

У разі визначених показників надійності елементів ПССА збільшення значення  $K$  (кількісного критерію) не призводить до збільшення ймовірності безвідмовної роботи ПССА через вплив топологічного критерію, отже, слід задавати значення кількісного критерію, яке дорівнює  $K_{opt}$ .

Визначення надійності конкретної ССА з використанням критеріїв ІКАО показало, що ССА спроможна забезпечити нормований рівень безпеки польотів ПС, що свідчить про можливість виконання критеріїв відмови ПССА, рекомендованих ІКАО, і прийняття їх за офіційні критерії відмови ПССА для України з занесенням у відповідні нормативні документи.

#### Список літератури

1. Ванецян С.Г., Ванецян А.С. Новые критерии работоспособного состояния светосигнальных систем аэродромов // Вісн. КМУЦА. – 2000. – №1–2. – С. 226–228.
2. Авиационные правила. Ч. 170. Сертификация аэродромов. Т. 2. Сертификационные требования к оборудованию аэродромов и воздушных трасс. – М., 1997. – 80 с.
3. Наставление по электросветотехническому обеспечению полетов в гражданской авиации СССР (НАЭСТОП ГА-86). – М.: Транспорт, 1987. – 127 с.
4. Аэродромы. Приложение 14 к Конвенции о Международной гражданской авиации: В 2 т. – 3-е изд. – Т. 1. Проектирование и эксплуатация аэродромов. 1999. – Июль. – 206 с.
5. Руководство по электросветотехническому обеспечению полетов в гражданской авиации РФ (РУЭСТОП ГА-95). – М.: Триада. ЛТД, 1995. – 95 с.
6. Joint Aviation Requirements JAR-OPS 1. Commercial Air transportation (Aeroplanes). Amendment 4. – 2002, 1 July.
7. Дев'яткіна С.С. Методика визначення показників надійності категоризованих світлосигнальних систем аеродромів // Вісн. НАУ. – 2002. – №1. – С. 193–197.

Стаття надійшла до редакції 18.12.02.

Н 761.106.4-049 + Н 761.1 (4чкр) + з 324-5

УДК 628.17:681.2.082

водомер, расходомер  
измерение расхода воды  
всдоснабженце коммунальное  
—//— Украина  
—//— горьковский

**В.В. Матиборський**, канд. техн. наук, доц.  
(Національний авіаційний університет)

**М.Б. Смирнітьська**, канд. техн. наук, доц.  
(Українська інженерно-педагогічна академія)

#### ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ОБЛІКУ ВТРАТ ВОДИ В СИСТЕМАХ МІСЬКОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

*Проведено аналіз роботи пристроїв виміру витрати води на різних етапах переробки і використання. Показано можливість використання електричного витратоміра для обліку втрат води в системах міського водопостачання і водовідведення.*

Завдання охорони водного середовища і контролю її параметрів на всіх рівнях – глобальному, регіональному, локальному – з кожним роком усе частіше висувуються на передній план. Незважаючи на успіхи в охороні водного середовища, досягнуті ціною досить значних матеріальних витрат, стан майже половини рік басейну Дніпра, основного постачальника води для господарських потреб населення, є катастрофічним, а серед інших немає ні однієї, стан якої можна було б класифікувати як задовільний. Воду забруднюють скидання промислових виробництв, стічні води міських колекторів, тваринницьких комплексів та ін. Вони перетворили Дніпро в розведені стоки третьої категорії. Традиційна стратегія контролю забруднень розглядає усі відходи як вихідний матеріал, намагаючись знайти спосіб їхнього розміщення в природі або зменшення ефекту їхнього впливу на навколишнє середовище, й у цьому зв'язку контроль обсягів стічних вод поряд із технікою і технологією їхнього очищення є сьогодні одними з найважливіших галузей народного господарства.

Актуальною проблемою будь-якого регіону України залишається проблема водопостачання і водовідведення населених пунктів, реалізація державного моніторингу вод.



