ТОВ "ДНІПРО-УКРАЇНА"

м.Харків, вул. Тобольська, 42

E-mail: dnieper.su@gmail.com

Телефон: . +38 067 545 77 09

Телефон: +38 067 011 74 77

МЕТОД ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ УЛЬТРАЗВУКОВИМ ВИТРАТОМІРОМ-ЛІЧИЛЬНИКОМ DNEPR-7U ПІД ЧАС КОНТРОЛЮ СТІЧНИХ ВОД

Доплерівський метод із накладними первинними перетворювачами

1. Фізичний принцип вимірювання

Ультразвуковий витратомір-лічильник DNEPR-7U при роботі в доплерівському режимі визначає швидкість руху потоку за величиною доплерівського зсуву частоти ультразвукового сигналу, розсіяного рухомими неоднорідностями рідини.

Такими акустичними розсіювачами можуть бути:

завислі тверді частинки;

органічні та мінеральні включення;

частинки мулу та інших забруднень;

бульбашки газу;

інші неоднорідності, здатні ефективно розсіювати ультразвукову енергію.

Саме тому доплерівський метод є технологічно доцільним для багатьох видів стічних та забруднених вод, у яких концентрація акустичних розсіювачів є достатньою для формування стабільного прийнятого сигналу.

На відміну від ультразвукових часо-імпульсних (transit-time) методів, доплерівський метод не потребує проходження ультразвукового сигналу через відносно однорідний об'єм рідини між двома перетворювачами. Вимірювання ґрунтується на аналізі сигналу, розсіяного частинками, які переміщуються разом із потоком.

2. Склад вимірювальної системи

Вимірювальна система DNEPR-7U може складатися з:

первинних ультразвукових перетворювачів (накладних датчиків);

процесорного блоку (ПБ);

блоку візуалізації та індикації (БВ);

блоку вимірювання висоти потоку (БВВ) — для роботи з безнапірними трубопроводами;

засобів передачі та реєстрації вимірювальної інформації.

Накладні первинні перетворювачі монтуються на зовнішній поверхні трубопроводу. Таким чином, конструкція вимірювального каналу не має елементів, що виступають безпосередньо в потік.

Це дозволяє виконувати монтаж без розкриття трубопроводу та, за відповідних умов, без припинення транспортування стічної води.

3. Формування та приймання ультразвукового сигналу

Первинний перетворювач формує ультразвуковий сигнал, який вводиться через стінку трубопроводу в рідину під заданим акустичним кутом.

При взаємодії ультразвукової хвилі з рухомими акустичними розсіювачами частина енергії сигналу розсіюється та повертається до приймального перетворювача.

Оскільки розсіювачі переміщуються відносно первинного перетворювача, частота прийнятого сигналу відрізняється від частоти випроміненого сигналу.

Ця різниця є доплерівським зсувом частоти.

У спрощеному вигляді залежність може бути представлена як:

де:

— доплерівський зсув частоти;

— частота випроміненого ультразвукового сигналу;

— швидкість руху акустичних розсіювачів;-

— кут між напрямком поширення ультразвуку та напрямком руху потоку;

— швидкість поширення звуку в досліджуваній рідині.

Таким чином, вимірювання доплерівського зсуву дозволяє визначити проєкцію швидкості рухомих розсіювачів на акустичну вісь вимірювання.

4. Визначення швидкості потоку

Процесорний блок DNEPR-7U здійснює цифрову обробку прийнятого ультразвукового сигналу та визначає його спектральні характеристики.

На основі виміряного доплерівського зсуву визначається швидкість руху розсіювачів.

За умови достатнього перемішування стічної води та адекватного представлення швидкісного профілю потоку швидкість рухомих розсіювачів приймається як характеристика локальної швидкості рідкої фази.

Для отримання середньої швидкості потоку прилад використовує алгоритми цифрової обробки сигналу та коефіцієнти, що враховують геометрію вимірювального перерізу, акустичну схему та умови встановлення первинних перетворювачів.

