вузла за формулою (2.53).
4. Визначити затрати на матеріали та комплектуючі для виготовлення вузла $C_{\text{в.мат.}}$ за формулою (2.52).
5. Розрахувати зарплату слюсаря-ремонтника та електрогазоварювальника Z_2 , що виконують монтаж водолічильного вузла за формулою (2.58).
6. Визначити затрати на матеріали для монтажу вузла $C_{\text{м.мат.}}$ за формулою (2.57).
7. Розрахувати зарплату фахівця Z_3 , що веде контроль за показниками ЗОВ, за формулою (2.62).
8. Розрахувати зарплату слюсаря-ремонтника Z_4 за зняття та встановлення ЗОВ на трубопроводі за формулою (2.66).
9. Розрахувати зарплату слюсаря КВП Z_5 за перевірку ЗОВ за формулою (2.68).
10. Розрахувати середню кількість ремонтів на рік N_p ЗОВ, використовуючи формулу (2.72).
11. Визначити коефіцієнт додаткових виробничих нарахувань K_1 за формулою (2.54).
12. Розрахувати коефіцієнт затрат на ремонт K_p за формулою (2.70).
13. Підставити результати розрахунків, отримані в пунктах 3-12 цього алгоритму у формулу (2.75). Провести обчислення та отримати значення ПКР ЗОВ, що розглядається.

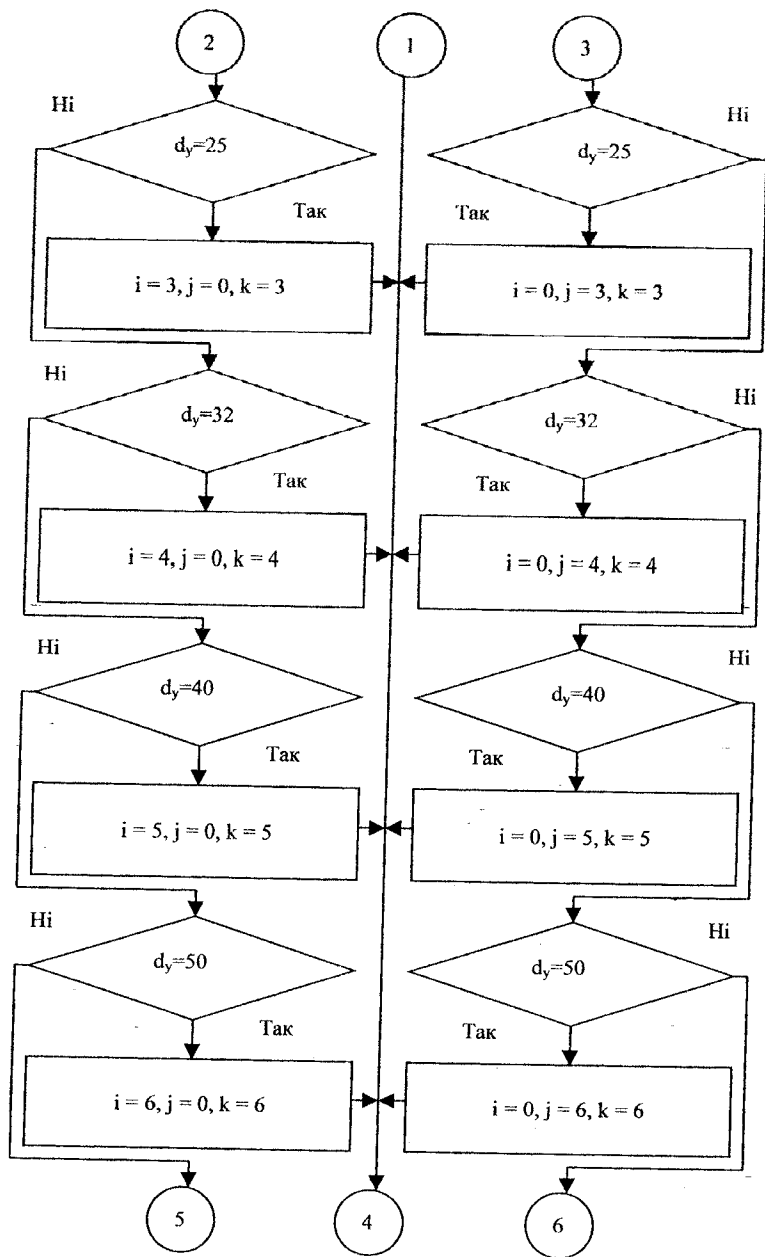
Блок-схема алгоритму розрахунку плати за корисність ЗОВ

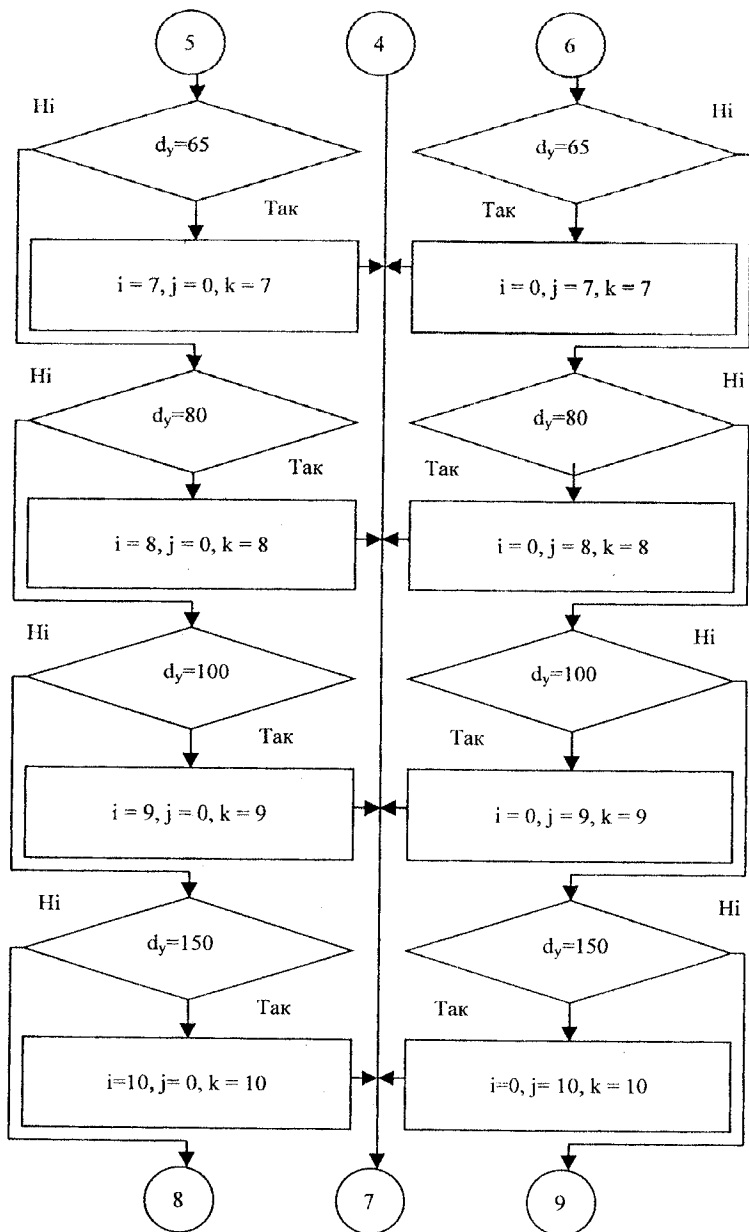
Вихідні дані

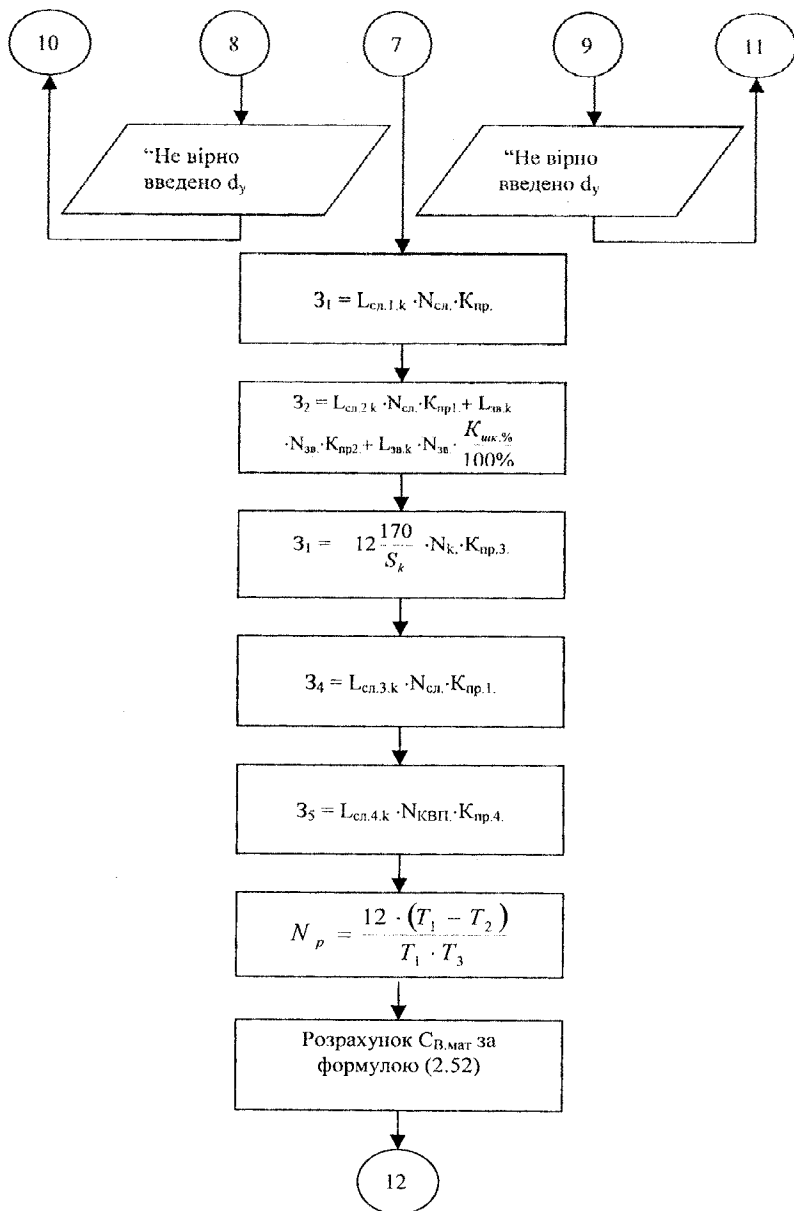
Технологічні дані: $V_{\text{пов.к}}, L_{\text{сл.1.к}}, L_{\text{сл.2.к}}, L_{\text{зв.к}}, L_{\text{сл.3.к}}, L_{\text{сл.4.к}}, G_{\text{тр.к}}, R_{\text{к.в.к}}, R_{\text{к.м.к}}, G_{\text{к.в.к}}, G_{\text{к.м.к}}, k=1-10, N_{\text{сл.}}, N_{\text{зв.}}, N_{\text{КВП}}, N_{\text{к.}}, S_{\text{к.}}$.

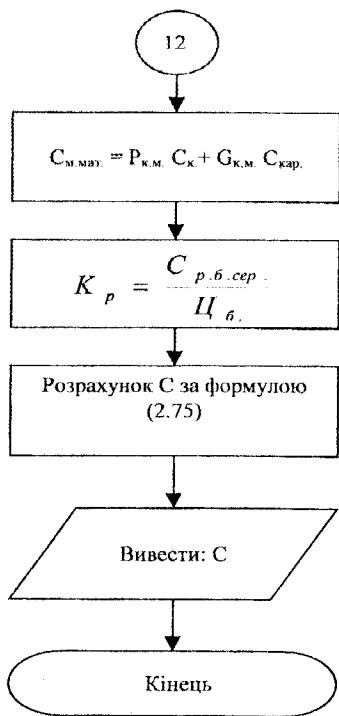
Економічні дані: $C_{\text{зв.і}}, C_{\text{муф.і}}, C_{\text{к.г.і}}, C_{\text{вен.і}}, i=0-10, C_{\text{кот.ј}}, C_{\text{пр.ј}}, C_{\text{фл.ј}}, C_{\text{зас.ј}}, G_{\text{б.ј}}, G_{\text{г.ј}}, G_{\text{ш.ј}}, j=0-10, C_{\text{б.}}, C_{\text{г.}}, C_{\text{ш.}}, C_{\text{к.}}, C_{\text{кар.}}, C_{\text{вод.}}, C_{\text{ст.}}, \Pi_{\text{пов.}}, \Pi_{\text{сл.}}, K_{\text{пр.1}}, K_{\text{пр.2}}, K_{\text{пр.3}}, K_{\text{пр.4}}, K_{\text{зар.}}, K_{\text{н\%}}, K_2, K_3, C_{\text{р.ср.}}, \Pi_{\text{б.}}$.











РОЗДІЛ 3

ОЦІНЮВАННЯ ЯКІСНИХ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТА ЕРГОНОМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАСОБІВ ОБЛІКУ ВОДОСПОЖИВАННЯ НЕМЕТРИЧНИМИ КРИТЕРІЯМИ

3.1. Метод нечітких парних порівнянь

Серед важливих характеристик ЗОВ, котрі необхідно було б віднести до категорії частинних критеріїв корисності, є такі, котрі виражаються лише в якісній формі. Дедуктивна логіка методу функції корисності їх врахувати не може. До таких частинних критеріїв відносять естетичні та мнемонічні якості ЗОВ, інші функціональні та технологічні характеристики, що відображаються на якості їх функціонування. Останні можна характеризувати як стійкість оцінюваних приладів до випадкових збурюючих чинників. Для їх врахування можна було б скористатися методами, запропонованими в [37]. Тобто вибрати з них найважливіші, визначити їх як цілі і спробувати надати їм кількісні значення за допомогою експертних оцінок. Потім внести ці кількісні значення у вигляді співмножників у функцію корисності, надавши їм відповідного вигляду. Решту чинників віднести до категорії обмежень. Недоцільність цих операцій було показано в першому розділі.

Для розгляду якісних характеристик ЗОВ, котрі не враховані в групових критеріях КР та ПКР сформуємо дві множини частинних критеріїв оцінювання за характерними ознаками: функціональні – частинні критерії, що характеризують ефективність функціонування ЗОВ в СВП; ергономічні – характеризують зручність експлуатації ЗОВ в СВП. Сформуємо на їх основі два групових критерії оцінки: стійкість роботи до збурень (зовнішніх та внутрішніх); зручність контролю водного потоку.

Для кількісного розрахунку цих групових критеріїв скористасмося нечіткою логікою, зокрема методом нечітких парних порівнянь (НПП) Сааті з застосуванням абсолютних оцінок рівнів.

Розв'язування задач багатокритеріального оцінювання за допомогою нечіткої логіки передбачає наявність: множини варіантів; множини цілей; множини обмежень, котрі необхідно враховувати при оцінюванні різних варіантів; функції переваги, котра ставить кожному варіанту у відповідність недолік, чи перевагу, які будуть отримані в результаті оцінювання.

Якщо $S = \{s\}$ – множина варіантів, то нечітка ціль C , чи обмеження R , буде ототожнюватись з фіксованою нечіткою

множиною $C(R)$ на S . В [53] це показано на прикладі геометричних задач. Якщо $S = X$ – дійсна пряма, а нечітка ціль формулюється як “ S_1 повинно бути значно більше 10”, то її можна представити як нечітку множину X з деякою ФН $\mu_C(S_1)$. Аналогічно цілі “ S_2 має бути десь коло 15” можна поставити у відповідність нечіткі множини з функцією належності $\mu_C(S_2)$. Подібним чином нечітке обмеження R в просторі X , що може звучати як “ S_3 повинно знаходитись в інтервалі 2 – 10” знову ж таки можна представити нечіткою множиною з деякою функцією належності (ФН) $\mu_C(S_3)$.

Важливою особливістю тут є те, що як цілі, так і обмеження розглядаються як нечіткі множини у просторі варіантів. Це дає можливість не робити між ними різниці при формуванні рішення. При цьому саме нечітке рішення визначають як нечітку множину в просторі варіантів, що отримується в результаті перетину заданих нечітких цілей та обмежень. Якщо є нечітка ціль C і нечітке обмеження R , що задані на множині варіантів S , то рішенням є нечітка множина D , котру визначають перетином цілі C і обмеження R : $D = C \cap R$ (рисунок 3.1). Відповідно $\mu_D = \mu_C \cap \mu_R$.

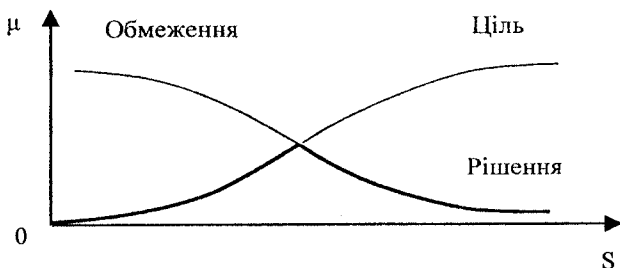


Рис. 3.1. Прийняття рішення на основі перетину цілі та обмеження

Якщо є n цілей і m обмежень, то інтегральне рішення визначають перетином всіх заданих цілей і обмежень, тобто

$$D = C_1 \cap C_2 \dots \cap C_n \cap R_1 \cap R_2 \cap \dots \cap R_m. \quad (3.1)$$

Відповідно

$$\mu_D = \mu_{C_1} \cap \mu_{C_2} \cap \dots \cap \mu_{C_n} \cap \mu_{R_1} \cap \mu_{R_2} \cap \dots \cap \mu_{R_m}. \quad (3.2)$$

В інтегральну множину D і цілі C і обмеження R входять однаковим чином. Це дає підстави не виділяти їх окремо, а розглядати як єдину множину неметричних критеріїв.

Вважаємо відомими множину варіантів ЗОВ $S = \{S_1, S_2, \dots, S_n\}$, котрі підлягають оцінюванню (ранжуванню); та множину неметричних критеріїв $C = \{C_1, C_2, \dots, C_m\}$, за якими проводиться

оцінювання (ранжування). Задача полягає в тому, щоб упорядкувати елементи множини S за критеріями множини C . Для розв'язку цієї задачі пропонується використання таких принципів:

1. Розгляд критеріїв як нечітких множин, котрі задані на універсальних множинах варіантів за допомогою функцій належності.
2. Визначення функцій належності нечітких множин на основі лінгвістичної інформації про парні порівняння варіантів за допомогою 9-ти бальної шкали Сааті.
3. Ранжування варіантів на основі перетину нечітких множин-критеріїв, котрі відповідають відомому в теорії прийняття рішень принципу Беллмана-Заде.
4. Ранжування критеріїв методом НПП і врахування отриманих рангів як ступенів концентрації відповідних функцій належності.

Лінгвістичну інформацію про переваги одних варіантів $S_i \in S$ над іншими з точки зору критерію $C_l \in C$ задають у вигляді матриці парних порівнянь. Ця матриця вперше запропонована Сааті [54]. Загальна кількість таких матриць співпадає з кількістю критеріїв і дорівнює m . Матриця має вигляд

$$A(C_l) = \begin{matrix} & S_1 & S_2 & \dots & S_n \\ \begin{matrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_n \end{matrix} & \begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} & \dots & a'_{1n} \\ a'_{21} & a'_{22} & \dots & a'_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a'_{n1} & a'_{n2} & \dots & a'_{nn} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (3.3)$$

де елементу a'_{ij} – присвоюється значення за 9-ти бальною шкалою Сааті [55]:

1 – якщо відсутня перевага варіанту S_j над варіантом S_i за критерієм C_l . Тобто обидва обидва варіанти є рівноцінними;

3 – якщо є слабка перевага S_j над S_i . Тобто існують міркування на користь такої переваги, але вони недостатньо переконливі;

5 – якщо є суттєва перевага S_j над S_i . Тобто є надійні дані та логічні міркування для того, щоб показати цю перевагу;

7 – якщо є явна перевага S_j над S_i . Тобто є переконливі свідчення на користь такої переваги;

9 – якщо є абсолютна перевага S_j над S_i . Тобто свідчення на користь такої переваги у вищій мірі переконливі;

2, 4, 6, 8 – проміжні оцінки між двома сусідніми висловлюваннями;

0 – варіанти неможливо порівнювати.

Матриці дозволяють з використанням методу Сааті проранжувати кожний варіант $S_i \in S$ за кожним критерієм $C_l \in C$. Для обчислення рангів у відповідності з методикою, вперше запропонованою в [66], знаходять власний вектор матриці (3.3). Для отримання перших наближених характеристик рангів користуються процедурою, запропонованою в [58], котра передбачає, що матриця (3.3) має такі властивості:

- вона діагональна, тобто $a_{ij}^l = 1, i = \overline{1, n}$; оскільки ЗОВ не може мати переваги над самим собою;
- елементи, котрі симетричні відносно головної діагоналі пов'язані залежністю: $a_{ij}^l = \frac{1}{a_{ji}^l}$;
- вона транзитивна, тобто: $a_{ik}^l \cdot a_{kj}^l = a_{ij}^l$. (3.4)

Наявність таких властивостей дозволяє визначити всі елементи матриці (3.3) за елементами одного з рядків. Якщо відомим є k -тий рядок, тобто елементи a_{kj}^l , то довільний елемент a_{ij}^l визначається за формулою

$$a_{ij}^l = \frac{a_{kj}^l}{a_{ki}^l}, i, j, k = \overline{1, n}; l = \overline{1, m}, \quad (3.5)$$

що говорить про спроможність матриці НПП. Проте матриця може виявитися і неспроможною, оскільки людські судження не підвладні ніякій точній формулі. Оскільки судження не завжди спроможні, то вони можуть бути і нетранзитивними, тобто, якщо порівняльна важливість варіанту S_1 є більшою від важливості варіанту S_2 , а порівняльна важливість S_2 є більшою від важливості варіанту S_3 , то не виключено, що варіант S_3 буде оцінений як більш важливий у порівнянні з S_1 .

Для формування нечіткої множини оцінок обчислюють ступені належності кожного варіанту за кожним критерієм згідно формули, запропонованої в [56]

$$\mu^l(S_i) = \frac{1}{a_{i,1}^l + a_{i,2}^l + \dots + a_{i,m}^l}. \quad (3.6)$$

Критерії множини C представляють у вигляді нечітких множин \bar{C}_l , котрі задані на універсальній множині S таким чином:

$$\bar{C}_l = \left\{ \frac{\mu^l(S_1)}{S_1}, \frac{\mu^l(S_2)}{S_2}, \dots, \frac{\mu^l(S_n)}{S_n} \right\};$$

$$C_2 = \left\{ \frac{\mu^2(S_1)}{S_1}, \frac{\mu^2(S_2)}{S_2}, \dots, \frac{\mu^2(S_n)}{S_n} \right\};$$

$$C_m = \left\{ \frac{\mu^m(S_1)}{S_1}, \frac{\mu^m(S_2)}{S_2}, \dots, \frac{\mu^m(S_n)}{S_n} \right\}. \quad (3.7)$$

В цих множинах кращому варіанту ЗОВ $S_i \in S$ за критерієм $C_l \in C$ відповідає більше значення СН $\mu^l(S_i)$. Це є розв'язком задачі оцінювання (ранжування) за частинними критеріями.

Базуючись на принципі Беллмана-Заде [56, 57], найкращим варіантом за груповим критерієм вважають той варіант, котрий одночасно є кращим за частинними критеріями C_1, C_2, \dots, C_m . Нечітку множину, необхідну для оцінювання варіантів за груповим критерієм визначають у вигляді перетину нечітких множин за частинними критеріями. В теорії нечітких множин операція перетину відповідає мініальному значенню елементу

$$D = \left\{ \frac{\min_{l=1,m} [\mu^l(S_1)]}{S_1}, \frac{\min_{l=1,m} [\mu^l(S_2)]}{S_2}, \dots, \frac{\min_{l=1,m} [\mu^l(S_n)]}{S_n} \right\}. \quad (3.8)$$

Згідно з отриманою множиною D , найкращим варіантом є той, для котрого ступінь належності (чисельник) є більшим.

3.2. Ранжування засобів обліку водоспоживання за функціональними неметричними критеріями

Тривалі спостереження за роботою ЗОВ в СВП м. Вінниці та за видами виконуваних ремонтних робіт у водолічильній лабораторії ВОВКП ВКГ "Вінницяводоканал", що проводились авторами цієї роботи в період з 1996 по 2003 роки свідчать, що результати дедуктивного дослідження функції корисності не охопили всіх факторів, котрі впливають на якість функціонування ЗОВ в СВП. Головним чином через те, що ці фактори не виражаються кількісно. Проте важливість їх впливу на результати експлуатації ЗОВ не викликає сумніву.

Під час процесу вимірювання, проявляються випадкові збурюючі фактори як всередині системи ЗОВ-вода-трубопровід, та і ззовні. Ці фактори здатні як знижувати метрологічні характеристики ЗОВ, так і призводити до його відмови. При цьому різні збурюючі фактори не однаково впливають на ЗОВ з різними принциповими схемами вимірювання та конструктивними особливостями. Існують типи ЗОВ стійкіші до одних збурюючих факторів і менш стійкі до

інших. В свою чергу існують фактори, що істотно впливають на одні типи ЗОВ і не спричиняють помітного впливу на інші.

Оцінимо збурюючі фактори неметричними частинними критеріями, об'єднаними в один груповий критерій. Назвемо його: "Стійкістю роботи ЗОВ до зовнішніх та внутрішніх збурень" (СЗБ). За основу оцінювання приймемо датчик ЗОВ.

3.2.1. Збурюючі фактори

Вода у трубопроводах СВП часто включає в себе механічні домішки. Це і пісок, захоплений водою під час проходження через фільтри, і окалина, що утворюється на стінках металевих труб та підхоплюється потоком води, бруд, що може потрапити до трубопроводу під час проведення ремонтних робіт та повністю не видалитися під час промивки мережі тощо. Деякі ЗОВ, головним чином тахометричні, для захисту робочих частин від цих механічних домішок, обладнані захисними сітками. Затримуючись на них, домішки створюють перешкоди потоку води, що призводить до падіння напору після ЗОВ.

Згадані домішки можуть спричинити і відмову ЗОВ. Наприклад дрібна окалина чи пісок, попадаючи в зазор між крильчаткою (чи турбінкою) та стінкою робочої камери тахометричного ЗОВ, може призвести до заклинення перших і зупинки приладу.

Ті ж домішки, проходячи через робочу камеру ультразвукового ЗОВ, здатні впливати на швидкість проходження ультразвуку й збільшувати похибку вимірювання. Попадаючи в зазор між магнітними півмуфтами тахометричного ЗОВ з магнітною передачею (кінематичним зв'язком між крильчаткою, чи турбінкою і обчислювальним механізмом приладу за допомогою магнітної муфти), вони здатні на деякий час виводити півмуфти з зачеплення, також збільшуючи похибку вимірювання.

Неоднорідність водного середовища доповнюється наявністю газоподібних бульбашок. Найменш стійкими до них є ультразвукові ЗОВ, оскільки концентрація цих бульбашок теж впливає на швидкість проходження ультразвуку.

Коливання тиску та температури води в трубопроводах СВП, що згідно ГОСТ 2874-82 для мереж холодного водопостачання допускаються відповідно до 1.0 МПа та від +50⁰ С до +40⁰ С, також впливають на швидкість ультразвуку.

В ультразвукових ЗОВ витрата води завжди визначається різницею часу поширення ультразвукової хвилі за потоком та проти нього [20]

$$\Delta\tau = \frac{2L_0}{c^2} \cdot \frac{V}{1 - \left(\frac{V}{c}\right)^2}, \quad (3.9)$$

де L_0 – довжина шляху проходження ультразвуку;

C – швидкість поширення ультразвуку в середовищі;

V – швидкість потоку.

Швидкість звуку у воді при 5°C – 1426.5 м / с; при 40°C – 1529 м / с. При зміні температури води в цих межах, відхилення результату вимірювання визначиться

$$\Delta(\Delta\tau) = \frac{2L_0V}{(c_1^2 - V^2)} - \frac{2L_0V}{(c_2^2 - V^2)}, \quad (3.10)$$

де $\Delta(\Delta\tau)$ – абсолютна похибка вимірювання величини $\Delta\tau$;

C_1, C_2 – швидкість ультразвуку у воді при температурі 40°C та 45°C відповідно.

Після ряду перетворень одержуємо

$$\delta(\Delta\tau) = \frac{c_2^2 - c_1^2}{c_2^2 - V^2} \cdot 100\% , \quad (3.11)$$

де $\delta(\Delta\tau)$ – відносна похибка вимірювання величини $\Delta\tau$;

$\delta(\Delta\tau) = \Delta(\Delta\tau) / \Delta\tau$, і, враховуючи, що $C \gg V$ тобто $C_2^2 - V^2 \approx C_2^2$, підставляючи числові значення швидкості ультразвуку в середовищі

$$\delta_1(\Delta\tau) = \frac{1426^2 - 1529^2}{1426^2} \cdot 100\% = 14,96 \approx 15\% .$$

Тобто похибка вимірювання складе $\pm 7.5\%$ (з урахуванням градування приладу при 20°C).

Зміна тиску в значній мірі впливає на розчинність газу (повітря) у воді, що описується рівнянням

$$\frac{W_r}{W_p} = K \frac{P_2}{P_1}, \quad (3.12)$$

де W_r, W_p – об'єм відповідно газу та рідини;

K – коефіцієнт розчинності ($K = 1.6$);

P_1, P_2 – початкове та кінцеве значення тиску.

В таблиці 3.1 наведено дані, що характеризують кількість розчиненого у воді повітря, розраховані за формулою (3.12).

Таблиця 3.1

Кількість розчиненого у воді повітря

P кг/см	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$W_r/W_p \cdot 100\%$	1,6	3,2	4,8	6,4	8	9,6	11,2	12,8	14,4	1,6

Швидкість поширення ультразвуку в водному середовищі з бульбашками повітря визначиться формулою

$$C_{\phi} \phi = \frac{C_0}{1 + 7,05 \cdot 10^{-7} \cdot K \cdot C_0}, \quad (3.13)$$

де C_{ϕ} , C_0 – швидкість поширення ультразвукової хвилі відповідно у водоповітряному середовищі та в чистій воді;

K – об'ємна концентрація повітряних бульбашок.

При зміні тиску від 10 до 1 атмосфери (1.0 МПа), C_{ϕ} змінюється від $0.987 C_0$ до $0.899 C_0$ і похибка вимірювання складе

$$\delta_2(\Delta\tau) = \pm 20,4\%. \quad (3.14)$$

Хоча коливання цих параметрів і можуть бути компенсовані датчиками зворотного зв'язку, проте досягти повної компенсації не вдається. Крім того, теплові деформації робочих частин ЗОВ здатні в різному ступені впливати на результати роботи всіх типів цих приладів.

Колівання в'язкості води впливає не лише на швидкість проходження ультразвуку, але й на величину ковзання в тахометричних турбінках [19].

Жоден трубопровід не захищений у повній мірі від вихрових струмів. Що до них та електрохімічних процесів у воді, найменш стійкі електромагнітні ЗОВ [22].

Під час раптових (аварійних) зупинок нагнітаючих насосів, в трубопроводі виникають гідравлічні удари, коли тиск миттєво зростає в десятки разів. Електромагнітний, ультразвуковий чи ЗОВ змінного перепаду тиску зі своїми герметичними корпусами та відсутністю рухомих частин є стійкішими до таких ударних навантажень ніж тахометричні, крильчатка чи турбінка котрих (а також утримуючі їх підшипники та механічні передачі) швидко розбиваються.

Під час виникнення кавітаційних явищ в потоці води, практично всі типи ЗОВ втрачають здатність до вимірювання, або й зовсім виходять з ладу. Кавітація – це утворення порожнин (розривів) всередині води під впливом місцевих різких знижень тиску. Вона виникає при поширенні у воді ультразвукових хвиль, при значних місцевих швидкостях. Коли порожнини захоплюються, місцевий тиск зростає до сотень атмосфер і спричиняє руйнування поверхні стінок трубопроводу та корпусу ЗОВ. Такі типи ЗОВ як ультразвукові, змінного перепаду тиску (де вода проходить через звукуючі пристрої зі значною швидкістю) за деяких умов самі можуть спричинити виникнення кавітації. Наприклад в ультразвукових ЗОВ кавітація, як явище, впливає на швидкість поширення акустичної хвилі через збільшення концентрації повітряних та парових бульбашок в

середньому на 10% . Тиск у цих бульбашках значно нижче від атмосферного, тому швидкість поширення ультразвукових хвиль знижується приблизно в три та більше разів. Таким чином, похибка вимірювання може досягнути величини

$$\delta_3(\Delta\tau) = \left(1 - \frac{C_2^2}{C_1^2}\right) \cdot 100\% = \left(1 - \frac{1200^2}{400^2}\right) \cdot 100 = 800\% . \quad (3.15)$$

Така похибка вимірювання є неприпустимою, отже за таких умов ЗОВ не можна розглядати як такий, що перебуває в робочому стані.

За певних умов гаряча вода з мережі гарячого водопостачання (наприклад через побутові змішувачі води), або навіть теплоносій з мережі теплопостачання (наприклад в центральних теплових пунктах під час проіржавлення бойлеру) може потрапити до трубопроводу холодної води. При цьому деякі ЗОВ (холодної води) знижують свої метрологічні характеристики, а деякі (в основному ті, що мають пластмасові робочі частини) при достатньо високій температурі можуть навіть вийти з ладу (порушиться герметичність робочих камер, деформуються робочі частини тощо).

3.2.2. Функціональні неметричні частинні критерії оцінювання засобів обліку водоспоживання

Формусмо таку множину функціональних частинних неметричних критеріїв оцінювання ЗОВ – критеріїв СЗБ:

$C_1^{СЗБ}$ - стійкість конструкції ЗОВ до забивання механічними домішками у воді;

$C_2^{СЗБ}$ - стійкість конструкції ЗОВ до відмов (виходу з ладу), викликаних механічними домішками у воді;

$C_3^{СЗБ}$ - стійкість робочих характеристик ЗОВ (точності, пропускної спроможності, втрати тиску тощо) до впливу механічних домішок у воді;

$C_4^{СЗБ}$ - стійкість робочих характеристик ЗОВ до виникнення та впливу газоподібних бульбашок у воді;

$C_5^{СЗБ}$ - стійкість робочих характеристик ЗОВ до впливу коливань тиску води в трубопроводі;

$C_6^{СЗБ}$ - стійкість робочих характеристик ЗОВ до впливу коливань в'язкості води;

$C_7^{СЗБ}$ - стійкість робочих характеристик ЗОВ до впливу коливань температури води;

$C_8^{CЗБ}$ - стійкість робочих характеристик ЗОВ до впливу вихрових струмів у трубопроводі;

$C_9^{CЗБ}$ - стійкість робочих характеристик ЗОВ до виникнення та впливу електрохімічних процесів у воді;

$C_{10}^{CЗБ}$ - стійкість конструкції ЗОВ до механічних пошкоджень;

$C_{11}^{CЗБ}$ - стійкість конструкції ЗОВ до виникнення кавітаційних явищ під час роботи;

$C_{12}^{CЗБ}$ - стійкість конструкції ЗОВ до підвищеної температури води (для ЗОВ холодної води).

На сьогоднішній день зі всього різноманіття принципових конструкцій засобів обліку рідини в якості ЗОВ для СВП використовується лише невелика частина. Найбільш розповсюдженими є тахометричні ЗОВ. Принцип дії всіх їх різновидів схожий. Чутливим елементом є аксіальна або тангенціальна турбінка, що обертається під дією потоку води. Число її обертів пропорційно швидкості потоку. При кожному оберті пропускається визначений об'єм води. Оцінювання цього об'єму проводиться шляхом підрахунку кількості обертів турбінки. Це забезпечується лічильним механізмом, який кінематично зв'язаний з віссю турбінки. За видом турбінки тахометричні ЗОВ діляться на тангенціальні і аксіальні. За способом підведення води до турбінки тангенціальні ЗОВ діляться на однострумні (вода підводиться по одному прямому каналу на лопаті) і багатострумні (корпус виконано так, що в ньому є два ряди рівномірно розподілених по колу сопл, через нижній ряд сопл вода подається в камеру обертання зі всіх боків тангенціально лопатям, а через верхній ряд відводиться з камери). Однострумні ЗОВ простіші за конструкцією, проте вони менш надійні через одностороннє зношення опор турбінки. Цей факт опосередковано врахований в показниках надійності групового критерію корисності.

За видом кінематичного зв'язку турбінки з лічильним механізмом ЗОВ, як тангенціальні, так і аксіальні, бувають з осьовою передачею та з магнітною муфтою. Ця конструктивна особливість раніше не була врахована. Для оцінки впливу збурюючих факторів доцільно всі тахометричні ЗОВ звести до двох груп: з осьовою передачею і з магнітною передачею.

Різновиди ультразвукових ЗОВ схожі за своєю конструкцією. Робота всіх їх базується на ефектах, що виникають при проходженні через потік води звукових коливань високої частоти і відрізняються траєкторією проходження цих коливань. Очевидно, що перераховані

збурюючі фактори спричиняють однаковий вплив на всі різновиди ультразвукових ЗОВ.

