

## АНАЛІТИЧНЕ ТА ЕКОЛОГІЧНЕ ПРИЛАДОБУДУВАННЯ

УДК 681.123

### ІНФОРМАТИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ВИТОКУ СИПКИХ РЕЧОВИН

Корнева Ю.О., Сігодзінський А.В., Зайцев В.М., Нікітін О.К., Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ, Україна

У статті представлені результати експериментального визначення масових витрат різних сипких матеріалів при їх гравітаційному вільному витокі через донний отвір циліндрово-конічного бункера

#### Вступ

При проектуванні обладнання для технологічних процесів, у яких робочім середовищем виступають сипкі речовини, виникають питання прогнозування параметрів процесу витокі таких речовин з різноманітних ємностей. Найчастіше в якості ємностей для збереження та тимчасового розміщення сипких речовин використовуються бункери, що мають циліндричну форму з конічним звуженням знизу. Тому увагу авторів було спрямовано на інформативність процесу витокі сипких речовин саме з таких бункерів.

До сипких речовин відносяться зерно, крупи, пісок, вугілля, цукор, мука, цемент, будівельні суміші і багато інших матеріалів. За максимальним розміром частинки  $d_{\max}$  вони розділені на наступні групи [1]:

1. крупнокускові ( $d_{\max} > 160$  мм);
2. середньокускові ( $60 \text{ мм} < d_{\max} \leq 160$  мм);
3. дрібнокускові ( $10 \text{ мм} < d_{\max} \leq 60$  мм);
4. крупнозернисті ( $2 \text{ мм} < d_{\max} \leq 10$  мм);
5. дрібнозернисті ( $0,5 \text{ мм} < d_{\max} \leq 2$  мм);
6. порошкоподібні ( $0,05 \text{ мм} < d_{\max} \leq 0,5$  мм);
7. пиловидні ( $d_{\max} \leq 0,05$  мм).

Найбільш широко вживаними є речовини, що відносяться до груп дрібнозернистих та крупнозернистих. Тому як об'єкт дослідження були обрані саме речовини з  $0,5 < d_{\max} \leq 10$  мм.

#### Аналіз існуючих досліджень

Загальною рисою математичних моделей, що описують масові витрати сипких речовин, як інформативний параметр витокі їх з донного отвору ємностей, є емпіричність. В [2] представлений огляд двадцяти семи робіт з різноманітними математичним моделями.

Узагальнена математична модель має вигляд:

$$Q = c \cdot d_{\text{отв}}^a \cdot h^b, \quad (1)$$

де  $Q$  – витрати сипкої речовини;  $d_{\text{отв}}$  – діаметр випускного отвору;  $h$  – висота стовпа сипкої речовини;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  – сталі коефіцієнти.

Основним питанням при розгляді процесу витоків є ступінь впливу висоти стовпа сипкої речовини на величину витрат. Так, вагомий вплив висоти стовпа сипкої речовини на величину масових витрат визнано лише в одному джерелі, з розглянутих в [2], де  $b = 0,5$ . Також в [2] вказана робота, в якій визнається незначний вплив висоти стовпа на швидкість витоків –  $b = 0,04$ . В інших статтях  $b = 0$ , показник  $a$  змінюється в діапазоні від 2,5 до 3,0.

До аналогічної формули (1) узагальненої математичної моделі прийшли автори представленої статті, проаналізувавши більш сучасні літературні джерела [3–9]. Вплив висоти стовпа сипкої речовини включений лише до однієї з розглянутих моделей [7] зі ступенем  $b = 0,5$ . Значення коефіцієнту  $a$  є в межах 2...3, а коефіцієнт  $c$  різні автори розраховують залежно від різноманітних чинників (діаметру частинок, кута природного відкосу матеріалу, кута нахилу стінок конусного дна).

### Стенд для експериментальних досліджень

Для проведення експериментальних досліджень був розроблений, виготовлений і оснащений необхідним обладнанням лабораторний стенд.