Цей момент є принципово важливим: доплерівський перетворювач безпосередньо вимірює не витрату, а швидкісну характеристику потоку; витрата визначається розрахунковим шляхом.

5. Вимірювання витрати в напірному трубопроводі

Для повністю заповненого напірного трубопроводу об'ємна витрата визначається відповідно до залежності:

де:

— об'ємна витрата;

— середня швидкість потоку в розрахунковому перерізі;

— площа внутрішнього поперечного перерізу трубопроводу.

Для круглого трубопроводу:

де — внутрішній діаметр трубопроводу.

Таким чином, після визначення середньої швидкості та геометричних параметрів трубопроводу DNEPR-7U розраховує поточне значення об'ємної витрати.

6. Вимірювання витрати в безнапірному трубопроводі

Для самопливних систем принципово важливо враховувати, що трубопровід не заповнений повністю.

У цьому випадку площа поперечного перерізу потоку не є постійною величиною, а залежить від фактичної висоти наповнення.

Тому система DNEPR-7U для безнапірних трубопроводів може комплектуватися блоком вимірювання висоти потоку (БВВ).

БВВ визначає поточний рівень рідини в трубопроводі. На підставі:

геометрії трубопроводу;

внутрішнього діаметра;

фактичної висоти наповнення;

розраховується площа живого перерізу потоку.

Після цього поточна витрата визначається за залежністю:

де:

— поточна висота наповнення;

— площа живого перерізу при відповідному рівні;

— розрахункова середня швидкість потоку.

Саме така схема — «швидкість + рівень + геометрична модель перерізу» — дозволяє визначати витрату в частково заповнених трубопроводах.

7. Варіанти встановлення первинних перетворювачів

Конфігурація встановлення датчиків визначається типом трубопроводу, його геометрією, матеріалом стінки, діапазоном вимірювання та необхідною акустичною схемою.

Для напірних трубопроводів

Датчики встановлюються виключно навпроти один одного на 3 і 9 годин (під 180° симетрично) у горизонтальній площинні, як зображено на рис 1.



Рис 1.

Для безнапірних трубопроводів

Первинні перетворювачі встановлюються на зовнішній поверхні трубопроводу в зоні, яка забезпечує необхідний контакт із потоком та стабільне проходження ультразвукового сигналу.

Для вимірювання витрати рідини в безнапірних трубопроводах використовуються накладні ультразвукові перетворювачі та пневматична система визначення рівня заповнення. Рис. 2

Первинні перетворювачі встановлюються на зовнішній поверхні нижньої частини трубопроводу в зоні, що забезпечує стабільне проходження ультразвукового сигналу через рідину. Геометрія встановлення, акустичний кут і взаємне розташування датчиків визначаються конструкцією трубопроводу та характеристиками перетворювачів. При цьому враховуються матеріал і товщина стінки, властивості рідини та умови формування потоку. Універсальний кут встановлення не задається, оскільки оптимальна конфігурація залежить від конкретних умов вимірювання.

Для визначення рівня рідини використовується металопластикова трубка, яка вводиться через отвір у верхній частині трубопроводу та опускається майже до його дна. Верхній кінець трубки з'єднується з вимірювальним блоком пневматичним шлангом. Висота стовпа рідини визначається за тиском повітря, що подається через занурену трубку.

Поєднання ультразвукового та пневматичного методів забезпечує визначення витрати рідини з урахуванням фактичного рівня заповнення трубопроводу.