Принцип дії електромагнітних ЗОВ ґрунтується на законі електромагнітної індукції, згідно котрому в воді (як провіднику), що перетинає магнітні силові лінії, індукується ЕРС, пропорційна швидкості її руху. Електропровідність питної води дозволяє розглядати її в цьому випадку як провідник. Головним недоліком всіх різновидів електромагнітних ЗОВ є виникнення на електродах гальванічної електрорушійної сили (ЕРС) і ЕРС поляризації, котрі з часом зменшують корисну ЕРС і призводять до значних похибок вимірювання. Всі перераховані вище збурюючі фактори також однаково впливатимуть на всі різновиди електромагнітних ЗОВ.

Принцип дії ЗОВ змінного перепаду тиску такий. При проходженні води через отвір звужуючого пристрою збільшується швидкість потоку в порівнянні з його швидкістю до звуження. Внаслідок цього тиск на виході зі звужуючого пристрою знижується і на пристрої створюється перепад тиску, котрий залежить від швидкості потоку в отворі. Конструктивні різновиди цих ЗОВ визначаються геометрією самого звуження і однаково реагують на перераховані збурюючі фактори.

Для оцінювання впливу функціональних збурюючих факторів всю різноманітність ЗОВ, що використовуються сьогодні, зводимо до такої множини варіантів:

- $S_1^{CЗБ}$ - тахометричні з осьюовою передачею;
- $S_2^{CЗБ}$ - тахометричні з магнітною передачею;
- $S_3^{CЗБ}$ - звужуючі пристрої (без застійних зон);
- $S_4^{CЗБ}$ - ультразвукові;
- $S_5^{CЗБ}$ - електромагнітні.

3.2.3. Ранжування за частинними критеріями стійкості до збурень

Для оцінювання (ранжування) скористаємося методом НПП Сааті. Лінгвістичні порівняння сформовані на основі опитування працівників водолічильної лабораторії та фахівців відділу збуту послуг ВОВКП ВКГ "Вінницяводоканал".

Для зручності вводимо такі умовні позначення:

- | | | | |
|----------------------|---------------------------|-----------------|-----------------------------|
| \equiv | - відсутня перевага; | \geq | - суттєва перевага; |
| $\rightarrow\equiv$ | - майже слабка перевага; | $\rightarrow>$ | - майже явна перевага; |
| $\equiv>$ | - слабка перевага; | $>$ | - явна перевага; |
| $\rightarrow>\equiv$ | - майже суттєва перевага; | $\rightarrow>>$ | - майже абсолютна перевага; |

>> – абсолютна перевага.

Для ЗОВ, досвід роботи котрих незначний, як то електромагнітні, ультразвукові, використаємо апріорну інформацію, сформовану на основі досвіду експлуатації широко розповсюджених на сьогоднішній день ЗОВ в СВП. Ці порівняння сформульовано так:

$$\begin{aligned}
 C_1^{CЗБ} : S_3^{CЗБ}, S_4^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} &>> S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}; S_2^{CЗБ} \Rightarrow S_1^{CЗБ}; S_3^{CЗБ} \equiv \\
 S_4^{CЗБ} &\equiv S_5^{CЗБ}; \\
 C_2^{CЗБ} : S_3^{CЗБ}, S_4^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} &> S_2^{CЗБ}; S_3^{CЗБ}, S_4^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} \geq S_1^{CЗБ}; S_1^{CЗБ} \\
 \Rightarrow S_2^{CЗБ}; S_3^{CЗБ} &\equiv S_4^{CЗБ} \equiv S_5^{CЗБ}; \\
 C_3^{CЗБ} : S_3^{CЗБ} &> S_4^{CЗБ}; S_3^{CЗБ} \rightarrow \rightarrow S_5^{CЗБ}; S_3^{CЗБ} \geq S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}; S_1^{CЗБ}, \\
 S_2^{CЗБ} &\Rightarrow S_4^{CЗБ}; S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ} \rightarrow \Rightarrow S_5^{CЗБ}; S_5^{CЗБ} \rightarrow \Rightarrow S_4^{CЗБ}; S_1^{CЗБ} \equiv S_2^{CЗБ}; \\
 C_4^{CЗБ} : S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}, S_3^{CЗБ} &> S_4^{CЗБ}; S_5^{CЗБ} \rightarrow \Rightarrow S_4^{CЗБ}; S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}, \\
 S_3^{CЗБ} &\rightarrow \Rightarrow S_5^{CЗБ}; S_1^{CЗБ} \equiv S_2^{CЗБ} \equiv S_3^{CЗБ}; \\
 C_5^{CЗБ} : S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} &> S_4^{CЗБ}; S_3^{CЗБ} \rightarrow \Rightarrow S_4^{CЗБ}; S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}, \\
 S_5^{CЗБ} &\rightarrow \Rightarrow S_3^{CЗБ}; S_1^{CЗБ} \equiv S_2^{CЗБ} \equiv S_5^{CЗБ}; \\
 C_6^{CЗБ} : S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}, S_3^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} &\rightarrow \Rightarrow S_4^{CЗБ}; S_1^{CЗБ} \equiv S_2^{CЗБ} \equiv S_3^{CЗБ} \equiv \\
 S_5^{CЗБ}; \\
 C_7^{CЗБ} : S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ} &\geq S_4^{CЗБ}; S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ} \Rightarrow S_3^{CЗБ}, S_5^{CЗБ}; S_3^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} \\
 \Rightarrow S_4^{CЗБ}; S_1^{CЗБ} &\equiv S_2^{CЗБ}; S_3^{CЗБ} \equiv S_5^{CЗБ}; \\
 C_8^{CЗБ} : S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}, S_3^{CЗБ}, S_4^{CЗБ} &\Rightarrow S_5^{CЗБ}; S_1^{CЗБ} \equiv S_2^{CЗБ} \equiv S_3^{CЗБ} \equiv \\
 S_4^{CЗБ}; \\
 C_9^{CЗБ} : S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}, S_3^{CЗБ}, S_4^{CЗБ} &\geq S_5^{CЗБ}; S_1^{CЗБ} \equiv S_2^{CЗБ} \equiv S_3^{CЗБ} \equiv \\
 S_4^{CЗБ}; \\
 C_{10}^{CЗБ} : S_3^{CЗБ}, S_4^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} &\rightarrow S_1^{CЗБ}; S_3^{CЗБ}, S_4^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} \geq S_2^{CЗБ}; \\
 S_2^{CЗБ} &\rightarrow \Rightarrow S_1^{CЗБ}; S_3^{CЗБ} \equiv S_4^{CЗБ} \equiv S_5^{CЗБ}; \\
 C_{11}^{CЗБ} : S_4^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} &\geq S_3^{CЗБ}; S_4^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} \Rightarrow S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}; S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ} \\
 \Rightarrow S_3^{CЗБ}; S_1^{CЗБ} &\equiv S_2^{CЗБ}; S_4^{CЗБ} \equiv S_5^{CЗБ}; \\
 C_{12}^{CЗБ} : S_3^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} &> S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}; S_4^{CЗБ} \geq S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}; S_3^{CЗБ}, S_5^{CЗБ} \\
 \Rightarrow S_4^{CЗБ}; S_1^{CЗБ} &\equiv S_2^{CЗБ}; S_3^{CЗБ} \equiv S_5^{CЗБ}.
 \end{aligned}$$

Користуючись 9-ти бальною шкалою Сааті [55], складаємо матриці парних порівнянь (формула (3.3)).

$$A(C_9) = \begin{matrix} & S_1^{C3B} & S_2^{C3B} & S_3^{C3B} & S_4^{C3B} & S_5^{C3B} \\ S_1^{C3B} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 5 & 5 & 5 & 5 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad A(C_{10}) = \begin{matrix} & S_1^{C3B} & S_2^{C3B} & S_3^{C3B} & S_4^{C3B} & S_5^{C3B} \\ S_1^{C3B} & \begin{bmatrix} 1 & 2 & 6 & 6 & 6 \\ 1 & 2 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 6 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 6 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 6 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A(C_{11}) = \begin{matrix} & S_1^{C3B} & S_2^{C3B} & S_3^{C3B} & S_4^{C3B} & S_5^{C3B} \\ S_1^{C3B} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 1 & 1 & 1 & 3 & 3 \\ 3 & 3 & 1 & 5 & 5 \\ 1 & 3 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 3 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad A(C_{12}) = \begin{matrix} & S_1^{C3B} & S_2^{C3B} & S_3^{C3B} & S_4^{C3B} & S_5^{C3B} \\ S_1^{C3B} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 7 & 5 & 7 \\ 1 & 1 & 7 & 5 & 7 \\ 1 & 7 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 5 & 1 & 3 & 3 \\ 1 & 7 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Обчислюємо СН кожного варіанту засобу обліку водоспоживання за кожним критерієм згідно формули (3.6):

$$\mu^1(S_1^{C3B}) = \frac{1}{1+3+9+9+9} = 0.032$$

$$\mu^1(S_2^{C3B}) = \frac{1}{3+1+9+9+9} = 0.035$$

$$\mu^1(S_3^{C3B}) = \frac{1}{9+1+9+1+1+1} = 0.310$$

$$\mu^1(S_4^{C3B}) = \frac{1}{9+1+9+1+1+1} = 0.310$$

$$\mu^1(S_5^{C3B}) = \frac{1}{9+1+9+1+1+1} = 0.310$$

Для решти одинадцяти частинних неметричних критеріїв СЗБ ступені належності $\mu^1(S_i^{C3B})$ наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

Ступені належності варіантів ЗОВ за критеріями СЗБ

Ступені належності	$S_1^{CЗБ}$	$S_2^{CЗБ}$	$S_3^{CЗБ}$	$S_4^{CЗБ}$	$S_5^{CЗБ}$
$\mu^1(S_1^{CЗБ})$	0.032	0.035	0.310	0.310	0.310
$\mu^2(S_1^{CЗБ})$	0.053	0.045	0.229	0.229	0.229
$\mu^3(S_1^{CЗБ})$	0.128	0.128	0.585	0.063	0.087
$\mu^4(S_1^{CЗБ})$	0.270	0.270	0.270	0.050	0.138
$\mu^5(S_1^{CЗБ})$	0.270	0.270	0.138	0.050	0.270
$\mu^6(S_1^{CЗБ})$	0.235	0.235	0.235	0.059	0.235
$\mu^7(S_1^{CЗБ})$	0.349	0.349	0.130	0.059	0.097
$\mu^8(S_1^{CЗБ})$	0.231	0.231	0.231	0.231	0.077
$\mu^9(S_1^{CЗБ})$	0.238	0.238	0.238	0.238	0.048
$\mu^{10}(S_1^{CЗБ})$	0.048	0.061	0.297	0.297	0.297
$\mu^{11}(S_1^{CЗБ})$	0.120	0.120	0.059	0.349	0.349
$\mu^{12}(S_1^{CЗБ})$	0.048	0.048	0.382	0.135	0.382

В якості лінгвістичної змінної $S^{CЗБ}$ приймаємо “Стійкість роботи ЗОВ до зовнішніх та внутрішніх збурень”. Нехай ця змінна визначена на множині варіантів принципових конструкцій ЗОВ $\{S_1^{CЗБ}, S_2^{CЗБ}, S_3^{CЗБ}, S_4^{CЗБ}, S_5^{CЗБ}\}$. Рівень стійкості оцінюємо за нечіткими термами у вигляді частинних критеріїв $C_1^{CЗБ}, C_2^{CЗБ}, \dots, C_{12}^{CЗБ}$ зі ступенями належності, що наведені в таблиці 3.2. Пронормуємо їх шляхом ділення на найбільший СН, котрим є СН варіанту $S_3^{CЗБ}$ за частинним критерієм $C_3^{CЗБ}$ ($\mu^3(S_1^{CЗБ}) = 0.585$):

$$\mu_n^1(S_1^{CЗБ}) = \frac{0.032}{0.585} = 0.055$$

$$\mu_n^1(S_2^{CЗБ}) = \frac{0.035}{0.585} = 0.006$$

$$\mu_n^1(S_3^{CЗБ}) = \frac{0.310}{0.585} = 0.053$$

$$\mu_n^1(S_4^{CЗБ}) = \frac{0.310}{0.585} = 0.053$$

$$\mu_n^1(S_5^{CЗБ}) = \frac{0.310}{0.585} = 0.053$$

Для решти частинних неметричних критеріїв СЗБ нормовані СН $\mu_n^i(S_i^{СЗБ})$ наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3
Нормовані СН варіантів ЗОВ за нечіткими термами СЗБ

Нормовані ступені належності	$S_1^{СЗБ}$	$S_2^{СЗБ}$	$S_3^{СЗБ}$	$S_4^{СЗБ}$	$S_5^{СЗБ}$
$\mu_n^1(S_i^{СЗБ})$	0.055	0.06	0.53	0.53	0.53
$\mu_n^2(S_i^{СЗБ})$	0.09	0.08	0.39	0.39	0.39
$\mu_n^3(S_i^{СЗБ})$	0.22	0.22	1.0	0.11	0.15
$\mu_n^4(S_i^{СЗБ})$	0.46	0.46	0.46	0.09	0.24
$\mu_n^5(S_i^{СЗБ})$	0.46	0.46	0.24	0.09	0.46
$\mu_n^6(S_i^{СЗБ})$	0.40	0.40	0.40	0.10	0.40
$\mu_n^7(S_i^{СЗБ})$	0.60	0.60	0.22	0.10	0.17
$\mu_n^8(S_i^{СЗБ})$	0.39	0.39	0.39	0.39	0.13
$\mu_n^9(S_i^{СЗБ})$	0.41	0.41	0.41	0.41	0.08
$\mu_n^{10}(S_i^{СЗБ})$	0.08	0.10	0.51	0.51	0.51
$\mu_n^{11}(S_i^{СЗБ})$	0.21	0.21	0.10	0.60	0.60
$\mu_n^{12}(S_i^{СЗБ})$	0.08	0.08	0.65	0.23	0.65

Операція нормування необхідна для наочності графічного представлення функцій належності, котрі в нормованих осях координат наведено на рисунку 3.2.

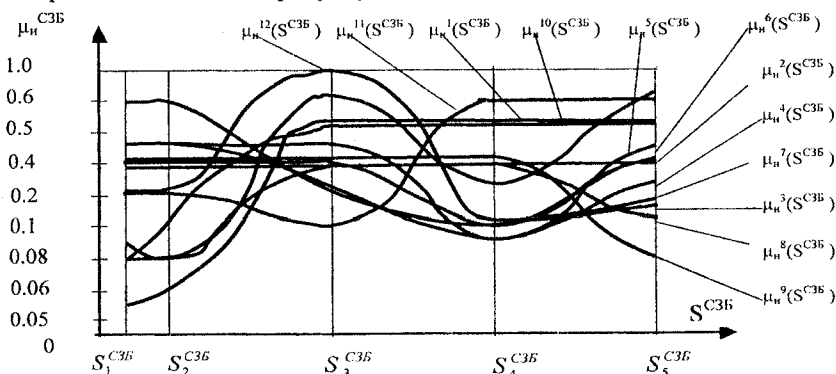


Рис. 3.2. Функції належності варіантів ЗОВ за нечіткими термами СЗБ

Розв'язком задачі ранжування є перетин всіх цих ФН. Оскільки в теорії нечітких множин операція перетину відповідає мінімальному значенню елементу, то розв'язком буде нижня границя пучка ФН.

З рисунка 3.2 видно, що лінгвістична змінна "Стійкість роботи ЗОВ до зовнішніх та внутрішніх збурень" набуває найбільшого значення для ЗОВ варіанта $S_3^{СЗБ}$ (змінного перепаду тиску без застійних зон). Дещо меншого значення вона набуває для ЗОВ варіанта $S_4^{СЗБ}$ (ультразвукові) та $S_5^{СЗБ}$ (електромагнітні). Варіанти ЗОВ $S_1^{СЗБ}$ (тахометричні з осью передачею) та $S_2^{СЗБ}$ (тахометричні з магнітною передачею) мають найменшу стійкість до збурень, причому різниці між ними на рисунку 3.2 не помітно. Отже, можемо провести ранжування принципів конструкцій ЗОВ за груповим критерієм СЗБ:

- ЗОВ змінного перепаду тиску ($S_3^{СЗБ}$).
- Ультразвукові ЗОВ ($S_4^{СЗБ}$).
- Електромагнітні ЗОВ ($S_5^{СЗБ}$).
- Тахометричні ЗОВ з осью передачею ($S_1^{СЗБ}$).
- Тахометричні ЗОВ з магнітною передачею ($S_2^{СЗБ}$).

Для отримання рангових коефіцієнтів представляємо частинні нечіткі терми у вигляді нечітких множин за формулами (3.7):

$$C_1^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.032}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.035}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.310}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.310}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.310}{S_5^{СЗБ}} \right\}; \quad C_7^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.349}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.349}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.130}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.059}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.097}{S_5^{СЗБ}} \right\};$$

$$C_2^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.053}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.045}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.299}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.299}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.299}{S_5^{СЗБ}} \right\}; \quad C_8^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.231}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.231}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.231}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.231}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.077}{S_5^{СЗБ}} \right\};$$

$$C_3^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.128}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.128}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.585}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.063}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.087}{S_5^{СЗБ}} \right\}; \quad C_9^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.238}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.238}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.238}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.238}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.048}{S_5^{СЗБ}} \right\};$$

$$C_4^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.270}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.270}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.270}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.050}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.138}{S_5^{СЗБ}} \right\}; \quad C_{10}^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.048}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.061}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.297}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.297}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.297}{S_5^{СЗБ}} \right\};$$

$$C_5^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.270}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.270}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.138}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.050}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.270}{S_5^{СЗБ}} \right\}; \quad C_{11}^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.120}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.120}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.059}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.349}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.349}{S_5^{СЗБ}} \right\};$$

$$C_6^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.235}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.235}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.235}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.059}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.059}{S_5^{СЗБ}} \right\}; \quad C_{12}^{СЗБ} = \left\{ \frac{0.048}{S_1^{СЗБ}}, \frac{0.048}{S_2^{СЗБ}}, \frac{0.382}{S_3^{СЗБ}}, \frac{0.135}{S_4^{СЗБ}}, \frac{0.382}{S_5^{СЗБ}} \right\}.$$

За принципом Беллмана-Заде формуємо інтегральний нечіткий терм оцінки за груповим критерієм СЗБ (формула (3.9))

$$D^{CЗВ} = \left\{ \begin{matrix} 0.032 & 0.035 & 0.059 & 0.050 & 0.048 \\ S_1^{CЗВ} & S_2^{CЗВ} & S_3^{CЗВ} & S_4^{CЗВ} & S_5^{CЗВ} \end{matrix} \right\}.$$

Присвоюємо типовим групам ЗОВ рангові коефіцієнти за функціональним груповим неметричним критерієм (α_{ϕ}):

1. ЗОВ змінного перепаду тиску ($S_3^{CЗВ}$) - $\alpha_{\phi} = 0.059$.
2. Ультразвукові ЗОВ ($S_4^{CЗВ}$) - $\alpha_{\phi} = 0.050$.
3. Електромагнітні ЗОВ ($S_5^{CЗВ}$) - $\alpha_{\phi} = 0.048$.
4. Тахометричні ЗОВ з магнітною передачею ($S_2^{CЗВ}$) - $\alpha_{\phi} = 0.035$.
5. Тахометричні ЗОВ з осьовою передачею ($S_1^{CЗВ}$) - $\alpha_{\phi} = 0.032$.

3.3. Ранжування засобів обліку водоспоживання за ергономічними неметричними критеріями

Важливими характеристиками ЗОВ, що не виражаються кількісно, є їх ергономічні якості. Будь-яке водопостачальне підприємство змушене утримувати великий штат працівників для здійснення контролю за кількістю води, поданої споживачам. Зручність зняття показників ЗОВ не тільки полегшує працю цих людей, але й, при достатньому рівні автоматизації, значно здешевлює виконання цих робіт, оскільки дозволяє скорочувати штат співробітників. Крім того, як показує досвід, ергономічні характеристики впливають і на точність обліку води через зменшення ймовірності помилок при фіксації показників. Оцінимо ці характеристики ергономічними неметричними частинними критеріями, об'єднаними в один груповий критерій. Назвемо його: "Зручність контролю водоспоживання" (ЗКВП).

3.3.1. Ергономічні характеристики засобів обліку водоспоживання

ЗОВ часто працюють у досить жорстких умовах (сирих підвалах, технічних підпіллях, водопровідних колодязях). Якщо індикатор (циферблат) знаходиться в безпосередньому контакті з датчиком ЗОВ, тобто датчик та лічильний механізм виконані в одному корпусі (як конструюються тахометричні ЗОВ), то перепад температур навколишнього середовища та вимірюваної води часто призводить до запотівання скла з внутрішньої сторони лічильного механізму. Скло стає мало прозорим, або непрозорим взагалі. Тоді, при зчитуванні показників може бути допущена помилка, або таке зчитування стає взагалі неможливим. Необхідно демонтувати ЗОВ і знімати скло лічильного механізму. Отже важливим фактором для

зручності контролю за показниками ЗОВ є його стійкість до запотівання індикатора (циферблата).

Дуже зручними для зчитування показників є індикатори з цифровою індикацією інформації (у вигляді цифр). Проте деякі ЗОВ, наприклад лічильники води марки ВКОС, мають стрілочні циферблати годинникового типу. Часто буває так, що під дією зовнішніх випадкових факторів стрілки такого індикатора деформуються чи зміщуються відносно свого нормального положення на осі. Тоді виникають конфліктні ситуації через помилки в зчитуванні показників таких ЗОВ або можливість їх неоднозначного тлумачення. Отже стійкість до можливості помилок при зчитуванні показників є також важливою характеристикою ЗОВ.

Найбільш розповсюджені сьогодні тахометричні ЗОВ можуть лише обраховувати кількість пройдені води через трубопровід, що ним контролюється. Проте в комерційних цілях часто потрібно знати і режим водоспоживання об'єкта. Тому в таких випадках важливою є можливість ЗОВ працювати як в режимі лічильника кількості, так і в режимі витратоміра. Можливість ЗОВ зберігати інформацію про режими водоспоживання об'єкта у своєму банку даних є важливою для накопичення статистики, а також для планування режимів подачі води водопостачальними підприємствами. Деякі сучасні електронні ЗОВ (ультразвукові, електромагнітні, змінного перепаду тиску), маючи такі банки даних, дозволяють це робити.

Водопровідні системи сучасних міст України мають як нові ділянки трубопроводів, так і старі будівлі зі старими водопровідними вводами, погано пристосованими для обліку води, що через них проходить. Трапляються ситуації, коли ЗОВ неможливо встановити у зручному для обслуговування місці. В таких умовах велике значення має можливість дистанційної реєстрації його показників, коли аналогова частина (датчик-перетворювач потоку) встановлюється у важкодоступному місці (наприклад в колодязі, технічному підпіллі, чи в артезіанській свердловині), а індикатор монтується у зручному для спостереження місці.

Сучасні темпи розвитку електронної та комп'ютерної техніки, котра впроваджується сьогодні в СВП міст України, дозволяють ставити задачі про створення централізованих мереж контролю за показниками, коли інформація про кількість пройдені води та режими водоспоживання від багатьох ЗОВ надходить до обчислювального центру і там автоматично обробляється.

Актуальною також є проблема створення систем автоматизованого управління водоспоживанням. Основою для отримання первинної інформації для таких систем є ЗОВ. Тому

принципова можливість підключення ЗОВ до централізованих мереж контролю за водоспоживанням є дуже важлива.

З точки зору раціонального використання природних ресурсів, зокрема води, важливими є ліміти (максимально дозволені об'єми) водоспоживання деяких підприємств. Вони стимулюють впровадження заходів щодо економії води, зокрема створення оборотних систем водопостачання (з очисткою стоків на місці і повторним використанням очищеної води). Автоматизований контроль за додержанням цих лімітів стає актуальним завданням. В умовах сучасної кризи неплатежів та великої заборгованості споживачів перед водопостачальними організаціями, важливими є також з комерційної точки зору своєчасні розрахунки за спожиту воду. Тут зручними є ЗОВ з контролем водоспоживання за допомогою магнітних карток. Вони дозволяють водопостачальним організаціям отримувати передплату за свою продукцію, оскільки для того, щоб отримувати воду, споживач має спочатку придбати магнітну картку.

3.3.2. Ергономічні неметричні частинні критерії оцінювання засобів обліку водоспоживання

Для оцінювання ергономічних якостей ЗОВ сформулюємо таку множину частинних критеріїв:

$C_1^{ЗКВП}$ – стійкість до запотівання скла індикатора (циферблата).

$C_2^{ЗКВП}$ – стійкість до помилки при зчитуванні показників.

$C_3^{ЗКВП}$ – можливість накопичення банку інформації про водоспоживання в ЗОВ.

$C_4^{ЗКВП}$ – можливість встановлення ЗОВ у важкодоступних місцях, та дистанційного контролю показників.

$C_5^{ЗКВП}$ – можливість створення ЦМК за показниками ЗОВ.

$C_6^{ЗКВП}$ – можливість запобігання водоспоживання понад встановленого ліміту.

$C_7^{ЗКВП}$ – можливість використання приладу і як лічильника кількості, і як витратоміра.

Різні конструкції ЗОВ згрупуємо за ергономічними ознаками і вводимо таку множину варіантів для ранжування:

$S_1^{ЗКВП}$ – ЗОВ зі стрілочним циферблатом (годинникового типу) на корпусі.

$S_2^{ЗКВП}$ – ЗОВ з цифровим індикатором на корпусі.

$S_3^{ЗКВП}$ – ЗОВ з електронною індикацією кількості на окремому блоці.

$S_4^{ЗКВП}$ – ЗОВ з електронною індикацією кількості та витрати на окремому блоці.

$S_5^{ЗКВП}$ – те ж саме з банком даних в ЗОВ.

$S_6^{ЗКВП}$ – те ж саме з обмежувачем водоспоживання на магнітній картці.

3.3.3 Ранжування засобів обліку водоспоживання за частинними критеріями зручності контролю водного потоку

Користуючись тією ж методикою, проведемо лінгвістичні порівняння варіантів ЗОВ з множини $S^{ЗКВП}$ попарно за кожним частинним критерієм ЗКВП з множини $C^{ЗКВП}$. Тут експертами також виступають працівники водолічильної лабораторії та відділу збуту послуг ВОВКП ВКГ “Вінницяводоканал”. Для малорозповсюджених сьогодні приладів, таких як ЗОВ з банком даних, ЗОВ з обмежувачем водоспоживання на магнітній картці, експертами також використано апіорну інформацію, сформовану на основі досвіду експлуатації розповсюджених сьогодні приладів.

Користуючись прийнятими умовними позначеннями, висловлювання формулюємо так:

$$C_1^{ЗКВП} : S_3^{ЗКВП}, S_4^{ЗКВП}, S_5^{ЗКВП}, S_6^{ЗКВП} > \equiv S_1^{ЗКВП}, S_2^{ЗКВП}; S_1^{ЗКВП} \equiv S_2^{ЗКВП}, S_3^{ЗКВП} \equiv S_4^{ЗКВП} \equiv S_5^{ЗКВП} \equiv S_6^{ЗКВП}.$$

$$C_2^{ЗКВП} : S_2^{ЗКВП} \rightarrow \gg \equiv S_1^{ЗКВП}; S_3^{ЗКВП}, S_4^{ЗКВП}, S_5^{ЗКВП}, S_6^{ЗКВП} > \equiv S_1^{ЗКВП}; S_3^{ЗКВП}, S_4^{ЗКВП}, S_5^{ЗКВП}, S_6^{ЗКВП} \rightarrow \Rightarrow S_2^{ЗКВП}; S_3^{ЗКВП} \equiv S_4^{ЗКВП} \equiv S_5^{ЗКВП} \equiv S_6^{ЗКВП}.$$

$$C_3^{ЗКВП} : S_5^{ЗКВП}, S_6^{ЗКВП} \gg S_1^{ЗКВП}, S_2^{ЗКВП}, S_3^{ЗКВП}, S_4^{ЗКВП}; S_1^{ЗКВП} \equiv S_2^{ЗКВП}, S_1^{ЗКВП} \equiv S_2^{ЗКВП} \equiv S_3^{ЗКВП} \equiv S_4^{ЗКВП}.$$

$$C_4^{ЗКВП} : S_5^{ЗКВП}, S_6^{ЗКВП} > S_1^{ЗКВП}, S_2^{ЗКВП}, S_3^{ЗКВП}, S_4^{ЗКВП}; S_5^{ЗКВП} \equiv S_6^{ЗКВП}, S_1^{ЗКВП} \equiv S_2^{ЗКВП} \equiv S_3^{ЗКВП} \equiv S_4^{ЗКВП}.$$

$$C_5^{ЗКВП} : S_1^{ЗКВП} \equiv S_2^{ЗКВП}; S_3^{ЗКВП} \rightarrow \gg \equiv S_1^{ЗКВП}, S_2^{ЗКВП}; S_4^{ЗКВП} > \equiv S_1^{ЗКВП}, S_2^{ЗКВП}; S_4^{ЗКВП} \rightarrow \Rightarrow S_3^{ЗКВП}; S_5^{ЗКВП} \rightarrow \rightarrow S_1^{ЗКВП}, S_2^{ЗКВП}; S_5^{ЗКВП} \Rightarrow S_3^{ЗКВП}; S_5^{ЗКВП} \rightarrow \Rightarrow S_4^{ЗКВП}; S_6^{ЗКВП} > S_1^{ЗКВП}, S_2^{ЗКВП}; S_6^{ЗКВП} \rightarrow \gg \equiv S_3^{ЗКВП}; S_6^{ЗКВП} \Rightarrow S_4^{ЗКВП}; S_6^{ЗКВП} \rightarrow \Rightarrow S_5^{ЗКВП}.$$

$$\begin{aligned}
C_6^{ЗКВП} : S_6^{ЗКВП} &> S_1^{ЗКВП}, S_2^{ЗКВП}; S_6^{ЗКВП} \equiv S_3^{ЗКВП}, S_4^{ЗКВП}, S_5^{ЗКВП}; \\
S_3^{ЗКВП}, S_4^{ЗКВП}, S_5^{ЗКВП} &\equiv S_1^{ЗКВП}, S_2^{ЗКВП}; S_1^{ЗКВП} \equiv S_2^{ЗКВП}; S_3^{ЗКВП} \equiv S_4^{ЗКВП}; \\
S_3^{ЗКВП} \equiv S_5^{ЗКВП}; S_4^{ЗКВП} &\equiv S_5^{ЗКВП}. \\
C_7^{ЗКВП} : S_4^{ЗКВП}, S_5^{ЗКВП}, S_6^{ЗКВП} &> S_1^{ЗКВП}, S_2^{ЗКВП}, S_3^{ЗКВП}; S_1^{ЗКВП} \equiv S_2^{ЗКВП} \\
&\equiv S_3^{ЗКВП}; S_4^{ЗКВП} \equiv S_5^{ЗКВП} \equiv S_6^{ЗКВП}.
\end{aligned}$$

На базі цих висловлювань складаємо матриці парних порівнянь, формула (3.3):

$$A(C_1^{ЗКВП}) = \begin{matrix} & S_1^{ЗКВП} & S_2^{ЗКВП} & S_3^{ЗКВП} & S_4^{ЗКВП} & S_5^{ЗКВП} & S_6^{ЗКВП} \\ \begin{matrix} S_1^{ЗКВП} \\ S_2^{ЗКВП} \\ S_3^{ЗКВП} \\ S_4^{ЗКВП} \\ S_5^{ЗКВП} \\ S_6^{ЗКВП} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 1 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 5 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A(C_2^{ЗКВП}) = \begin{matrix} & S_1^{ЗКВП} & S_2^{ЗКВП} & S_3^{ЗКВП} & S_4^{ЗКВП} & S_5^{ЗКВП} & S_6^{ЗКВП} \\ \begin{matrix} S_1^{ЗКВП} \\ S_2^{ЗКВП} \\ S_3^{ЗКВП} \\ S_4^{ЗКВП} \\ S_5^{ЗКВП} \\ S_6^{ЗКВП} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 4 & 5 & 5 & 5 & 5 \\ 1 & 4 & 1 & 2 & 2 & 2 \\ 1 & 5 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 5 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 5 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 5 & 1 & 2 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A(C_3^{ЗКВП}) = \begin{matrix} & S_1^{ЗКВП} & S_2^{ЗКВП} & S_3^{ЗКВП} & S_4^{ЗКВП} & S_5^{ЗКВП} & S_6^{ЗКВП} \\ \begin{matrix} S_1^{ЗКВП} \\ S_2^{ЗКВП} \\ S_3^{ЗКВП} \\ S_4^{ЗКВП} \\ S_5^{ЗКВП} \\ S_6^{ЗКВП} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & 9 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & 9 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & 9 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & 9 \\ 1 & 9 & 1 & 9 & 1 & 1 \\ 1 & 9 & 1 & 9 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A(C_4^{ЗКВП}) = \begin{matrix} & S_1^{ЗКВП} & S_2^{ЗКВП} & S_3^{ЗКВП} & S_4^{ЗКВП} & S_5^{ЗКВП} & S_6^{ЗКВП} \\ S_1^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & 9 \end{bmatrix} \\ S_2^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & 9 \end{bmatrix} \\ S_3^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & 9 \end{bmatrix} \\ S_4^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 9 & 9 \end{bmatrix} \\ S_5^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 9 & 1 & 9 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ S_6^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 9 & 1 & 9 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A(C_5^{ЗКВП}) = \begin{matrix} & S_1^{ЗКВП} & S_2^{ЗКВП} & S_3^{ЗКВП} & S_4^{ЗКВП} & S_5^{ЗКВП} & S_6^{ЗКВП} \\ S_1^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{bmatrix} \\ S_2^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{bmatrix} \\ S_3^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 4 & 1 & 2 & 3 & 4 \end{bmatrix} \\ S_4^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 5 & 1 & 2 & 1 & 3 \end{bmatrix} \\ S_5^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 6 & 1 & 3 & 1 & 2 \end{bmatrix} \\ S_6^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 7 & 1 & 4 & 1 & 2 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A(C_6^{ЗКВП}) = \begin{matrix} & S_1^{ЗКВП} & S_2^{ЗКВП} & S_3^{ЗКВП} & S_4^{ЗКВП} & S_5^{ЗКВП} & S_6^{ЗКВП} \\ S_1^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 3 & 3 & 7 \end{bmatrix} \\ S_2^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 3 & 3 & 3 & 7 \end{bmatrix} \\ S_3^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 & 1 & 1 & 5 \end{bmatrix} \\ S_4^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 & 1 & 1 & 5 \end{bmatrix} \\ S_5^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 3 & 1 & 1 & 1 & 5 \end{bmatrix} \\ S_6^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 7 & 1 & 5 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A(C_7^{ЗКВП}) = \begin{matrix} & S_1^{ЗКВП} & S_2^{ЗКВП} & S_3^{ЗКВП} & S_4^{ЗКВП} & S_5^{ЗКВП} & S_6^{ЗКВП} \\ S_1^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 7 & 7 & 7 \end{bmatrix} \\ S_2^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 7 & 7 & 7 \end{bmatrix} \\ S_3^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 7 & 7 & 7 \end{bmatrix} \\ S_4^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 7 & 1 & 7 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ S_5^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 7 & 1 & 7 & 1 & 1 \end{bmatrix} \\ S_6^{ЗКВП} & \begin{bmatrix} 1 & 7 & 1 & 7 & 1 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Обчислюємо СН кожного варіанту за кожним критерієм користуючись формулою (3.6):

$$\begin{aligned} \mu^1(S_1^{ЗКВП}) &= \frac{1}{1+1+5+5+5+5} = 0.045 ; \\ \mu^1(S_2^{ЗКВП}) &= \frac{1}{1+1+5+5+5+5} = 0.045 ; \\ \mu^1(S_3^{ЗКВП}) &= \frac{1}{1_5 + 1_5 + 1+1+1+1} = 0.227 ; \\ \mu^1(S_4^{ЗКВП}) &= \frac{1}{1_5 + 1_5 + 1+1+1+1} = 0.227 ; \\ \mu^1(S_5^{ЗКВП}) &= \frac{1}{1_5 + 1_5 + 1+1+1+1} = 0.227 ; \\ \mu^1(S_6^{ЗКВП}) &= \frac{1}{1_5 + 1_5 + 1+1+1+1} = 0.227 . \end{aligned}$$

Для решти частинних критеріїв ступені належності за частинними критеріями ЗКВП наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4
Ступені належності варіантів ЗОВ за критеріями ЗКВП

Ступені належності	$S_1^{ЗКВП}$	$S_2^{ЗКВП}$	$S_3^{ЗКВП}$	$S_4^{ЗКВП}$	$S_5^{ЗКВП}$	$S_6^{ЗКВП}$
$\mu^1(S_i^{ЗКВП})$	0.045	0.045	0.227	0.227	0.227	0.227
$\mu^2(S_i^{ЗКВП})$	0.040	0.108	0.213	0.213	0.213	0.213
$\mu^3(S_i^{ЗКВП})$	0.045	0.045	0.045	0.045	0.409	0.409
$\mu^4(S_i^{ЗКВП})$	0.045	0.045	0.045	0.045	0.409	0.409
$\mu^5(S_i^{ЗКВП})$	0.042	0.042	0.095	0.145	0.240	0.422
$\mu^6(S_i^{ЗКВП})$	0.056	0.056	0.115	0.115	0.115	0.530
$\mu^7(S_i^{ЗКВП})$	0.042	0.042	0.042	0.292	0.292	0.292

В якості лінгвістичної змінної $S^{ЗКВП}$ приймемо: “зручність контролю водного потоку”. Визначимо цю змінну на множині варіантів конструкцій ЗОВ, що сформована за ергономічними ознаками: $\{S_1^{ЗКВП}, S_2^{ЗКВП}, S_3^{ЗКВП}, S_4^{ЗКВП}, S_5^{ЗКВП}, S_6^{ЗКВП}\}$. Рівень зручності оцінюємо за нечіткими термами, що сформульовані як частинні критерії оцінювання: $C_1^{ЗКВП}, C_2^{ЗКВП}, \dots, C_7^{ЗКВП}$. Для наочності графічного представлення ФН проведемо нормування СН, розділивши кожен з них на їх найбільше значення. Ним є СН варіанта $S_6^{ЗКВП}$ за частинним критерієм $C_6^{ЗКВП}$ ($\mu^6(S_6^{ЗКВП}) = 0.530$):

$$\mu_n^1(S_1^{ЗКВП}) = \frac{0.045}{0.530} = 0.085;$$

$$\mu_n^1(S_2^{ЗКВП}) = \frac{0.045}{0.530} = 0.085;$$

$$\mu_n^1(S_3^{ЗКВП}) = \frac{0.227}{0.530} = 0.428;$$

$$\mu_n^1(S_4^{ЗКВП}) = \frac{0.227}{0.530} = 0.428;$$

$$\mu_n^1(S_5^{ЗКВП}) = \frac{0.227}{0.530} = 0.428;$$

$$\mu_n^1(S_6^{ЗКВП}) = \frac{0.227}{0.530} = 0.428.$$

Для решти частинних критеріїв ЗКВП нормовані ступені належності $\mu_n^1(S_i^{ЗКВП})$ наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5
Нормовані СН варіантів ЗОВ за нечіткими термами ЗКВП

Нормовані ступені належності	$S_1^{ЗКВП}$	$S_2^{ЗКВП}$	$S_3^{ЗКВП}$	$S_4^{ЗКВП}$	$S_5^{ЗКВП}$	$S_6^{ЗКВП}$
$\mu_n^1(S_i^{ЗКВП})$	0.085	0.085	0.428	0.428	0.428	0.428
$\mu_n^2(S_i^{ЗКВП})$	0.075	0.204	0.402	0.402	0.402	0.402
$\mu_n^3(S_i^{ЗКВП})$	0.085	0.085	0.085	0.085	0.772	0.772
$\mu_n^4(S_i^{ЗКВП})$	0.085	0.085	0.085	0.085	0.772	0.772
$\mu_n^5(S_i^{ЗКВП})$	0.079	0.079	0.179	0.274	0.453	0.796
$\mu_n^6(S_i^{ЗКВП})$	0.106	0.106	0.217	0.217	0.217	1.0
$\mu_n^7(S_i^{ЗКВП})$	0.079	0.079	0.079	0.551	0.551	0.551

ФН в нормованих осях координат наведено на рисунку 3.3. Розв'язком задачі ранжування є нижня границя пучка функцій належності.