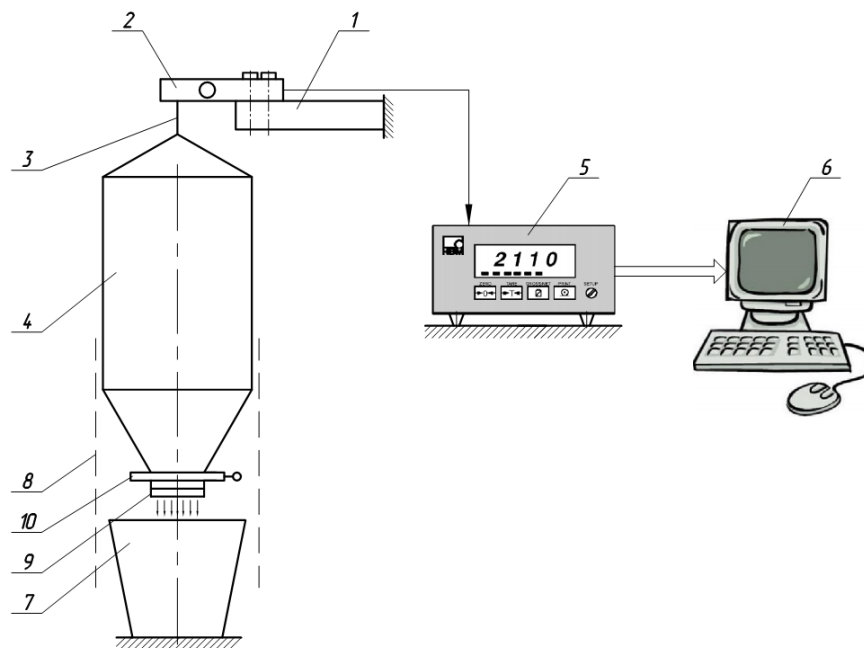


Рис. 1. Принципова схема лабораторного стенду:

1 – кронштейн; 2 – тензорезисторний ваговимірювальний перетворювач; 3 – елементи підвісу; 4 – бункер; 5 – тензометричний прилад WE-2110; 6 – персональний комп'ютер; 7 – ємність для сипкого матеріалу, що висипався з бункера; 8 – пилозахисна оболонка; 9 – діафрагма; 10 – заслінка

Як видно з принципової схеми стенда, що зображена на рис. 1, на кронштейні 1 жорстко закріплений тензорезисторний ваговимірювальний перетворювач (ТВП) 2. Бункер 4 кріпиться до ТВП за допомогою елементів підвісу

(ланцюгів) 3. Вихідний електричний сигнал, що пропорційний вазі бункера, з ТВП надходить на тензометричний прилад WE-2110 5. Для збору та збереження вимірювальної інформації використовується персональний комп'ютер 6, який сполучений з WE-2110 по послідовному інтерфейсу. Для захисту від пилу, що виник при висипанні сипкого матеріалу з бункера, в ємність 7 на бункері передбачена пилозахисна оболонка 8. Для зміни діаметру вихідного отвору були виготовлені змінні діафрагми 9 з діаметром внутрішнього отвору від 15 до 64,3 мм, які розміщуються в спеціальному заглибленні на дні бункеру. При необхідності вихідний отвір бункера перекривається заслінкою 10.

### Експериментальні дослідження

Для експериментальних досліджень були використані три сипкі речовини:

- крупа перлова;
- пшоняна крупа;
- будівельний (ярний) пісок.

Основні параметри вказаних речовин приведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Основні параметри сипких речовин, що були використані

Параметр	Сипкий матеріал		
	Перлова крупа	Пшоно	Пісок
Насипна густина, $\text{кг}/\text{м}^3$	790,5	844,1	1613,1
Середній діаметр частинки, мм	3,264	1,863	0,2257
Кут природного відкосу, град	26,4	28,6	27,3

Методика проведення вимірювань включала виконання наступних операцій:

1. У нижню частину бункера встановлювалася одна з використовуваних діафрагм;
2. За допомогою заслінки закривався отвір витоку бункера;
3. Вимірювальний канал фіксував вагу порожнього бункера ( $m_0$ );
4. Один з сипких матеріалів засипався в бункер ( $m_{cm}=30\dots90$  кг);
5. Фіксувалася маса заповненого бункера ( $m_b$ );
6. Відкривався отвір витоку бункера;
7. Вимірювальний канал ТВП  $\rightarrow$  WE-2110  $\rightarrow$  ПК фіксував зміну ваги бункера в часі.

Результати вимірювань були отримані у вигляді таблиць значень  $m_b$ , частота вимірювань становила десять вимірів у секунду. За допомогою програмного пакету Matlab R2007b таблиці значень були представлені у вигляді графіків  $m_b = f(t)$ . Приклад отриманого при цьому графіка приведений на рис. 2.

Проведені вимірювання показали, що для усіх поєднань використовуваних сипких матеріалів і діафрагм графіки залежності носять лінійний характер (див. рис. 2), тобто висота стовпа сипкого матеріалу в бункері не впливає на величину масових витрат.

За допомогою модулю Curve Fitting Toolbox пакету Matlab R2007b були отримані графіки залежності масових витрат сипких речовин від діаметру вихідного отвору бункера для різних сипких речовин (рис. 3).