Не менш актуальними є питання виміру витрати й об'єму води, споживаної промисловими підприємствами, оскільки цей об'єм часто становить велику частку загальної подачі води міськими водопроводами. Підприємствам поставляється не тільки питна, але і технічна вода, що значно відрізняється за своїм фізико-хімічним складом від питної. Найбільш складним (як теоретично, так і практично) є питання, пов'язане з контролем витрати й об'єму стічних вод, що скидаються підприємствами й іншими великими об'єктами в міську мережу каналізації або водойми. Складність полягає в тому, що наявні засоби виміру швидкості і витрати не можуть бути використані в умовах реальних колекторів і очисних споруд через значне забруднення контрольованих середовищ. Необхідні витратоміри для виміру з нормованими похибками витрат води в колекторах, напірних трубопроводах великих діаметрів, в очисних спорудах. Законодавство з охорони навколишнього природного середовища передбачає необхідність таких вимірів.

За своїми фізико-хімічними властивостями всі види природної води мають потребу в обробці для одержання господарсько-питної або технічної води [1]. І в кожному окремому випадку необхідно враховувати індивідуальні особливості використовуваної природної води, у тому числі динамічність її параметрів залежно від погодних умов або зміни географічних характеристик місця забору.

На різних етапах переробки і використання води застосовують певні пристрої контролю.

**Вимір витрати шахтних вод.** Відповідно до вимог пожежної безпеки головні водовідливні установки повинні бути автоматизовані або керуватися за допомогою дистанційних або телемеханічних систем, а дільничні і допоміжні установки автоматизовані на 80–85%. Для виміру продуктивності застосовують витратоміри швидкісного напору, дифманометри, зменшуючі пристрої (сопло Вентури або діафрагма), на шахтних трубопроводах діаметром 0,2–1,5 м – ультразвукові витратоміри. З огляду на фізико-хімічний склад шахтних вод зазначені прилади не забезпечують надійний і об'єктивний контроль витрати.

Принцип дії витратомірів швидкісного напору заснований на перетворенні величини гідравлічного тиску потоку рідини, що впливає на перетворювач, розташований у каналі виміру, у пропорційний йому сигнал. Як перетворювач звичайно застосовують трубки Пито, а як вимірювальний пристрій – манометри різних систем. Але такі витратоміри не дозволяють вимірювати швидкість рідин із механічними суспензіями і мають значну похибку виміру у разі зміни щільності середовища.

Ультразвукові витратоміри застосовують для виміру витрати чистих вод, однорідних потоків рідин. Вимір витрати (швидкості) рідин із суспензіями викликає труднощі, обумовлені інтенсивним поглинанням і розсіюванням ультразвуку, забрудненням і зносом звукопроводів. Тому в автоматизованих системах керування головними, дільничними і допоміжними водовідливними установками використання витратомірів стримується. Для цих цілей витратоміри повинні задовольняти таким вимогам:

- легко встановлюватися в трубопровід, бути мінімально метало- і енергоємними;
- мати електричний вихідний сигнал і просту конструкцію;
- забезпечувати контроль і вимір швидкості потоку шахтних агресивних вод зі змістом твердого осаду до 500 мг/л (межова відносна похибка повинна бути не більш ніж 2,5%).

Первинний перетворювач не повинний чинити опір потоку рідини, мати інтегруючу властивість у разі зміни швидкості потоку, а вихідний сигнал – бути інваріантним до зміни провідності рідини.

**Вимір витрати в системах водопостачання і каналізації.** Міська мережа водопостачання характеризується [2] нерівномірністю подачі і розподілу води, стрибками тиску, що виходять за межі мінімальних і максимально допустимих значень, досить високим рівнем аварійності. Процес добору води населенням носить значною мірою випадковий характер. У більшості випадків інформація про конкретні причини втрат води відсутня. Дуже чуттєві забори води великими промисловими підприємствами. Закриття засувки, коли забір води закінчений, викликають швидку зміну швидкості руху рідини, підвищення тиску і гідравлічний удар, який порушує



нормальну роботу трубопроводів і може привести до руйнування труб, фланцевих або зварених з'єднань, засувок, порушення роботи вимірювальних приладів, датчиків тощо.