Відповідно рисунку 3.3, ранжування конструкцій ЗОВ за груповим критерієм зручності контролю водного потоку виглядає так:

- ЗОВ з електронною індикацією кількості та витрати на окремому блоці і обмежувачем водоспоживання на магнітній картці ($S_6^{ЗКВП}$).
- ЗОВ з електронною індикацією кількості та витрати на окремому блоці і банком даних в приладі ($S_5^{ЗКВП}$).
- Те ж саме без банку даних ($S_4^{ЗКВП}$).

- ЗОВ з електронною індикацією кількості на окремому блоці ($S_3^{ЗКВП}$).
- ЗОВ з цифровим індикатором на корпусі ($S_2^{ЗКВП}$).
- ЗОВ зі стрілочним циферблатом на корпусі ($S_1^{ЗКВП}$).

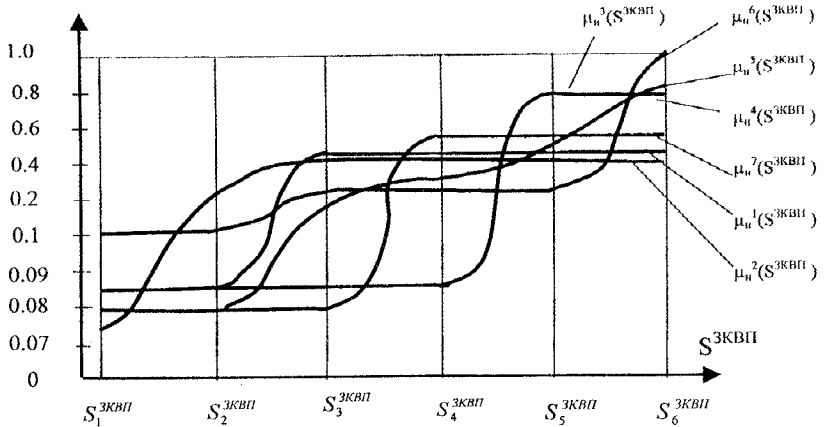


Рис. 3.3. ФН варіантів ЗОВ за нечіткими термами ЗКВП

Для отримання рангових коефіцієнтів представляємо частинні нечіткі терми у вигляді нечітких множин за формулами (3.7):

$$C_1^{ЗКВП} = \left\{ \frac{0,045}{S_1^{ЗКВП}}, \frac{0,045}{S_2^{ЗКВП}}, \frac{0,227}{S_3^{ЗКВП}}, \frac{0,227}{S_4^{ЗКВП}}, \frac{0,227}{S_5^{ЗКВП}}, \frac{0,227}{S_6^{ЗКВП}} \right\};$$

$$C_2^{ЗКВП} = \left\{ \frac{0,04}{S_1^{ЗКВП}}, \frac{0,108}{S_2^{ЗКВП}}, \frac{0,213}{S_3^{ЗКВП}}, \frac{0,213}{S_4^{ЗКВП}}, \frac{0,213}{S_5^{ЗКВП}}, \frac{0,213}{S_6^{ЗКВП}} \right\};$$

$$C_3^{ЗКВП} = \left\{ \frac{0,045}{S_1^{ЗКВП}}, \frac{0,045}{S_2^{ЗКВП}}, \frac{0,045}{S_3^{ЗКВП}}, \frac{0,045}{S_4^{ЗКВП}}, \frac{0,409}{S_5^{ЗКВП}}, \frac{0,409}{S_6^{ЗКВП}} \right\};$$

$$C_4^{ЗКВП} = \left\{ \frac{0,045}{S_1^{ЗКВП}}, \frac{0,045}{S_2^{ЗКВП}}, \frac{0,045}{S_3^{ЗКВП}}, \frac{0,045}{S_4^{ЗКВП}}, \frac{0,409}{S_5^{ЗКВП}}, \frac{0,409}{S_6^{ЗКВП}} \right\};$$

$$C_5^{ЗКВП} = \left\{ \frac{0,042}{S_1^{ЗКВП}}, \frac{0,042}{S_2^{ЗКВП}}, \frac{0,095}{S_3^{ЗКВП}}, \frac{0,145}{S_4^{ЗКВП}}, \frac{0,240}{S_5^{ЗКВП}}, \frac{0,422}{S_6^{ЗКВП}} \right\};$$

$$C_6^{ЗКВП} = \left\{ \frac{0,056}{S_1^{ЗКВП}}, \frac{0,056}{S_2^{ЗКВП}}, \frac{0,115}{S_3^{ЗКВП}}, \frac{0,115}{S_4^{ЗКВП}}, \frac{0,115}{S_5^{ЗКВП}}, \frac{0,530}{S_6^{ЗКВП}} \right\};$$

$$C_7^{ЗКВП} = \left\{ \frac{0,042}{S_1^{ЗКВП}}, \frac{0,042}{S_2^{ЗКВП}}, \frac{0,042}{S_3^{ЗКВП}}, \frac{0,292}{S_4^{ЗКВП}}, \frac{0,292}{S_5^{ЗКВП}}, \frac{0,292}{S_6^{ЗКВП}} \right\}.$$

Застосовуючи інтегральний нечіткий терм оцінки за груповим критерієм ЗКВП (формула (3.8)), маємо

$$D^{ЗКВП} = \left\{ \frac{0,04}{S_1^{ЗКВП}}, \frac{0,042}{S_2^{ЗКВП}}, \frac{0,042}{S_3^{ЗКВП}}, \frac{0,045}{S_4^{ЗКВП}}, \frac{0,115}{S_5^{ЗКВП}}, \frac{0,213}{S_6^{ЗКВП}} \right\}.$$

Присвоюємо типовим групам ЗОВ рангові коефіцієнти за ергономічним груповим неметричним критерієм ($\alpha_{\text{ерг}}$):

1. ЗОВ з електронною індикацією кількості та витрати на окремому блоці і обмежувачем водоспоживання на магнітній картці ($S_6^{ЗКВП}$) – $\alpha_{\text{ерг}} = 0.213$.

2. ЗОВ з електронною індикацією кількості та витрати на окремому блоці і банком даних в приладі ($S_5^{ЗКВП}$) – $\alpha_{\text{ерг}} = 0.115$.

3. Те ж саме без банку даних ($S_4^{ЗКВП}$) – $\alpha_{\text{ерг}} = 0.045$.

4. ЗОВ з електронною індикацією кількості на окремому блоці ($S_3^{ЗКВП}$) – $\alpha_{\text{ерг}} = 0.042$.

5. ЗОВ з цифровим індикатором на корпусі ($S_2^{ЗКВП}$) – $\alpha_{\text{ерг}} = 0.042$.

6. ЗОВ зі стрілочним циферблатом годинникового типу на корпусі ($S_1^{ЗКВП}$) – $\alpha_{\text{ерг}} = 0.040$.

3.4. Алгоритм ранжування засобів обліку водоспоживання за неметричними критеріями

Для проведення ранжування ЗОВ за неметричними критеріями по методах НПП Сааті необхідно виконати такі кроки:

1. Задатись множиною ЗОВ $S = \{S_i\}$, що підлягають ранжуванню.
2. Визначити вид групового критерію (лінгвістичної змінної).
3. Задатись множиною частинних критеріїв оцінки (множиною нечітких лінгвістичних термів) $C = \{C_j\}$.
4. Провести лінгвістичні порівняння попарно всіх варіантів ЗОВ $S_i \in S$ за першим з множини частинних критеріїв оцінки $C_j \in C$, використовуючи при цьому лінгвістичні висловлювання за 9-ти бальною шкалою Сааті.

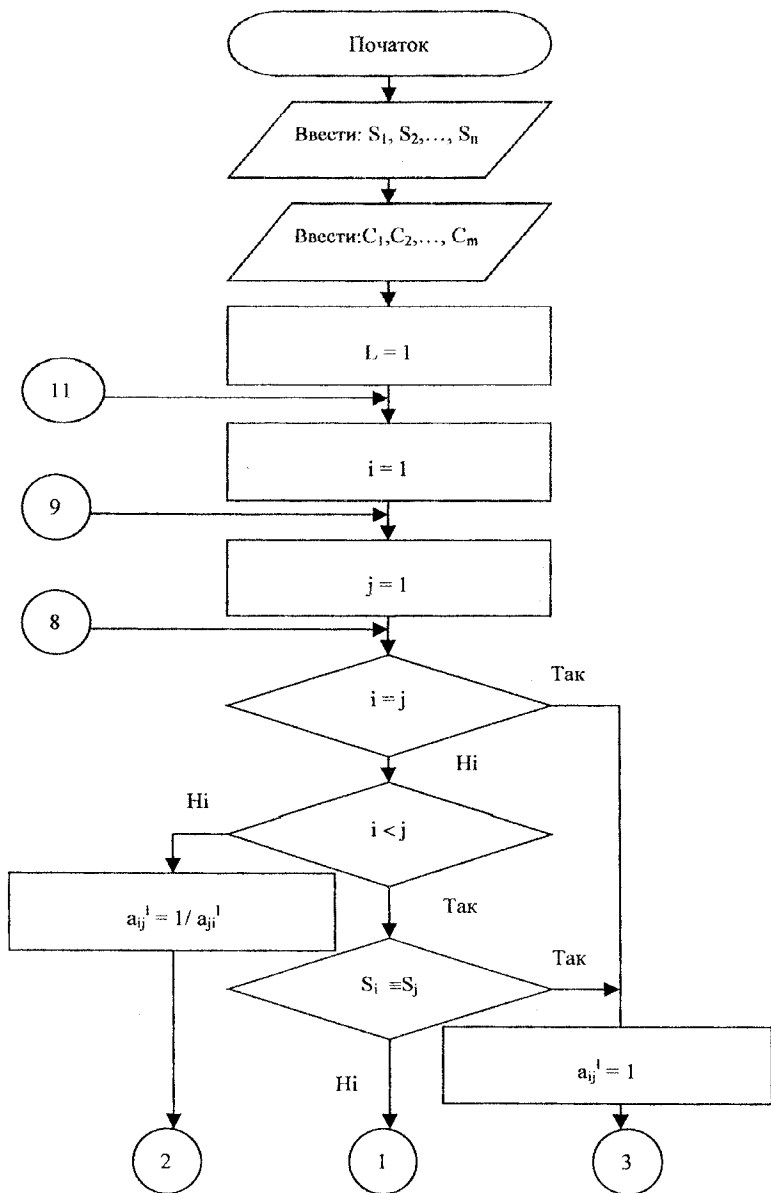
5. Користуючись тією ж шкалою, сформувати матрицю НПП за цим частинним критерієм $C_i \in C$.
6. Розрахувати ступені належності кожного варіанту ЗОВ $S_i \in S$ до нечіткого терму за цим критерієм $C_i \in C$.
7. Представити частинний критерій $C_i \in C$ у вигляді нечіткої множини \overline{C}_i , котра задана на універсальній множині варіантів ЗОВ S .
8. Повторити кроки 4 – 7 для кожного наступного частинного критерію оцінки з множини C .
9. Пронормувати ступені належності всіх варіантів ЗОВ до нечітких термів оцінки за всіма частинними критеріями множини C , шляхом їх ділення на найбільший ступінь належності.
10. Побудувати графіки функцій належності, використовуючи нормовані ступені належності.
11. Провести операцію перетину цих нечітких множин й сформувати інтегральну нечітку множину оцінки за груповим критерієм (лінгвістичною змінною), що також задана на універсальній множині S .
12. Присвоїти кожному варіанту ЗОВ $S_i \in S$ ранговий коефіцієнт з інтегральної множини оцінки.

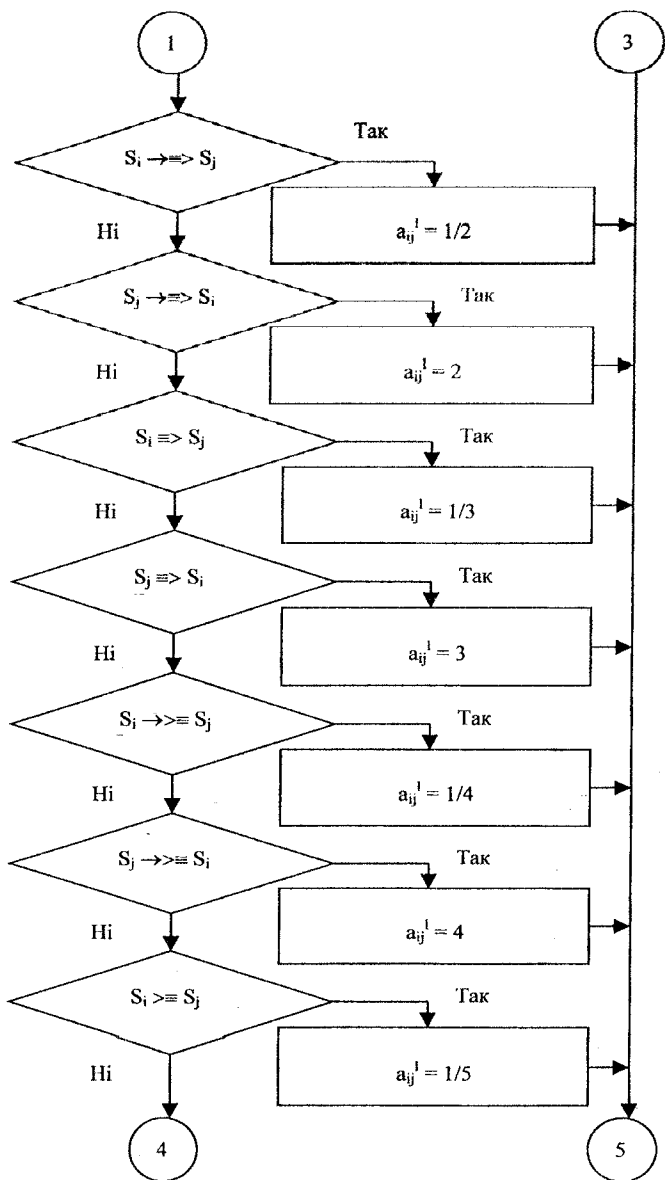
Кроки 8 і 9 (побудова графіків функцій належності) можна не виконувати. При цьому використання алгоритму дасть ті ж самі результати. Ці кроки необхідні лише для наочного представлення розв'язку задачі у вигляді графічної інформації.

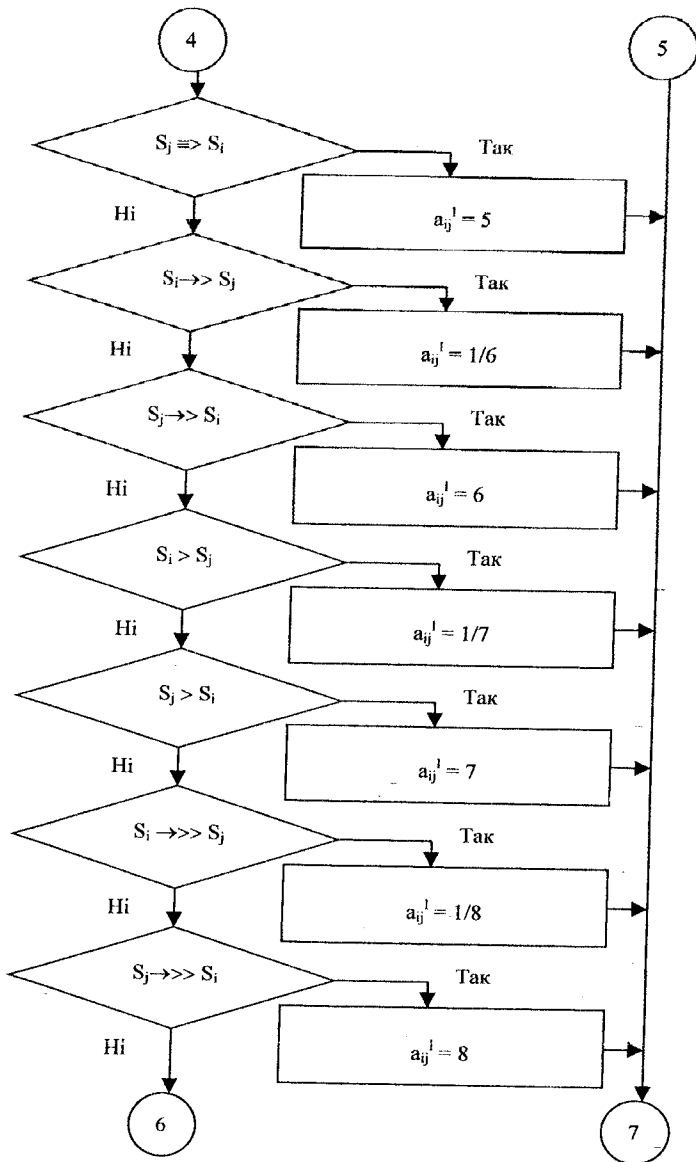
Блок-схема алгоритму проведення ранжування ЗОВ за неметричними критеріями

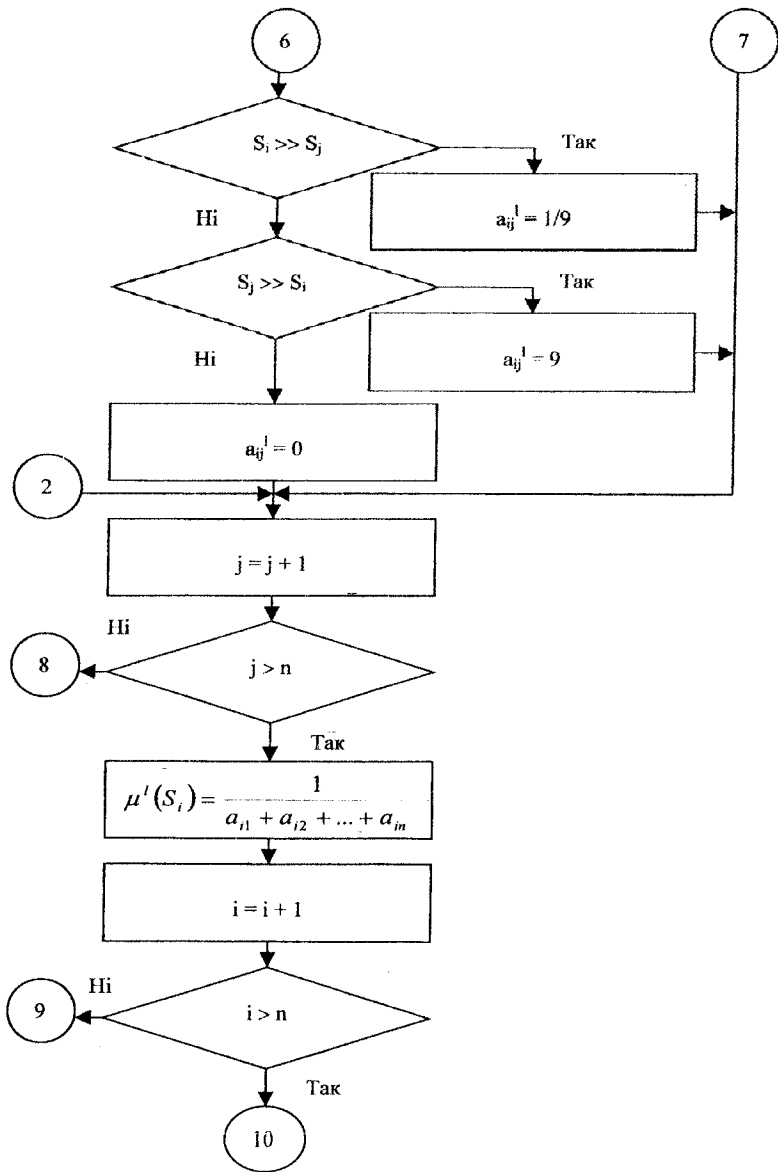
Умовні позначення:

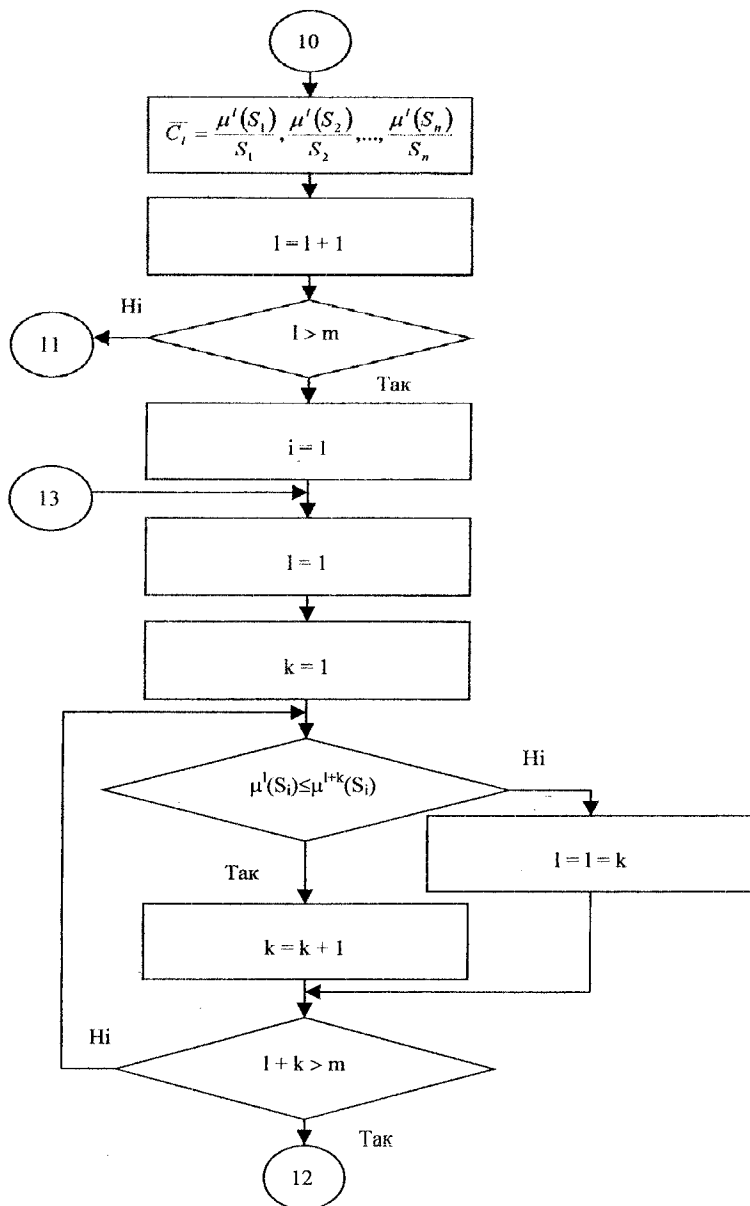
- | | |
|---|---|
| \equiv – відсутня перевага;
$\rightarrow \equiv \rightarrow$ – майже слабка перевага;
$\equiv \rightarrow$ – слабка перевага;
$\rightarrow \rightarrow \equiv$ – майже суттєва перевага; | $> \equiv$ – суттєва перевага;
$\rightarrow >$ – майже явна перевага;
$>$ – явна перевага;
$\rightarrow > >$ – майже абсолютна перевага;
$>>$ – абсолютна перевага. |
|---|---|

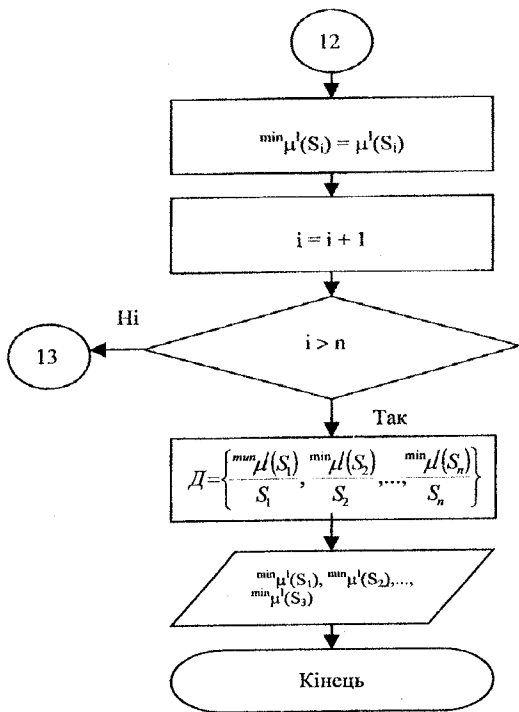












РОЗДІЛ 4

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТА ВИБІР ОПТИМАЛЬНИХ ВАРІАНТІВ ЗАСОБІВ ОБЛІКУ ДЛЯ САПР УПРАВЛІННЯ ВОДОСПОЖИВАННЯМ

4.1. Модифікація методу нечітких парних порівнянь

В результаті дослідження метричних (кількісних) та неметричних (якісних) критеріїв оцінювання ЗОВ сформульовано чотири групові критерії: корисність, плата за корисність, стійкість до збурень та зручність контролю водного потоку. Для останніх двох групових критеріїв проведено ранжування типових груп ЗОВ та отримані рангові коефіцієнти. Корисність та плата за корисність мають бути розраховані для кожної марки ЗОВ, що розглядаються, окремо. Отже, застосувавши запропоновані методи (функції корисності та нечітких парних порівнянь Сааті), отримуємо числові значення чотирьох критеріїв для кожного варіанту ЗОВ. Постає питання про проведення остаточної оцінки ЗОВ за чотирма груповими критеріями та обґрунтування вибору їх оптимальних варіантів для створення математичної моделі підтримки прийняття рішення при проектуванні управління водопостачанням. Для розв'язання цієї задачі також можна запропонувати метод НПП Сааті з використанням відносних оцінок рівнів [53]. Цей метод є подібним до методу, застосованого для оцінювання ЗОВ за неметричними критеріями. Тут також передбачається наявність множини варіантів, множини цілей та обмежень, а також функцій переваги.

Нехай маємо множину варіантів ЗОВ $S = (S_1, S_2, \dots, S_n)$, що підлягають оцінюванню, а також множину цілей (абсолютних значень критеріїв) $K = (K_1, K_2, \dots, K_n)$, за якими проводиться оцінювання. Задача полягає в упорядкуванні множини варіантів S за критерієм множини K . Оскільки всі критерії оцінювання (цілі) є тут метричними величинами, то для порівняння немає потреби вводити лінгвістичні терми. Порівняння можна провести за абсолютними величинами цих критеріїв. Для розв'язку цієї задачі пропонуються ті ж самі принципи, що і для неметричних критеріїв (3.1), за винятком другого, тобто "визначення функцій належності нечітких множин на основі парних порівнянь у вигляді відношень абсолютних величин критеріїв оцінки порівнюваних варіантів": $a_{ij} = \frac{k_i}{k_j}$, $i, j = 1 \div n$.

Виконавши такі порівняння складаємо матриці, котрі матимуть вигляд

$$\begin{matrix}
 & S_1 & S_2 & \dots & S_n \\
 S_1 & \left[\begin{array}{c} k_1^t / k_1^t \\ k_1^t / k_1^t \\ \dots \\ k_1^t / k_1^t \end{array} \right. & k_2^t / k_1^t & \dots & k_n^t / k_1^t \\
 S_2 & k_1^t / k_2^t & \left[\begin{array}{c} k_2^t / k_2^t \\ k_2^t / k_2^t \\ \dots \\ k_2^t / k_2^t \end{array} \right. & \dots & k_n^t / k_2^t \\
 \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\
 S_n & k_1^t / k_n^t & k_2^t / k_n^t & \dots & \left[\begin{array}{c} k_n^t / k_n^t \\ k_n^t / k_n^t \\ \dots \\ k_n^t / k_n^t \end{array} \right.
 \end{matrix} \quad (4.1)$$

Ця матриця в усіх випадках буде мати властивості (3.4), зокрема спроможність і транзитивність, оскільки

$$\frac{k_t}{k_r} \cdot \frac{k_r}{k_j} = \frac{k_t}{k_j} \quad (4.2)$$

Тому не обов'язковим є задання всіх рядків цієї матриці. Якщо відомо один її рядок, то будь-який довільний її елемент визначиться за формулою (3.5). Це значно спрощує алгоритм обчислення.

Після визначення елементів матриці обчислюємо ступені належності варіантів до нечітких множин оцінок через ступінь належності опорного елементу, використовуючи умову нормування (1.35) та співвідношення (1.34). Якщо опорним елементом є елемент $S_1 \in S$ з належністю $\mu^t(S_1)$, то

$$\mu^t(S_2) = \frac{k^t(S_2)}{k^t(S_1)} \mu^t(S_1), \mu^t(S_3) = \frac{k^t(S_3)}{k^t(S_1)} \mu^t(S_1), \dots, \mu^t(S_n) = \frac{k^t(S_n)}{k^t(S_1)} \mu^t(S_1) \quad (4.3)$$

Для опорного елементу $S_2 \in S$ з належністю $\mu^t(S_2)$

$$\mu^t(S_1) = \frac{k^t(S_1)}{k^t(S_2)} \mu^t(S_2), \mu^t(S_3) = \frac{k^t(S_3)}{k^t(S_2)} \mu^t(S_2), \dots, \mu^t(S_n) = \frac{k^t(S_n)}{k^t(S_2)} \mu^t(S_2) \quad (4.4)$$

І зрештою для опорного елементу $S_n \in S$ з належністю $\mu^t(S_n)$

$$\mu^t(S_1) = \frac{k^t(S_1)}{k^t(S_n)} \mu^t(S_n), \mu^t(S_2) = \frac{k^t(S_2)}{k^t(S_n)} \mu^t(S_n), \dots, \mu^t(S_{n-1}) = \frac{k^t(S_{n-1})}{k^t(S_n)} \mu^t(S_n) \quad (4.5)$$

З умови нормування (1.35) та співвідношень (4.3), (4.4), (4.5):

$$\begin{aligned} \mu^t(S_1) &= \left(\frac{k_1^t}{k_1^t} + \frac{k_2^t}{k_1^t} + \dots + \frac{k_n^t}{k_1^t} \right)^{-1} \\ \mu^t(S_2) &= \left(\frac{k_1^t}{k_2^t} + \frac{k_2^t}{k_2^t} + \dots + \frac{k_n^t}{k_2^t} \right)^{-1} \\ &\vdots \\ \mu^t(S_n) &= \left(\frac{k_1^t}{k_n^t} + \frac{k_2^t}{k_n^t} + \dots + \frac{k_n^t}{k_n^t} \right)^{-1} \end{aligned} \quad (4.6)$$

Значення $\mu^t(S_i)$, котре характеризує рівень оцінки варіанта $S_i \in S$ за критерієм $K_t \in K$, дає можливість упорядкувати множину варіантів $S = (S_i, i = 1 \div n)$ за їх рейтингами. Це буде розв'язком задачі ранжування ЗОВ за одним критерієм $K_t \in K$. Чим більше число $\mu^t(S_i)$, тим більша оцінка варіанта за критерієм $K_t \in K$.

Для оцінювання застосуємо групі критерії: корисність – позначимо K_1 ; плата за корисність – C . Оскільки кращому варіанту ЗОВ відповідає менше значення плати за корисність (на відміну від інших групових критеріїв), то для оцінювання зручно скористатися критерієм, оберненим до плати за корисність. Назвемо його “дешевизна”: $K_2 = C^{-1}$; стійкість до збурень – K_3 ; зручність контролю водного потоку – K_4 .

У визначенні нечіткого терму D як перетину або як злиття цілей та обмежень (див. розділ 3), малось на увазі, що всі цілі та обмеження, котрі входять в D , мають однакову важливість. Як відзначено в [53 с. 205] “...зустрічаються ситуації, в котрих деякі цілі і, можливо, деякі обмеження є більш важливими ніж інші. В таких випадках рішення D може бути виражене випуклою комбінацією цілей та обмежень з ваговими коефіцієнтами, котрі характеризують відносну важливість елементів, що їх складають”. В цьому випадку ступінь належності $\mu_D(S)$ запишеться у вигляді

$$\mu_D(S) = \sum_{i=1}^n \alpha_i(S) \cdot \mu_{R_i}(S) + \sum_{j=1}^n \beta_j(S) \cdot \mu_{C_j}(S), \quad (4.7)$$

де α_i і β_j – функції належності такі, що

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i(S) + \sum_{j=1}^n \beta_j(S) = 1. \quad (4.8)$$

З врахуванням цього обмеження, α_i і β_i можуть бути підібрані так, щоб відображати відносну важливість цілей C_1, C_2, \dots, C_n і обмежень R_1, R_2, \dots, R_m .

Можна припустити, що групові критерії (цілі) не є рівноцінними. Для врахування цього факту вводимо коефіцієнти важливості $w_t, t = 1 \div 4$. З їх врахуванням представлення критерію $K_t \in K$ як нечіткої множини набуває вигляду

$$K_t = \left\{ \frac{[\mu^t(S_1)]^{w_t}}{S_1}, \frac{[\mu^t(S_2)]^{w_t}}{S_2}, \dots, \frac{[\mu^t(S_n)]^{w_t}}{S_n} \right\}. \quad (4.9)$$

Тоді інтегральний терм оцінки за груповими критеріями, представимо

$$D = \left\{ \frac{\min_{t=1 \div 4} [\mu^t(S_1)]^{w_t}}{S_1}, \frac{\min_{t=1 \div 4} [\mu^t(S_2)]^{w_t}}{S_2}, \dots, \frac{\min_{t=1 \div 4} [\mu^t(S_n)]^{w_t}}{S_n} \right\}. \quad (4.10)$$

Згідно терму D, кращим варіантом ЗОВ буде той варіант $S_i \in S$, для котрого ступінь належності $[\mu^t(S_i)]^{w_t}$ буде більшим.

Інтегральний терм D є розв'язком задачі оцінювання ЗОВ на багатокритеріальній основі.

Проте, інтегральний нечіткий терм D, як правило, дозволяє визначити один або кілька найкращих варіантів серед кількох альтернативних, але не завжди дозволяє провести задовільне ранжування всіх варіантів. Особливість полягає в тому, що функції належності деяких критеріїв можуть приймати однакове значення для кількох альтернативних варіантів. Не виникає проблем, коли ці значення не відіграють вирішальної ролі при проведенні операції перетину. Якщо це не так, то можна не отримати задовільного розв'язку, оскільки такі альтернативні варіанти виявляються рівноцінними.