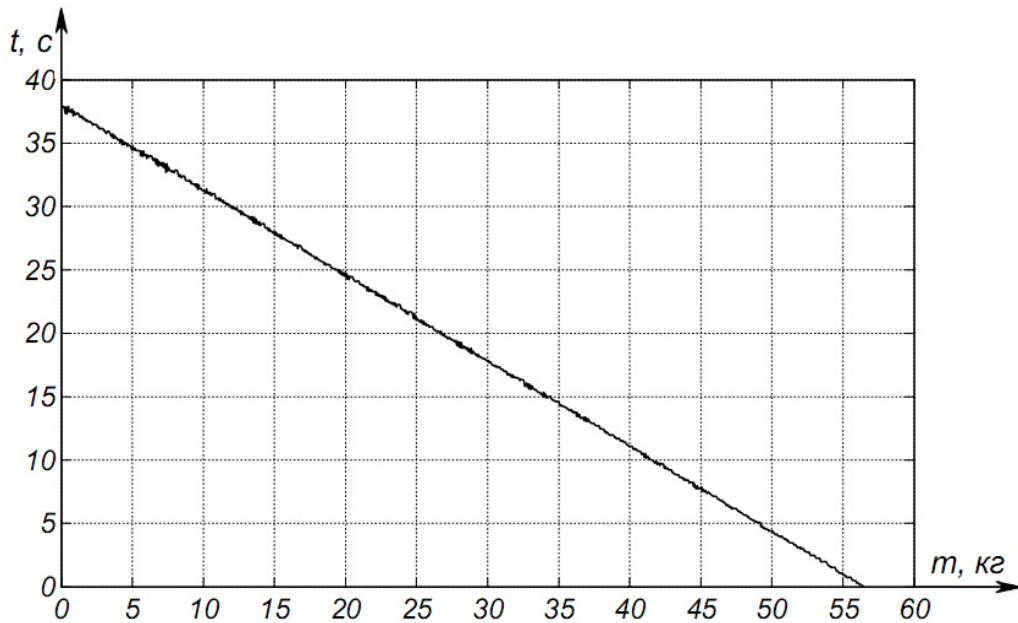


Рис. 2. Графік зміни ваги бункера в часі при витоку сипкого матеріалу через донний отвір (сипкий матеріал – перлова крупа,  $d_{\text{отв}}=51,5$  мм )

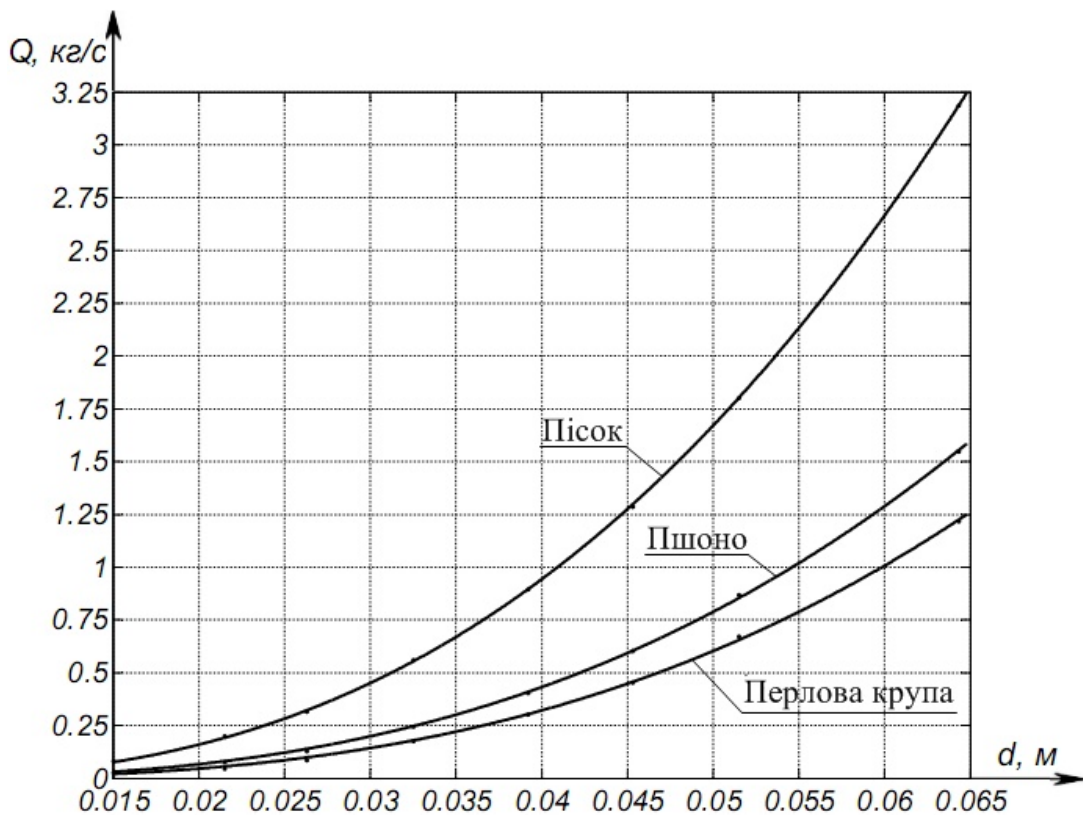


Рис. 3. Графік залежності масових витрат сипких матеріалів від діаметру вихідного отвору бункера

Значення масових витрат для різних параметрів сипких речовин приведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Масові витрати в залежності від різних параметрів сипких речовин