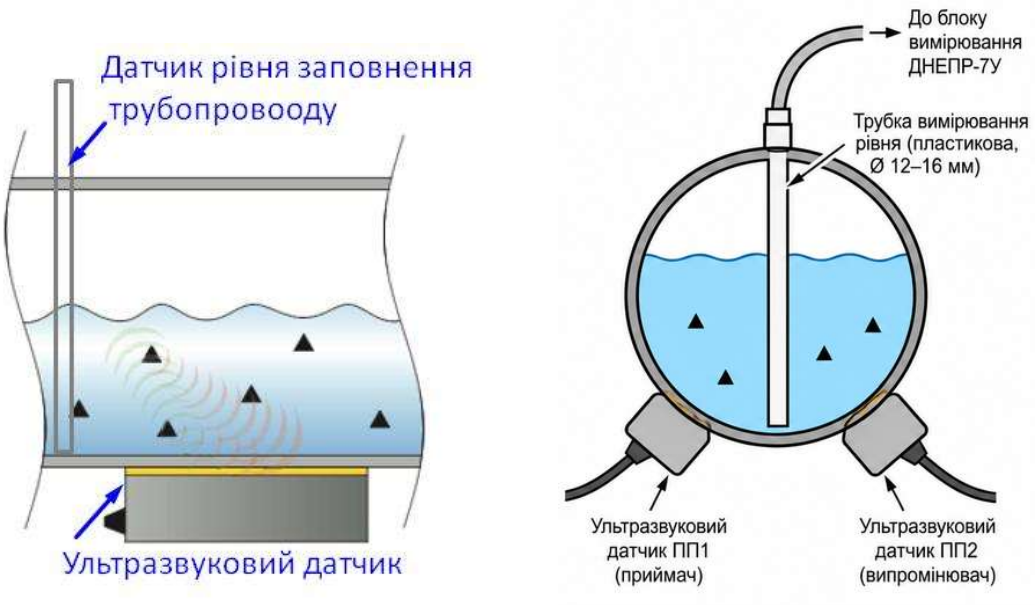


Рис. 2

8.Монтаж та вибір місця установки витратоміра-лічильника

Під час вибору місця встановлення витратоміра-лічильника необхідно враховувати гідравлічні характеристики трубопроводу, наявність місцевих опорів та умови монтажу первинних перетворювачів (ПП). Для забезпечення стабільних умов вимірювання слід передбачати прямолінійні ділянки трубопроводу до та після місця встановлення ПП, що сприяє зменшенню впливу збурень потоку на результати вимірювання.

Мінімальна довжина прямолінійної ділянки перед ПП має становити не менше 10 Ду, а після них — не менше 5 Ду, де Ду — умовний прохід трубопроводу. Для трубопроводу з внутрішнім діаметром 50 мм, якщо для розрахунку прийнято Ду = 50 мм, ці відстані становлять відповідно 500 і 250 мм. За наявності місцевих гідравлічних опорів необхідна довжина вхідної ділянки може збільшуватися залежно від їхнього типу.

Первинні перетворювачі встановлюються на горизонтальних або похилих ділянках трубопроводу з урахуванням можливого впливу конденсату.

Перед монтажем поверхню трубопроводу в місцях контакту з ПП необхідно очистити від бруду та сторонніх нашарувань. За наявності вологи місця встановлення протирають ацетоном. На підготовлену поверхню

трубопроводу та робочі поверхні перетворювачів наносять термоакустичне силіконове мастило DSG-400 ТМ «dnieper» шаром завтовшки 1–2 мм.

Первинні перетворювачі встановлюють паралельно осі трубопроводу та надійно закріплюють за допомогою передбачених конструкцією монтажних елементів.

Рекомендовані значення довжини прямолінійних ділянок напірних трубопроводів перед місцем встановлення первинних перетворювачів залежно від типу місцевого гідравлічного опору наведено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Рекомендована довжина прямолінійних ділянок перед ПП

Тип місцевого опору	Відношення довжини прямої ділянки трубопроводу до його діаметру
Коліно, трійник	21
- в одній площині	21
- у різних площинах	48
Дифузор	21
Конфузор	10
Повністю відкрита засувка	23
Наполовину відкрита засувка	48
Відгалуження від основного потоку при співвідношенні площ трохи більше 0.33	8

Довжина прямолінійної ділянки після місця встановлення первинних перетворювачів повинна становити не менше 5 Ду.

9. Інтегрування витрати та функція лічильника

Поточні значення об'ємної витрати реєструються процесорним блоком.

Для визначення накопиченого об'єму використовується інтегрування витрати за часом:

У цифровій системі фактичне обчислення виконується дискретно з певним періодом вимірювання.