Середньодобова витрата води на господарсько-питні потреби населеного пункту визначається виразом

$$Q = \sum \frac{q_{\text{срi}} \cdot N_i}{1000},$$

де  $q_{\text{срi}}$  – середні (за рік) розрахункові витрати води на одного мешканця, л/доб;  $N_i$  – розрахункова кількість мешканців, яку беруть відповідно до очікуваного приросту населення за термін роботи системи водопостачання до пуску в експлуатацію наступної черги її розвитку.

Середньодобова витрата води може служити тільки як загальний показник потреби у воді. Для нормальної експлуатації установок трубопровідного гідротранспорту необхідний систематичний контроль за витратою (швидкістю руху) рідини.

Імовірні значення середньої витрати води на одного мешканця на добу можуть бути отримані тільки в результаті аналізу фактичних даних про окремі витрати води в експлуатованих системах міського водопостачання, тобто встановленням витратомірів у квартирах мешканців, контрольних точках гідромережі при масовому споживанні. При цьому часто необхідно вимірювати витрату в перетинах трубопроводу, де епюра швидкостей перевернута за рахунок впливу місцевих опорів або арматури.

Отже, встановлювані витратоміри повинні бути недорогими, простої конструкції з похибкою (1,5–2,5%), легко встановлюватися, обслуговуватися і мало відрізнятися за займаним об'ємом від водопровідного крана.

У системах водопостачання і каналізації 70–75% від загальної кількості витратовимірювальних пристроїв становлять прилади змінного перепаду тиску. Для одержання змінного перепаду тиску застосовують спеціальні звужувальні пристрої у вигляді діафрагм, сопел і труб Вентурі. Перепад тиску, створюваний звужувальним пристроєм, змінюється зі зміною витрати середовища, що транспортується. Вимір перепаду тиску здійснюється у більшості випадків диференціальними манометрами, що працюють у комплекті з вторинними перетворювачами.

Найдешевші і прості у виготовленні діафрагми створюють чуттєві втрати напору. Вони зручні для трубопроводів невеликих діаметрів, де втрати напору не мають вирішального значення. Діафрагми виготовляють зі сталей, які не кородують у воді, але їх можна застосувати тільки під час виміру рідини, що не несе частинок, здатних сточувати кромки отворів (округлена кромка веде до похибки виміру витрати до 5–10%). Для трубопроводів великих діаметрів застосовують труби Вентурі. Використовувані для них антикорозійні покриття швидко зношуються. Контроль за станом покриття утруднений, а заміна звужувальних пристроїв вимагає великих витрат. Пристрої змінного перепаду тиску встановлюються тільки на прямолінійних ділянках трубопроводу: неоднорідність середовища може викликати пульсації тиску.

Пристрої обтікання мають невеликі втрати напору, що мало залежать від витрати. Наприклад, у разі зміни витрати в п'ять разів утрати напору збільшуються всього в 1,5–2 рази. Але ці пристрої не володіють достатньою механічною міцністю і під час експлуатації в однорідних рідких середовищах можуть вийти з ладу внаслідок гідравлічних ударів. Це явище поки не усунуто в мережах водопостачання.

Найбільш великою і характерною групою тахометричних пристроїв є турбінні витратоміри – лічильники. Лічильники з тангенціальною турбіною називаються крильчастими, а лічильники з аксіальною турбіною – турбінними. Крильчасті і турбінні лічильники широко застосовують для обліку води, використовуваної окремими споживачами (житлові й суспільні будинки, промислові підприємства, селища) з максимальною витратою 800–1000 м<sup>3</sup>/ч. Точність цих пристроїв без врахування нелінійності градуїрованої характеристики висока. Але зниження точності на ділянці «найменша витрата – поріг чутливості» є істотним недоліком при використанні цих пристроїв у системах міського водопостачання. За даними досліджень роботи тахометричних



витратомірів у м. Києві [3] у години мінімального водозабору з 24 до 6 год у зв'язку з малою швидкістю руху недооблік становить до 1,5%, а в години максимального водозабору у зв'язку зі зниженням напору води на верхніх поверхах – до 3%. Крім цього, датчики турбінних витратомірів призначені для виміру витрати чистих вод та таких, що не містять механічних домішок рідин. Для вимірів природних, шахтних і стічних вод вони не підходять.