Розглянемо такий приклад. Нехай існує множина з чотирьох варіантів альтернативних систем, що підлягають ранжуванню $S^{IP} = \{S_1^{IP}, S_2^{IP}, S_3^{IP}, S_4^{IP}\}$. А також множина з трьох критеріїв їх оцінки $C^{IP} = \{C_1^{IP}, C_2^{IP}, C_3^{IP}\}$. Припустимо, що ці критерії для різних варіантів мають такі значення:

$C_1^{IP}(S_1^{IP}) = 0.2$	$C_2^{IP}(S_1^{IP}) = 4$	$C_3^{IP}(S_1^{IP}) = 12$
$C_1^{IP}(S_2^{IP}) = 0.5$	$C_2^{IP}(S_2^{IP}) = 7$	$C_3^{IP}(S_2^{IP}) = 1.5$
$C_1^{IP}(S_3^{IP}) = 0.8$	$C_2^{IP}(S_3^{IP}) = 10$	$C_3^{IP}(S_3^{IP}) = 1.5$
$C_1^{IP}(S_4^{IP}) = 0.9$	$C_2^{IP}(S_4^{IP}) = 4$	$C_3^{IP}(S_4^{IP}) = 1.5$

Потрібно упорядкувати (проранжувати) альтернативи варіантів $S_i^{np} \in S^{np}$ за критеріями $C_i^{np} \in C^{np}$. Складаємо матриці НПП:

$$A(C_1^{np}) = \begin{matrix} & S_1^{np} & S_2^{np} & S_3^{np} & S_4^{np} \\ \begin{matrix} S_1^{np} \\ S_2^{np} \\ S_3^{np} \\ S_4^{np} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 0.5/0.2 & 0.8/0.2 & 0.9/0.2 \\ 0.2/0.5 & 1 & 0.8/0.5 & 0.9/0.5 \\ 0.2/0.8 & 0.5/0.8 & 1 & 0.9/0.8 \\ 0.2/0.9 & 0.5/0.9 & 0.8/0.9 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A(C_2^{np}) = \begin{matrix} & S_1^{np} & S_2^{np} & S_3^{np} & S_4^{np} \\ \begin{matrix} S_1^{np} \\ S_2^{np} \\ S_3^{np} \\ S_4^{np} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 7/4 & 10/4 & 4/4 \\ 4/7 & 1 & 10/7 & 4/7 \\ 4/10 & 7/10 & 1 & 4/10 \\ 4/4 & 7/4 & 10/4 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

$$A(C_3^{np}) = \begin{matrix} & S_1^{np} & S_2^{np} & S_3^{np} & S_4^{np} \\ \begin{matrix} S_1^{np} \\ S_2^{np} \\ S_3^{np} \\ S_4^{np} \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1.5/1.2 & 1.5/1.2 & 1.5/1.2 \\ 1.2/1.5 & 1 & 1.5/1.5 & 1.5/1.5 \\ 1.2/1.5 & 1.5/1.5 & 1 & 1.5/1.5 \\ 1.2/1.5 & 1.5/1.5 & 1.5/1.5 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Обчисливши ступені належності, отримуємо нечіткі множини оцінки:

$$\bar{C}_1^{np} = \left\{ \frac{0.08}{S_1^{np}}, \frac{0.20}{S_2^{np}}, \frac{0.32}{S_3^{np}}, \frac{0.36}{S_4^{np}} \right\};$$

$$\bar{C}_2^{np} = \left\{ \frac{0.16}{S_1^{np}}, \frac{0.28}{S_2^{np}}, \frac{0.40}{S_3^{np}}, \frac{0.16}{S_4^{np}} \right\};$$

$$\bar{C}_3^{np} = \left\{ \frac{0.32}{S_1^{np}}, \frac{0.04}{S_2^{np}}, \frac{0.04}{S_3^{np}}, \frac{0.04}{S_4^{np}} \right\}.$$

Застосувавши операцію перетину цих множин, отримуємо розв'язок у вигляді інтегральної нечіткої множини

$$D^{np} = \left\{ \frac{0.08}{S_1^{np}}, \frac{0.04}{S_2^{np}}, \frac{0.04}{S_3^{np}}, \frac{0.04}{S_4^{np}} \right\}.$$

Пронормувавши ступені належності до їх найбільшого значення будемо графік функцій належності, котрий наведено на рисунку 4.1.

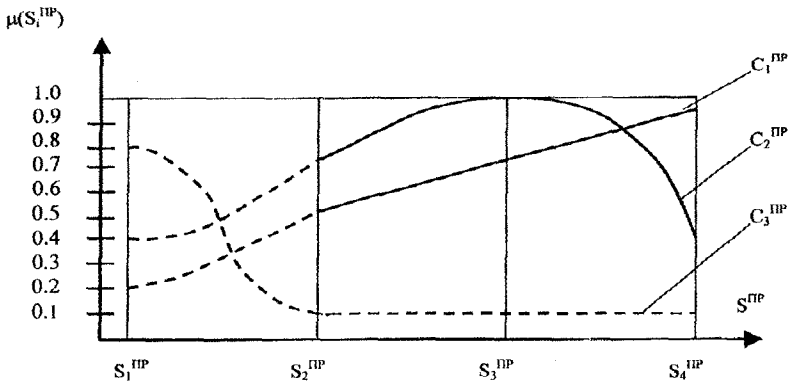


Рис. 4.1. Функції належності нечітких множин

Графічним розв'язком задачі ранжування є нижня границя пучка функцій належності. З нечіткої множини D^{PP} та з рисунка 4.1 добре видно, що варіант системи S_1^{PP} має очевидну перевагу над іншими. Варіанти ж S_2^{PP} , S_3^{PP} та S_4^{PP} згідно отриманого розв'язку є рівноцінними. В деяких випадках (наприклад в задачі відшукування найкращого варіанту) такий розв'язок може задовольнити дослідника. Проте коли необхідно проранжувати всі варіанти, він не є задовільним.

Коли поглянемо на значення функцій належності інших критеріїв варіантів $S_2^{PP} - S_4^{PP}$, що не складають нижньої границі, то побачимо, що вони відрізняються. Твердження про те, що варіанти є рівноцінними коли значення найменших ступенів належності у них однакове (а інші відрізняються) не може бути задовільним. В реальних задачах множина таких "рівноцінних" варіантів може виявитися значно більшою. Тому доцільним є проведення другого етапу ранжування та формулювання при цьому принципу "виключення найменшої рівнозначної цілі". Оскільки в теорії нечітких рішень кожний критерій розглядається як нечітка ціль (або обмеження), то слушним є виключення з розгляду для "рівнозначних" варіантів того критерію (цілі), який приймає для них мінімальне значення і проведення повторної операції перетину функцій належності тих критеріїв, що залишилися після виключення.

Виключення мінімального критерію "рівнозначних" варіантів можна здійснити шляхом виведення його функції належності за межі ділянки значень таких функцій, котра знаходиться в інтервалі $[0, 1]$.

Таке виведення можна провести збільшивши значення ступенів належності “рівнозначних” варіантів за цим критерієм на одиницю.

Щоб зберегти перевагу тих варіантів, які отримали її вже після першої операції перетину, їх ступені належності теж потрібно вивести за межі ділянки значень, тобто ділянки прийняття нечіткого рішення на другому етапі ранжування. Збільшення ступенів належності таких варіантів на одиницю по всім критеріям дозволяє перевести оцінку цих варіантів на якісно новий рівень. Графічно це наведено на рисунку 4.2, в нормованому (аналогічно рис. 4.1) вигляді. Ділянка прийняття нечіткого рішення на другому етапі позначено літерою А.

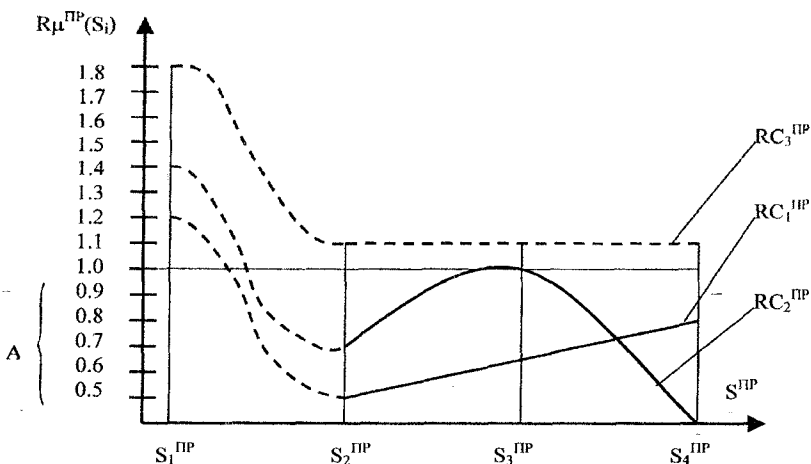


Рис. 4.2 Рангові функції нечітких множин

На рисунках 4.1 і 4.2 пунктирними лініями показано ті частини функції, які переводяться на якісно новий рівень, згідно принципу “виключення найменшої рівнозначної цілі”.

Функції на рисунку 4.2 вже не будуть мати смислу функцій належності. Проте вони зберігають смисл рангових функцій. Застосуємо принцип виключення для пошуку аналітичного розв'язку. В нечіткій множині D ступені належності мають однакове значення для варіантів S_2^{PP} , S_3^{PP} , S_4^{PP} . Це є ступені належності цих варіантів по критерію C_3^{PP} . Додаємо до них одиницю:

$$R\mu^3(S_2^{PP}) = 0.04 + 1 = 1.04 ;$$

$$R\mu^3(S_3^{PP}) = 0.04 + 1 = 1.04 ;$$

$$R\mu^3(S_4^{PP}) = 0.04 + 1 = 1.04 .$$

Додаємо також одиницю до СН варіанта S_1^{np} за всіма критеріями, оскільки цей варіант уже має перевагу в множині D^{np} :

$$R\mu^1(S_1^{np}) = 0.08 + 1 = 1.08 ;$$

$$R\mu^2(S_1^{np}) = 0.16 + 1 = 1.16 ;$$

$$R\mu^3(S_1^{np}) = 0.32 + 1 = 1.32 .$$

Отримуємо нечіткі множини:

$$\overline{RC}_1^{np} = \left\{ \frac{0.08}{S_1^{np}}, \frac{0.20}{S_2^{np}}, \frac{0.32}{S_3^{np}}, \frac{0.36}{S_4^{np}} \right\} ;$$

$$\overline{RC}_2^{np} = \left\{ \frac{0.16}{S_1^{np}}, \frac{0.28}{S_2^{np}}, \frac{0.40}{S_3^{np}}, \frac{0.16}{S_4^{np}} \right\} ;$$

$$\overline{RC}_3^{np} = \left\{ \frac{1.32}{S_1^{np}}, \frac{1.04}{S_2^{np}}, \frac{1.04}{S_3^{np}}, \frac{1.04}{S_4^{np}} \right\} .$$

Провівши повторно операцію перетину, отримуємо бажаний розв'язок

$$RD^{np} = \left\{ \frac{1.08}{S_1^{np}}, \frac{0.20}{S_2^{np}}, \frac{0.32}{S_3^{np}}, \frac{0.16}{S_4^{np}} \right\} .$$

Числові значення рангових функцій (чисельник) є ранговими коефіцієнтами альтернативних варіантів (знаменник).

Якщо при першому застосуванні принципу виключення проранжувати всі варіанти не вдається, то принцип можна застосувати повторно, поки не буде знайдено задовільне рішення або не будуть виключені всі критерії для “рівноцінних” варіантів. В останньому випадку варіанти можна визнати дійсно рівноцінними або вводити додаткові критерії для оцінки.

В прикладі розглянуті лише ВОР. Проте принцип виключення можна застосувати і для АОР.

Відзначимо, що застосування принципу “виключення найменшої рівнозначної цілі” відповідає всім правилам теорії нечітких рішень, зокрема основоположному принципу Беллмана-Заде. Цей принцип дозволяє збільшити мобільність методу ранжування на базі нечіткої логіки і відшукати прийнятне рішення там, де його знайти не вдалось.

4.2. Визначення коефіцієнтів важливості групових критеріїв

Головним призначенням ЗОВ як системи суспільного користування є здійснення контролю за водоспоживанням і видача інформації про кількість та режим водоспоживання. Ця інформація повинна бути якомога точнішою і дешевшою. Цілком очевидно, що сформовані групові критерії оцінювання будуть не однаково

оцінювати виконання ЗОВ його суспільного призначення. Проте ступінь цієї неоднаковості не є очевидним. Сформуємо такі параметри для оцінювання важливості групових критеріїв:

1. Оцінювання критерієм точності обліку водоспоживання.
2. Оцінювання критерієм собівартості обліку водоспоживання.

Точність обліку водоспоживання не можна ототожнювати з похибкою вимірювання. Корисність за своїм визначенням спричиняє найбільший вплив на точність обліку. Такий вплив спричинятиме і ергономічний груповий критерій. До зниження точності обліку води можуть призводити помилки при зчитуванні показників, неможливість їх зчитування при запотіванні індикаторів, великі проміжки часу між зчитуванням через недосконалість способу передачі інформації ЗОВ, тощо. Спричинятиме такий вплив і функціональна група критеріїв через випадкові фактори, що збільшують похибку вимірювання, випадкові відмови ЗОВ, його схильність до сприяння виникненню кавітаційних явищ та інші. Навіть окремі фактори плати за корисність можуть виявляти вплив на точність обліку. Наприклад, збільшення нормативу обслуговування ЗОВ на одного фахівця може вести до збільшення проміжку часу між зчитуванням показників тощо.

Аналогічно собівартість обліку водоспоживання також не можна ототожнювати з затратами на процес вимірювання. Очевидно, що вирішальний вплив тут спричинятиме плата за корисність. Проте сама корисність через недорахований об'єм води виявлятиме вплив на суспільну собівартість. Свою частку впливу вносять і функціональні чинники: випадкові відмови, що ведуть за собою додаткові (не враховані) затрати на ремонт; сприяння виникненню кавітації, що руйнує трубопровід і таке інше. Ергономічні якості також помітно знижують суспільну собівартість.

Оскільки всі ці фактори в переважній більшості можуть бути виражені лише лінгвістично, то для визначення коефіцієнтів важливості зручно скористатися методом НПП за абсолютними оцінками рівнів з огляду на вже згадані його переваги. Для цього в якості цілей приймемо показники важливості критеріїв:

C_1^{KP} – рівень оцінювання критерієм точності обліку водоспоживання;

C_2^{KP} – рівень оцінювання критерієм собівартості обліку водоспоживання.

Проведемо лінгвістичні порівняння групових критеріїв K_i , $i = 1 \div 4$ за цими показниками.

Матриці НПП, сформовані за 9-ти бальною шкалою Саати матимуть в цьому випадку такий вигляд

$$A(C_1^{KP}) = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & K_3 & K_4 \\ \begin{matrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} a'_{11} & a'_{12} & a'_{13} & a'_{14} \\ a'_{21} & a'_{22} & a'_{23} & a'_{24} \\ a'_{31} & a'_{32} & a'_{33} & a'_{34} \\ a'_{41} & a'_{42} & a'_{43} & a'_{44} \end{bmatrix} \end{matrix} \quad (4.11)$$

Порівняння критеріїв дозволяють зробити такі лінгвістичні висловлювання (згідно прийнятих умовних позначень):

$$G_1^{KP} : K_1 > K_2; K_3 > K_4; K_1 \geq K_4; K_1 \Rightarrow K_3; K_3, K_4 \Rightarrow K_2.$$

$$G_2^{KP} : K_4 \rightarrow \Rightarrow K_3; K_3 \rightarrow \Rightarrow K_1; K_4 \Rightarrow K_1; K_2 \geq K_4; K_2 \rightarrow K_3; K_2 > K_1.$$

На основі цих висловлювань складаємо матриці

$$A(C_1^{KP}) = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & K_3 & K_4 \\ \begin{matrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 1/7 & 1/3 & 1/5 \\ 7 & 1 & 3 & 3 \\ 3 & 1/3 & 1 & 1/7 \\ 5 & 1/3 & 7 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix} \quad A(C_2^{KP}) = \begin{matrix} & K_1 & K_2 & K_3 & K_4 \\ \begin{matrix} K_1 \\ K_2 \\ K_3 \\ K_4 \end{matrix} & \begin{bmatrix} 1 & 7 & 2 & 3 \\ 1/7 & 1 & 1/6 & 1/5 \\ 1/2 & 6 & 1 & 2 \\ 1/3 & 5 & 1/2 & 1 \end{bmatrix} \end{matrix}$$

Розраховані СН показників важливості за формулою (3.6) наведено в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Ступені належності групових критеріїв за показниками важливості

Ступені належності	K_1	K_2	K_3	K_4
$\mu^1(K_i)$	0.596	0.0714	0.223	0.075
$\mu^2(K_i)$	0.077	0.662	0.105	0.146

Для побудови функцій належності пронормуємо отримані ступені належності шляхом ділення на найбільше значення, котре складає $\mu^2(K_2) = 0.662$. Результати нормування наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Нормовані СН групових критеріїв за показниками важливості

Нормовані ступені належності	K_1	K_2	K_3	K_4
$\mu^1_n(K_i)$	0.900	0.108	0.337	0.113
$\mu^2_n(K_i)$	0.116	1.0	0.159	0.221

Функції належності, побудовані в нормованій системі координат наведено на рисунку 4.3. В якості лінгвістичної змінної K прийнято "Рівень оцінювання груповим критерієм виконання ЗОВ в системах водопостачання свого суспільного призначення".

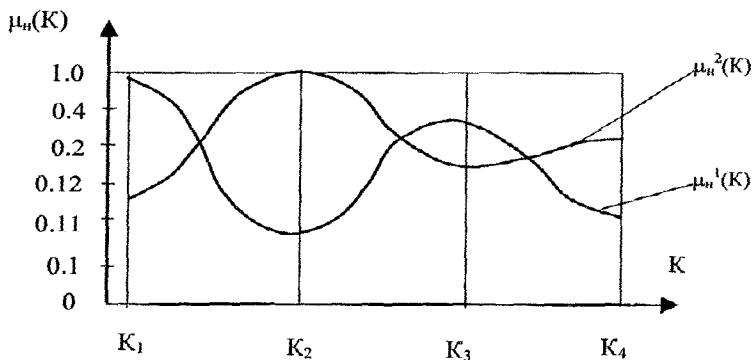


Рис. 4.3. Нормовані функції належності групових критеріїв за параметрами важливості

Нижня границя пучка функцій, яка є розв'язком, показує, що найбільшого значення лінгвістична змінна K приймає для критерію K_3 . Для критерію K_4 вона має найменше значення.

Представляємо показники важливості, що формують лінгвістичну змінну, у вигляді нечітких множин за формулами (3.8):

$$G_1^{KP} = \left\{ \frac{0.596}{K_1}, \frac{0.0714}{K_2}, \frac{0.223}{K_3}, \frac{0.075}{K_4} \right\};$$

$$G_2^{KP} = \left\{ \frac{0.077}{K_1}, \frac{0.662}{K_2}, \frac{0.105}{K_3}, \frac{0.146}{K_4} \right\}.$$

При перетині цих множин маємо інтегральну нечітку множину (ф-ла (3.8))

$$W^{KP} = \left\{ \frac{0.077}{K_1}, \frac{0.0714}{K_2}, \frac{0.105}{K_3}, \frac{0.075}{K_4} \right\}.$$

Присвоюємо груповим критеріям K_i , $i = 1 \div 4$ рангові коефіцієнти (коефіцієнти важливості) згідно інтегральної множини W^{KP} :

1. Корисність (K_1): $\omega_1 = 0.077$.
2. Дешевизна (K_2): $\omega_2 = 0.0714$.
3. Стійкість роботи ЗОВ до збурень (K_3): $\omega_3 = 0.105$.
4. Зручність контролю водного потоку (K_4): $\omega_4 = 0.075$.

Ці коефіцієнти будуть використані при пошуку розв'язку за формулою (4.10).

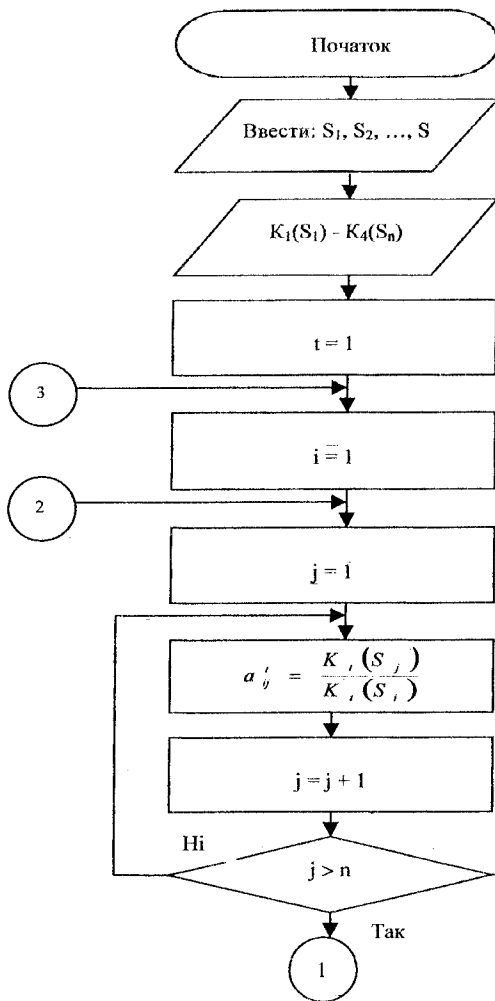
Методика проведення оцінювання за груповими критеріями представлена у вигляді структурної схеми на рисунку 4.4.

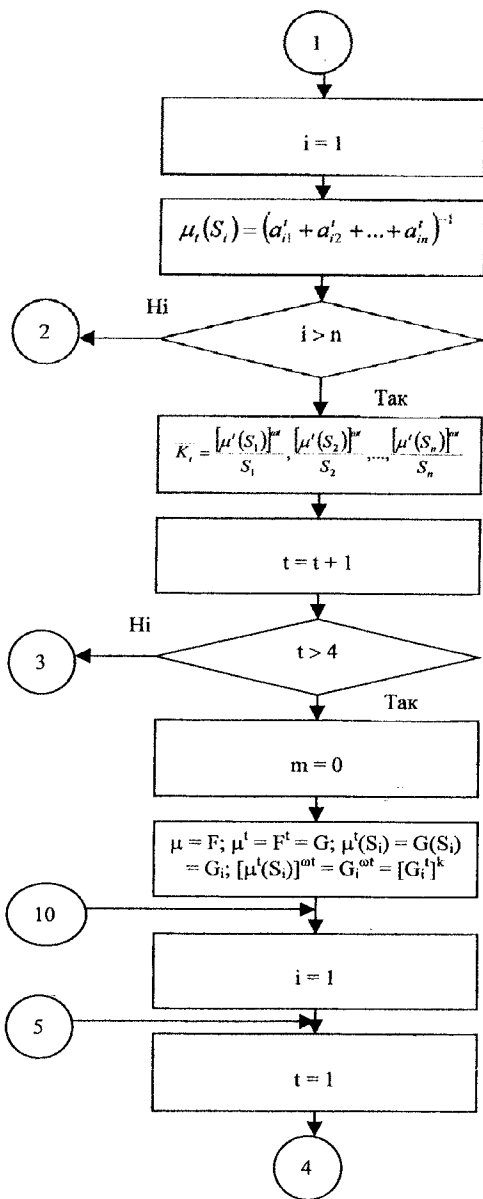
4.3. Алгоритм ранжування засобів обліку водоспоживання за груповими критеріями

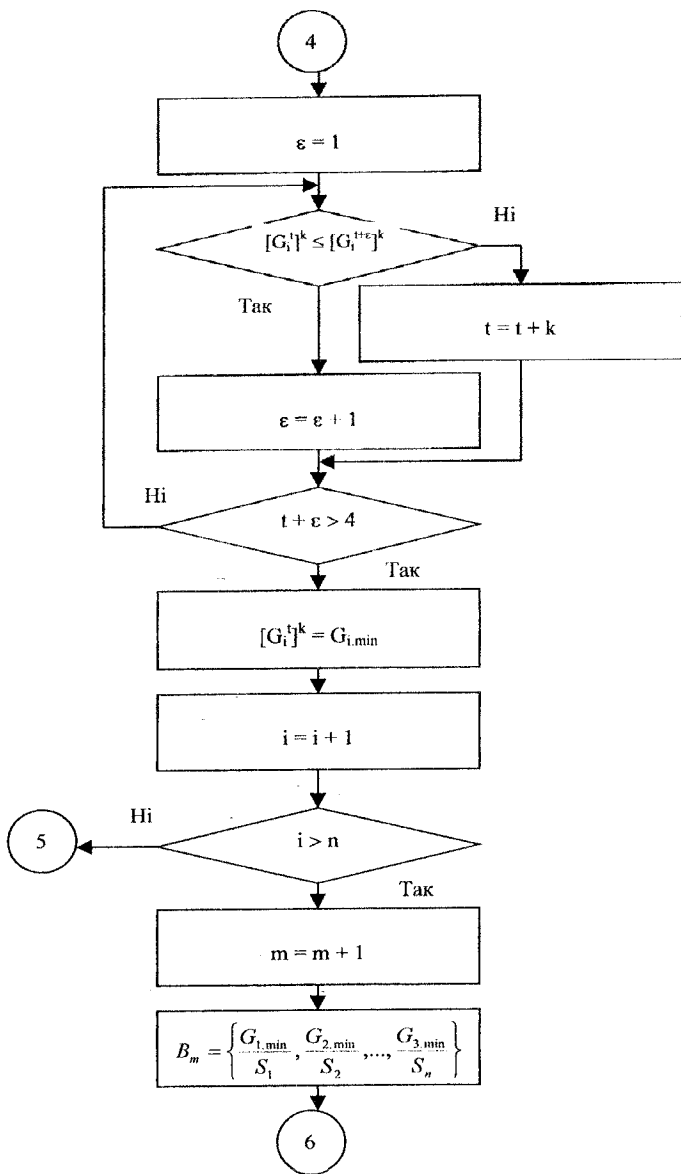
Проведення оцінювання (ранжування) ЗОВ за груповими критеріями виконується в такій послідовності:

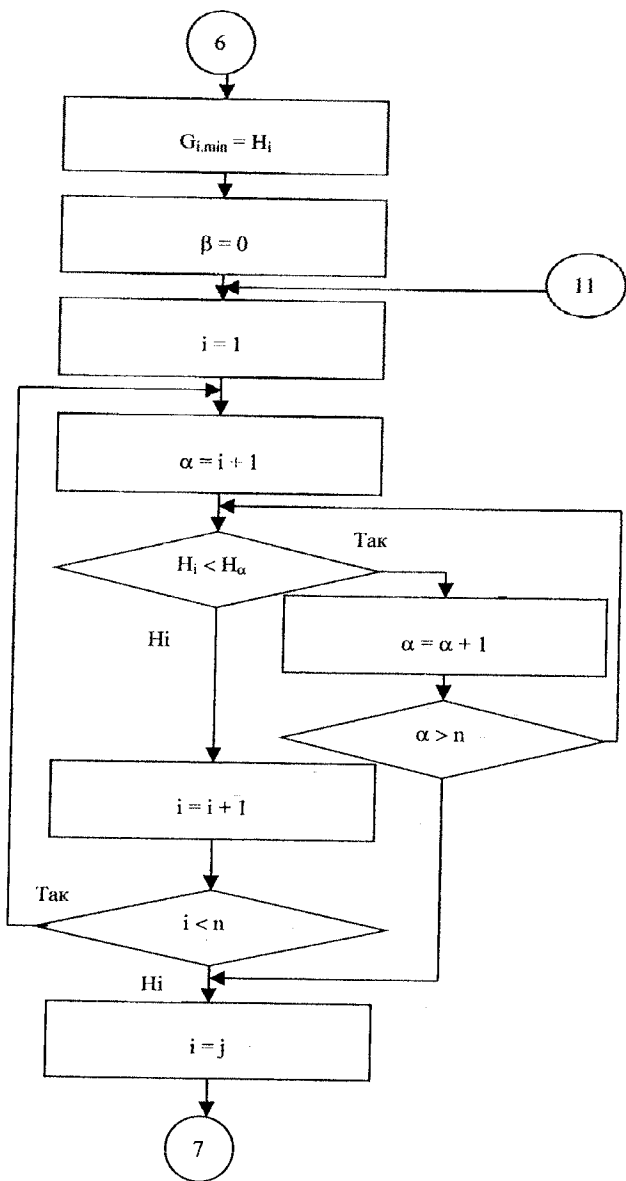
1. Визначаються ступені важливості (ранги) групових критеріїв.
2. Задається множина ЗОВ $S^{GP} = \{S_i^{GP}\}$, що підлягають оцінюванню.
3. Задаються кількісні значення групових критеріїв $K = \{K_t\}$, $t = 1 - 4$ для кожного варіанта ЗОВ множини S^{GP} .
4. Формують матрицю НПП за груповим критерієм $K_t \in K$, елементи якої визначають як попарні відношення абсолютних величин цього критерію для варіантів, що порівнюються (формула (4.1)).
5. Розраховують ступені належності кожного варіанта $S_i^{GP} \in S^{GP}$ до нечіткого терму оцінки за цим критерієм (формули (4.6)).
6. Представляють груповий критерій $K_t \in K$ у вигляді нечіткої множини \bar{K}_t , заданої на універсальній множині варіантів S^{GP} за формулами (4.9).
7. Повторюють кроки 4, 5 і 6 для кожного наступного групового критерію.
8. Проводять операцію перетину нечітких множин й формують інтегральну нечітку множину (формула (4.10)), котра є розв'язком задачі оцінювання ЗОВ за багатьма критеріями.
9. В разі неотримання задовільного розв'язку, застосовують принцип "виключення найменшої рівнозначної цілі", і проводять повторну операцію перетину рангових функцій.
10. Повторюють крок 9 до отримання задовільного розв'язку.
11. Присвоюють кожному варіанту ЗОВ $S_i^{GP} \in S^{GP}$ ранговий коефіцієнт з інтегральної множини оцінки.

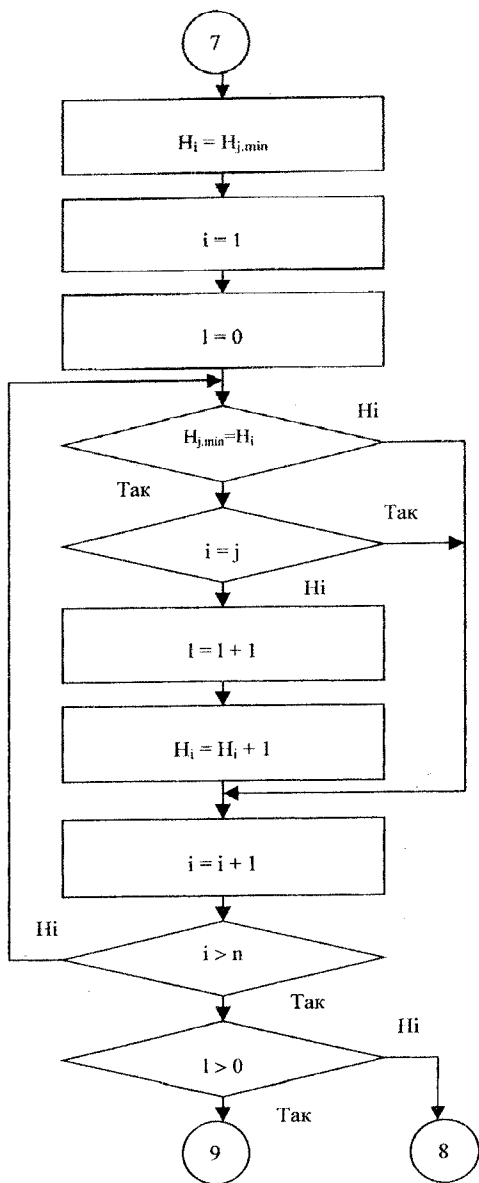
Блок-схема алгоритму проведення оцінювання за груповими критеріями

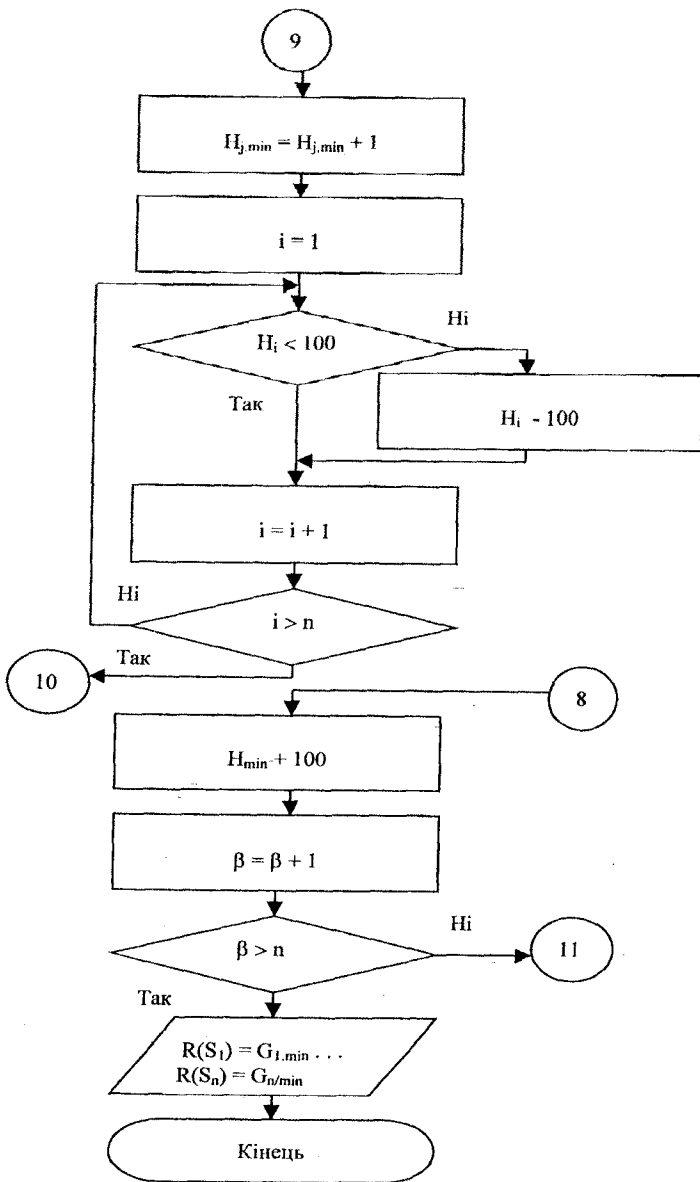












4.4. Обґрунтування вибору оптимального засобу обліку водоспоживання

Проведемо оцінювання та обґрунтуємо вибір оптимального ЗОВ для споживача води з середньодобовим водоспоживанням $Q_{г. \text{ср.}} = 10 \text{ м}^3/\text{год.}$ та коефіцієнтом годинної нерівномірності $K_g = 1,8$.

4.4.1. Формування множини альтернативних варіантів засобів обліку водоспоживання

Для формування множини варіантів ЗОВ візьмемо за основу "Перелік засобів обліку споживання води та теплової енергії", запропоновані Держбудом України для практичного використання у роботі, і які занесено до державного реєстру України. Візьмемо ту частину переліку, котра стосується приладів обліку холодної води. Виберемо з нього ті ЗОВ, калібр котрих відповідає характеристикам водоспоживання прийнятого споживача, і доповнимо їх ЗОВ, що використовуються на сьогоднішній день у водопрвідно-каналізаційному господарстві України, проте не ввійшли до цього переліку. Сформована множина альтернативних варіантів та їх характеристики наведено в таблицях 4.3, 4.4, та 4.5. При цьому в таблицю 4.5 одразу внесено значення рангових коефіцієнтів за функціональним α_f та ергономічним $\alpha_{ерг.}$ груповими критеріями оцінювання, котрі отримані при проведенні ранжування типових груп ЗОВ за неметричними критеріями стійкості до збурень та зручності контролю водного потоку.