Значення	Параметр		
	Насипна густина $\rho_n$ , кг/м <sup>3</sup>		
	790,5	844,1	1613,1
	Середній діаметр частинки $d_{cp}$ , мм		
	3,264	1,863	0,2257
	Кут природнього відкосу $\alpha_0$ , град		
	26,4	28,6	27,3
Діаметр отвору $d_{отв}$ , мм	Масові витрати сипкої речовини $Q_m$ , кг/с		
64,3	1,2177	1,5473	3,1864
51,5	0,6724	0,8694	1,8026
45,3	0,4543	0,6037	1,2874
39,2	0,3028	0,4052	0,8959
32,5	0,1762	0,2449	0,5622
26,3	0,0877	0,1298	0,3168
21,5	0,0466	0,0769	0,201
15	0,0196	0,0284	0,0826

### Висновки

1. Масові витрати сипких речовин, що витікають з донного отвору бункеру, не залежать від кількості матеріалу в бункері. Вірогідно процеси заповнення бункеру та висипання сипкого матеріалу з нього можуть проходити одночасно.

2. З результатів експериментів видно, що із збільшенням насипної густини сипких матеріалів масові витрати зростають. Із збільшенням середнього діаметру частинок сипких матеріалів масові витрати і насипна густина зменшуються.

3. Проведені дослідження дозволяють представити залежність масової витрати від діаметру отвору виток, гранулометричного складу сипкого матеріалу та насипної густини. Отримані дані можуть використовуватись при проектуванні витратомірів та дозаторів [10], а також установок для дослідження засобів цих засобів вимірювання [11]. Подальші дослідження можуть бути продовжені в напрямку визначення залежності масових витрат інших сипких речовин від їх фізичних та геометричних властивостей та параметрів бункеру, з якого вони висипаються.

4. Після статистичної обробки отриманих результатів авторами запропонована математична модель витрат сипких речовин, що витікають з донного отвору бункеру виду:

$$Q_m = \pi d_{отв}^2 \rho_n \sqrt{g d_{отв}} d_{отв}^{k_1} k_2,$$

де  $k_1$  та  $k_2$  коефіцієнти, що залежать від властивостей сипкої речовини та геометричних параметрів бункеру, з якого вона висипається.

### Література

1. Гениев Г.А. Вопросы динамики сыпучей среды: Науч.сообщ. ЦНИИСК. Вып. 2. – М.: Госстройиздат, 1958. – 122 с.
2. Циборовский Я. и Бондзынски М. Свободное истечение сыпучего материала через отверстие в конусном днище сосуда // Инженерно физический журнал. - 1937. – Т. VI, Вып. № 7. – С. 26–35.
3. Покровский Г.И., Арефьев А.И. Об истечении сыпучих тел // Журнал технической физики. - 1937. – Т. VII, Вып. №4. – С. 424–427.
4. Линчевский И. П. К вопросу об истечении сыпучих тел // Журнал технической физики. - 1939. – Т. IX, Вып. №4. – С. 343–347.
5. Фасман В.В. Вопрос истечения сыпучих тел в связи с определением пропускной способности подвесных задвижек // Тр. ОМИПИСХ. - 1952. – Вып. №3. – С. 24–29.
6. Зенков Р.Л. Механика насыпных грузов. – М.: Машиностроение, 1964. – 250 с.
7. Алферов К.В. Бункерные установки. – М.: Машгиз, 1955. – 308 с.
8. Кенеман Ф.Е. Исследование вероятности сводообразования при свободном истечении сыпучих тел / Ф.Е. Кенеман, Н.Г. Залогин, О.С. Антошина // Энерготехнологическое использование топлива. – АН СССР, 1963. – 256 с.
9. Гячев Л.В. Основы теории бункеров. – Новосибирск: НГУ, 1992. – 312 с.
10. Корнева Ю.О., Нікітін О.К., Зайцев В.М. Огляд витратомірів сипких матеріалів // Четверта науково-технічна конференція «Приладобудування – 2005: Стан і перспективи», 26 – 27 квітня 2005 р., м. Київ, Україна, Збірка наукових праць. – С. 115.
11. Корнева Ю.А. Стенд для исследования расходомера сыпучих веществ // Материалы международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Прогрессивные направления развития машино-приборостроительных отраслей и транспорта» 15 – 19 мая 2006 г., г. Севастополь – С. 191.

Корнева Ю.А., Сигодзинский А.В., Зайцев В.Н., Никитин А.К. **Информативность процесса истечения сыпучих веществ**

В статье представлены результаты экспериментального определения массового расхода различных сыпучих веществ при их гравитационном истечении через донное отверстие бункера. Приведена аналитическая зависимость массового расхода от параметров бункера и сыпучих веществ.

Kornyeva Y.A., Sigodzinskiy A.V., Zaytsev V.N., Nikitin A.K. **Bulk solids gravitation flow informativity**

This paper contains result of various bulk solids mass flow rate experimental tests for bulk solids gravitation flow from silo. There is analytical relation for bulk solid mass flow rate, silo geometrical parameters and bulk solids characteristics.