Кулькові витратоміри мають істотну перевагу перед турбінними – надійністю, завдяки простоті конструкції і відсутністю підшипників. У кулькових витратомірах рухливим елементом є кулька, що безупинно рухається в одній площині по внутрішній поверхні корпусу під дією попередньо закрученого потоку. Їх можна застосувати для виміру витрати рідини з досить великим включенням твердих частинок. Але показання кулькових витратомірів залежать від щільності рідини і коефіцієнта лобового опору кулі  $C$ . Кулькові витратоміри доцільно використовувати там, де  $C$  залишається в прийнятних межах постійним, що відповідає за числом Рейнольдса зоні  $10^3 < Re < 10^5$ .

Витратовимірювальні пристрої з вихідним сигналом у вигляді електричної або магнітної величини більш перспективні. Вони не вимагають вторинного перетворювача. Їх зручно використовувати в системах автоматичного контролю і керування.

Крім цього, електромагнітні витратоміри мають:

- великий діапазон вимірів;
- відсутність звуження або переключування потоку;
- несуттєвий вплив спотворювання поля швидкостей у підвідному трубопроводі на показання витратоміра (для датчиків із неоднорідним магнітним полем);
- можливість вимірювати витрату агресивних, у тому числі зависонесучих рідин;
- малу інерцію;
- відносно малі втрати енергії.

Думка про те, що електромагнітні витратоміри, які не викликають утрат напору, не вимагають додаткових витрат енергії, помилкова, тому що для живлення їхніх магнітних систем витрачається енергія  $W$ , значення якої залежить від умовного проходу [4]. Якщо порівняти ці витрати енергії з витратами на подолання втрат напору, викликаних, наприклад, трубами Вентурі, то для витратомірів на умовних проходах 400–800 мм вони приблизно рівні. До недоліків електромагнітних витратомірів відносять:

- відносно високу вартість і великі витрати кольорового металу;
- неможливість вимірювати витрату рідини з малою електропровідністю або феромагнітними включеннями;
- залежність показань витратоміра від впливу зовнішніх магнітних полів;
- необхідність електричної ізоляції корпусу первинного перетворювача від трубопроводу, на якому він установлений.

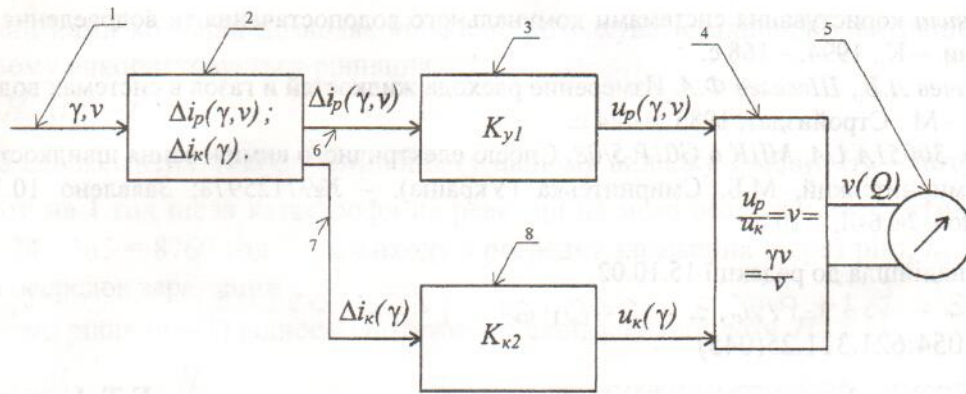
З огляду на високу вартість електромагнітних витратомірів і деяку їхню дефіцитність під час проектування систем контролю витрати рідини має сенс установлювати такі витратоміри, якщо це дійсно необхідно й економічно обґрунтовано.