Таблиця 4.3

Частинні критерії корисності множини альтернативних варіантів ЗОВ

Вар.	Марка ЗОВ	d_v	Q_{\min}	Q_l	Q_n	Q_{\max}
S ₁	СВТУ-10	50	0.88	0.88	17	35
S ₂	УСВ-32-24	32	0.36	0.36	9	18
S ₃	УСВ-40-25	40	0.45	0.45	11.3	22.7
S ₄	АКВА-1	50	0.8	0.8	18	36
S ₅	UP 45 U 480-95	50	0.8	0.8	18	36
S ₆	ВКОС-40	40	0.17	1.0	6.3	10
S ₇	ТВ-50	50	1.6	4.0	15	30
S ₈	МТК-40	40	0.15	0.60	10	20
S ₉	М-ТQ _г 10 А40-U	40	0.03	0.60	10	20
S ₁₀	ВСІМ-16/40	40	0.16	0.64	8	16
S ₁₁	КВБ-10	40	0.16	0.64	10	20
S ₁₂	Cosmos WP 50/40-U	50	0.5	2.5	40	80
S ₁₃	Cosmos WS 50/40-U	50	0.15	2.0	17	35
S ₁₄	Cosmos WPD 40/50-U	40	0.3	13.0	30	60
S ₁₅	Cosmos WS	50	0.3	2.0	20	40

Вар.	Марка ЗОВ	d_v	Q_{min}	Q_t	Q_n	Q_{max}
S ₁₆	Multimag	40	0.45	2.5	15	30
S ₁₇	WOLTEXWEG. WEN	50	0.5	2.5	20	40
S ₁₈	WOLTMAG WSG. WSN	50	0.5	2.5	25	50
S ₁₉	MV-MAM 30	32	0.24	0.90	6	12
S ₂₀	MV-MAM 40	40	0.4	2.0	10	20
S ₂₁	WPH-T-D-D	50	0.4	2.0	35	70

Вар.	Марка ЗОВ	σ_p	σ_{max}	T	T _n	t _p
S ₁	CBTY-10	2	2	90 000	720	15 000
S ₂	UCB-32-24	1.5	1.5	90 000	720	15 000
S ₃	UCB-40-25	1.5	1.5	90 000	720	15 000
S ₄	AKBA-1	1.5	1.5	100 000	720	13 000
S ₅	UP 45 U 480-95	1.5	1.5	90 000	720	13 000
S ₆	BKOC-40	2	5	90 000	720	13 000
S ₇	TB-50	2	5	90 000	720	13 000
S ₈	MTK-40	2	5	90 000	720	13 000
S ₉	M-TQ _n 10 A40-U	2	5	100 000	720	13 000
S ₁₀	BCIM-16/40	2	5	100 000	720	13 000
S ₁₁	KBE-10	2	5	100 000	720	10 000
S ₁₂	Cosmos WP 50/40-U	2	5	100 000	720	13 000
S ₁₃	Cosmos WS 50/40-U	2	5	100 000	720	13 000
S ₁₄	Cosmos WPD 40/50-U	2	5	100 000	720	13 000
S ₁₅	Cosmos WS	2	5	100 000	720	13 000
S ₁₆	Multimag	2	5	100 000	720	13 000
S ₁₇	WOLTEXWEG. WEN	2	5	100 000	720	13 000
S ₁₈	WOLTMAG WSG. WSN	2	5	100 000	720	13 000
S ₁₉	MV-MAM 30	3	5	100 000	720	13 000
S ₂₀	MV-MAM 40	3	5	100 000	720	13 000
S ₂₁	WPH-T-D-D	2	5	90 000	720	13 000

Таблиця 4.4

Частинні критерії плати за корисність альтернативних варіантів ЗОВ

Вар.	Марка ЗОВ	d_v	$C_{ЗОВ}$	t _n	r	T ₁	T ₂
S ₁	CBTY-10	50	5 890	1	0	120	24
S ₂	UCB-32-24	32	4 750	1	0	120	20
S ₃	UCB-40-25	40	5 120	1	0	120	20
S ₄	AKBA-1	50	2 990	1	0	120	18
S ₅	UP 45 U 480-95	50	6 130	1	0	120	18
S ₆	BKOC-40	40	320	2	1	120	18
S ₇	TB-50	50	1152	2	1	120	18
S ₈	MTK-40	40	810	2	1	120	18
S ₉	M-TQ _n 10 A40-U	40	695	2	1	120	18
S ₁₀	BCIM-16/40	40	480	2	1	144	18

Продовження таблиці 4.4

Вар.	Марка ЗОВ	d_v	$C_{ЗОВ}$	t_n	r	T_1	T_2
S ₁₁	КББ-10	40	490	2	1	144	18
S ₁₂	Cosmos WP 50/40-U	50	1 318	2	1	144	18
S ₁₃	Cosmos WS 50/40-U	50	1 223	2	1	144	18
S ₁₄	Cosmos WPD 40/50-U	40	720	2	1	144	18
S ₁₅	Cosmos WS	50	1 184	2	1	144	18
S ₁₆	Multimag	40	750	2	1	144	18
S ₁₇	WOLTEXWEG. WEN	50	1 100	2	1	120	18
S ₁₈	WOLTMAG WSG. WSN	50	1 123	2	1	120	18
S ₁₉	MV-MAM 30	32	580	2	1	120	18
S ₂₀	MV-MAM 40	40	795	2	1	120	18
S ₂₁	WPH-T-D-D	50	1 200	2	1	120	18

Продовження таблиці 4.4

Вар.	Марка ЗОВ	T_3	$V_{пов}$	$P_{кВт}$	C_d	Спосіб монтажу
S ₁	CBTY-10	12	0	0.003	0	Фланцевий
S ₂	UCB-32-24	12	0	0.03	0	Різьбовий
S ₃	UCB-40-25	12	0	0.03	0	Різьбовий
S ₄	AKBA-1	12	0	0.024	0	Фланцевий
S ₅	UP 45 U 480-95	12	0	0.018	0	Фланцевий
S ₆	BKOC-40	12	2	0	0	Різьбовий
S ₇	TB-50	12	7	0	0	Фланцевий
S ₈	MTK-40	12	2	0	0	Різьбовий
S ₉	M-TQ _n 10 A40-U	12	2	0	0	Різьбовий
S ₁₀	BCIM-16/40	12	2	0	0	Різьбовий
S ₁₁	КББ-10	12	2	0	0	Різьбовий
S ₁₂	Cosmos WP 50/40-U	12	7	0	0	Фланцевий
S ₁₃	Cosmos WS 50/40-U	12	7	0	0	Фланцевий
S ₁₄	Cosmos WPD 40/50-U	12	2	0	0	Різьбовий
S ₁₅	Cosmos WS	12	7	0	0	Фланцевий
S ₁₆	Multimag	12	2	0	0	Різьбовий
S ₁₇	WOLTEXWEG. WEN	12	7	0	0	Фланцевий
S ₁₈	WOLTMAG WSG. WSN	12	7	0	0	Фланцевий
S ₁₉	MV-MAM 30	12	2	0	0	Різьбовий
S ₂₀	MV-MAM 40	12	2	0	0	Різьбовий
S ₂₁	WPH-T-D-D	12	7	0	0	Фланцевий

Таблиця 4.5

Групові критерії СЗБ та ЗКВП альтернативних варіантів ЗОВ

Вар.	Марка ЗОВ	d_v	Тип за функціональним кр-рієм	α_p
S ₁	CBTY-10	50	Ультразвуковий	0.050
S ₂	UCB-32-24	32	Ультразвуковий	0.050
S ₃	UCB-40-25	40	Ультразвуковий	0.050
S ₄	AKBA-1	50	Звужуючий пристрій	0.059

Продовження таблиці 4.5

Вар.	Марка ЗОВ	d _r	Тип за функціональним кр-рієм	α _{ср}
S ₅	UP 45 U 480-95	50	Електромагнітний	0.048
S ₆	ВКОС-40	40	Тахометричний з осью передачею	0.032
S ₇	TB-50	50	- // -	0.032
S ₈	МТК-40	40	- // -	0.032
S ₉	M-TQ _a 10 A40-U	40	- // -	0.032
S ₁₀	BCIM-16/40	40	Тахометричний з осью передачею	0.035
S ₁₁	КББ-10	40	- // -	0.035
S ₁₂	Cosmos WP 50/40-U	50	- // -	0.035
S ₁₃	Cosmos WS 50/40-U	50	- // -	0.035
S ₁₄	Cosmos WPD 40/50-U	40	- // -	0.035
S ₁₅	Cosmos WS	50	- // -	0.035
S ₁₆	Multimag	40	- // -	0.035
S ₁₇	WOLTEXWEG. WEN	50	- // -	0.035
S ₁₈	WOLTMAG WSG. WSN	50	- // -	0.035
S ₁₉	MV-MAM 30	32	- // -	0.035
S ₂₀	MV-MAM 40	40	- // -	0.035
S ₂₁	WPH-T-D-D	50	- // -	0.035

Продовження таблиці 4.5

Вар.	Марка ЗОВ	d _r	Тип за ергономічним кр-рієм	α _{ср}
S ₁	CBTY-10	50	З електронною індикацією кількості та витрати на окремому блоці і банком даних	0.115
S ₂	УСВ-32-24	32	З електронною індикацією кількості та витрати на окремому блоці	0.045
S ₃	УСВ-40-25	40	- // -	0.045
S ₄	AKBA-1	50	- // -	0.045
S ₅	UP 45 U 480-95	50	- // -	0.045
S ₆	ВКОС-40	40	Зі стрілочним індикатором на корпусі	0.040
S ₇	TB-50	50	З цифровим індикатором на корпусі	0.042
S ₈	МТК-40	40	- // -	0.042
S ₉	M-TQ _a 10 A40-U	40	- // -	0.042
S ₁₀	BCIM-16/40	40	- // -	0.042
S ₁₁	КББ-10	40	- // -	0.042
S ₁₂	Cosmos WP 50/40-U	50	- // -	0.042
S ₁₃	Cosmos WS 50/40-U	50	- // -	0.042
S ₁₄	Cosmos WPD 40/50-U	40	- // -	0.042
S ₁₅	Cosmos WS	50	- // -	0.042
S ₁₆	Multimag	40	- // -	0.042
S ₁₇	WOLTEXWEG. WEN	50	- // -	0.042
S ₁₈	WOLTMAG WSG. WSN	50	- // -	0.042
S ₁₉	MV-MAM 30	32	- // -	0.042
S ₂₀	MV-MAM 40	40	- // -	0.042
S ₂₁	WPH-T-D-D	50	- // -	0.042

4.4.2. Розрахунок метричних групових критеріїв оцінки засобів обліку водоспоживання

Розрахуємо величину групового критерію корисності альтернативних варіантів ЗОВ, що оцінюються.

Спочатку розрахуємо коефіцієнт неспівпадання витрат для варіанта ЗОВ S_1 за формулою (2.9)

$$K_n(S_1) = \frac{17\text{м}^3/\text{год.}}{10\text{м}^3/\text{год.}} = 1.7.$$

Значення K_n для решти варіантів ЗОВ наведено в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6

Коефіцієнт неспівпадання витрат для варіантів ЗОВ, що оцінюються

Варіант ЗОВ	K_n	Варіант ЗОВ	K_n	Варіант ЗОВ	K_n
S_1	1.7	S_8	1	S_{15}	2
S_2	0.9	S_9	1	S_{16}	1.5
S_3	1.13	S_{10}	0.8	S_{17}	2
S_4	1.8	S_{11}	1	S_{18}	2.5
S_5	1.8	S_{12}	4	S_{19}	0.6
S_6	0.63	S_{13}	1.7	S_{20}	1
S_7	1.5	S_{14}	3	S_{21}	3.5

Розрахуємо об'єм водоспоживання (витрату води на об'єкті споживача) для кожної години доби (формула 2.10). При цьому з таблиці 2.1 вибираємо $Q_{г.\%i}$.

$$Q_1 = \frac{0.9 \cdot 17}{4.17 \cdot 1.7} = 2.158\text{м}^3/\text{год.}$$

Результати розрахунку Q_i для решти годин доби наведено в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7

Погодинне водоспоживання об'єкта

Година доби	Q_i	Година доби	Q_i	Година доби	Q_i
0-1	2.158	8-9	13.189	16-17	10.791
1-2	2.158	9-10	11.63	17-18	13.189
2-3	2.158	10-11	11.99	18-19	15.108
3-4	2.398	11-12	15.588	19-20	12.83
4-5	5.635	12-13	17.986	20-21	11.99
5-6	9.233	13-14	16.067	21-22	7.194
6-7	12.47	14-15	12.83	22-23	4.796
7-8	14.868	15-16	11.151	23-24	2.398

Розрахуємо похибку вимірювання в кожну з годин доби. За умовами вибору (2.11) та з врахуванням позначень (2.15), номінальна витрата води варіанта ЗОВ S_1 в години "1 – 12" та "14 – 24" потрапляє в діапазон "j" (для визначення σ використовуємо формулу (2.21)). В годину "13" номінальна витрата потрапляє в діапазон "i" (використовуємо формулу (2.20)).

$$\sigma_i^0(j) = \frac{\left(\frac{0.9 \cdot 17}{4.17 \cdot 1.7} - 17\right)^2 \cdot 2 \cdot 0.9}{100 \cdot (0.88 - 17)^2} = 1.526 \cdot 10^{-2}, \quad \sigma_{13}^0(i) = \frac{\left(\frac{7.5 \cdot 17}{4.17 \cdot 1.7} - 17\right)^2 \cdot 2 \cdot 7.5}{100 \cdot (35 - 17)^2} = 4.5 \cdot 10^{-4}$$

Результати розрахунку годинних похибок вимірювання варіанта ЗОВ S_1 для решти годин доби наведено в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8

Погодинна похибка вимірювання варіанту ЗОВ " S_1 " в процентах від добової витрати

Години доби	Похибка вимірювання				Сумарна похибка σ_{Σ}
	$\sigma^a(i)$	$\sigma^a(j)$	$\sigma^a(k)$	$\sigma^a(l)$	
0-1	-	$1.526 \cdot 10^{-2}$	-	-	4.301203 $\cdot 10^{-1}$
1-2	-	$1.526 \cdot 10^{-2}$	-	-	
2-3	-	$1.526 \cdot 10^{-2}$	-	-	
3-4	-	$1.641 \cdot 10^{-2}$	-	-	
4-5	-	$2.336 \cdot 10^{-2}$	-	-	
5-6	-	$1.789 \cdot 10^{-2}$	-	-	
6-7	-	$8.213 \cdot 10^{-3}$	-	-	
7-8	-	$2.169 \cdot 10^{-3}$	-	-	
8-9	-	$6.148 \cdot 10^{-3}$	-	-	
9-10	-	$1.076 \cdot 10^{-2}$	-	-	
10-11	-	$9.659 \cdot 10^{-2}$	-	-	
11-12	-	$9.974 \cdot 10^{-4}$	-	-	
12-13	$4.5 \cdot 10^{-4}$	-	-	-	
13-14	-	$4.489 \cdot 10^{-4}$	-	-	
14-15	-	$7.160 \cdot 10^{-3}$	-	-	
15-16	-	$1.224 \cdot 10^{-2}$	-	-	
16-17	-	$1.335 \cdot 10^{-2}$	-	-	
17-18	-	$6.148 \cdot 10^{-3}$	-	-	
18-19	-	$1.736 \cdot 10^{-3}$	-	-	
19-20	-	$7.160 \cdot 10^{-3}$	-	-	
20-21	-	$9.659 \cdot 10^{-2}$	-	-	
21-22	-	$2.220 \cdot 10^{-2}$	-	-	
22-23	-	$2.292 \cdot 10^{-2}$	-	-	
23-24	-	$1.141 \cdot 10^{-2}$	-	-	

Розрахуємо КР варіанта ЗОВ " S_1 " за формулою (2.46):

$$\Psi_1 = \left(1 - \frac{1}{100} |4.301203 \cdot 10^{-1}| \right) \cdot \left(\frac{90000^2}{15000 \cdot (90000 + 720)} \cdot \left(1 - \exp \left[-\frac{15000}{90000} \right] \right) \right) = 0.909869$$

Результати розрахунку корисності для решти варіантів ЗОВ наведено в таблиці 4.9. При цьому, для надання груповому критерію більш зручного вигляду, його значення помножено на 10^{-2} .

Таблиця 4.9

Результати розрахунку корисності альтернативних варіантів ЗОВ

Варіант ЗОВ	$\Psi_i \cdot 10^{-2}$	Варіант ЗОВ	$\Psi_i \cdot 10^{-2}$	Варіант ЗОВ	$\Psi_i \cdot 10^{-2}$
S ₁	90.99	S ₈	92.01	S ₁₅	92.69
S ₂	90.95	S ₉	92.73	S ₁₆	92.73
S ₃	91.22	S ₁₀	93.5	S ₁₇	92.66
S ₄	92.89	S ₁₁	94.11	S ₁₈	92.46
S ₅	92.17	S ₁₂	92.07	S ₁₉	88.81
S ₆	85.64	S ₁₃	92.77	S ₂₀	92.5
S ₇	92.01	S ₁₄	92.27	S ₂₁	90.85

Розрахуємо величину групового критерію плати за корисність для всіх варіантів ЗОВ. Спочатку розрахуємо його величину для варіанту ЗОВ "S₁".

Визначимо зарплату слюсаря-ремонтника Z₁ за складання водолічильного вузла (формула (2.53))

$$Z_1^1 = 3.0 \text{ л} \cdot \text{год} \cdot 0.27 \text{ грн} / \text{год} \cdot 2 = 1.62 \text{ грн}.$$

Визначаємо затрати на матеріали та комплектуючі для виготовлення вузла за формулою (2.52)

$$\begin{aligned} C_{\text{в.мат.}} = & 6 \cdot (0 \text{ грн.} + 0.55 \text{ грн.} + 0.02 \text{ грн.}) + 8 \cdot (0 \text{ грн.} + 0 \text{ грн.} + 2.80 \text{ грн.}) + \\ & + 3 \cdot (0 \text{ грн.} + 42.00 \text{ грн.}) + 3 \cdot 4.88 \text{ кг} \cdot 0.95 \text{ грн.} / \text{кг} + 1.4 \text{ кг} \cdot 7.20 \text{ грн.} / \text{кг} + \\ & + 0.5 \text{ кг} \cdot 6.90 \text{ грн.} / \text{кг} + 0.25 \text{ кг} \cdot 5.56 \text{ грн.} / \text{кг} + 22 \text{ атм} \cdot 0.0393 \text{ грн.} / \text{атм} + \\ & + 1.02 \text{ кг} \cdot 1.07 \text{ грн.} / \text{кг} = 182.60 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Визначаємо зарплату слюсаря-ремонтника та електрогазоварювальника за монтаж водолічильного вузла (формула (2.58))

$$\begin{aligned} Z_2^1 = & 3.0 \text{ л} \cdot \text{год} \cdot 0.27 \text{ грн.} / \text{год} \cdot 2 + 2.0 \text{ л} \cdot \text{год} \cdot 0.27 \text{ грн.} / \text{год} \cdot 2.07 + \\ & + 2.0 \cdot 0.27 \cdot \frac{8\%}{100\%} = 2.78 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Визначаємо затрати на матеріали для монтажу вузла за формулою (2.57))

$$C_{\text{м.мат.}} = 22 \text{ атм.} \cdot 0.0393 \text{ грн./атм.} + 1.02 \text{ кг.} \cdot 1.07 \text{ грн./кг.} = 1.95 \text{ грн.}$$

Визначаємо зарплату фахівця зі збуту послуг, що веде контроль за показниками ЗОВ (формула (2.62))

$$Z_3^1 = 12 \cdot \frac{170 \text{ год.}}{600} \cdot 0.25 \text{ грн./год.} \cdot 2 = 1.70 \text{ грн.}$$

Визначаємо зарплату слюсаря-ремонтника за зняття та встановлення ЗОВ на трубопроводі (формула (2.66))

$$Z_4 = 2.17 \text{ л.} \cdot \text{год.} \cdot 0.27 \text{ грн./год.} \cdot 2 = 1.46 \text{ грн.}$$

Визначаємо зарплату слюсаря водолічильної лабораторії за повірку ЗОВ (формула (2.68))

$$Z_5 = 0.68 \text{ л.} \cdot \text{год.} \cdot 0.3 \text{ грн./год.} \cdot 2 = -0.41 \text{ грн.}$$

Визначаємо середню кількість ремонтів ЗОВ на рік за формулою (2.72)

$$N_p = \frac{12 \cdot (120 - 24)}{120 \cdot 12} = 0.8 \text{ шт.}$$

Визначаємо коефіцієнт додаткових виробничих нарахувань за формулою (2.54))

$$K_1 = 1.51 + \frac{182.5\%}{100\%} = 3/335.$$

Визначаємо коефіцієнт затрат на ремонт за формулою (2.70))

$$K_p = \frac{44.56}{169.10} = 0.264.$$

Розраховуємо величину плати за корисність варіанту ЗОВ "S₁" за формулою (2.75))

$$C = \frac{1}{169.1} \cdot \{5890 + [(1.62 + 2.78 + 1.70 + \frac{1}{1} \cdot (0 \cdot 1.46 + 0.41) + 0.8 \cdot 1.46) \cdot 3.335 + \\ + 182.61 + 1.95 + \frac{1}{1} \cdot ((0.95 + 0.42) \cdot 0 + 1.0)] \cdot 1.3 \cdot 1.2 + 0.030 \cdot 24 \cdot 365 \cdot 0.21 + \\ + 0.8 \cdot 0.264 \cdot 5890\} = 44.46$$

Дешевизна цього варіанту ЗОВ ($D=C^{-1}$) $D = 44.46^{-1} = 2.249 \cdot 10^{-2}$.

Результати розрахунку плати за корисність та дешевизни решти варіантів ЗОВ наведено в таблиці 4.10. При цьому для зручності дешевизну домножено на 10^2 .

Таблиця 4.10

Плата за корисність та дешевизна альтернативних варіантів ЗОВ

Варіант ЗОВ	С	Д = С ⁻¹ · 10 ²	Варіант ЗОВ	С	Д = С ⁻¹ · 10 ²
S ₁	44.46	2.249	S ₁₂	11.602	8.619
S ₂	35.404	2.825	S ₁₃	10.910	9.166
S ₃	38.206	2.617	S ₁₄	6.207	16.111
S ₄	23.853	4.192	S ₁₅	10.63	9.407
S ₅	46.253	2.149	S ₁₆	6.425	15.563
S ₆	3.282	30.472	S ₁₇	9.97	10.03
S ₇	10.35	9.662	S ₁₈	10.14	8.862
S ₈	6.829	14.642	S ₁₉	5.031	19.876
S ₉	5.997	16.675	S ₂₀	6.721	14.879
S ₁₀	4.459	22.422	S ₂₁	10.69	9.355
S ₁₁	4.533	22.062			

4.4.3. Ранжування засобів обліку за груповими критеріями

Через велику кількість альтернативних варіантів ЗОВ матриці НПП (4.1) матимуть велику розмірність. Їх відображення буде занадто громіздким. Оскільки ці матриці мають властивості (3.4), зокрема спроможність і транзитивність, задамо лише по першому їх рядкові. Решту елементів обчислюємо за формулою (3.5).

$$K_1 = S_1 \begin{bmatrix} 1, & \frac{S_1}{90.99}, \frac{S_2}{90.99}, \frac{S_3}{90.99}, \frac{S_4}{90.99}, \frac{S_5}{90.99}, \frac{S_6}{90.99}, \frac{S_7}{90.99}, \frac{S_8}{90.99}, \frac{S_9}{90.99}, \frac{S_{10}}{90.99}, \frac{S_{11}}{90.99} \\ \frac{90.95}{90.99}, \frac{91.22}{90.99}, \frac{92.89}{90.99}, \frac{92.17}{90.99}, \frac{85.64}{90.99}, \frac{92.01}{90.99}, \frac{92.01}{90.99}, \frac{92.01}{90.99}, \frac{92.73}{90.99}, \frac{93.5}{90.99}, \frac{94.11}{90.99} \\ \frac{S_{12}}{90.99}, \frac{S_{13}}{90.99}, \frac{S_{14}}{90.99}, \frac{S_{15}}{90.99}, \frac{S_{16}}{90.99}, \frac{S_{17}}{90.99}, \frac{S_{18}}{90.99}, \frac{S_{19}}{90.99}, \frac{S_{20}}{90.99}, \frac{S_{21}}{90.99} \\ \frac{92.07}{90.99}, \frac{92.77}{90.99}, \frac{92.27}{90.99}, \frac{92.69}{90.99}, \frac{92.73}{90.99}, \frac{92.66}{90.99}, \frac{92.46}{90.99}, \frac{88.81}{90.99}, \frac{92.5}{90.99}, \frac{90.85}{90.99} \end{bmatrix}$$

$$K_2 = S_1 \begin{bmatrix} 1, & \frac{S_1}{2.249}, \frac{S_2}{2.249}, \frac{S_3}{2.249}, \frac{S_4}{2.249}, \frac{S_5}{2.249}, \frac{S_6}{2.249}, \frac{S_7}{2.249}, \frac{S_8}{2.249}, \frac{S_9}{2.249}, \frac{S_{10}}{2.249} \\ \frac{2.825}{2.249}, \frac{2.617}{2.249}, \frac{4.192}{2.249}, \frac{2.149}{2.249}, \frac{30.472}{2.249}, \frac{9.662}{2.249}, \frac{14.642}{2.249}, \frac{16.675}{2.249}, \frac{22.422}{2.249} \\ \frac{S_{11}}{2.249}, \frac{S_{12}}{2.249}, \frac{S_{13}}{2.249}, \frac{S_{14}}{2.249}, \frac{S_{15}}{2.249}, \frac{S_{16}}{2.249}, \frac{S_{17}}{2.249}, \frac{S_{18}}{2.249}, \frac{S_{19}}{2.249}, \frac{S_{20}}{2.249}, \frac{S_{21}}{2.249} \\ \frac{22.062}{2.249}, \frac{8.619}{2.249}, \frac{9.166}{2.249}, \frac{16.111}{2.249}, \frac{9.407}{2.249}, \frac{15.563}{2.249}, \frac{10.03}{2.249}, \frac{8.862}{2.249}, \frac{19.876}{2.249}, \frac{14.879}{2.249}, \frac{9.355}{2.249} \end{bmatrix}$$

$$K_3 = S_1 \begin{bmatrix} 1, & \frac{S_1}{0.050}, \frac{S_2}{0.050}, \frac{S_3}{0.050}, \frac{S_4}{0.050}, \frac{S_5}{0.050}, \frac{S_6}{0.050}, \frac{S_7}{0.050}, \frac{S_8}{0.050}, \frac{S_9}{0.050}, \frac{S_{10}}{0.050}, \frac{S_{11}}{0.050} \\ \frac{0.050}{0.050}, \frac{0.050}{0.050}, \frac{0.059}{0.050}, \frac{0.048}{0.050}, \frac{0.032}{0.050}, \frac{0.032}{0.050}, \frac{0.032}{0.050}, \frac{0.032}{0.050}, \frac{0.035}{0.050}, \frac{0.035}{0.050} \\ \frac{S_{12}}{0.050}, \frac{S_{13}}{0.050}, \frac{S_{14}}{0.050}, \frac{S_{15}}{0.050}, \frac{S_{16}}{0.050}, \frac{S_{17}}{0.050}, \frac{S_{18}}{0.050}, \frac{S_{19}}{0.050}, \frac{S_{20}}{0.050}, \frac{S_{21}}{0.050} \\ \frac{0.035}{0.050}, \frac{0.035}{0.050}, \frac{0.035}{0.050}, \frac{0.035}{0.050}, \frac{0.035}{0.050}, \frac{0.035}{0.050}, \frac{0.035}{0.050}, \frac{0.035}{0.050}, \frac{0.035}{0.050}, \frac{0.035}{0.050} \end{bmatrix}$$

$$K_4 = \left[1, \frac{S_1}{0.115}, \frac{S_2}{0.115}, \frac{S_3}{0.115}, \frac{S_4}{0.115}, \frac{S_5}{0.115}, \frac{S_6}{0.115}, \frac{S_7}{0.115}, \frac{S_8}{0.115}, \frac{S_9}{0.115}, \frac{S_{10}}{0.115}, \frac{S_{11}}{0.115}, \frac{S_{12}}{0.115}, \frac{S_{13}}{0.115}, \frac{S_{14}}{0.115}, \frac{S_{15}}{0.115}, \frac{S_{16}}{0.115}, \frac{S_{17}}{0.115}, \frac{S_{18}}{0.115}, \frac{S_{19}}{0.115}, \frac{S_{20}}{0.115}, \frac{S_{21}}{0.115} \right]$$

Визначаємо ступені належності варіантів ЗОВ до нечітких множин оцінок за формулами (4.6)

$$\mu^1(S_1) = \left(1 + \frac{90.95}{90.99} + \frac{91.22}{90.99} + \frac{92.89}{90.99} + \frac{92.17}{90.99} + \frac{85.64}{90.99} + \frac{92.01}{90.99} + \frac{92.01}{90.99} + \frac{92.73}{90.99} + \frac{93.05}{90.99} + \frac{94.11}{90.99} + \frac{92.07}{90.99} + \frac{92.77}{90.99} + \frac{92.27}{90.99} + \frac{92.69}{90.99} + \frac{92.73}{90.99} + \frac{92.66}{90.99} + \frac{92.46}{90.99} + \frac{88.81}{90.99} + \frac{92.5}{90.99} + \frac{90.85}{90.99} \right)^{-1} = 4.719 \cdot 10^{-2}$$

Результати розрахунку решти ступенів належності наведено в таблиці 4.11.

Таблиця 4.11

Ступені належності варіантів ЗОВ до нечітких множин оцінок

Варіант ЗОВ	$\mu^1(S_i)$	$\mu^2(S_i)$	$\mu^3(S_i)$	$M^4(S_i)$
S ₁	4.719·10 ⁻²	8.895·10 ⁻³	6.211·10 ⁻²	1.192·10 ⁻¹
S ₂	4.717·10 ⁻²	1.117·10 ⁻²	6.211·10 ⁻²	4.663·10 ⁻²
S ₃	4.731·10 ⁻²	1.035·10 ⁻²	6.211·10 ⁻²	4.663·10 ⁻²
S ₄	4.818·10 ⁻²	1.657·10 ⁻²	7.329·10 ⁻²	4.663·10 ⁻²
S ₅	4.781·10 ⁻²	8.5·10 ⁻³	5.963·10 ⁻²	4.145·10 ⁻²
S ₆	4.442·10 ⁻²	1.205·10 ⁻¹	3.975·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₇	4.772·10 ⁻²	3.821·10 ⁻²	3.975·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₈	4.772·10 ⁻²	5.791·10 ⁻²	3.975·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₉	4.810·10 ⁻²	6.595·10 ⁻²	3.975·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₁₀	4.850·10 ⁻²	8.868·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₁₁	4.881·10 ⁻²	8.726·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₁₂	4.775·10 ⁻²	3.409·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₁₃	4.812·10 ⁻²	3.625·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₁₄	4.786·10 ⁻²	6.372·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₁₅	4.807·10 ⁻²	3.721·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₁₆	4.810·10 ⁻²	6.155·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₁₇	4.806·10 ⁻²	3.967·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₁₈	4.796·10 ⁻²	3.901·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₁₉	4.606·10 ⁻²	7.861·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₂₀	4.798·10 ⁻²	5.885·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²
S ₂₁	4.712·10 ⁻²	3.7·10 ⁻²	4.348·10 ⁻²	4.352·10 ⁻²

Подаємо групі критерії оцінювання ЗОВ у вигляді нечітких множин з урахуванням коефіцієнтів важливості за формулою (4.9). Після піднесення до ступенів за цією формулою отримуємо:

$$K_1 \left\{ \frac{0.79048}{S_1}, \frac{0.79045}{S_2}, \frac{0.79063}{S_3}, \frac{0.79173}{S_4}, \frac{0.79126}{S_5}, \frac{0.78680}{S_6}, \frac{0.79115}{S_7}, \frac{0.79115}{S_8}, \frac{0.79162}{S_9}, \frac{0.79213}{S_{10}}, \frac{0.79253}{S_{11}}, \frac{0.79119}{S_{12}}, \frac{0.79166}{S_{13}}, \frac{0.79133}{S_{14}}, \frac{0.79160}{S_{15}}, \frac{0.79163}{S_{16}}, \frac{0.79158}{S_{17}}, \frac{0.79145}{S_{18}}, \frac{0.78900}{S_{19}}, \frac{0.79148}{S_{20}}, \frac{0.79038}{S_{21}} \right\};$$

$$K_2 \left\{ \frac{0.71378}{S_1}, \frac{0.72550}{S_2}, \frac{0.72155}{S_3}, \frac{0.74624}{S_4}, \frac{0.71147}{S_5}, \frac{0.85978}{S_6}, \frac{0.79208}{S_7}, \frac{0.81595}{S_8}, \frac{0.82356}{S_9}, \frac{0.84115}{S_{10}}, \frac{0.84018}{S_{11}}, \frac{0.78565}{S_{12}}, \frac{0.78911}{S_{13}}, \frac{0.82153}{S_{14}}, \frac{0.79057}{S_{15}}, \frac{0.81951}{S_{16}}, \frac{0.79421}{S_{17}}, \frac{0.79324}{S_{18}}, \frac{0.83395}{S_{19}}, \frac{0.81688}{S_{20}}, \frac{0.79026}{S_{21}} \right\};$$

$$K_3 \left\{ \frac{0.74694}{S_1}, \frac{0.74694}{S_2}, \frac{0.74694}{S_3}, \frac{0.76003}{S_4}, \frac{0.74374}{S_5}, \frac{0.71274}{S_6}, \frac{0.71274}{S_7}, \frac{0.71274}{S_8}, \frac{0.71274}{S_9}, \frac{0.71948}{S_{10}}, \frac{0.71948}{S_{11}}, \frac{0.71948}{S_{12}}, \frac{0.71948}{S_{13}}, \frac{0.71948}{S_{14}}, \frac{0.71948}{S_{15}}, \frac{0.71948}{S_{16}}, \frac{0.71948}{S_{17}}, \frac{0.71948}{S_{18}}, \frac{0.71948}{S_{19}}, \frac{0.71948}{S_{20}}, \frac{0.71948}{S_{21}} \right\};$$

$$K_4 \left\{ \frac{0.85254}{S_1}, \frac{0.79461}{S_2}, \frac{0.79461}{S_3}, \frac{0.79461}{S_4}, \frac{0.79461}{S_5}, \frac{0.78762}{S_6}, \frac{0.79050}{S_7}, \frac{0.79050}{S_8}, \frac{0.79050}{S_9}, \frac{0.79050}{S_{10}}, \frac{0.79050}{S_{11}}, \frac{0.79050}{S_{12}}, \frac{0.79050}{S_{13}}, \frac{0.79050}{S_{14}}, \frac{0.79050}{S_{15}}, \frac{0.79050}{S_{16}}, \frac{0.79050}{S_{17}}, \frac{0.79050}{S_{18}}, \frac{0.79050}{S_{19}}, \frac{0.79050}{S_{20}}, \frac{0.79050}{S_{21}} \right\};$$

Після проведення операції перетину отримуємо розв'язок за формулою (4.10)

$$B_1 \left\{ \frac{0.71378}{S_1}, \frac{0.72550}{S_2}, \frac{0.72155}{S_3}, \frac{0.74624}{S_4}, \frac{0.71147}{S_5}, \frac{0.71274}{S_6}, \frac{0.71274}{S_7}, \frac{0.71274}{S_8}, \frac{0.71274}{S_9}, \frac{0.71948}{S_{10}}, \frac{0.71948}{S_{11}}, \frac{0.71948}{S_{12}}, \frac{0.71948}{S_{13}}, \frac{0.71948}{S_{14}}, \frac{0.71948}{S_{15}}, \frac{0.71948}{S_{16}}, \frac{0.71948}{S_{17}}, \frac{0.71948}{S_{18}}, \frac{0.71948}{S_{19}}, \frac{0.71948}{S_{20}}, \frac{0.71948}{S_{21}} \right\};$$

Для отримання графічного розв'язку пронормуємо ступені належності шляхом ділення на найбільше значення, котрим є $\mu^2(S_6) = 0.85978$

$$\mu'_n(S_1) = \frac{0.79048}{0.85978} = 0.9194.$$

Результати нормування решти ступенів належності наведено в таблиці 4.12

Таблиця 4.12

Нормовані ступені належності альтернативних варіантів ЗОВ до нечітких множин оцінок

Нормовані ступені належності	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄
$\mu'_n(S_1)$	0.91940	0.83019	0.86876	0.99158
$\mu'_n(S_2)$	0.91936	0.84382	0.86876	0.92420
$\mu'_n(S_3)$	0.91957	0.83923	0.86876	0.92420
$\mu'_n(S_4)$	0.92085	0.86794	0.88398	0.92420
$\mu'_n(S_5)$	0.92031	0.82750	0.86504	0.92420
$\mu'_n(S_6)$	0.91512	1	0.82898	0.91607
$\mu'_n(S_7)$	0.92018	0.92126	0.82898	0.91942
$\mu'_n(S_8)$	0.92018	0.94902	0.82898	0.91942
$\mu'_n(S_9)$	0.92072	0.95787	0.82898	0.91942
$\mu'_n(S_{10})$	0.92132	0.97833	0.83682	0.91942
$\mu'_n(S_{11})$	0.92178	0.97720	0.83682	0.91942
$\mu'_n(S_{12})$	0.92022	0.91378	0.83682	0.91942
$\mu'_n(S_{13})$	0.92077	0.91780	0.83682	0.91942
$\mu'_n(S_{14})$	0.92039	0.95551	0.83682	0.91942
$\mu'_n(S_{15})$	0.92070	0.91950	0.83682	0.91942
$\mu'_n(S_{16})$	0.92074	0.95316	0.83682	0.91942
$\mu'_n(S_{17})$	0.92069	0.92374	0.83682	0.91942
$\mu'_n(S_{18})$	0.92053	0.92261	0.83682	0.91942
$\mu'_n(S_{19})$	0.91767	0.96996	0.83682	0.91942
$\mu'_n(S_{20})$	0.92056	0.95010	0.83682	0.91942
$\mu'_n(S_{21})$	0.91928	0.91914	0.83682	0.91942

Графік цих функцій належності в нормованій системі координат наведено на рисунку А.1 додатка А. Результати першого етапу ранжування наведено в таблиці 4.13.