Надійшла до редакції  
26 травня 2009 року

УДК 681.121

## ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ ВИТРАТОМІРІВ-ТЕПЛОЛІЧИЛЬНИКІВ З АВТОНОМНИМ ЖИВЛЕННЯМ

*Гришанова І.А., Національний технічний університет України "Київський політехнічний інститут", м. Київ, Україна*

*В статті розглядається актуальність використання в засобах вимірювань витрат енергоносіїв автономного живлення. За наявних його переваг все ж залишаються невирішеними питання досягнення даними приладами високої точності вимірювань. Як відомо, точність пов'язана з частотою вимірювань, а частота вимірювань впливає на тривалість роботи батареї. Отже, слід знаходити компроміс між задовільною частотою вимірювань і оптимальним терміном дії батареї. Теоретичні шляхи пошуку цього компромісу з практичними прикладами розглянуто в даній роботі*

### **Вступ**

Однією з тем, яку досить активно обговорюють сьогодні спеціалісти в галузі обліку енергоносіїв, є доцільність використання на різних об'єктах витратомірів або теплолічильників з автономним живленням, які ще називають батарейними.

Основними аргументами на користь приладів з автономним живленням на противагу приладам з мережним живленням зазвичай вважають енергонезалежність і пов'язані з нею відносно простоту монтажу, безпеку, безперебійну роботу. Однак всі переваги автономності стають несуттєвими, коли йдеться про недостатню точність і стабільність вимірів.

Оскільки практична похибка внаслідок дискретності відліків у батарейних приладах присутня завжди, бажано звести її вплив до мінімуму. Вона має важливу роль не тільки у вимірюванні витрати води чи теплоносія, але й за умови обліку тепла, оскільки у загальній відносній похибці визначення спожитої теплової енергії, вклад похибки вимірювання витрати складає за даними російських вчених і дослідників біля 90 % [1,2].

На жаль, до теперішнього часу практично не було спроб кількісно оцінити похибку, що залежить від частоти вимірювань батарейних приладів, тому в цій статті ми вирішили висвітлити цю проблему, а також розглянути шляхи вдосконалення витратомірів-теплолічильників з автономним живленням.

### **Постановка задачі**

Щоб забезпечити ефективні шляхи вдосконалення витратомірів-теплолічильників з автономним живленням, слід вирішити такі задачі:

- розглянути існуючі варіанти приладів з автономним живленням і виключити з розгляду прилади низького якісного і метрологічного рівнів;
- ввести вимоги, які б наближували характеристики існуючих приладів до характеристик найкращих зразків батарейних засобів;
- кількісно оцінити похибки, що можуть виникнути в разі застосування низьких частот вимірювання витрати;

- проаналізувати новітні алгоритми зміни і підстроювання частоти вимірювань і порівняти їхню ефективність з відповідними алгоритмами у реально існуючих батарейних приладах.

### Теоретичні дослідження

На жаль, в деяких приладах з автономним живленням за різних причин загальні розрахунки витрати теплової енергії виконуються за спрощеними алгоритмами. У зв'язку з цим ми б хотіли докладніше зупинитися на причинах цих спрощень.

Історично склалося так, що в одноканальних теплотічильниках європейського виробництва розрахунок спожитого тепла виконується за формулою:

$$Q=K_t(t_1-t_2)V,$$

де  $Q$  – кількість спожитої теплової енергії;  $V$  – об'єм пропущеного теплоносія,  $K_t$  – тепловий коефіцієнт, що залежить від властивостей теплоносія за відповідних значень температури і тиску (коефіцієнт Штюка);  $t_1-t_2$  – різниця температур теплоносія прямого і зворотнього потоків системи тепlopостачання.

Умовно істинне значення теплового коефіцієнта  $K_t$  для води при використанні її в якості теплоносія розраховують для тиску 16 атмосфер (1600 кПа). Отже, тепловий коефіцієнт враховує густину теплоносія і його питому теплоємність, визначені з урахуванням зазначеного тиску.

Теплотічильники європейського виробництва працюють за відповідними європейськими умовами, але наші системи тепlopостачання зовсім не розраховані на тиск 16 атмосфер. Крім того, європейські рівняння теплопередачі замість різниці питомих ентальпій  $h_1 - h_2$  використовують спрощений аналог. Отже виникає методична систематична похибка вимірювання витрат теплової енергії. Крім неї є ще похибки, що викликані невисокою частотою вимірювань.

Через зазначені обставини слід висувати конкретні вимоги до приладів з автономним живлення.

#### *Вимоги до точності:*

- розрахунок теплової енергії повинен проводитися підсумовуванням добутків поточних значень об'ємів на поточну різницю ентальпій, а не шляхом добутку накопиченого за годину об'єму на усереднену за годину різницю ентальпій;

- не рекомендовано використання теплового коефіцієнта Штюка, який зазвичай використовується в алгоритмах теплотічильників європейського виробництва;

- частота відліків для режиму обліку гарячої і холодної води має бути не нижче 1 раза за секунду, а для обліку теплової енергії не нижче 1 раза за 10 секунд.