Ультразвукові методи виміру завдяки розвитку мікроелектроніки і здешевленню її елементної бази все ширше використовують у різних галузях техніки, у тому числі і для виміру витрати. Принцип дії ультразвукових витратомірів заснований на вимірі швидкості поширення ультразвукових коливань у середовищі, що рухається.

Ультразвукові пристрої придатні для виміру витрати однорідних рідин і гідромереж із малими розмірами твердих частинок. Їхні показання залежать від розподілу швидкостей у поперечному перерізі труби, від зміни температури рідини. Ультразвукові витратоміри як квартирні лічильники води дорогі для масової установки. Задовольнити висунуті вимоги може пристрій на основі електричного способу виміру швидкості (витрати) води (див. рисунок) [5].

Малі габарити, простота пристрою, легкість установки комбінованих електродів у трубопроводі, відсутність додаткових опорів потоку рідини дозволяють використовувати пристрій





#### Структурна схема електричного витратоміра EP:

1 – рідке контрольоване середовище, в якому вимірюється швидкість  $v$  (витрати); 2 – перетворювач витрати; 3 – підсилювач робочого струму; 4 – вихідна фазочутлива ланка, що визначає швидкість потоку контрольованої рідини шляхом відношення робочого і компенсаційного струмів; 5 – вимірювальний прилад, що показує швидкість (витрату) вимірюваного рідкого середовища; 6 – робочий струм  $i_p = i_1 \cong \gamma v$  ( $i_p$ ) у колі робочих електродів E1 – рідина – E1, пропорційний провідності і швидкості руху рідини; 7 – компенсаційний струм  $i_k = i_2 \cong \gamma$  у колі компенсаційних електродів E2 – рідина – E2, пропорційний провідності рідини; 8 – підсилювач компенсаційного струму

при обліку втрат води. Втрати води при аваріях можна спрогнозувати заздалегідь. За даними диспетчерської служби в середньому на добу відбувається 3-4 аварії (поломки) з витіканням води. Процес ліквідації аварії складається з чотирьох тимчасових проміжків і етапів.

1. Виявлення аварії – до 6 год. У цей час відбувається витікання води з мережі.
2. Ухвалення рішення й організація відключення – 2 год. Витікання води з мережі продовжується до відключення ділянки і становить до 30–60 м<sup>3</sup>/год.
3. Розкриття трубопроводу, його спорожнювання і ремонт. Утрат води немає.
4. Промивання, опресування, дезінфекція. Розміри втрати – до п'яти об'ємів ділянки, що відключається. Дезінфекцію здійснюють у 50% аварійних поломок.

Утрати і невраховані витрати становлять [3]:

- витікання з водонапірних мереж і споруджень, 5,5%;
- витікання і втрати у внутрішніх мережах, 7,6 %;
- похибка водомірів, 2,1 %;
- витікання через водорозбірні крани, 0,48 %;
- витікання через несправні зливні бачки і крани, що протікають, 6,9 %;
- промивання мереж і ємкостей, 0,4 %;
- витікання під час ушкоджень, аварій і пожежегасіння, 1,84 %;
- разом, 24,8 %.

Знизити втрати води можливо підвищенням рівня приладового оснащення й технологічної дисципліни під час експлуатації внутрішніх і зовнішньої водонапірних систем. З метою вибору оптимального (безаварійного) режиму роботи міської мережі й водозабірних насосів необхідно міську мережу розбити на секційні ділянки. На кожній ділянці встановити контрольно-вимірювальну апаратуру витрати води з передачею інформації в центр автоматичного керування, обладнаний відповідною комп'ютерною технікою. Саме тут установка EP (з похибкою до 2,5%) як витратомір і прилад контролю цілісності секційної ділянки дозволить різко підвищити безаварійність міських мереж, скоротити час на пошуки аварій, виявити несанкціоновані споживання води.

#### Список літератури

1. Смирнитська М.Б. Пристрій та метод електричного контролю параметрів рідини: Дис. ... канд. техн. наук: 05.11.13. – Харків, 1999. – 204 с.
2. Смирнитский Б.В., Коренькова Т.В. Оптимизация системы водопотреблением горсети // Вестн. ХПТУ. – 1998. – Спец. вып. – С. 235–236.