Таблиця 4.13

Результати ранжування ЗОВ після першого етапу

Ранг (місце) ЗОВ	Варіант	Марка ЗОВ	Ступінь належності
1	S ₄	АКВА-1	0.74624
2	S ₂	УСВ-32-24	0.72550
3	S ₃	УСВ-40-25	0.72155
4	S ₁₀	ВСКМ-16/40	0.71948
4	S ₁₁	КВБ-10	0.71948
4	S ₁₂	Cosmos WP 50/40-U	0.71948
4	S ₁₃	Cosmos WS 50/40-U	0.71948
4	S ₁₄	Cosmos WPD 40/50-U	0.71948
4	S ₁₅	Cosmos WS	0.71948
4	S ₁₆	Multimag	0.71948
4	S ₁₇	WOLTEXWEG. WEN	0.71948
4	S ₁₈	WOLTMAG WSG. WSN	0.71948
4	S ₁₉	MV-MAM 30	0.71948
4	S ₂₀	MV-MAM 40	0.71948
4	S ₂₁	WPH-T-D-D	0.71948
5	S ₁	CBTY-10	0.71378
6	S ₆	БКОС-40	0.71274
6	S ₇	ТВ-50	0.71274
6	S ₈	МТК-40	0.71274
6	S ₉	М-TQ _n 10 А40-U	0.71274
7	S ₅	UP 45 U 480-95	0.71147

За результатами першого етапу ранжування отримано три найкращі варіанти ЗОВ для прийнятого споживача (S₄, S₂, S₃) і один найгірший (S₅). Проте проранжувати всі варіанти не вдалось. Цілий ряд ЗОВ (S₁₀ – S₂₁ та S₆ – S₉) виявились рівноцінними, оскільки вони мають однакове значення критерію K₃, котрий при проведенні операції перетину нечітких множин зіграв вирішальну роль. З рис. А.1 видно, що значення інших групових критеріїв для цих рівноцінних варіантів відрізняються.

Проведемо другий етап ранжування. Виведемо за межі прийняття нечіткого рішення значення ступенів належності по критерію K₃ для варіантів S₁₀ - S₂₁, шляхом додавання до нього одиниці. Для збереження отриманої переваги варіантів S₄, S₂ та S₃, збільшимо на одиницю ступені належності цих варіантів по всіх групових критеріях. Отримасмо:

$$K_1 \left\{ \frac{0.79048}{S_1}, \frac{1.79045}{S_2}, \frac{1.79063}{S_3}, \frac{1.79173}{S_4}, \frac{0.79126}{S_5}, \frac{0.78680}{S_6}, \frac{0.79115}{S_7}, \frac{0.79115}{S_8}, \right. \\ \left. \frac{0.79162}{S_9}, \frac{0.79213}{S_{10}}, \frac{0.79253}{S_{11}}, \frac{0.79119}{S_{12}}, \frac{0.79166}{S_{13}}, \frac{0.79133}{S_{14}}, \frac{0.79160}{S_{15}}, \frac{0.79163}{S_{16}}, \right. \\ \left. \frac{0.79158}{S_{17}}, \frac{0.79145}{S_{18}}, \frac{0.78900}{S_{19}}, \frac{0.79148}{S_{20}}, \frac{0.79038}{S_{21}} \right\};$$

$$K_2 \left\{ \frac{0.71378}{S_1}, \frac{1.72550}{S_2}, \frac{1.72155}{S_3}, \frac{1.74624}{S_4}, \frac{0.71147}{S_5}, \frac{0.85978}{S_6}, \frac{0.79208}{S_7}, \frac{0.81595}{S_8}, \right. \\ \left. \frac{0.82356}{S_9}, \frac{0.84115}{S_{10}}, \frac{0.84018}{S_{11}}, \frac{0.78565}{S_{12}}, \frac{0.78911}{S_{13}}, \frac{0.82153}{S_{14}}, \frac{0.79057}{S_{15}}, \frac{0.81951}{S_{16}}, \right. \\ \left. \frac{0.79421}{S_{17}}, \frac{0.79324}{S_{18}}, \frac{0.83395}{S_{19}}, \frac{0.81688}{S_{20}}, \frac{0.79026}{S_{21}} \right\};$$

$$K_3 \left\{ \frac{0.74694}{S_1}, \frac{1.74694}{S_2}, \frac{1.74694}{S_3}, \frac{1.76003}{S_4}, \frac{0.74374}{S_5}, \frac{0.71274}{S_6}, \frac{0.71274}{S_7}, \frac{0.71274}{S_8}, \right. \\ \left. \frac{0.71274}{S_9}, \frac{1.71948}{S_{10}}, \frac{1.71948}{S_{11}}, \frac{1.71948}{S_{12}}, \frac{1.71948}{S_{13}}, \frac{1.71948}{S_{14}}, \frac{1.71948}{S_{15}}, \frac{1.71948}{S_{16}}, \right. \\ \left. \frac{1.71948}{S_{17}}, \frac{1.71948}{S_{18}}, \frac{1.71948}{S_{19}}, \frac{1.71948}{S_{20}}, \frac{1.71948}{S_{21}} \right\};$$

$$K_4 \left\{ \frac{0.85254}{S_1}, \frac{1.79461}{S_2}, \frac{1.79461}{S_3}, \frac{1.79461}{S_4}, \frac{0.79461}{S_5}, \frac{0.78762}{S_6}, \frac{0.79050}{S_7}, \frac{0.79050}{S_8}, \right. \\ \left. \frac{0.79050}{S_9}, \frac{0.79050}{S_{10}}, \frac{0.79050}{S_{11}}, \frac{0.79050}{S_{12}}, \frac{0.79050}{S_{13}}, \frac{0.79050}{S_{14}}, \frac{0.79050}{S_{15}}, \frac{0.79050}{S_{16}}, \right. \\ \left. \frac{0.79050}{S_{17}}, \frac{0.79050}{S_{18}}, \frac{0.79050}{S_{19}}, \frac{0.79050}{S_{20}}, \frac{0.79050}{S_{21}} \right\};$$

Після проведення операції перетину маємо

$$B_2 \left\{ \frac{0.71378}{S_1}, \frac{1.72550}{S_2}, \frac{1.72155}{S_3}, \frac{1.74624}{S_4}, \frac{0.71147}{S_5}, \frac{0.71274}{S_6}, \frac{0.71274}{S_7}, \frac{0.71274}{S_8}, \right. \\ \left. \frac{0.71274}{S_9}, \frac{0.71948}{S_{10}}, \frac{0.71948}{S_{11}}, \frac{0.71948}{S_{12}}, \frac{0.71948}{S_{13}}, \frac{0.71948}{S_{14}}, \frac{0.71948}{S_{15}}, \frac{0.71948}{S_{16}}, \right. \\ \left. \frac{0.71948}{S_{17}}, \frac{0.71948}{S_{18}}, \frac{0.71948}{S_{19}}, \frac{0.71948}{S_{20}}, \frac{0.71948}{S_{21}} \right\};$$

Для отримання графічного розв'язку також збільшуємо на одиницю нормовані ступені належності варіантів $S_{10} - S_{21}$ за критерієм K_3 та варіантів S_4, S_2, S_3 за всіма критеріями. Їх значення наведено в таблиці 4.14.

Таблиця 4.14

Нормовані ступені належності на другому етапі ранжування

Нормовані ступені належності	K_1	K_2	K_3	K_4
$R'_n(S_1)$	0.91940	0.83019	0.86876	0.99158
$R'_n(S_2)$	1.91936	1.84382	1.86876	1.92420
$R'_n(S_3)$	1.91957	1.83923	1.86876	1.92420
$R'_n(S_4)$	1.92085	1.86794	1.88398	1.92420
$R'_n(S_5)$	0.92031	0.82750	0.86504	0.92420
$R'_n(S_6)$	0.91512	1	0.82898	0.91607
$R'_n(S_7)$	0.92018	0.92126	0.82898	0.91942
$R'_n(S_8)$	0.92018	0.94902	0.82898	0.91942
$R'_n(S_9)$	0.92072	0.95787	0.82898	0.91942
$R'_n(S_{10})$	0.92132	0.97833	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{11})$	0.92178	0.97720	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{12})$	0.92022	0.91378	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{13})$	0.92077	0.91780	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{14})$	0.92039	0.95551	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{15})$	0.92070	0.91950	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{16})$	0.92074	0.95316	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{17})$	0.92069	0.92374	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{18})$	0.92053	0.92261	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{19})$	0.91767	0.96996	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{20})$	0.92056	0.95010	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{21})$	0.91928	0.91914	1.83682	0.91942

Графік рангових функцій на другому етапі ранжування наведено на рисунку А.2 додатка А. Як видно з цього рисунка рівноцінними виявились варіанти $S_6 - S_9$ та $S_{10}, S_{11}, S_{14} - S_{18}, S_{20}$. Аналогічно проводимо третій етап ранжування, шляхом виведення за межі прийняття рішення ступені належності за критерієм K_4 для варіантів $S_{10}, S_{11}, S_{14} - S_{18}, S_{20}$. Маємо:

$$\begin{aligned}
& K_1 \left\{ \frac{0.79048}{S_1}, \frac{2.79045}{S_2}, \frac{2.79063}{S_3}, \frac{2.79173}{S_4}, \frac{0.79126}{S_5}, \frac{0.78680}{S_6}, \frac{0.79115}{S_7}, \frac{0.79115}{S_8}, \right. \\
& \frac{0.79162}{S_9}, \frac{0.79213}{S_{10}}, \frac{0.79253}{S_{11}}, \frac{0.79119}{S_{12}}, \frac{0.79166}{S_{13}}, \frac{0.79133}{S_{14}}, \frac{0.79160}{S_{15}}, \frac{0.79163}{S_{16}}, \\
& \left. \frac{0.79158}{S_{17}}, \frac{0.79145}{S_{18}}, \frac{0.78900}{S_{19}}, \frac{0.79148}{S_{20}}, \frac{0.79038}{S_{21}} \right\}, \\
& K_2 \left\{ \frac{0.71378}{S_1}, \frac{2.72550}{S_2}, \frac{2.72155}{S_3}, \frac{2.74624}{S_4}, \frac{0.71147}{S_5}, \frac{0.85978}{S_6}, \frac{0.79208}{S_7}, \frac{0.81595}{S_8}, \right. \\
& \frac{0.82356}{S_9}, \frac{0.84115}{S_{10}}, \frac{0.84018}{S_{11}}, \frac{0.78565}{S_{12}}, \frac{0.78911}{S_{13}}, \frac{0.82153}{S_{14}}, \frac{0.79057}{S_{15}}, \frac{0.81951}{S_{16}}, \\
& \left. \frac{0.79421}{S_{17}}, \frac{0.79324}{S_{18}}, \frac{0.83395}{S_{19}}, \frac{0.81688}{S_{20}}, \frac{0.79026}{S_{21}} \right\}, \\
& K_3 \left\{ \frac{0.74694}{S_1}, \frac{2.74694}{S_2}, \frac{2.74694}{S_3}, \frac{2.76003}{S_4}, \frac{0.74374}{S_5}, \frac{0.71274}{S_6}, \frac{0.71274}{S_7}, \frac{0.71274}{S_8}, \right. \\
& \frac{0.71274}{S_9}, \frac{1.71948}{S_{10}}, \frac{1.71948}{S_{11}}, \frac{1.71948}{S_{12}}, \frac{1.71948}{S_{13}}, \frac{1.71948}{S_{14}}, \frac{1.71948}{S_{15}}, \frac{1.71948}{S_{16}}, \\
& \left. \frac{1.71948}{S_{17}}, \frac{1.71948}{S_{18}}, \frac{1.71948}{S_{19}}, \frac{1.71948}{S_{20}}, \frac{1.71948}{S_{21}} \right\}, \\
& K_4 \left\{ \frac{0.85254}{S_1}, \frac{2.79461}{S_2}, \frac{2.79461}{S_3}, \frac{2.79461}{S_4}, \frac{0.79461}{S_5}, \frac{0.78762}{S_6}, \frac{0.79050}{S_7}, \frac{0.79050}{S_8}, \right. \\
& \frac{0.79050}{S_9}, \frac{1.79050}{S_{10}}, \frac{1.79050}{S_{11}}, \frac{0.79050}{S_{12}}, \frac{0.79050}{S_{13}}, \frac{1.79050}{S_{14}}, \frac{1.79050}{S_{15}}, \frac{1.79050}{S_{16}}, \\
& \left. \frac{1.79050}{S_{17}}, \frac{1.79050}{S_{18}}, \frac{0.79050}{S_{19}}, \frac{1.79050}{S_{20}}, \frac{0.79050}{S_{21}} \right\}, \\
& B_3 \left\{ \frac{0.71378}{S_1}, \frac{2.72550}{S_2}, \frac{2.72155}{S_3}, \frac{2.74624}{S_4}, \frac{0.71147}{S_5}, \frac{0.71274}{S_6}, \frac{0.71274}{S_7}, \frac{0.71274}{S_8}, \right. \\
& \frac{0.71274}{S_9}, \frac{0.71948}{S_{10}}, \frac{0.71948}{S_{11}}, \frac{0.71948}{S_{12}}, \frac{0.71948}{S_{13}}, \frac{0.71948}{S_{14}}, \frac{0.71948}{S_{15}}, \frac{0.71948}{S_{16}}, \\
& \left. \frac{0.71948}{S_{17}}, \frac{0.71948}{S_{18}}, \frac{0.71948}{S_{19}}, \frac{0.71948}{S_{20}}, \frac{0.71948}{S_{21}} \right\}.
\end{aligned}$$

Графік рангових функцій на третьому етапі ранжування наведено на рисунку А.3 додатка А, нормовані ступені належності – в таблиці 4.15. Тепер рівноцінними виявились варіанти $S_6 - S_9$. Виводимо їхні ступені належності за межі прийняття нечіткого рішення за критерієм K_3 (четвертий етап ранжування):

Таблиця 4.15

Нормовані ступені належності на третьому етапі ранжування

Нормовані ступені належності	K ₁	K ₂	K ₃	K ₄
$R'_n(S_1)$	0.91940	0.83019	0.86876	0.99158
$R'_n(S_2)$	2.91936	2.84382	2.86876	2.92420
$R'_n(S_3)$	2.91957	2.83923	2.86876	2.92420
$R'_n(S_4)$	2.92085	2.86794	2.88398	2.92420
$R'_n(S_5)$	0.92031	0.82750	0.86504	0.92420
$R'_n(S_6)$	0.91512	1	0.82898	0.91607
$R'_n(S_7)$	0.92018	0.92126	0.82898	0.91942
$R'_n(S_8)$	0.92018	0.94902	0.82898	0.91942
$R'_n(S_9)$	0.92072	0.95787	0.82898	0.91942
$R'_n(S_{10})$	0.92132	0.97833	1.83682	1.91942
$R'_n(S_{11})$	0.92178	0.97720	1.83682	1.91942
$R'_n(S_{12})$	0.92022	0.91378	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{13})$	0.92077	0.91780	1.83682	0.91942
$R'_n(S_{14})$	0.92039	0.95551	1.83682	1.91942
$R'_n(S_{15})$	0.92070	0.91950	1.83682	1.91942
$R'_n(S_{16})$	0.92074	0.95316	1.83682	1.91942
$R'_n(S_{17})$	0.92069	0.92374	1.83682	1.91942
$R'_n(S_{18})$	0.92053	0.92261	1.83682	1.91942
$R'_n(S_{19})$	0.91767	0.96996	1.83662	0.91942
$R'_n(S_{20})$	0.92056	0.95010	1.83682	1.91942
$R'_n(S_{21})$	0.91928	0.91914	1.83682	0.91942

$$K_1 \left\{ \frac{1.79048}{S_1}, \frac{3.79045}{S_2}, \frac{3.79063}{S_3}, \frac{3.79173}{S_4}, \frac{0.79126}{S_5}, \frac{0.78680}{S_6}, \frac{0.79115}{S_7}, \frac{0.79115}{S_8}, \right. \\ \left. \frac{0.79162}{S_9}, \frac{1.79213}{S_{10}}, \frac{1.79253}{S_{11}}, \frac{1.79119}{S_{12}}, \frac{1.79166}{S_{13}}, \frac{1.79133}{S_{14}}, \frac{1.79160}{S_{15}}, \frac{1.79163}{S_{16}}, \right. \\ \left. \frac{1.79158}{S_{17}}, \frac{1.79145}{S_{18}}, \frac{1.78900}{S_{19}}, \frac{1.79148}{S_{20}}, \frac{1.79038}{S_{21}} \right\}$$

$$\begin{aligned}
& K_2 \left\{ \frac{1.71378}{S_1}, \frac{3.72550}{S_2}, \frac{3.72155}{S_3}, \frac{3.74624}{S_4}, \frac{0.71147}{S_5}, \frac{0.85978}{S_6}, \frac{0.79208}{S_7}, \frac{0.81595}{S_8}, \right. \\
& \frac{0.82356}{S_9}, \frac{1.84115}{S_{10}}, \frac{1.84018}{S_{11}}, \frac{1.78565}{S_{12}}, \frac{1.78911}{S_{13}}, \frac{1.82153}{S_{14}}, \frac{1.79057}{S_{15}}, \frac{1.81951}{S_{16}}, \\
& \left. \frac{1.79421}{S_{17}}, \frac{1.79324}{S_{18}}, \frac{1.83395}{S_{19}}, \frac{1.81688}{S_{20}}, \frac{1.79026}{S_{21}} \right\}, \\
& K_3 \left\{ \frac{1.74694}{S_1}, \frac{3.74694}{S_2}, \frac{3.74694}{S_3}, \frac{3.76003}{S_4}, \frac{0.74374}{S_5}, \frac{1.71274}{S_6}, \frac{1.71274}{S_7}, \frac{1.71274}{S_8}, \right. \\
& \frac{1.71274}{S_9}, \frac{2.71948}{S_{10}}, \frac{2.71948}{S_{11}}, \frac{2.71948}{S_{12}}, \frac{2.71948}{S_{13}}, \frac{2.71948}{S_{14}}, \frac{2.71948}{S_{15}}, \frac{2.71948}{S_{16}}, \\
& \left. \frac{2.71948}{S_{17}}, \frac{2.71948}{S_{18}}, \frac{2.71948}{S_{19}}, \frac{2.71948}{S_{20}}, \frac{2.71948}{S_{21}} \right\}, \\
& K_4 \left\{ \frac{1.85254}{S_1}, \frac{3.79461}{S_2}, \frac{3.79461}{S_3}, \frac{3.79461}{S_4}, \frac{0.79461}{S_5}, \frac{0.78762}{S_6}, \frac{0.79050}{S_7}, \frac{0.79050}{S_8}, \right. \\
& \frac{0.79050}{S_9}, \frac{2.79050}{S_{10}}, \frac{2.79050}{S_{11}}, \frac{1.79050}{S_{12}}, \frac{1.79050}{S_{13}}, \frac{2.79050}{S_{14}}, \frac{2.79050}{S_{15}}, \frac{2.79050}{S_{16}}, \\
& \left. \frac{2.79050}{S_{17}}, \frac{2.79050}{S_{18}}, \frac{1.79050}{S_{19}}, \frac{2.79050}{S_{20}}, \frac{1.79050}{S_{21}} \right\}, \\
& B_4 \left\{ \frac{1.71378}{S_1}, \frac{3.72550}{S_2}, \frac{3.72155}{S_3}, \frac{3.74624}{S_4}, \frac{0.71147}{S_5}, \frac{0.71274}{S_6}, \frac{0.71274}{S_7}, \frac{0.71274}{S_8}, \right. \\
& \frac{0.71274}{S_9}, \frac{1.71948}{S_{10}}, \frac{1.71948}{S_{11}}, \frac{1.71948}{S_{12}}, \frac{1.71948}{S_{13}}, \frac{1.71948}{S_{14}}, \frac{1.71948}{S_{15}}, \frac{1.71948}{S_{16}}, \\
& \left. \frac{1.71948}{S_{17}}, \frac{1.71948}{S_{18}}, \frac{1.71948}{S_{19}}, \frac{1.71948}{S_{20}}, \frac{1.71948}{S_{21}} \right\}.
\end{aligned}$$

Графік рангових функцій на четвертому етапі ранжування наведено на рисунку А.4 додатка А, нормовані ступені належності – в таблиці 4.16. Рівноцінними виявились варіанти S_7 , S_8 , S_9 . Проводимо п'ятий етап ранжування за критерієм K_4 :

$$\begin{aligned}
& K_1 \left\{ \frac{2.79048}{S_1}, \frac{4.79045}{S_2}, \frac{4.79063}{S_3}, \frac{4.79173}{S_4}, \frac{0.79126}{S_5}, \frac{0.78680}{S_6}, \frac{0.79115}{S_7}, \frac{0.79115}{S_8}, \right. \\
& \frac{0.79162}{S_9}, \frac{2.79213}{S_{10}}, \frac{2.79253}{S_{11}}, \frac{2.79119}{S_{12}}, \frac{2.79166}{S_{13}}, \frac{2.79133}{S_{14}}, \frac{2.79160}{S_{15}}, \frac{2.79163}{S_{16}}, \\
& \left. \frac{2.79158}{S_{17}}, \frac{2.79145}{S_{18}}, \frac{2.78900}{S_{19}}, \frac{2.79148}{S_{20}}, \frac{2.79038}{S_{21}} \right\},
\end{aligned}$$

Таблиця 4.16

Нормовані ступені належності на четвертому етапі ранжування

Нормовані ступені належності	K_1	K_2	K_3	K_4
$R'_n(S_1)$	1.91940	1.83019	1.86876	1.99158
$R'_n(S_2)$	3.91936	3.84382	3.86876	3.92420
$R'_n(S_3)$	3.91957	3.83923	3.86876	3.92420
$R'_n(S_4)$	3.92085	3.86794	3.88398	3.92420
$R'_n(S_5)$	0.92031	0.82750	0.86504	0.92420
$R'_n(S_6)$	0.91512	1	1.82898	0.91607
$R'_n(S_7)$	0.92018	0.92126	1.82898	0.91942
$R'_n(S_8)$	0.92018	0.94902	1.82898	0.91942
$R'_n(S_9)$	0.92072	0.95787	1.82898	0.91942
$R'_n(S_{10})$	1.92132	1.97833	2.83682	2.91942
$R'_n(S_{11})$	1.92178	1.97720	2.83682	2.91942
$R'_n(S_{12})$	1.92022	1.91378	2.83682	1.91942
$R'_n(S_{13})$	1.92077	1.91780	2.83682	1.91942
$R'_n(S_{14})$	1.92039	1.95551	2.83682	2.91942
$R'_n(S_{15})$	1.92070	1.91950	2.83682	2.91942
$R'_n(S_{16})$	1.92074	1.95316	2.83682	2.91942
$R'_n(S_{17})$	1.92069	1.92374	2.83682	2.91942
$R'_n(S_{18})$	1.92053	1.92261	2.83682	2.91942
$R'_n(S_{19})$	1.91767	1.96996	2.83682	1.91942
$R'_n(S_{20})$	1.92056	1.95010	2.83682	2.91942
$R'_n(S_{21})$	1.91928	1.91914	2.83682	1.91942

$$K_2 \left\{ \begin{array}{cccccccc} \frac{2.71378}{S_1}, & \frac{4.72550}{S_2}, & \frac{4.72155}{S_3}, & \frac{4.74624}{S_4}, & \frac{0.71147}{S_5}, & \frac{0.85978}{S_6}, & \frac{0.79208}{S_7}, & \frac{0.81595}{S_8}, \\ \frac{0.82356}{S_9}, & \frac{2.84115}{S_{10}}, & \frac{2.84018}{S_{11}}, & \frac{2.78565}{S_{12}}, & \frac{2.78911}{S_{13}}, & \frac{2.82153}{S_{14}}, & \frac{2.79057}{S_{15}}, & \frac{2.81951}{S_{16}}, \\ \frac{2.79421}{S_{17}}, & \frac{2.79324}{S_{18}}, & \frac{2.83395}{S_{19}}, & \frac{2.81688}{S_{20}}, & \frac{2.79026}{S_{21}} \end{array} \right\},$$

$$\begin{aligned}
 &K_3 \left\{ \frac{2.74694}{S_1}, \frac{4.74694}{S_2}, \frac{4.74694}{S_3}, \frac{4.76003}{S_4}, \frac{0.74374}{S_5}, \frac{1.71274}{S_6}, \frac{1.71274}{S_7}, \frac{1.71274}{S_8}, \right. \\
 &\frac{1.71274}{S_9}, \frac{3.71948}{S_{10}}, \frac{3.71948}{S_{11}}, \frac{3.71948}{S_{12}}, \frac{3.71948}{S_{13}}, \frac{3.71948}{S_{14}}, \frac{3.71948}{S_{15}}, \frac{3.71948}{S_{16}}, \\
 &\left. \frac{3.71948}{S_{17}}, \frac{3.71948}{S_{18}}, \frac{3.71948}{S_{19}}, \frac{3.71948}{S_{20}}, \frac{3.71948}{S_{21}} \right\}; \\
 &K_4 \left\{ \frac{2.85254}{S_1}, \frac{4.79461}{S_2}, \frac{4.79461}{S_3}, \frac{4.79461}{S_4}, \frac{0.79461}{S_5}, \frac{0.78762}{S_6}, \frac{1.79050}{S_7}, \frac{1.79050}{S_8}, \right. \\
 &\frac{1.79050}{S_9}, \frac{3.79050}{S_{10}}, \frac{3.79050}{S_{11}}, \frac{2.79050}{S_{12}}, \frac{2.79050}{S_{13}}, \frac{3.79050}{S_{14}}, \frac{3.79050}{S_{15}}, \frac{3.79050}{S_{16}}, \\
 &\left. \frac{3.79050}{S_{17}}, \frac{3.79050}{S_{18}}, \frac{2.79050}{S_{19}}, \frac{3.79050}{S_{20}}, \frac{2.79050}{S_{21}} \right\}. \\
 &B_5 \left\{ \frac{2.71378}{S_1}, \frac{4.72550}{S_2}, \frac{4.72155}{S_3}, \frac{4.74624}{S_4}, \frac{0.71147}{S_5}, \frac{0.71274}{S_6}, \frac{0.71274}{S_7}, \frac{0.71274}{S_8}, \right. \\
 &\frac{0.71274}{S_9}, \frac{2.71948}{S_{10}}, \frac{2.71948}{S_{11}}, \frac{2.71948}{S_{12}}, \frac{2.71948}{S_{13}}, \frac{2.71948}{S_{14}}, \frac{2.71948}{S_{15}}, \frac{2.71948}{S_{16}}, \\
 &\left. \frac{2.71948}{S_{17}}, \frac{2.71948}{S_{18}}, \frac{2.71948}{S_{19}}, \frac{2.71948}{S_{20}}, \frac{2.71948}{S_{21}} \right\}.
 \end{aligned}$$

Графік рангових функцій на п'ятому етапі ранжування наведено на рисунку А.5 додатка А, нормовані ступені належності – в таблиці 4.17. Рівноцінними виявились варіанти S_7 і S_8 .

Таблиця 4.17

Нормовані ступені належності на п'ятому етапі ранжування

Нормовані ступені належності	K_1	K_2	K_3	K_4
$R'_n(S_1)$	2.91940	2.83019	2.86876	2.99158
$R'_n(S_2)$	4.91936	4.84382	4.86876	4.92420
$R'_n(S_3)$	4.91957	4.83923	4.86876	4.92420
$R'_n(S_4)$	4.92085	4.86794	4.88398	4.92420
$R'_n(S_5)$	0.92031	0.82750	0.86504	0.92420
$R'_n(S_6)$	0.91512	1	1.82898	0.91607
$R'_n(S_7)$	0.92018	0.92126	1.82898	1.91942
$R'_n(S_8)$	0.92018	0.94902	1.82898	1.91942
$R'_n(S_9)$	0.92072	0.95787	1.82898	1.91942
$R'_n(S_{10})$	2.92132	2.97833	3.83682	3.91942

Продовження таблиці 4.17

Нормовані ступені належності	K_1	K_2	K_3	K_4
$R'_n(S_{11})$	2.92178	2.97720	3.83682	3.91942
$R'_n(S_{12})$	2.92022	2.91378	3.83682	2.91942
$R'_n(S_{13})$	2.92077	2.91780	3.83682	2.91942
$R'_n(S_{14})$	2.92039	2.95551	3.83682	3.91942
$R'_n(S_{15})$	2.92070	2.91950	3.83682	3.91942
$R'_n(S_{16})$	2.92074	2.95316	3.83682	3.91942
$R'_n(S_{17})$	2.92069	2.92374	3.83682	3.91942
$R'_n(S_{18})$	2.92053	2.92261	3.83682	3.91942
$R'_n(S_{19})$	2.91767	2.96996	3.83682	2.91942
$R'_n(S_{20})$	2.92056	2.95010	3.83682	3.91942
$R'_n(S_{21})$	2.91928	2.91914	3.83682	2.91942

Проводимо шостий етап ранжування за критерієм K_1 :

$$K_1 \left\{ \begin{array}{cccccccc} 3.79048 & 5.79045 & 5.79063 & 5.79173 & 0.79126 & 0.78680 & 1.79115 & 1.79115 \\ S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \end{array} \right\},$$

$$\left. \begin{array}{cccccccc} 1.79162 & 3.79213 & 3.79253 & 3.79119 & 3.79166 & 3.79133 & 3.79160 & 3.79163 \\ S_9 & S_{10} & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \\ 3.79158 & 3.79145 & 3.78900 & 3.79148 & 3.79038 & & & \\ S_{17} & S_{18} & S_{19} & S_{20} & S_{21} & & & \end{array} \right\};$$

$$K_2 \left\{ \begin{array}{cccccccc} 3.71378 & 5.72550 & 5.72155 & 5.74624 & 0.71147 & 0.85978 & 0.79208 & 0.81595 \\ S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \end{array} \right\},$$

$$\left. \begin{array}{cccccccc} 1.82356 & 3.84115 & 3.84018 & 3.78565 & 3.78911 & 3.82153 & 3.79057 & 3.81951 \\ S_9 & S_{10} & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \\ 3.79421 & 3.79324 & 3.83395 & 3.81688 & 3.79026 & & & \\ S_{17} & S_{18} & S_{19} & S_{20} & S_{21} & & & \end{array} \right\};$$

$$K_3 \left\{ \begin{array}{cccccccc} 3.74694 & 5.74694 & 5.74694 & 5.76003 & 0.74374 & 1.71274 & 1.71274 & 1.71274 \\ S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \end{array} \right\},$$

$$\left. \begin{array}{cccccccc} 2.71274 & 4.71948 & 4.71948 & 4.71948 & 4.71948 & 4.71948 & 4.71948 & 4.71948 \\ S_9 & S_{10} & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \\ 4.71948 & 4.71948 & 4.71948 & 4.71948 & 4.71948 & & & \\ S_{17} & S_{18} & S_{19} & S_{20} & S_{21} & & & \end{array} \right\};$$

$$\begin{aligned}
 & K_4 \left\{ \begin{array}{cccccccc} 3.85254 & 5.79461 & 5.79461 & 5.79461 & 0.79461 & 0.78762 & 1.79050 & 1.79050 \\ S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \end{array} \right\}, \\
 & \begin{array}{cccccccc} 2.79050 & 4.79050 & 4.79050 & 3.79050 & 3.79050 & 4.79050 & 4.79050 & 4.79050 \\ S_9 & S_{10} & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \end{array}, \\
 & \begin{array}{ccccc} 4.79050 & 4.79050 & 3.79050 & 4.79050 & 3.79050 \\ S_{17} & S_{18} & S_{19} & S_{20} & S_{21} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{cccccccc} 2.79050 & 4.79050 & 4.79050 & 3.79050 & 3.79050 & 4.79050 & 4.79050 & 4.79050 \end{array}} \right\}, \\
 & B_6 \left\{ \begin{array}{cccccccc} 3.71378 & 5.72550 & 5.72155 & 5.74624 & 0.71147 & 0.71274 & 0.71274 & 0.71274 \\ S_1 & S_2 & S_3 & S_4 & S_5 & S_6 & S_7 & S_8 \end{array} \right\}, \\
 & \begin{array}{cccccccc} 1.71274 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 \\ S_9 & S_{10} & S_{11} & S_{12} & S_{13} & S_{14} & S_{15} & S_{16} \end{array}, \\
 & \begin{array}{ccccc} 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 \\ S_{17} & S_{18} & S_{19} & S_{20} & S_{21} \end{array} \left. \vphantom{\begin{array}{cccccccc} 1.71274 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 & 3.71948 \end{array}} \right\}.
 \end{aligned}$$

Графік рангових функцій на шостому етапі ранжування наведено на рисунку А.6 додатка А, нормовані ступені належності – в таблиці 4.18.

Таблиця 4.18

Нормовані ступені належності на шостому етапі ранжування

Нормовані ступені належності	K_1	K_2	K_3	K_4
$R'_n(S_1)$	3.91940	3.83019	3.86876	3.99158
$R'_n(S_2)$	5.91936	5.84382	5.86876	5.92420
$R'_n(S_3)$	5.91957	5.83923	5.86876	5.92420
$R'_n(S_4)$	5.92085	5.86794	5.88398	5.92420
$R'_n(S_5)$	0.92031	0.82750	0.86504	0.92420
$R'_n(S_6)$	0.91512	1	1.82898	0.91607
$R'_n(S_7)$	1.92018	0.92126	1.82898	-1.91942
$R'_n(S_8)$	1.92018	0.94902	1.82898	1.91942
$R'_n(S_9)$	1.92072	1.95787	2.82898	2.91942
$R'_n(S_{10})$	3.92132	3.97833	4.83682	4.91942
$R'_n(S_{11})$	3.92178	3.97720	4.83682	4.91942
$R'_n(S_{12})$	3.92022	3.91378	4.83682	3.91942
$R'_n(S_{13})$	3.92077	3.91780	4.83682	3.91942
$R'_n(S_{14})$	3.92039	3.95551	4.83682	4.91942
$R'_n(S_{15})$	3.92070	3.91950	4.83682	4.91942
$R'_n(S_{16})$	3.92074	3.95316	4.83682	4.91942

Нормовані ступені належності	K_1	K_2	K_3	K_4
$R'_n(S_{17})$	3.92069	3.92374	4.83682	4.91942
$R'_n(S_{18})$	3.92053	3.92261	4.83682	4.91942
$R'_n(S_{19})$	3.91767	3.96996	4.83682	3.91942
$R'_n(S_{20})$	3.92056	3.95010	4.83682	4.91942
$R'_n(S_{21})$	3.91928	3.91914	4.83682	3.91942

Після шостого етапу ми отримали бажаний розв'язок. Рівноцінних варіантів не залишилось. Кожний варіант ЗОВ отримав свій ранговий коефіцієнт. Результати ранжування з ранговими коефіцієнтами після шостого етапу наведено в таблиці 4.19.

Таблиця 4.19

Результати ранжування ЗОВ після шостого етапу

Ранг (місце) ЗОВ	Варіант	Марка ЗОВ	Ранговий коефіцієнт
1	S_4	АКВА-1	5.74624
2	S_2	УСВ-32-24	5.72550
3	S_3	УСВ-40-25	5.72155
4	S_{11}	КВБ-10	3.79253
5	S_{10}	ВСКМ-16/40	3.79213
6	S_{16}	Multimag	3.79163
7	S_{17}	WOLTEXWEG. WEN	3.79158
8	S_{20}	MV-MAM 40	3.79148
9	S_{18}	WOLTMAG WSG. WSN	3.79145
10	S_{14}	Cosmos WPD 40/50-U	3.79133
11	S_{15}	Cosmos WS	3.79057
12	S_{21}	WPH-T-D-D	3.79026
13	S_{13}	Cosmos WS 50/40-U	3.78911
14	S_{19}	MV-MAM 30	3.78900
15	S_{12}	Cosmos WP 50/40-U	3.78565
16	S_1	CBTY-10	3.71378
17	S_9	M-TQ _n 10 A40-U	1.79162
18	S_8	MTK-40	0.81595
19	S_7	TB-50	0.79208
20	S_6	ВКОС-40	0.78680
21	S_5	UP 45 U 480-95	0.71147

Отже в результаті оцінювання та ранжування 21-го альтернативного варіанта ЗОВ з різними принциповими

конструкціями для споживача з прийнятими характеристиками водоспоживання $Q_{г.ср.} = 10 \text{ м}^3/\text{год.}$, $K_f = 1.8$, можна зробити висновок, що найбільш придатним є ЗОВ "S₄" марки АКВА-1 (змінного перепаду тиску без застійних зон), котрий має ранговий коефіцієнт $R(S_4) = 5.74624$. Найменш придатним для цього споживача є ЗОВ "S₅" марки Ур 45 У 480-95 (електромагнітний), котрий має ранговий коефіцієнт $R(S_5) = 0.71147$.

Для підтвердження результатів розрахунку за запропонованою моделлю можна скористатись статистичними даними, що наведені в таблицях Б.1 та Б.2 додатка Б, зібраними авторами роботи. Ці дані збирались опрацюванням облікової статистики роботи ЗОВ, котрі встановлені на житлових будинках м. Вінниці, середньо-годинне споживання води котрих складає $8 \div 10 \text{ м}^3/\text{год.}$ Дані збирались по двох найбільш розповсюджених сьогодні в Україні марках ЗОВ: ВКОС-40 – тахометричний лічильник кількості, одноструминний з тангенціальною турбінкою та осьовою передачею, діаметром умовного проходу 40 мм.; ВСКМ-16/40 – тахометричний лічильник кількості, багатоструминний з тангенціальною турбінкою та магнітною передачею, діаметром умовного проходу 40 мм.