#### *Вимоги до архівів даних теплотічильників:*

- обсяг годинного архіва – не менше двох місяців;

- обсяг подобового архіва – не менше одного року;



- обсяг журналу подій - не менше 50 записів;
- бажано мати архіви помилок.

Ці вимоги, на наш погляд, слід ввести в ДСТУ на теплोलічильники. В Україні з 1996 р. такий ДСТУ вже існує [3]; нещодавно його «гармонізували» з євростандартом EN 1434 [4].

### Приклад оцінювання похибки, що залежить від частоти вимірювань батарейних приладів.

Іноді вважають, що період опитування в батарейних приладах важливо зменшувати тільки за великої кількості абонентів, щоб «зловити» недовгі за часом стрибки витрати вимірюваного середовища. Продемонструємо на простому прикладі, що і за наявності лише одного споживача корисно мати підвищену частоту відліків при вимірюванні витрати.

На рис. 1 спрощено продемонстровано часову діаграму вимірювання витрати холодної води зранку; по горизонтальній осі відкладені 10-секундні інтервали від 1 до 15 загальною тривалістю приблизно 2,5 хвилини. Споживачем є звичайна людина: після підйому вона користується санітарним вузлом, отже зливний бак 3 1-го по 8-й 10-секундні інтервали заповнюється знову; далі з 4-го по 12-й інтервали – вмивання, тут можливо змішування холодної і гарячої води, але ми показуємо тільки холодну; нарешті, поблизу 15-ї мітки – короткочасне наповнення водою чайника; миття посуду не розглядаємо, вважаючи, що воно здійснюється гарячою водою. Отже, за 3-хвилинний інтервал витрата змінилася стрибком 6 разів. Для простоти вважаємо швидкості витікання води на кожному інтервалі постійними.

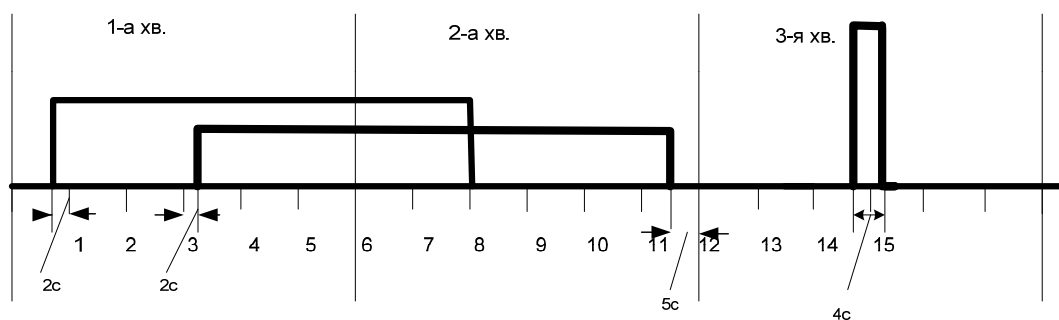


Рис.1. Часова діаграма вимірювання витрати холодної води

З рисунку видно, що зливний бак наповнюється впродовж 72 с; вважаючи, що його ємність 9 літрів, отримуємо об'ємну швидкість заповнення 0,125 л/с. Миття посуду здійснюється 83 с з об'ємною швидкістю 0,1 л/с. Нарешті, заповнення чайника триває 4 с з об'ємною швидкістю 0,25 л/с. Підсумовуючи споживання води для всіх трьох процесів отримуємо 9 л + 8,3 л + 1 л = 18,3 л.

Тепер припустимо, що відліки об'ємної швидкості (витрати) ультразвуковим приладом здійснюються кожні 10 с у моменти часу 1, 2, 3, ... . У табл. 1 по-

казані значення витрати в л/с, виміряні на кожному 10 – секундному інтервалі. Враховуючи, що кількість води за 10 с дорівнює виміряній об’ємній швидкості або витраті в л/с, помноженій на 10, отримуємо загальний об’єм витраченої вранці води, який дорівнює 20,5 л.

Похибка через перехід від 1-секундних інтервалів до 10 - секундних складає  $(20,5 - 18,3) / 18,3 \cdot 100 \% = 12,02 \%$ .

Таблиця 1. Значення витрати, виміряні на кожному 10-секундному інтервалі часу

Номер точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Витрата, л/с	0,125	0,125	0,125	0,225	0,225	0,225	0,225	0,225	0,1	0,1	0,1	0	0	0	0,25	0

Тут споживач переплатив за свої звичайні ранкові процедури, оскільки похибка не на його користь склала 12,02 %. Ясно, що за найменшої частоти відліків похибка додатково збільшиться. Приклад зайвий раз демонструє, що темп відліків в 1 с доцільно використовувати не тільки на об’єктах, де через велику кількість споживачів випадковий процес може мати широкий частотний спектр, але й на малих об’єктах.