3. *Правила* користування системами комунального водопостачання та водоведення в містах і селищах України. – К., 1994. – 168 с.
4. Лобачев Л.В., Шевелев Ф.А. Измерение расхода жидкостей и газов в системах водоснабжения и канализации. – М.: Стройиздат, 1985. – 424 с.
5. Пат. 30051А UA, МПК 6 G01P 5/08. Спосіб електричного вимірювання швидкості потоку рідини / Б.В. Смирнитський, М.Б. Смирнитська (Україна). – №97125978; Заявлено 10.12.97; Опубл. 15.11.2000, Бюл. № 6-II. – 10 с.

Стаття надійшла до редакції 15.10.02.

2470-082.03 + Б1 + P126.3 + 240MG1 + 2460-082.03  
УДК 504.75.054:621.311.25(045)

очат зараження радіоактивний  
аварія реактора атомного  
ЧАЭС, катастрофа ядерна  
контроль радіоекологічний  
Аварія електростанції  
контроль санітарно-дозиметрич

**Б.Т. Канунніков**, асист.

(Національний авіаційний університет)

**В.А. Лук'янчиков**, асп.

(Національний авіаційний університет)

**В.І. Применко**, д-р техн. наук, проф.

(Національний авіаційний університет)

## МОДЕЛЮВАННЯ ОСЕРЕДКУ РАДІОАКТИВНОГО ЗАРАЖЕННЯ ПРИ АВАРІЇ НА АТОМНОМУ РЕАКТОРІ

*Розглянуто моделі формування осередку радіоактивного зараження. Вибрано оптимальну геометричну форму радіаційного осередку. Запропоновано методику розрахунку його глибини. Визначено характеристики радіаційного зараження як функції віддалі і часу.*

При великих катастрофах на атомних електростанціях (АЕС) або сховищах радіоактивних відходів осередку радіоактивного зараження займають значні площі поверхні землі, що обчислюються сотнями квадратних кілометрів. Осередок зараження умовно поділяється на частини – зони радіоактивного зараження. У разі глобальної катастрофи на Чорнобильській АЕС (ЧАЕС) було виділено чотири зони.

Перша зона – відчуження – характеризується питомою активністю (А) цезію-137, що перевищує 1,7 МБк/м<sup>2</sup>.

Друга зона – обов'язкового відселення – має забрудненість за цезієм-137 0,56–1,7 МБк/м<sup>2</sup>.

Третя зона – добровільного відселення – характеризується активністю цезію-137 у межах 0,19–0,56 МБк/м<sup>2</sup>.

Четверта зона – посиленого радіоекологічного контролю – має активність цезію-137 у межах 0,037–0,19 МБк/м<sup>2</sup>.

Така класифікація осередку зараження здійснена, насамперед, за біологічною ознакою як характеристика рівня небезпеки для проживання людей в тій чи іншій зоні [1].

У зоні відчуження додаткова річна еквівалентна доза опромінення  $H_T$  значно перевищує 0,1 Зв, що небезпечно для життя людини.

У зоні обов'язкового відселення вказана доза становитиме не менше 0,1 Зв, що теж небезпечно для життя людини.

У зоні добровільного відселення додаткова річна еквівалентна доза опромінення може перевищувати 5 мЗв, що загрожує здоров'ю людини.

У зоні посиленого радіоекологічного контролю проживати можна, але за умови, що додаткова річна еквівалентна доза опромінення не перевищує 1 мЗв.

Отже, закон, що відповідає за рівнем вимог до радіаційного забруднення найбільш розвиненим країнам світу, встановлює межею осередку зараження площі, де додаткова річна еквівалентна доза опромінення не перевищує 1 мЗв [1]. Саме тому ця величина взята нами як критерій під час моделювання осередку радіоактивного зараження. При цьому в основу покладено якісний взаємозв'язок між активністю радіонуклідів, що забруднюють територію, і віддаллю від зруйнованого реактора: чим більша ця віддаль, тим нижче активність радіонуклідів. Мінімальною вона є на межі осередку зараження.