Простежено період роботи 370-ти різних приладів ВКОС-40 загальною кількістю 83 772 дні. За цей час цими приладами виміряно $4\,432\,079 \text{ м}^3$ спожитої води. Простежено також період роботи 157-ми різних приладів ВСКМ-16/40 загальною кількістю 80 459 днів. За цей час цими приладами виміряно $6\,147\,301 \text{ м}^3$ спожитої води.

Як видно з цих таблиць, середній час роботи одного лічильника склав: ВКОС-40 – 176.01 день; ВСКМ-16/40 – 458.9 днів.

Середня кількість виміряного об'єму води на один прилад складала: ВКОС-40 – $11\,979 \text{ м}^3/\text{ліч.}$; ВСКМ-16/40 – $39\,155 \text{ м}^3/\text{ліч.}$

Ці дані підтверджують результати, отримані при оцінювання ЗОВ за запропонованою методикою, де ці прилади отримали такі рангові коефіцієнти: ВКОС-40 – 0.78680; ВСКМ-16/40 – 3.79213

ВИСНОВКИ

В монографії вирішено актуальну задачу оцінювання засобів обліку водоспоживання та вибору їх оптимальних варіантів для систем водопостачання. Основні наукові і практичні результати, що отримані в цій монографії, такі:

1. Результати аналізу стану проблеми вибору оптимальних засобів обліку водоспоживання для систем водопостачання свідчать про відсутність єдиної системи критеріїв оцінювання цих приладів. Користуючись літературними та нормативними джерелами, авторами розроблено загальну класифікацію засобів обліку рідини (витратомірів та лічильників), як тих, на основі котрих вже створені засоби обліку водоспоживання, так і тих, на основі котрих можуть бути створені такі прилади у майбутньому. Класифікація дозволила створити єдину систему критеріїв їх оцінювання.
2. Результати проведеного аналізу відомих методів багатокритеріальної оптимізації засвідчили недоцільність використання для проведення обґрунтування вибору оптимальних засобів обліку водоспоживання для систем водопостачання жодного з них в повній мірі через виявлені в процесі аналізу їх суттєві недоліки. Авторами обґрунтовано актуальність створення нової методики оцінювання ЗОВ.
3. За результатами дослідження техніко-економічних та ергономічних характеристик засобів обліку розроблено математичне забезпечення оптимізації проектних рішень задачі оцінювання на основі встановлення зв'язків цих характеристик з ефективністю функціонування засобів обліку в системах водопостачання. На базі цих зв'язків сформовано єдину систему кількісних та якісних критеріїв оцінювання.
4. На основі єдиної системи частинних критеріїв оцінювання в цій монографії авторами вперше запропоновано синтез чотирьох групових критеріїв:
 - метричних (кількісних) – корисності та плати за корисність;
 - неметричних (якісних) – стійкості до збурень та зручності контролю водного потоку.

Розроблено методики розрахунку цих групових критеріїв: метричних шляхом застосування дедуктивної логіки функції корисності, неметричних шляхом застосування методів нечіткої логіки.

5. На основі чотирьох групових критеріїв в монографії вперше розроблено методику оцінювання та обґрунтування вибору

- оптимальних варіантів засобів обліку водоспоживання для систем водопостачання шляхом модифікації методу парних порівнянь Сааті за абсолютними оцінками рівнів введенням нового додаткового принципу “виключення найменшої рівнозначної цілі”.
6. За розробленою методикою авторами проведено оцінювання та обґрунтовано вибір оптимального засобу обліку з 21-го запропонованого альтернативного варіанту різних принципових конструкцій для конкретного споживача. Вперше отримано числові оціночні коефіцієнти, котрі свідчать про перевагу та перспективність подальшого використання засобів обліку змінного перепаду тиску та ультразвукових з незначними відмінностями їх рангових коефіцієнтів між собою, а також про недосконалість конструкцій тахометричних ЗОВ і дозволяють підвищити техніко-економічну ефективність та надійність систем водопостачання, шляхом застосування оптимальних засобів обліку водоспоживання.
7. Авторами зібрано та опрацьовано дані облікової статистики ВОВКП ВКГ “Вінницяводоканал” по тривалості та ефективності роботи ЗОВ на вводах житлових будинків м. Вінниці (370-ти приладів ВКОС-40 загальною тривалістю роботи 83 772 дні та 157-ми приладів ВСКМ 16/40 загальною тривалістю роботи 80 459 днів). Отримані в результаті опрацювання цієї статистики дані підтвердили результати оцінювання за розробленою методикою.
8. Наведене в монографії алгоритмічне забезпечення створеної методики дозволяє повністю автоматизувати процес оцінювання та обґрунтування вибору оптимальних варіантів засобів обліку водоспоживання для систем водопостачання, а також адаптувати цю методику для оцінювання ЗОВ в інших умовах та обґрунтування вибору засобів обліку теплової енергії і технологічних рідин.

ДОДАТОК А
Функції належності та рангові функції на етапах ранжування

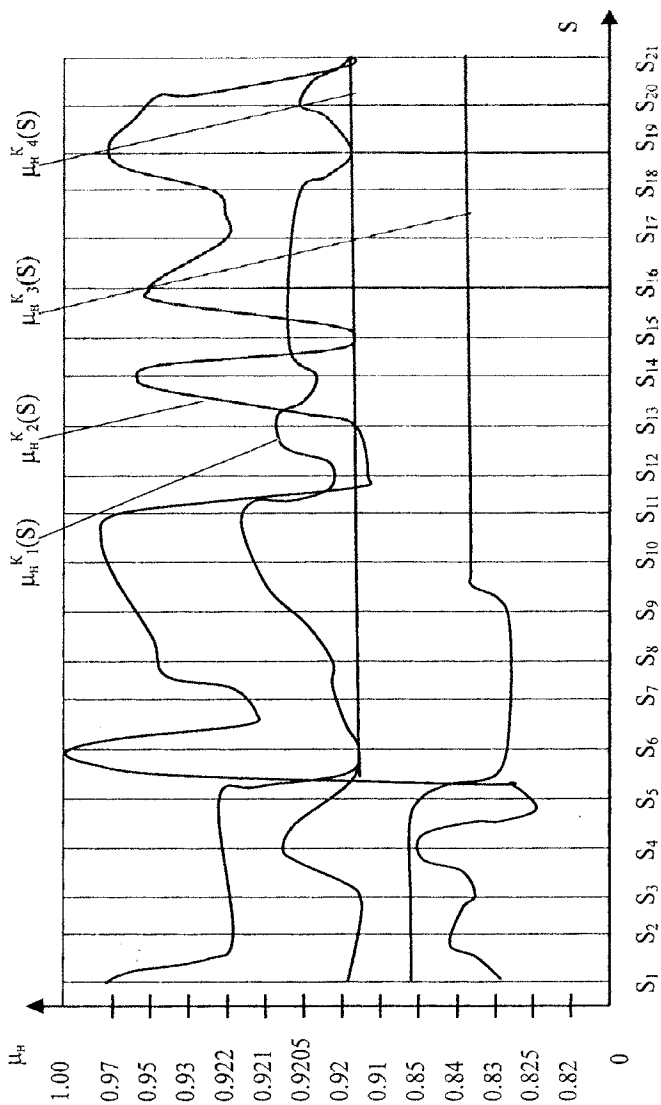


Рис. А.1. Функції належності варіантів ЗОВ після першого етапу ранжування

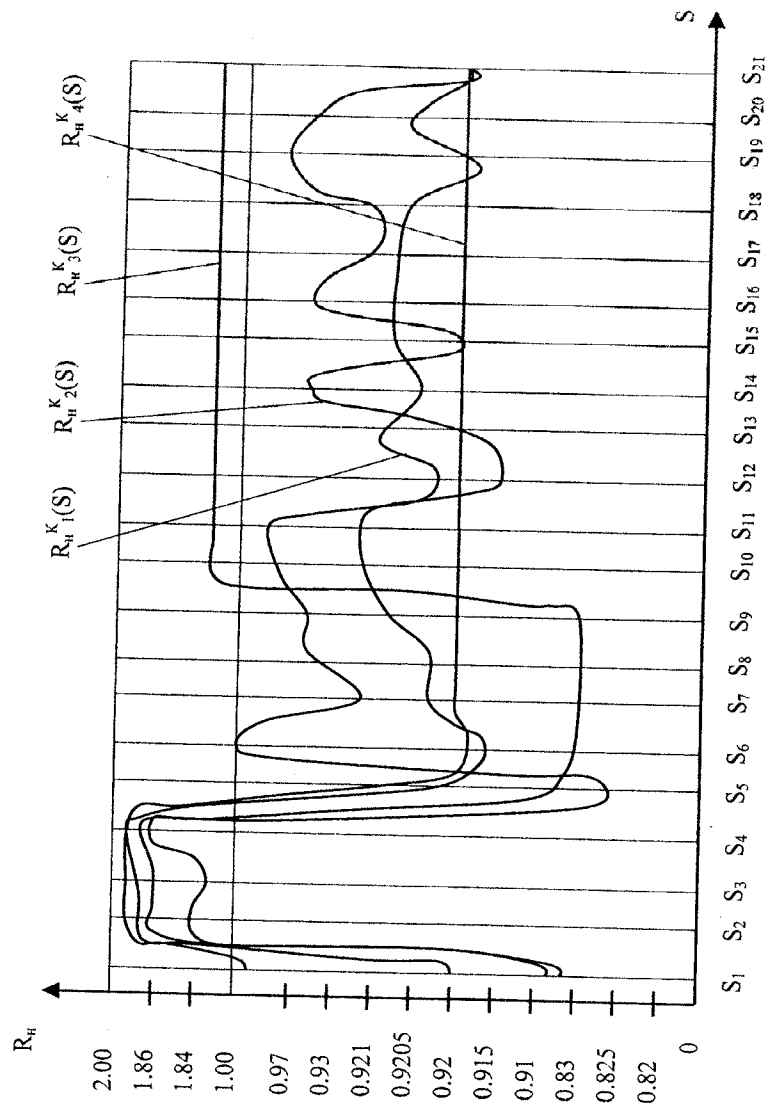


Рис. А.2. Рангові функції варіантів ЗОВ після другого етапу ранжування

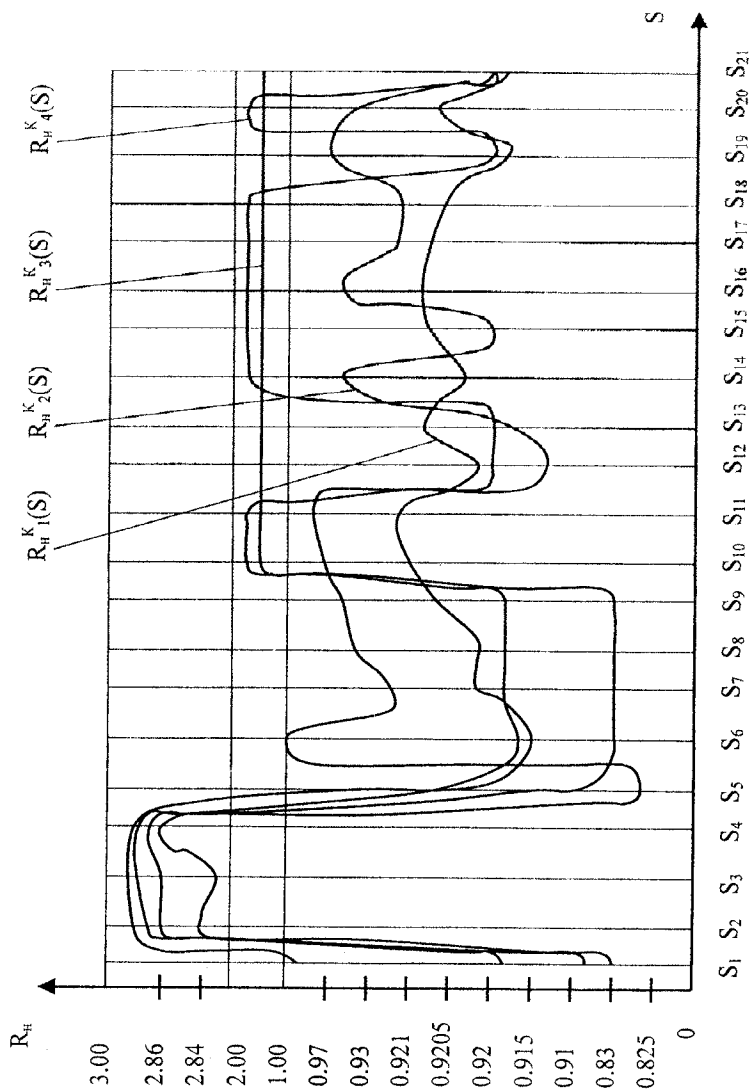


Рис. А.3. Рангові функції варіантів ЗОВ після третього етапу ранжування

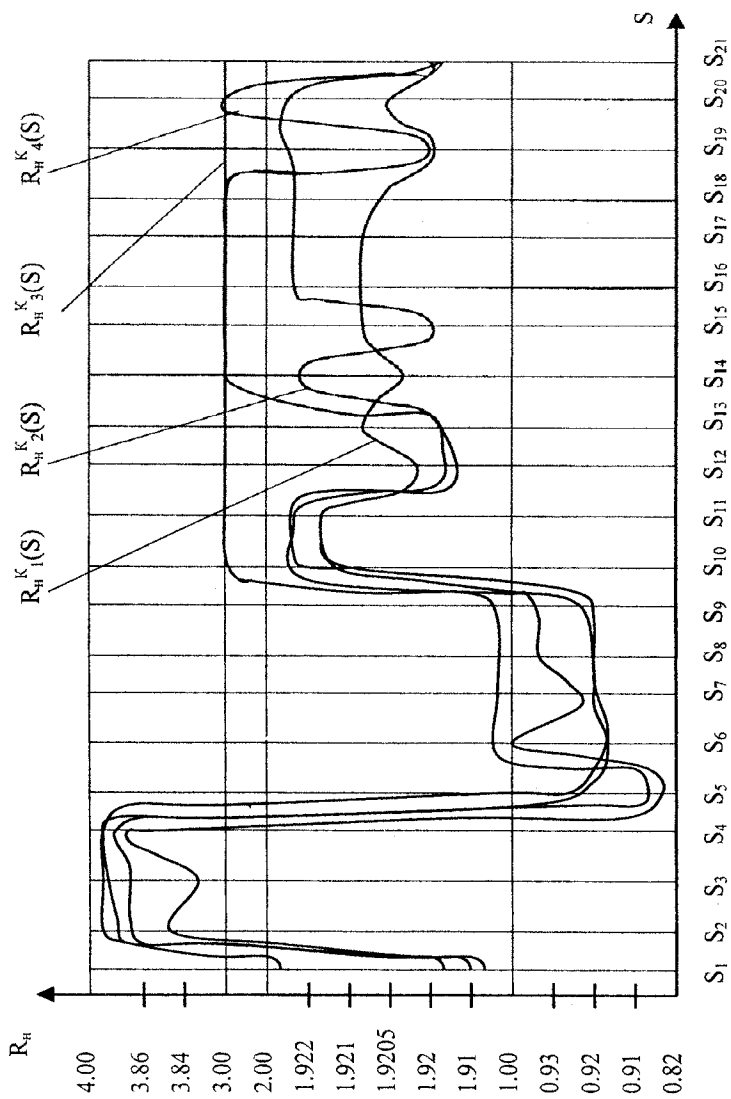


Рис. А.4. Рангові функції варіантів ЗОВ після четвертого етапу ранжування

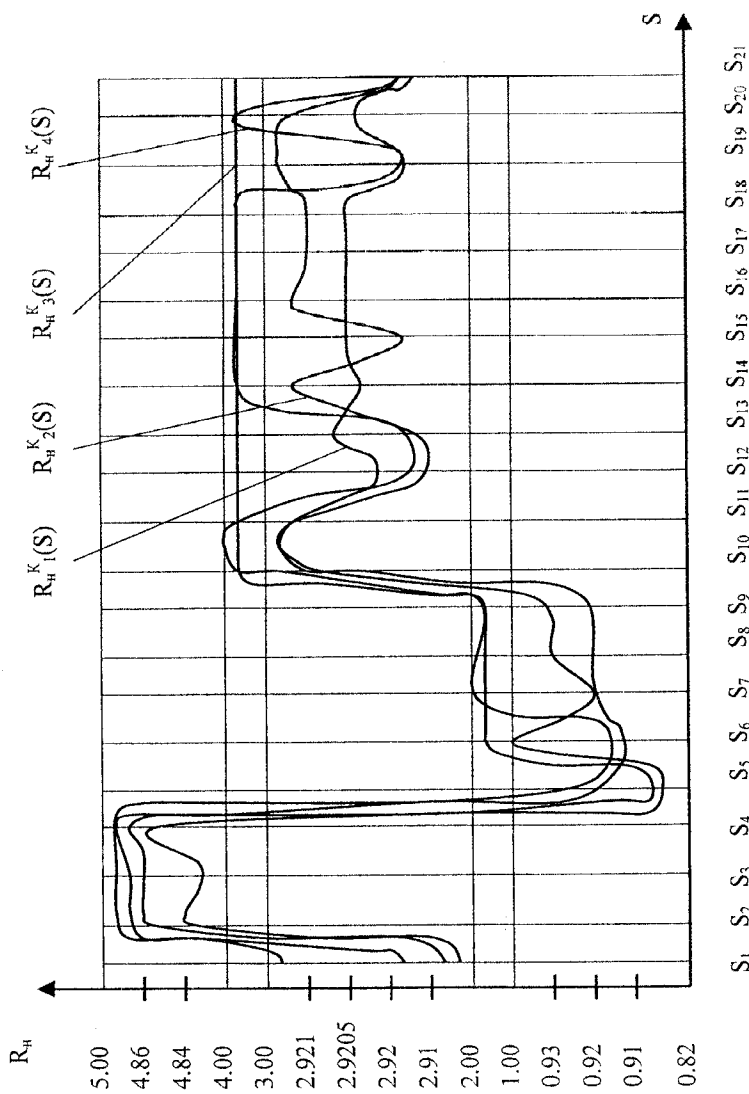


Рис. А.5. Рангові функції варіантів ЗОВ після п'ятого етапу ранжування

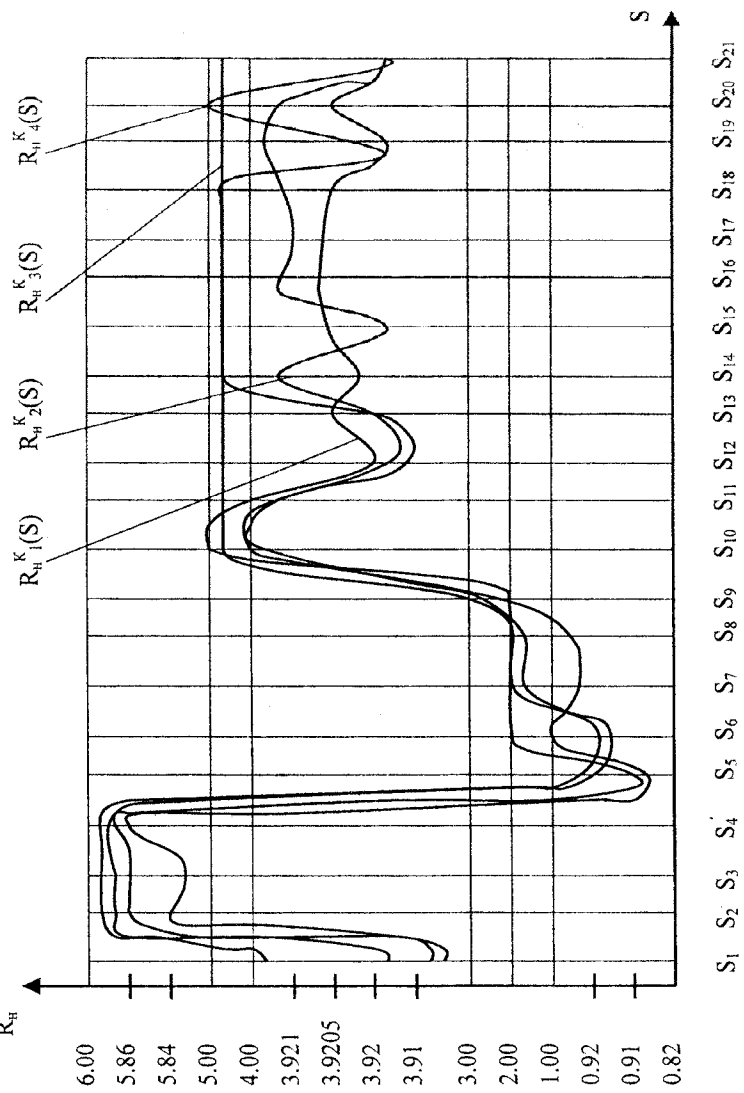


Рис. А.6. Рангові функції варіанції ЗОВ після шостого етапу ранжування

ДОДАТОК Б

Статистичні дані по термінам та ефективності роботи засобів обліку водоспоживання у м. Вінниці
Таблиця Б.1

Водолічильники ВКОС-40

№ ліп	Ад-реса	№ уст	Зав.№ ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м³
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи - го ЗОВ	Відновл. - го ЗОВ	
		1	Б/н	17.01.80	16.06.80	150	-	1001				
		2	Б/н	25.08.80	4.09.80	10	70	590				
		3	684	22.09.80	11.02.81	142	18	7078				
		4	2218	16.02.81	17.02.81	1	5	40				
		5	581	17.03.81	11.12.81	269	28	13711				
		6	738	24.12.81	30.06.82	188	13	8441				
		7	15141	30.06.82	13.12.82	166	0	7421				
		8	Б/н	11.01.83	10.02.83	30	29	1439				
		9	511	21.02.83	12.04.83	50	11	2436				
		10	7803	21.04.83	16.08.83	117	9	5266				
		11	15229	15.09.83	12.10.83	27	30	2550				
		12	7155	15.11.83	11.09.84	300	34	23800				
		13	238	12.09.84	9.02.85	150	1	7513				
		14	133	19.03.85	12.08.85	146	38	10956				
		15	31092	8.10.85	13.10.85	5	57	400				
		16	7307	29.11.85	9.02.86	72	47	4482				
		17	28337	14.04.86	11.10.86	180	64	7845				
		18	582	16.10.86	17.10.86	1	5	95				
		19	2457	14.11.86	14.11.86	0	28	9				
		20	2483	16.12.86	11.04.87	116	32	8240				
		21	402	18.05.87	12.08.87	86	37	6205				
		22	7774	13.08.87	10.02.88	181	1	11046				
		23	7700	21.03.88	12.12.88	266	39	27511				
		24	745	19.12.88	12.01.89	24	7	2222				

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	№ Адреса	№ зав ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ Прац., дні	Не пр., дні	К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³
									Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ	
		25	7452	15.02.89	11.04.89	55	34	3245			
		26	592	14.04.89	12.12.89	242	3	25494			
		27	7593	17.01.90	12.05.91	480	36	56604			
		28	1936	18.07.91	11.11.91	116	67	13395			
		29	7909	11.02.92	10.04.92	58	92	5944			
		30	7331	10.04.92	11.11.92	215	0	19376			
		31	6598	15.12.92	12.07.93	209	34	19812			
		32	7470	19.08.93	11.11.94	449	38	42561			
		33	1814	21.12.94	14.03.95	83	40	10358			
		34	7692	31.07.95	11.04.97	619	139	68268			
		35	7857	18.-6.97	11.09.97	85	68	5688			
		36	7288	22.10.97	11.09.98	324	41	24661			
		37	Б/н	13.11.98	12.10.99	333	63	26566			
		38	16307	5.01.00	12.08.01	584	85	54651			
		Разом									
				17.01.80	12.08.01	6529	1343	536940	7872	171.8	36.3
2	К	1	Б/н	1.07.80	16.08.80	46	-	1935			
	И	2	Б/н	25.08.80	31.08.80	6	9	332			
	Т	3	Б/н	22.09.80	13.01.81	113	22	7177			
	В	4	7130	16.02.81	14.07.81	148	34	8743			
	С	5	7691	12.08.81	8.09.81	27	29	144			
	Ь	6	7229	26.11.81	12.05.82	167	79	7306			
	К	7	15401	16.06.82	12.07.83	391	35	18963			
	А	8	Б/н	6.09.83	12.10.83	36	56	2177			
		9	15067	15.11.83	12.06.84	209	34	11000			
	23	10	13201	5.07.84	11.07.84	6	23	348			
		11	6598	17.08.84	18.08.84	1	37	64			
		12	453	12.09.84	8.02.85	149	25	8676			
		13	7544	15.03.85	12.08.85	150	35	10541			

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	Ад-реса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть води на 1 ЗОВ, м ³
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи го ЗОВ	Відновл. го ЗОВ	
14			3249	8.10.85	12.10.85	4	57	370				
15			7521	29.11.85	10.12.85	11	48	1731				
16			6606	20.01.86	9.02.86	20	41	2566				
17			14603	14.04.86	11.07.86	88	64	7007				
18			4616	15.07.86	12.08.86	28	4	2400				
19			20293	15.08.86	20.08.86	5	3	440				
20			2155	30.09.86	3.10.86	3	41	300				
21			14244	16.10.86	17.10.86	1	13	83				
22			2081	14.11.86	15.11.86	1	28	49				
23			6671	16.12.86	20.05.87	155	31	8828				
24			16085	9.06.87	12.07.87	33	20	3160				
25			180	13.08.87	15.02.88	186	32	11370				
26			6310	29.03.88	12.10.88	197	42	15548				
27			9156	10.11.88	11.11.88	1	29	61				
28			2292	19.12.88	15.01.89	27	38	3036				
29			180	15.02.89	11.04.89	55	31	1370				
30			3927	14.04.89	13.07.89	90	3	5232				
31			7674	24.07.89	12.05.90	292	11	26973				
32			7703	19.06.90	12.11.90	146	38	11414				
33			7309	11.01.91	11.04.91	90	60	7432				
34			1933	15.05.91	12.10.91	150	34	14655				
35		Б/Н	Б/Н	16.10.91	12.12.91	57	4	1141				
36		Б/Н	Б/Н	24.01.92	12.05.92	108	43	6434				
37		Б/Н	Б/Н	13.05.92	11.06.92	29	1	2520				
38		Б/Н	Б/Н	3.07.92	12.10.92	101	22	8836				
39		Б/Н	Б/Н	14.04.93	12.07.93	89	184	9339				
40		Б/Н	Б/Н	20.08.93	10.09.93	21	39	1769				
41		Б/Н	Б/Н	17.09.93	12.10.93	25	7	1795				
42		Б/Н	Б/Н	19.07.94	14.03.95	238	280	26991				

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	Адреса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір, води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть води на 1 ЗОВ, м ³
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ	
		43	Б/н	5.04.96	12.10.96	190	387	14 407				
		44	Б/н	19.11.96	11.09.97	296	38	32 411				
		45	7633	14.10.97	15.06.98	244	33	19 445				
		46	7807	22.06.98	12.08.98	51	7	4 016				
		47	561	19.08.98	11.11.98	84	7	3 532				
		48	6434	20.11.98	28.01.99	69	9	5 022				
		49	6249	28.01.99	12.07.99	165	0	13 990				
		50	138	3.09.99	12.10.00	404	53	45 820				
		51	15229	14.02.01	12.08.01	179	125	13 930				
		Разом		1.07.80	12.08.01	5 382	2 325	413 829	7 707	105.5	46.6	8 114
3	Ф	1	7731	9.03.83	11.09.83	186	-	7 500				
	Р	2	221	22.05.84	11.11.84	173	253	11 094				
	У	3	3389	28.01.85	28.01.85	0	78	7				
	Н	4	1424	20.02.85	22.03.85	30	23	2 668				
	3	5	562	17.04.85	13.08.85	118	26	13 132				
	Е	6	0461	10.10.85	11.11.85	32	58	3 860				
		7	7602	17.02.86	11.04.86	53	98	1 706				
		8	33735	14.04.86	12.05.86	28	3	1 360				
		9	12337	13.06.86	11.07.86	28	32	1 555				
		10	24745	15.07.86	12.12.86	150	4	13 210				
		11	17330	16.12.86	12.01.87	27	4	6 037				
		12	231	20.01.87	12.05.87	112	8	8 878				
		13	15664	17.06.87	12.02.88	250	36	17 133				
		14	758	21.03.88	12.12.88	266	27	23 108				
		15	4520	26.01.89	26.01.89	0	45	1				
		16	5146	22.02.89	5.03.89	11	27	1 034				
		17	Б/н	2.06.89	13.06.89	11	89	1 024				
		18	7650	18.07.89	12.03.91	602	35	49 098				
		19	Б/н	17.04.91	15.05.91	28	36	2 793				

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	Адреса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ	
		12	15629	16.12.94	11.06.95	177	336	20 588				
		13	24778	16.06.95	13.04.96	301	5	33 992				
		14	7720	31.07.96	25.08.96	25	109	3 254				
		15	Б/н	12.09.96	9.02.97	150	18	13 154				
		16	16313	20.03.97	22.03.97	216	39	22 212				
		17	15344	14.12.97	11.04.99	483	53	46 276				
		18	7208	3.09.99	11.09.00	373	145	34 810				
		19	7237	20.02.01	12.08.01	173	162	18 735				
				24.12.85	12.08.01	3 804	1 902	318 728	5 706	200.2	105.7	16 775
7												
	Ж	1	24754	28.03.83	12.05.83	45	-	1 142				
	У	2	24760	7.06.83	12.06.83	5	26	846				
	К	3	3814	15.09.83	12.10.83	27	95	1 923				
	О	4	15117	16.11.83	12.01.84	57	35	2 696				
	В	5	4917	23.01.84	12.08.84	201	11	9 438				
	С	6	818	14.08.84	11.09.84	28	2	1 047				
	Ь	7	5854	20.09.84	24.09.84	4	9	402				
	К	8	484	15.11.84	8.02.85	85	52	3 462				
	О	9	2883	20.02.85	16.06.85	116	12	5 072				
	Г	10	415	16.07.85	18.07.85	0	32	0				
	О	11	139	1.04.86	1.04.86	0	257	0				
		12	6587	14.04.86	5.05.86	21	13	1 452				
	12	13	7770	13.06.86	23.06.86	10	39	619				
		14	7168	15.07.86	11.10.86	88	22	2 685				
		15	20295	14.11.86	9.12.86	25	34	1 060				
		16	133	11.06.87	12.10.88	488	184	21 079				
		17	7653	19.12.88	12.09.89	267	69	12 070				
		18	13528	15.09.89	12.03.91	543	3	37 237				
		19	15529	17.04.91	13.06.91	57	36	4 536				
		20	7220	26.08.91	31.08.91	5	74	272				

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	Адреса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи го ЗОВ	Відновл. го ЗОВ	
		21	7736	4.10.91	30.11.91	56	34	3 484				
		22	16519	17.12.91	30.04.92	134	17	6 895				
		23	130	27.05.92	14.05.93	352	27	24 764				
		24	7886	22.07.93	11.09.93	51	69	5 048				
		25	14263	13.10.93	14.05.94	213	32	12 511				
		26	16520	20.06.94	12.12.95	540	37	50 500				
		27	7283	18.04.96	20.01.97	277	127	115 113				
		28	2138	11.02.99	9.02.99	728	22	49 076				
		29	27779	1.03.99	11.06.99	102	20	5 304				
		30	13964	6.09.99	12.03.00	187	87	11 943				
		31	7331	30.05.00	14.08.00	76	79	3 714				
		32	16519	14.08.00	9.02.01	179	0	13 403				
		33	7557	14.02.01	12.08.01	179	5	10 830				
		Разом										
8	Г	1	569	14.02.78	22.08.01	5 146	1 561	319 623	6 707	155.9	48.8	9 686
	Р	2	10756	8.01.80	20.03.79	399	-	10 215				
	О	3	785	26.05.80	20.04.80	102	294	4 778				
	М	4	3027	16.07.80	16.07.80	51	36	4 181				
	О	5	77704	16.01.81	16.12.80	153	0	7 321				
	В	6	7613	12.08.81	14.07.81	179	31	4 885				
	А	7	14015	15.02.82	12.08.81	207	187	11 562				
	15	8	Б/н	11.01.83	10.03.83	58	123	4 190				
		9	16519	21.04.83	25.04.85	734	42	45 175				
		10	5108	14.05.85	14.05.85	0	19	0				
		11	2128	25.06.85	12.07.85	17	42	994				
		12	6694	15.08.85	17.08.85	2	34	120				
		13	7508	24.10.85	14.02.86	113	68	10 053				
		14	14353	18.03.86	11.06.86	85	32	7 177				
		15	1587	12.06.86	11.07.86	29	1	1 159				

Продовження таблиці Б.1

№ л/п	№ Ад-реса	№ Зав.№ ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³
					Прац., дні	Не пр., дні			Роботи го ЗОВ	Відновл. го ЗОВ	
		16	1668	15.07.86	21.07.86	6	4	385			
		17	785	15.08.86	15.08.86	0	25	0			
		18	10592	12.09.86	21.09.86	9	86	532			
		19	6604	14.11.86	15.11.86	1	54	84			
		20	8224	22.12.86	12.01.87	21	37	1286			
		21	7282	17.02.87	11.06.87	114	36	6727			
		22	1584	13.08.87	12.05.88	272	63	18858			
		23	779	21.07.88	12.03.89	234	70	17913			
		24	15094	23.03.89	9.02.90	323	11	24230			
		25	Б/н	12.02.90	19.02.90	7	3	421			
		26	7256	16.04.90	12.08.90	118	56	10384			
		27	14103	13.08.90	5.01.91	145	1	11400			
		28	15322	11.01.91	12.03.91	60	6	5719			
		29	15822	17.04.91	17.08.91	122	36	11929			
		30	7808	4.10.91	12.01.92	100	48	5060			
		31	7561	17.02.92	11.04.92	53	36	4240			
		32	15486	27.05.92	14.05.93	352	46	32736			
		33	7653	11.10.93	11.10.93	0	150	0			
		34	5486	25.11.93	12.05.94	168	45	14392			
		35	15486	14.06.94	24.03.95	283	33	31820			
		36	Б/н	17.04.95	12.03.96	329	24	33280			
		37	7292	18.04.96	11.09.97	511	37	40971			
		38	1230	17.11.97	12.01.99	421	67	31442			
		39	714	1.03.99	12.05.99	72	48	6601			
		40	16094	6.09.99	12.02.00	187	117	16899			
		41	1110	30.05.00	12.12.00	196	79	15227			
		42	14272	14.02.01	12.08.01	179	64	16440			
		Разом		14.02.78	12.08.01	6412	2162	470586	8754	527	11204

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	Ад-реса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ	
9	П.	1	7633	7.04.83	12.05.83	35	-	1397				
		2	14061	17.06.83	17.06.83	0	36	0				
		3	818	15.09.83	12.01.84	119	90	6154				
		4	16341	23.01.84	12.03.84	48	11	4928				
		5	6001	13.03.84	9.02.85	333	1	7579				
		6	7589	20.02.85	12.08.87	903	11	38307				
		7	2533	13.08.87	16.08.87	3	1	105				
		8	1223	14.09.87	15.04.88	213	29	9328				
		9	311	20.05.88	16.03.89	300	35	14000				
		10	311	14.04.89	3.07.89	80	29	1934				
		11	595	24.07.89	12.09.89	50	21	2201				
		12	1058	6.09.90	11.09.90	5	359	250				
		13	1058	12.09.90	10.04.91	210	1	10000				
Резом:												
10	П. М О Р О 3 17	1	14081	31.07.96	12.03.97	224	-	13150				
		2	785	20.03.97	12.08.97	145	8	9930				
		3	738	15.10.97	12.01.99	454	64	27876				
		4	1325	1.03.99	14.03.99	13	48	1208				
		5	6961	17.05.99	12.07.99	56	64	3348				
		6	745	6.09.99	17.08.00	345	56	21595				
		7	16313	1.11.00	12.08.01	284	76	20140				
Резом:												
11		1	1535	31.07.96	12.08.01	1521	316	97247	1837	217.3	52.7	13892
		2	135	14.08.78	19.12.78	127	-	4989				
		3	877	9.04.79	7.08.80	304	111	16600				
		4	3027	16.07.80	20.05.80	57	102	4601				
		5	568	2.10.80	25.08.80	40	0	1860				
		6	16357	2.10.80	20.10.80	18	38	5750				
				16.12.80	13.01.81	28	57	2450				