**Порівняльні дослідження алгоритмів опитування приладів з автономним живленням**

Звичайно кращий спосіб оцінки характеристик витратомірів – це випробування, і саме тут має бути перевірена достатність того чи іншого темпу опитування. Проте організація еталонів пульсуючих потоків сьогодні є досить складною задачею. Через це ми і пропонуємо ввести малий темп опитування «насилено», тільки базуючись на прикладах, наведених тут і в роботі [5], а також спираючись на досвід фахівців, які працюють з батарейними приладами.

Згладжування протиріч між вимогами мати високу частоту відліків і тривалим терміном служби батарейки найближчим часом слід очікувати від впровадження нових оригінальних алгоритмів підстроювання частоти опитування до значення поточної витрати. Два з таких розроблених на сьогодні алгоритмів розглянуто нижче.

В існуючих батарейних приладах опитування виконується або через рівні проміжки часу, в різних приладах цей інтервал дорівнює від 1 с до 30 с, або коли пройде один і той самий об’єм вимірюваного середовища, формується імпульс, наприклад 2,5 л/імп. Теплолічильники, у яких частота опитування залежить від витрати (об’єму), мають більш тривалий термін служби батарейки, у іншого різновиду батарейних приладів, де опитування здійснюється через рівні часові інтервали, результати вимірювань зазвичай точніші на менших за тривалістю інтервалах, але ресурс батареї при цьому суттєво обмежений.

Отже, стає зрозуміло, що розробник часто має знаходити компроміс між тривалістю використання автономного живлення і припустимою точністю по-

казань теплотічильника. Так з'явилася ідея створення алгоритмів підвищення точності вимірювання тепла з одночасним подовженням терміну дії батареї.

Якщо частота опитування залежить від витрати (визначається кількістю літрів на імпульс), то в області малих витрат вона «не встигає» за швидкими і короткочасними змінами навантажень у системах теплопостачання. Для вирішення цієї проблеми було запропоновано адаптивний алгоритм [6]. Згідно з ним в області середніх і великих витрат діапазону вимірювання опитування здійснюється не через часові проміжки, а залежно від проходження певного об'єму рідини, проте, як тільки витрата падає нижче встановленої межі, опитування здійснюється впродовж певних проміжків часу. Чим менше будуть ці проміжки, тим більше вірогідність коректного врахування динамічних процесів у системах теплопостачання. Запропонований адаптивний алгоритм є певною мірою гібридом двох широко використовуваних нині.

Інший алгоритм *Feed Forward* [7] передбачає проведення вимірювань тільки за фактом зміни споживання гарячої води або теплоносія. Ця зміна визначається відслідковуванням позиції регулюючого клапану. Вважається, що немає необхідності проводити заміри, якщо клапан знаходиться в стаціонарному положенні. У даному методі використовується сигнал від контролера, щоб ініціювати процес вимірювання в момент часу, коли фіксується зміна положення клапану. Вимірювання будуть проводитися, поки клапан не досягне стаціонарного стану, тоді прилад автоматично переключиться у режим енергозбереження, направлений на подовження тривалості дії батареї.

Для апробації адаптивного і *Feed Forward* алгоритмів поряд з алгоритмами, закладеними в реальні теплотічильники фірм *Enernet, Kamstrup, ABB, Siemens, Actaris* Шведська асоціація централізованого теплопостачання (*Swedish District Heating Association*) вирішила провести низку експериментів в умовах динамічної зміни теплового навантаження. Адаптивний і *Feed Forward* алгоритми були реалізовані у пакетах *MATLAB* і *Simulink*. Один з найбільш цікавих експериментів передбачав тільки зміну витрати гарячого водопостачання, не включаючи тепло. Динаміка цієї зміни представлена в табл.2.

Таблиця 2. Динаміка зміни витрати

Час, с	300	30
Витрата, л/с	0	0,2

Результати моделювання з використанням адаптивного алгоритму і алгоритму *Feed Forward*, а також результати проведення реальних експериментів на теплотічильниках відомих світових виробників представлені в табл. 3.

Таблиця 3. Результати експериментальних і теоретичних досліджень ефективності алгоритмів роботи теплотічильників в умовах динамічних навантажень

Виробник або алгоритм	Модель	Тип витратоміра	Похибка, %	Тип живлення	Частота опитування	
					Постійна, с	Залежить від витрати, л/імп
<i>Kamstrup</i>	<i>Multical Compact</i>	ультразвуковий	-13,8	батареєний	30	-
<i>Kamstrup</i>	<i>Multical 66C92F0312</i>	ультразвуковий	-10,8	батареєний	-	1
<i>Enernet</i>	<i>10EVL</i>	індуктивний	-3,8	220В	-	1
<i>ABB</i>	<i>F3</i>	ультразвуковий	-2,59	220В	-	2,5
<i>Siemens</i>	<i>2WR5</i>	ультразвуковий	-35,35	220В	30	-
<i>Actaris</i>	<i>CF Echo</i>	ультразвуковий	-8,06	батареєний	-	1
Адаптивний алгоритм	-	ультразвуковий	-3,6	батареєний	10	1
<i>Feed Forward</i>	-	ультразвуковий	-2,8	батареєний	-	-