Таким чином, DNEPR-7U може виконувати не тільки функцію витратоміра, але й функцію лічильника об'єму стічних вод із накопиченням результатів за заданий період.

10. Цифрова обробка вимірювального сигналу

Процесорний блок здійснює комплексну цифрову обробку сигналу, зокрема:

приймання та попередню обробку ультразвукового сигналу;

виділення корисної доплерівської складової;

визначення частотних характеристик сигналу;

оцінювання швидкості потоку;

розрахунок поточної витрати;

розрахунок накопиченого об'єму;

контроль параметрів вимірювального процесу;

формування та збереження архівів вимірювальної інформації.

За необхідності можуть застосовуватися алгоритми цифрової фільтрації для зменшення впливу шумів, випадкових перешкод та нестабільності сигналу.

11. Архівування та передача результатів вимірювання

DNEPR-7U може забезпечувати архівування вимірювальної інформації з різною часовою деталізацією.

Передача даних може здійснюватися через:

RS-485;

аналоговий вихід 4–20 мА;

LoRaWAN — у відповідній комплектації;

інші інтерфейси та протоколи залежно від виконання приладу.

Архівування дозволяє використовувати систему не тільки для оперативного контролю витрати, а й для аналізу режимів роботи

каналізаційних та водовідвідних систем, формування звітності та контролю фактичного об'єму стічних вод.

12. Особливості застосування доплерівського методу для стічних вод

Основною перевагою доплерівського методу є його здатність працювати з рідинами, які містять достатню кількість акустичних розсіювачів.

Для стічних вод такими розсіювачами, як правило, є завислі речовини та газові включення.

Для коректної роботи необхідно забезпечити достатню інтенсивність та якість прийнятого сигналу.

Тому придатність конкретної стічної води до доплерівського вимірювання повинна оцінюватися з урахуванням:

концентрації та розміру завислих частинок;

наявності газових включень;

швидкості потоку;

геометрії трубопроводу;

матеріалу та товщини його стінки;

акустичних властивостей рідини;

режиму течії;

умов монтажу первинних перетворювачів.

13. Основні технічні переваги DNEPR-7U

DNEPR-7U з накладними ультразвуковими перетворювачами має такі принципові переваги:

14. Безконтактне вимірювання

Первинні перетворювачі встановлюються із зовнішнього боку трубопроводу і не контактують безпосередньо зі стічною водою.

15. Відсутність рухомих частин

У вимірювальному перерізі відсутні механічні елементи, які могли б створювати додатковий гідравлічний опір, накопичувати забруднення або піддаватися механічному зношуванню.

16. Відсутність необхідності врізання

За відповідної конструкції трубопроводу монтаж накладних датчиків може виконуватися без розкриття трубопроводу та без зупинки технологічного процесу.

17. Придатність для забруднених середовищ

Наявність завислих частинок та інших акустичних розсіювачів у стічній воді створює умови для застосування доплерівського методу.

18. Можливість роботи з безнапірними трубопроводами

При використанні БВВ система отримує додатковий параметр — рівень наповнення, що дозволяє визначати фактичну площу живого перерізу та розраховувати витрату в частково заповненому трубопроводі.

19. Вимірювання та облік

DNEPR-7U поєднує функції витратоміра та лічильника, забезпечуючи визначення поточної витрати та накопиченого об'єму.

20. Інженерний висновок

Таким чином, DNEPR-7U у доплерівському виконанні являє собою ультразвукову вимірювальну систему, в якій витрата визначається на основі вимірювання швидкісної характеристики потоку за доплерівським зсувом частоти, а для безнапірних трубопроводів — у поєднанні з вимірюванням рівня наповнення та розрахунком фактичної площі живого перерізу.

Поєднання ультразвукового доплерівського методу, накладних первинних перетворювачів та вимірювання рівня робить DNEPR-7U ефективним технічним рішенням для контролю та обліку стічних вод, особливо в системах, де застосування традиційних механічних або врізних витратомірів є складним, дорогим або технологічно небажаним.

Директор Володимир Кучеренко