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	№ Ад-реса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ	
	П.	7	7826	16.02.81	21.07.81	155	34	11 850				
		8	6600	12.08.81	9.02.82	181	22	11 300				
	М	9	15255	17.03.82	16.08.82	152	36	9 660				
	О	10	12687	10.09.82	26.09.83	381	25	12 560				
	Р	11	15664	13.10.83	25.11.83	43	17	2 870				
	О	12	12946	20.12.83	24.02.84	66	25	14 070				
	З	13	12763	13.03.84	28.05.84	76	17	7 020				
	О	14	1459	19.07.84	19.07.84	0	52	0				
	В	15	16087	14.08.84	3.03.85	201	26	17 740				
	А	16	17330	17.04.85	14.05.85	27	45	1 600				
	19	17	5013	25.06.85	12.08.85	48	42	4 410				
		18	9162	10.10.85	11.04.86	183	59	13 140				
		19	192	12.06.86	12.07.86	30	62	1 178				
		20	2555	15.07.86	4.08.87	385	3	28 670				
		21	8777	19.12.87	13.04.88	115	137	8 690				
		22	1250	20.05.88	29.02.89	285	37	24 670				
		23	3852	23.03.89	12.08.89	142	23	11 120				
		24	7817	21.08.89	19.12.89	120	9	12 430				
		25	427	12.02.90	23.06.91	496	55	51 610				
		26	7499	26.08.91	14.10.91	49	64	6 820				
		27	7420	17.12.91	12.04.92	116	64	14 600				
		28	1506	15.05.92	12.07.93	423	33	49 680				
		29	12162	17.09.93	12.05.94	237	67	27 800				
		30	12162	15.08.95	18.03.95	215	95	20 150				
		31	Б/н	25.04.95	12.12.95	231	38	26 900				
		32	10363	21.10.96	21.11.97	396	313	47 860				
		33	7293	12.02.98	12.08.98	181	83	17 500				
		34	1119	28.09.98	22.10.98	24	47	2 760				
		35	1058	20.11.98	9.02.99	81	29	8 589				

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	№ Ад-реса	№ зав ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³	
					Прац., дні	Не пр., дні			Роботи го ЗОВ	Відволг. го ЗОВ		
12	С	36	17.05.99	12.10.00	513	97	53 654					
		37	16.11.00	10.05.01	175	35	14 493					
		38	453	17.07.01								
		Разом		14.08.78	10.05.01	6 301	1 999	571 635	8 300	170.3	55.5	15 450
		1	777	15.01.86	16.01.86	1	-	29				
		2	1577	17.02.86	14.08.87	543	32	11 020				
		3	7840	22.09.87	12.05.88	232	39	8 475				
		4	15529	21.07.88	12.10.88	83	70	2 000				
		5	7587	1.12.88	12.01.89	42	50	1 049				
		6	6552	22.02.89	12.06.89	110	41	2 310				
		7	12735	24.04.90	12.07.90	79	316	3 390				
		8	6494	13.08.90	12.05.91	272	32	8 506				
		9	16283	17.09.91	12.07.93	663	128	18 722				
		10	7472	31.08.93	31.08.93	0	50	0				
		11	1814	13.10.93	19.04.94	188	43	10 920				
		12	4382	19.04.94	12.09.94	146	0	8 275				
		13	5222	12.09.94	11.04.95	211	0	12 230				
14	16389	30.08.95	30.08.95	0	141	0						
15	16510	5.01.96	11.04.96	96	128	8 563						
16	3075	21.10.96	29.12.96	69	193	3 770						
17	12383	12.02.97	12.08.01	1 641	45	60 280						
Разом			15.01.86	12.08.01	4 376	1 308	1 59 330	5 684	257.4	81.75	9 372	
13	Т	1	16439	23.02.83	6.10.83	225	-	14 080				
		2	14696	13.10.83	10.05.84	209	7	13 230				
		3	563	10.07.84	8.07.86	728	61	48 610				
		4	7652	10.07.86	21.02.88	560	2	37 290				
		5	6121	15.03.88	15.04.89	396	53	31 530				
		6	546	30.06.89	6.05.91	675	76	46 440				
		7	16094	1.07.91	10.04.92	283	56	19 800				

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	№ Ал-реса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ Прац., дні		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи го ЗОВ	Відновл. го ЗОВ	
	ЧЕР	8	1223	12.06.92	6.08.93	420	63	31 252				
	ВО	9	6371	6.10.93	8.01.94	94	61	7 650				
	НО	10	1611	2.03.94	4.11.94	247	53	17 470				
	АРМ	11	7903	5.12.94	2.02.95	59	31	3 450				
	ІЙ	12	7736	8.02.95	5.05.95	86	6	6 840				
	СЬ	13	15229	15.06.95	5.01.96	204	41	9 680				
	КА	14	1175	26.02.96	4.06.96	98	52	9 050				
	28	15	0183	21.06.96	25.06.96	4	17	290				
		16	6273	14.08.96	14.08.96	0	50	0				
		Разом		23.02.83	14.08.96	4 288	629	296 662	4 917	268	41.9	18 541
14	В	1	Б/н	16.10.77	10.12.79	785	-	29 800				
	І	2	5244	19.03.80	30.03.80	11	99	420				
	Н	3	7402	16.12.80	16.12.80	0	261	0				
		Разом		16.10.77	16.12.80	796	360	30 220	1 156	265.3	180	10 073
15	И	1	1539	2.03.84	5.04.86	764	-	29 490				
	Ч	2	16087	10.07.86	10.07.86	0	96	0				
	Е	3	2243	31.07.86	7.09.86	38	21	1 700				
	Н	4	15389	11.10.86	16.12.86	66	23	3 120				
	К	5	6556	8.01.87	12.04.87	94	23	4 200				
	О	6	230	18.05.87	20.03.88	306	36	14 110				
		7	Б/н	18.04.88	6.10.88	171	29	6 800				
	4	8	686	20.02.89	6.01.91	685	137	27 980				
		9	35632	12.04.91	16.08.91	126	96	6 250				
		10	7372	4.11.91	8.03.92	124	80	6 070				
		11	15364	10.04.92	15.06.92	66	33	3 040				
		12	7470	11.08.92	16.10.92	66	57	4 150				
		13	7470	18.01.93	6.05.93	108	94	4 590				
		14	7187	8.06.93	14.04.94	310	33	14 730				
		Разом		2.03.84	14.04.94	2 924	769	126 230	3 693	208.9	59.2	9 016

Продовження таблиці Б.1

№ п/п	Ад-реса	№ уст	Зав.№ ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м³	
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ		
16		1	311	12.03.97	15.10.98	582	-	28 220					
		2	14098	28.05.99	5.08.01	799	225	39 190					
17	К О Ц Ю Б И Н С Ь К О Г О	Разом				1 381	225	67 410	1 606	690,5	225	53 705	
		1	23095	18.04.78	1.09.79	501	-	13 860					
		2	9238	31.01.80	31.01.80	0	152	1					
		3	2476	4.04.80	20.03.81	350	63	14 980					
		4	30398	4.05.81	5.07.81	62	45	3 260					
		5	2406	19.07.82	29.04.82	69	229	3 030					
		6	4754	10.05.82	9.08.82	91	11	4 910					
		7	Б/Н	21.01.83	29.09.83	251	165	10 270					
		8	546	29.09.83	30.08.84	335	0	14 230					
		9	1944	16.10.84	1.04.85	167	47	7 460					
		10	7851	19.04.85	16.06.85	58	18	2 270					
		11	2258	4.07.85	10.02.86	221	18	7 470					
		12	7654	19.02.86	30.04.86	70	9	2 050					
		13	7306	7.05.86	31.10.86	177	7	6 250					
		14	14786	5.11.86	14.04.89	890	5	30 890					
		15	7770	14.04.89	1.03.90	321	0	10 500					
		16	52	16.04.90	1.01.91	260	46	8 080					
17	7806	5.03.91	8.07.92	490	63	14 860							
		Разом				4 313	878	154 371	5 191	253,7	54,9	9 081	
ВСЬОГО		370				65 124	18648	4 432 079	83 772	176,01	52,83	11 979	

Таблиця Б.2

Вододільниці ВСКМ-16/40

№ п/п	№ д-реса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ Прац., дні	Не пр., дні	К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³
										Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ	
1	РЕ	1	21397	30.12.96	12.02.97	44	-	6 660				
		2	16505	7.10.97	12.01.98	97	237	11 642				
		3	16653	12.02.98	12.10.98	242	31	39 134				
		4	16956	20.11.98	11.04.00	507	39	73 709				
		5	15956	12.04.00	11.04.01	364	1	57 080				
		Разом		30.12.96	11.04.01	1 254	308	188 225,6	1 562	250,8	77,0	37 645
2	ШИР	1	16372	13.03.97	12.10.97	213	-	9 777				
		2	23330	10.12.97	12.01.99	398	59	15 939				
		3	40862	22.02.99	12.08.01	901	41	40 341				
		Разом		13.03.97	12.08.01	1 512	100	66 057	1 612	504,0	50,0	22 019
3	ШИР	1	16467	16.01.97	29.08.97	225	-	21 925				
		2	16167	15.10.97	11.09.99	696	47	70 178				
		3	21121	28.09.99	12.05.01	591	17	55 712				
		Разом		16.01.97	12.05.01	1 512	64	147 815	1 576	505,0	32,0	49 272
4	ЖУ	1	21371	9.01.97	22.04.97	103	-	16 481				
		2	21423	18.06.97	11.09.97	85	57	8 820				
		3	Б/н	10.10.97	12.01.98	94	29	12 271				
		4	33367	12.02.98	10.02.00	728	31	110 433				
		5	46699	23.03.00	12.08.01	507	41	76 058				
		Разом		9.01.97	12.08.01	1 517	158	224 063	1 675	303,4	39,5	44 813
5	ФРУ	1	20967	15.11.96	25.04.97	161	-	18 350				
		2	23213	18.06.97	12.03.98	267	54	22 850				
		3	922	22.06.98	12.08.01	1 146	102	120 899				
		Разом		15.11.96	12.08.01	1 574	156	162 099	1 730	524,7	78,0	54 033

Продовження таблиці Б.2

№ п/п	№ АД-реса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³	
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ		
6	ФРУ НЗЕ 30	1	Б/Н	30.12.96	11.04.97	102	-	14 200					
		2	23283	13.06.97	13.01.98	214	63	28 930					
		3	16372	11.03.98	5.05.99	420	57	58 734					
		4	21000	11.10.99	20.01.00	101	159	14 861					
		5	20686	28.01.00	5.08.01	554	8	79 868					
		Разом											
7	СТА НІСЛ ABC 5	1	21319	11.12.96	25.04.97	135	-	20 250			71.8	39 319	
		2	06367	30.05.97	20.08.98	447	35	62 580					
		3	16332	20.10.98	4.04.00	531	61	59 390					
		4	Б/Н	20.04.00	20.06.01	426	16	42 420					
			Разом										
8	КИВ СЬ КА 66	1	20646	28.11.96	18.05.97	171	-	20 989			37.3	46 160	
		2	10258	25.11.97	18.09.98	297	191	33 000					
		3	Б/Н	20.10.98	20.03.00	516	32	55 610					
		4	Б/Н	30.03.00	20.06.01	447	10	50 520					
			Разом										
9	Пр. КАР СРН	1	16108	28.11.96	20.06.01	1 431	233	160 119	1 664		77.7	40 030	
		2	27058	18.04.97	19.09.97	154	-	11 600					
		3	21359	28.09.97	20.07.98	294	10	21 360					
				9.09.98	20.06.01	1 014	51	98 2145					
			Разом										
10	ЧАЙ КОВ СЬК 22	1	20638	18.04.97	20.06.01	1 462	61	131 174	1 523		30.5	43 725	
		2	21393	4.12.96	23.05.97	170	-	18 650					
		3	33271	29.09.97	2.03.98	154	129	17 980					
		4	Б/Н	19.05.98	20.03.00	670	78	70 014					
			Разом										
				4.04.00	20.06.01	442	15	73 923					
				4.12.96	20.06.01	1 436	222	180 567	1 658		74.0	45 142	

Продовження таблиці Б.2

№ п/п	№ Ад-реса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ	
11	КИЇВ	1	21190	26.12.96	23.06.97	179	-	17 720				
		2	23075	1.08.97	4.08.97	3	39	200				
		3	15753	9.10.97	30.03.00	902	66	93 530				
		4	Б/н	30.03.00	20.06.01	447	0	38 450				
		Разом		26.12.96	20.06.01	1 531	105	149 900	1 636	382.8	35.0	37 475
12	Ч.АР	1	21241	27.12.96	14.06.97	169	-	13 370				
		2	21028	26.09.97	20.01.98	116	104	10 020				
		3	33684	11.03.98	5.08.01	1 242	50	86 970				
		28										
		Разом		27.12.96	5.08.01	1 527	154	110 360	1 681	509.0	77.0	36 787
13	ГРИ	1	21777	15.03.97	2.09.97	171	-	8 930				
		2	01899	9.10.97	19.01.98	102	37	5 630				
		3	3261	1.07.98	19.08.98	49	163	2 600				
		4	21388	21.12.98	19.08.99	241	124	12 540				
		12	Б/н	23.02.00	20.06.01	482	188	22 190				
		Разом		15.03.97	20.06.01	1 045	512	51 890	1 557	209.0	128.0	10 378
14	ЛЕВ	1	21232	22.12.97	5.08.98	226	-	10 450				
		КОГ. 10 А.	2	21807	21.09.98	5.08.01	1 048	47	47 807			
		Разом		22.12.97	5.08.01	1 274	47	58 257	1 321	637.0	47.0	29 129
15	ФРУ	1	27060	28.11.96	15.08.97	260	-	18 120				
		2	Б/н	4.12.97	5.02.98	63	111	5 610				
		65	Б/н	9.04.98	5.08.01	1 213	63	123 330				
		Разом		28.11.96	5.08.01	1 536	174	147 060	1 710	512.0	87.0	49 020
16	ЛЕВ	1	17041	22.12.97	4.07.98	194	-	8 450				
		ИЦ	2	21184	21.09.98	5.08.01	1 048	79	48 965			
		Разом		22.12.97	5.08.01	1 242	79	57 415	1 321	621.0	79.0	28 708

Продовження таблиці Б.2

№ п/п	№ адреса	№ зав'язки ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³	
					Прац., дні	Не пр., дні			Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ		
17	ФРУ	1	16364	10.03.97	5.08.97	148	-	13 060				
	НЗЕ	2	13121	26.09.97	8.08.98	316	52	23 900				
	52	3	13742	18.09.98	5.08.01	1 051	41	80 339				
Разом												
18	ФРУ	1	1820	19.03.97	5.12.97	261	-	9 816				
	НЗЕ	2	21251	20.01.98	6.10.99	624	46	27 600				
	75	3	21251	17.11.99	5.08.01	626	42	28 820				
Разом												
19	ЗАП 46 А	1	Б/н	19.03.97	5.08.01	1 511	88	66 236	1 599	503.7	44.0	22 079
				5.05.98	5.12.00	944	-	51 800	944	944		51 800
20	Пр. КИЇВ СЬК, 55	1	Б/н	6.05.98	5.08.01	1 186	-	81 422	1 186	1 186		81 422
21	ФРУ	1	Б/н	28.12.96	5.06.97	159	-	16 310				
	НЗЕ	2	20934	26.09.97	5.01.98	101	113	12 460				
	50	3	21195	11.03.98	5.08.01	1 242	65	263 966				
Разом												
22	ТІ	1	21180	12.05.97	11.10.98	517	-	54 550				
	ЧИ	2	31334	25.09.99	11.10.99	16	349	1 930				
	НИ	3	16322	19.10.99	8.02.01	477	8	62 890				
	5	4	222	1.03.01	6.08.01	158	21	22 570				
	Разом											
23	ТІЧ	1	21359	12.05.97	6.08.01	1 168	378	141 940	1 546	292.0	126.0	35 485
	ІНІ	2	Б/н	17.06.98	11.10.99	481	280	50 410				
	13	3	21097	30.11.99	6.08.01	614	50	48 920				
Разом												
				16.05.97	6.08.01	1 212	330	108 730	1 542	404.0	165.0	36 243

Продовження таблиці Б.2

№ п/п	№ Ад-реса	№ Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м³
					Прац., дні	Не пр., дні			Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ	
24	МОС КАЛІ 65	1	21213	26.06.97	17.11.98	509	-	44 930			
		2	Б/Н	19.11.98	17.06.99	210	2	14 175			
		3	1283	1.09.99	18.07.01	685	76	61 195			
Разом											
25	ФУР МАН ОВА 1	1	Б/Н	14.05.97	11.08.97	89	-	6 460			
		2	Б/Н	3.11.97	16.07.98	255	84	20 070			
		3	3427	25.03.99	25.03.99	0	252	37			
		4	2136	13.05.99	6.08.01	815	49	73 578			
Разом											
26	ПАР ХОМ	1	16350	14.05.97	6.08.01	1 159	385	100 145	1 544	289.8	128.3
		2	21361	25.03.99	10.06.98	390	-	14 840			25 036
Разом											
27	ПР.К. МАР КСА 8	1	20727	19.11.96	8.08.01	1 256	288	51 723	1 544	628.0	288.0
		2	16155	22.09.97	16.06.97	209	-	14 720			
		3	21316	2.09.98	18.03.99	197	49	16 821			
		4	49378	22.03.99	16.07.01	846	4	66 416			
Разом											
28	ПР.К. МАР КСА 28	1	Б/Н	13.05.94	18.08.95	462	-	28 490			
		2	Б/Н	15.12.95	19.03.97	459	119	22 100			
		3	Б/Н	27.03.97	15.05.97	49	8	1 750			
		4	Б/Н	21.11.97	21.11.97	35	155	2 100			
		5	16375	29.06.98	15.01.01	931	220	48 746			
Разом											
29	МАР КСА 4	1	21184	30.10.96	24.06.97	237	-	21 720	2 437	387.0	125.5
		2	21053	18.02.98	18.02.98	149	90	12 000			
		3	41699	29.06.98	14.09.98	77	131	6 529			
		4	4212	19.11.98	16.08.01	1 000	66	65 629			
Разом											
			30.10.96	16.08.01	1 463	278	105 878	1 750	365.8	95.7	26 470

Продовження таблиці Б.2

№ п/п	№ Ад-реса	№ уст	Зав.№ ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи го ЗОВ	Відновл. го ЗОВ	
30	ВАТ УТІН 35	1	23044	19.08.98	18.07.01	1 063	-	50 247	1 063			50 247
31	ВА ТУТ, 56	1	Б/Н	1.05.97	18.01.99	627	-	30 630				
		2	21934	25.02.99	18.07.01.	873	38	48 596				
32	ВА ТУТ, 56	Разом		1.05.97	18.07.01	1 500	38	79 226	1 538	730.0	38.0	39 613
		1	Б/Н	23.06.97	2.06.98	344	-	14 450				
		2	Б/Н	22.10.98	18.08.01	1 030	142	88 024				
33	МОС КАЛ 67	Разом		23.06.97	18.08.01	1 374	142	102 474	1 516	687.0	142.0	51 237
		1	2129	12.10.00	18.07.01	279	-	6 630	279	279.0		6 630
		1	Б/Н	1.08.97	23.08.98	387	-	11 290				
34	НЕМ Ш. 84	1	Б/Н	6.10.98	18.08.99	316	44	10 969				
		2	Б/Н	12.11.99	18.07.01	613	86	13 289				
		3	21286	1.08.97	18.07.01	1 316	130	35 548	1 446	438.6	65.0	11 849
35	ВА ТУТ. 54	Разом		23.06.97	21.02.98	243	-	12 310				
		1	Б/Н	20.05.98	18.07.01	1 154	88	87 905				
		2	Б/Н	23.06.97	18.07.01	1 397	88	100 215	1 485	698.5	88.0	50 108
	1 вввод	Разом		23.06.97	18.07.01	1 397	88	100 215	1 485	698.5	88.0	50 108

Продовження таблиці Б.2

№ п/п	Адреса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		К-сть вимір. води, м ³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м ³
						Прац., дні	Не пр., дні			Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ	
36	ВА ТУТ. 2ввод	1	23089	23.06.97	18.03.99	633	-	39 830				
		2	45405	13.09.99	18.07.01	673	179	57 904				
37	ЯКІ ПА 2 А	Разом		23.06.97	18.07.01	1 306	179	97 754	1 485	653.0	179.0	48 867
		1	21120	25.06.97	5.10.97	102	-	6 880				
		2	21180	30.03.98	17.11.99	597	176	36 190				
38	ВАТ 28	Разом		14.01.00	18.07.01	550	58	39 953				
		1	Б/н	25.06.97	18.07.01	1 249	234	83 023	1 483	415.3	117.0	27 674
		2	22220	9.12.99	18.07.01	586	-	57 256	586	586.0		57 256
39	УТ 28	Разом		26.03.97	18.05.98	185	65	8 740				
		1	22220	26.03.97	27.09.97	168	65	9 700				
		2	23168	1.12.97	18.05.98	168	65	62 263				
40	ПІМІ ДТА 36	Разом		7.07.98	18.06.01	1 076	50	80 703	1 544	476.3	57.5	26 901
		1	Б/н	26.03.97	18.06.01	1 429	115	60 880				
		2	43998	2.04.98	10.05.99	403	-	63 654				
41	50 Р. ПЕ РЕМ 36	Разом		18.12.00	10.08.01	378	140	27 073				
		1	21054	2.04.98	10.08.01	235	69	151 607	1 225	338.7	104.5	50 536
		2	1654	13.03.97	8.07.97	117	-	15 380				
42	ПА ПА ПІ ПІ	Разом		11.12.97	10.08.01	32	90	5 010				
		1	16505	6.10.97	7.11.97	32	90	17 650				
		2	4304	11.12.97	20.04.98	130	34	178 778				
42	ПА ПА ПІ ПІ	Разом		15.05.98	10.08.01	1 182	25	216 818	1 610	365.3	49.7	54 205
		1	21161	13.03.97	10.08.01	461	149	307				
		2	15642	14.03.97	22.03.97	8	-	43 575				
42	ПА ПА ПІ ПІ	Разом		27.06.97	18.12.00	1 269	97	7 162				
		1	07977	18.12.00	10.08.01	235	0	51 044				
		2	15642	27.06.97	18.12.00	1 269	97	51 044	1 609	504.0	48.5	17 015

Продовження таблиці Б.2

№ п/п	№ Адреса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ Прац., Не пр., дні		К-сть вимір. води, м³	Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м³	
						Роботи го ЗОВ	Відновл. го ЗОВ			Роботи го ЗОВ	Відновл. го ЗОВ		
43	П. МОР ОЗО ВА 21	1	20367	9.01.97	12.05.97	123	-	12 710					
		2	17776	18.06.97	18.08.97	61	37	8 700					
		3	16268	15.10.97	11.11.97	27	58	2 830					
		4	Б/н	17.11.97	11.11.99	724	6	83 181					
		5	4 615	5.01.00	12.08.01	584	55	65 899					
Разом													
44	БА ЖЕН 26	1	Б/н	8.02.00	18.07.01	525	-	39 817	525			39 817	
		1	Б/н	18.03.98	18.07.01	1 217	-	61 603	1 217			61 603	
46	ФРУ НЗЕ 46	1	16366	11.02.97	12.07.97	151	-	8 980					
		2	16266	19.11.97	12.10.00	1 057	130	77 725					
		3	22220	20.02.01	12.08.01	173	131	11 590					
Разом													
47	ВА ТУТ 32	1	16440	28.02.97	7.07.97	129	-	13 290	129			13 290	
		1	01602	13.03.97	10.10.00	1 306	-	131 500					
48	ЛЕ НІН ГР. 73 А	1	16371	18.12.00	10.08.01	235	69	21 492					
		2	16371	18.12.00	10.08.01	235	69	21 492					
Разом													
49	КОР ОЛ. 31	1	16234	13.03.07	10.08.01	1 541	69	152 992	1 610			76 496	
		2	Б/н	25.03.98	10.05.99	441	-	54 389					
		3	Б/н	2.09.99	10.08.01	707	115	70 264					
Разом													
				25.03.98	10.08.01	1 118	115	124 653	1 233			62 327	

Продовження таблиці Б.2

№ п/п	№ Ад-реса	№ уст	Зав № ЗОВ	Дата встановлення	Дата поломки	Час, коли ЗОВ		Простеж. період, дні	Середній час, дні		Сер. к-сть вимір. води на 1 ЗОВ, м³	
						Прац., дні	Не пр., дні		Роботи 1-го ЗОВ	Відновл. 1-го ЗОВ		
50	КОЦ ЮБ. 9	1	40153	14.03.97	11.08.00	1 245	-	47 420				
		2	40153	31.01.01	10.08.01	191	173	6 397				
Разом												
51	МОР ОЗО ВА 3	1	20687	10.01.97	10.01.01	1 436	173	53 817	1 609	718.0	173.0	26 909
		2	Б/н	10.10.97	11.06.97	152	-	8 190				
		3	21291	28.09.98	30.06.98	263	121	14 770				
Разом												
52	КО РОЛ 35	1	Б/н	10.01.97	12.08.01	1 463	211	86 860	1 674	487.7	105.5	28 953
				25.03.98	10.08.01	1 233	-	124 346	1 233	1 233.0		124 346
53	ТАЛ АЛІХ 3	1	16741	31.03.97	11.11.99	955	-	92 730				
		2	4398	31.01.00	12.08.01	558	81	56 253				
Разом												
54	ФРУ НЗЕ 56	1	16171	31.03.97	12.08.01	1 513	81	148 983	1 594	756.5	81.0	74 492
		2	23075	11.02.97	18.06.97	127	-	11 320				
		3	23298	19.11.97	22.12.98	398	154	35 914				
Разом												
55	ШИР ШО ВА 3	1	21798	11.02.97	12.08.01	1 419	223	123 204	1 642	473.0	111.5	41 068
		2	Б/н	24.12.96	15.07.97	203	-	15 640				
		3	07415	10.10.97	13.07.98	276	87	16 800				
Разом												
ВСЬОГО		157		24.12.96	12.08.01	1 481	210	152 390	1 691	493.7	105.0	50 797
						72049	8 410	6 147 301	80 459	458.9	82.5	39 155

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Онищук Г. І. Сліпченко В. О. Основи раціонального використання води у житлово-комунальному господарстві. К.: Відділ оперативної поліграфії ДІЖКГ Держбуду України. – 1999. – 54 с.
2. СНиП 2. 04. 01. – 85 Внутренний водопровод и канализация зданий. Госстрой СССР. М.: Стройиздат. – 1985.
3. Правила надання населенню послуг з водо-, теплопостачання та водовідведення. Затверджені Постановою Кабінету Міністрів України від 30 грудня 2007 року №1497.
4. Методика розробки технологічних нормативів використання води на підприємствах водопровідно-каналізаційного господарства України. Затверджена Наказом Держбуду України від 21 липня 1998 року №161. К.: ВОП ДІЖКГ Держбуду України. 1998.
5. Кабінет Міністрів України. Постанова від 27 листопада 1995 р. №947. Про Програму поетапного оснащення наявного житлового фонду засобами обліку та регулювання споживання води і теплової енергії на 1996–2000 роки.
6. Кабінет Міністрів України. Постанова від 17 листопада 1997 р. №1269. Програма розвитку водопровідно-каналізаційного господарства.
7. Кабінет Міністрів України. Постанова від 19 жовтня 1998 р. №1657. Про продовження терміну виконання Програми поетапного оснащення наявного житлового фонду засобами обліку та регулювання споживання води і теплової енергії до 2002 року.
8. Пособие по проектированию автоматизации и диспетчеризации систем водоснабжения (к СНиП 2. 04. 02 – 84) – Утверждено приказом СоюзводоканалНИИпроекта от 5 марта 1985 года №41. М: ЦИТП. – 1985.
9. Инструкция по проектированию автоматизации и диспетчеризации систем водоснабжения. СН 516-79, Госстрой СССР, М.: Стройиздат, 1979.
10. Евдокимов А. Г., Тевяшев А. Д. Оперативное управление потокораспределением в инженерных сетях. – Х.: Вища школа. Изд-во при Харьк. ун-те, 1980 – 144 с.
11. Григоровский Е. П. Модели и методы автоматизированного управления потокораспределением в трубопроводных системах: диссертация на соискание научной степени доктора технических наук. – К.: КНУБА, 1995. – 470 с.
12. Форкун І. В. Оперативне оптимальне управління інженерними комунікаціями в умовах їх стохастичної дестабілізації: дисертація

- на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К.: КНУБА, 2000. – 136 с.
- 13.Форкун Ю. В. Моделі і методи управління комунікаційними мережами в умовах їх прогнозованого розвитку: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К.: КНУБА, 2000. – 117 с.
 - 14.Виговський Ю. В. Моделювання та автоматизоване управління розподілом цільових продуктів в трубопровідних системах: дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. – К.: КНУБА, 2000. – 153 с.
 - 15.Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества. Л.: Машиностроение. 1975. – 776 с.
 - 16.Кремлевский П. П. Терминология и классификация приборов для измерения расходов и количеств. // Измерительная техника. – 1968. – №11. – с. 19–21.
 - 17.Лобачев П. В., Шевелев Ф. А. Водомеры для водопроводов и канализаций. М.: Изд-во литературы по строительству. – 1964. – 330 с.
 - 18.Тупиченков А. А., Абдурашитов О. А., Мануков Э. С. Счетчики жидкости. М.: Изд-во стандартов. – 1980. – 152 с.
 - 19.Бошняк Л. Л., Бызов Л. Н. Тахометрические расходомеры. – Л.: Машиностроение. – 1968. – 210 с.
 - 20.Ратушняк Г. С., Лісіцин Є. Ф., Шаманський С. Й. Ультразвукові витратоміри в САК водопостачанням та їх метрологічні характеристики. // Автоматизація виробничих процесів. – 2002. – № 2. – с. 22–26.
 - 21.Вельт И. Д., Ламочкина Т. И., Петрушайтис В. И. Вопросы проектирования электромагнитных расходомеров с неоднородным магнитным полем. // Приборы и системы управления. – 1972. – №9. – с. 33-35.
 - 22.Левин В. М. Электромагнитные расходомеры компенсационного типа ферродинамической системы. – В кн.: Измерение расхода жидкости газа и пара. – М. – 1965. – с. 82–95.
 - 23.Пистун Е. П., Крук И. С., Лесовой Л. В. Расчет параметров сужающих устройств расходомеров жидкости, оптимальных по точности измерения. // Измерительная техника. – 1987. – № 6. – с. 26 – 27.
 - 24.Балдин А. А., Бошняк Л.Л., Соловский В. М. Ротаметры. – Л.: Машиностроение. 1983. – 209 с.
 - 25.Дюфур Г. А. Расходомеры постоянного перепада давления, разработанные в ГИПХ. – В кн.: Измерение расхода жидкости газа и пара. – М. – 1965. – с. 43–50.

26. Дуб Я. Т., Шкурченко В. Л. Щелевые расходомеры. – К.: изд-во Наукова думка. – 1972. – 86 с.
27. Киясбейли А. Ш., Перельштейн М. Е. Вихревые счетчики-расходомеры. – М.: Машиностроение. – 1974. – 160 с.
28. Беляев Д. В., Коротков П. А., Камразе А. Н., Соколов Г. А. Тепловые расходомеры. – В кн.: Измерение расхода жидкости газа и пара. – М. – 1973. – с. 203–215.
29. Аристов Е. М., Павловский Б. А. и др. Схемы оптических измерителей скорости движения жидкостей и газов. – В кн.: Измерение расхода жидкости газа и пара. – М. – 1973. – с. 107–115.
30. Забелин В. Е. Меточные расходомеры. – В кн.: Измерение расхода жидкости газа и пара. – Таллин. – 1972. – с. 142–155.
31. Шонин Л. Н. Тахометрические шариковые расходомеры. – В кн.: Тепловые и химико-технологические приборы и регуляторы. Л.: 1968. – с. 138–147.
32. Катусь Г. П. Объемные расходомеры. М-Л.: Энергия, 1965. – 88с.
33. Ильинский В. М. Динамические свойства массовых расходомеров. В кн.: Измерение расхода жидкости газа и пара. – М. – 1967. – с. 259–270.
34. Миллер Ю. Г. Поляризационный расходомер. // Труды Оргэнергострой, вып. 1. – 1957. – с. 57–70.
35. Шишикин О. П., Ривкин И. Я., Егоров В. Е. и др. Вибрационный массовый расходомер. // Машины и нефтяное оборудование. – 1972. – № 1. – с. 20–24.
36. Звенигородский Э. Г., Каминский Ю. Д. Перспективы применение методов лазерной доплеровской интерферометрии для высокоточных измерений расхода. // Измерительная техника. – 1986. – № 2. – с. 27–29.
37. Брахман Т. Р. многокритериальность и выбор альтернативы в технике. М.: Радио и связь, 1984. – 288 с.
38. Подиновский В. В., Гаврилов В. М. Оптимизация по последовательно применяемым критериям. – М.: Советское радио, 1975. – 192 с.
39. Основы моделирования сложных систем. / Под ред. И. В. Кузьмина. – К.: Вища школа, 1981. – 360 с.
40. Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций. – М.: Наука, 1971. – 383с.
41. Подиновский В. В. Коэффициент важности критериев в задачах принятия решений. Порядковые или ординальные коэффициенты важности. // Автоматика и телемеханика. – 1978. – № 10. – с. 130–141.

42. Салуквадзе М. Е. Задачи векторной оптимизации в теории управления. – Тбилиси: Мендзиереба, 1975. – 200 с.
43. Ларичев О. И. Человекомашинные процедуры принятия решений. // Автоматика и телемеханика. – 1971. – № 12. – с. 130–142.
44. Хубка В. Теория технических систем. – М.: Мир, 1987. – 208 с.
45. Емельянов С. В., Борисов В. И. и др. Модели и методы векторной оптимизации. В кн.: Техническая кибернетика. – М.: ВИПИТИ, 1973, т. 5. – с. 386–448.
46. Кухарев Б. И. Выбор компромиссного решения в условиях многокритериальности. – В сб.: Автоматизированные системы управления и приборы автоматки. – Харьков.: Вища школа, 1975. – вып. 33. – с. 82–139.
47. Майданчик Б. И. и др. Инженерно-стоимостный анализ конструкций. // Вестник машиностроения. – 1976. – № 9. – с. 77–80.
48. Моисеева Н. К. и др. Организация экономической проработки изделия на основе ФСА. // Вестник машиностроения. – 1976. – № 6. – с. 78–82.
49. Бродянский В. М., Фратшер В., Михалец К. Эксергетический метод и его приложения. – М.: Энергоатомиздат, 1988. – 288 с.
50. Ротштейн О. П., Лісіцин Е. Ф., Шаманський С. Й. Порівняльний аналіз лічильників холодної води за неметричними критеріями. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 3. – с. 157–161.
51. Ткаченко С. Й., Лісіцин Е. Ф., Ткаченко В. В., Шаманський С. Й. Ранжування лічильників води за критеріями стійкості до збуджень. // Вісник Технологічного університету Поділля. – 2001. – № 1. – с. 34–39.
52. Бешелев С. Д., Гурвич Ф. Г. Математико-статистические методы экспертных оценок. – М.: Статистика, 1980. – 263 с.
53. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации. – Універсум-Вінниця. – 1999. – 302 с.
54. Saaty T. L. Measuring the Fuzziness off Sets. // J. Cybernetics. – 1974. – Vol.4 – p. 53–63.
55. Саати Т. Л. Взаимодействия в иерархических системах. // Техническая кибернетика. – 1979. – № 1. – с. 68–84.
56. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. В кн.: Вопросы анализа и процедуры принятия решений. – М.: Мир, 1976. – стр. 172–215.
57. Задэ Л. А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений. // Математика сегодня: Пер. с английского. – М.: Знание, 1974. – 45 с.

58. Rotshtein A. Modification of Saaty Method for the Construction of Fuzzy Set Membership Functions. FUZZY'97 – International Conference “Fuzzy Logic and Its Applications”. in.: Zichron, Israel, 1997. – p. 125–130.
59. Заде Л. Понятие лингвистической переменной и ее применение к принятию приближенных решений. – М.: Мир, 1976. – 167 с.
60. Малышев Н. Г., Барнштейн Л. С., Боженок А. В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. – М.: Энергоиздат, 1991. – 136 с.
61. Нечипоренко В. И. Структурный анализ систем (эффективность и надежность). – М.: Советское радио, 1977. – 216 с.
62. Лісіцин Е. Ф., Ткаченко В. В., Шаманський С. Й. Методика розрахунку корисності лічильників води. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 1999. – № 4. – с. 141–146.
63. Барлоу Р., Прошан Ф. Статистическая теория надежности и испытания на безотказность. – М.: Наука, 1984. – 328 с.
64. Свинцов В. С. Определение показателей надежности средств измерений в процессе эксплуатации. // Измерительная техника. – 1982. – № 8. – с. 10–13.
65. Шаманський С. Й. Методика розрахунку плати за корисність лічильників води. // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2000. – № 1. – с.
66. Саати Т. Л. Математические модели конфликтных ситуаций. – М.: Советское радио, 1977. – 304 с.

Наукове видання

**Ратушняк Георгій Сергійович
Шаманський Сергій Йосипович**

**КРИТЕРІАЛЬНИЙ МЕТОД ОЦІНЮВАННЯ ЗАСОБІВ
ОБЛІКУ В СИСТЕМАХ ВОДОПОСТАЧАННЯ**

Монографія

Редактор Т. А. Ягельська

Оригінал-макет підготовлено авторами

Видавництво ВДТУ «УНІВЕРСУМ-Вінниця»
Свідоцтво Держкомінформу України
Серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВДТУ, головний корпус, к. 114

Підписано до друку 28.07.2003
Формат 29,7 × 42 1/4. Папір офсетний
Гарнітура Times New Roman
Друк різнографічний. Ум. друк. арк. 10,46
Наклад 100 прим. Зам. № 2003-128

Віддруковано в комп'ютерному інформаційно-видавничому центрі
Вінницького державного технічного університету
Свідоцтво Держкомінформу України
Серія ДК № 746 від 25.12.2001
21021, м. Вінниця, Хмельницьке шосе, 95,
ВДТУ, головний корпус, к. 114
Тел.: (0432) 44-01-59