Як видно з табл. 3, навіть прилади всесвітньо відомих розробників мають великі похибки вимірювання в динамічному режимі експлуатації. Якщо не звертати уваги на модель *Siemens 2WR5*, де дуже велика похибка, очевидно викликана деяким збоєм в роботі, то батареєні прилади виглядають дещо гірше мережних. Одна з причин – низька частота опитування і недосконалість алгоритму обробки первинних даних. Самі ж алгоритми, результати дії яких отримані у відповідних програмних середовищах, викликають оптимістичні сподівання і обов’язково мають бути впроваджені в існуючих теплолічильниках чи витратомірах.

### **Висновки**

1. Звичайно, у існуючих батареєних приладів сьогодні є ще низка недоліків: вони не завжди адаптовані до реальних умов використання з короткочасними змінами в навантаженнях систем теплопостачання, не завжди мають достатню глибину потрібних архівів, працюють на спрощених алгоритмах обробки інформації тощо.

2. Через дискретне в часі вимірювання витрати гарячої і холодної води на реальних об’єктах завжди має місце додаткова похибка вимірювання витрати і тепла, яка часто перевищує величину відносної похибки, зазначеної в паспорті приладу, і отриманої в ідеальних умовах зразкового повірочного обладнання. Мінімізація такої похибки здійснюється внаслідок підвищення темпу опитування до декількох замість одного разу у секунду, що однак впливає на скорочення терміну служби батареї.

3. Щоб раціонально використовувати автономне живлення, тобто подовжити термін служби батареї, слід застосовувати спеціальні алгоритми, які б дозволили змінювати частоту опитувань залежно від змін витрати. У подальшому планується вдосконалення існуючих та розробка нових алгоритмів вибору оп-

тимального значення частоти вимірювань на базі математичної моделі роботи витратоміра або теплолічильника в динамічному режимі функціонування.

### Література

1. Васильев Н.К., Карташов А.А., Мартынов В.И. Анализ проблем измерения тепловой энергии и воды в системах горячего водоснабжения. Коммерческий учет энергоносителей // Материалы 21-й международной научно – практической конференции. – СПб.: Политехника, 2005. - С. 383-387.
2. Кузник И.В., Тиунов М.Ю., Брюханов В.А. Погрешности измерений тепловой энергии теплосчетчика и нормирование метрологических требований к средствам измерений расхода теплоносителя. Коммерческий учет энергоносителей // Материалы 12-й международной научно – практической конференции. – СПб.: Политехника, 2000. – С. 32-43.
3. ДСТУ 3339-96 Теплосчетчики. Общие технические требования.
4. ДСТУ EN 1434:2006. Теплолічильники.
5. Покрас И.С. Об одной неучтенной погрешности измерения расхода // Материалы 26-й международной научно-практической конференции. – СПб.: Политехника, 2007. – С. 121-125.
6. Y. Jomni, J.v. Deventer, J. Delsing. Comparing heat measurement accuracy of a new adaptive algorithm with existing heat meters in accordance to the Swedish test standard // Proceedings of 10<sup>th</sup> International Symposium on District Heating and Cooling, 2008.
7. Testing a new Feed Forward method against the Swedish standard and comparison with existing heat meters. / Jomni, Yassin ; Yliniemi, Kimmo ; Delsing, Jerker ; van Deventer, Jan. In: Improving Heat Measurment Accuracy in District Heating Substations (Doctoral thesis / Luleå University of Technology). - Luleå : Luleå tekniska universitet, 2006. - p. 117-125

<p><b>Гришанова И.А. Пути усовершенствования расходомеров-тепло-счетчиков с автономным питанием</b></p> <p>В статье рассматривается актуальность использования в средствах измерения расхода энергоносителей автономного питания. При явных его преимуществах все же остаются нерешенными вопросы достижения данными приборами высокой точности измерений. Как известно, точность связана с частотой измерений, а частота измерений влияет на продолжительность работы батареи. Вот и приходится находить компромисс между приемлемой частотой измерений и оптимальным сроком службы батареи. Теоретические пути поиска этого компромисса с практическими примерами рассмотрены в данной работе.</p>	<p><b>Gryshanova I. Ways of improvement of heat - flow meters with an independent power supply</b></p> <p>The urgency of independent power supply application in heat-flow meters is considered in the article. With its obvious advantages nevertheless there are unresolved problems how to get high accuracy in mentioned measuring devices. Actually, accuracy depends on measuring frequency and frequency of measurements has impact on battery life time. So it is necessary to find the compromise between admissible frequency of measurements and acceptable durability of the battery. Theoretical ways of search of this compromise with practical examples are given in this paper.</p>
--	--

*Надійшла до редакції  
19 жовтня 2009 року*