АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Важинський С. Е., Залевський Г. С., Верховець Д. Д., Кононенко М. В., Гудкова К. Ю.

Отсутствие эффективной методики проведения экспериментальных исследований и соответствующих аппаратных средств контроля и управления параметрами водопроводной сети города предполагает существенный расход воды. Предложен термоанемометрический первичный преобразователь для построения расходомера и исследованы его метрологические характеристики. На базе современных средств вычислительной техники разработана система автоматического управления водоснабжением города. Проведено математическое моделирование процесса функционирования расходометра с учетом изменений параметров окружающей среды. На основе экспериментальных данных установлена эффективность применения теплового массового расходомера при измерениях параметров системы противопожарного водоснабжения (погрешность измерений, быстродействие преобразования).

Відсутність ефективної методики проведення дослідних випробувань та відповідних апаратних засобів контролю й управління параметрами водопровідної мережі міста передбачає суттєві витрати води. Запропоновано термоанемометричний первинний перетворювач для побудови витратоміра та досліджено його метрологічні характеристики. На базі сучасних засобів обчислювальної техніки розроблено систему автоматичного управління водопостачанням міста. Проведено математичне моделювання процесу функціонування витратоміру з урахуванням зміни параметрів зовнішнього середовища. На основі дослідних даних встановлено ефективність використання теплового масового витратоміру при вимірюваннях параметрів системи протипожежного водопостачання (похибка вимірювань, швидкодія перетворення).

The lack of an effective methodology for carrying out experimental studies and corresponding hardware controls and controlling the parameters of the city's water supply network presupposes a significant water flow. A thermoanemometric primary transducer for constructing a flowmeter is proposed, its metrological characteristics are investigated. On the basis of modern means of computer technology, a system of automatic control of the city's water supply has been developed. The mathematical modeling of the process of the flowmeter functioning taking into account changes in the environmental parameters is carried out. On the basis of experimental data, the efficiency of using a thermal mass flowmeter for measuring the parameters of a fire-prevention water supply system (measurement error, conversion speed) has been established.

Важинський С. Е. — канд. техн. наук, доц. НУЦЗУ, sevzhasmin@gmail.com
Залевський Г. С. — д-р техн. наук, ст. наук. співроб. ХНУПС ім. І. Кожедуба
Верховець Д. Д. — студент НУЦЗУ
Кононенко М. В. — курсант НУЦЗУ
Гудкова К. Ю. — асистент каф. ІСПР ДДМА, eugudkova@gmail.com

НУЦЗУ – Національний університет цивільного захисту України, м. Харків.
ХНУПС ім. І. Кожедуба – Харківський національний університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, м. Харків.
ДДМА – Донбаська державна машинобудівна академія, м. Краматорськ.

УДК 351.862.1

Важинський С. Е., Залевський Г. С., Верховець Д. Д., Кононенко М. В., Гудкова К. Ю.

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ТА ВИМІРЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ МЕРЕЖІ ПРОТИПОЖЕЖНОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Побудова автоматизованих систем управління та контролю параметрів протипожежної водопровідної мережі міста неможлива без створення нової методики проведення випробувань водопровідних мереж, яка на сьогодні передбачає значні витрати ресурсів техніки та кількості води, але не забезпечує достатню достовірність отриманих результатів [1–4]. Одним із шляхів вирішення проблеми є створення автоматизованої системи вимірювання та контролю параметрів протипожежної водопровідної мережі з використанням сучасних вимірювальних засобів – масових витратомірів, запропоновано у даній роботі.

Метою статті є розробка пристрою вимірювання витрат води у режимі реального часу та дослідження можливості його використання у запропонованій автоматизованій системі управління мережею протипожежного водопостачання.

В ході випробувань параметрів обладнання і трубопроводів водопроводів можливо отримувати з використанням сучасних приладів оперативну і точну інформацію про витрати води. Одним із шляхів вирішення такого завдання може бути використання досконалих засобів вимірювання масової витрати води.

В роботах [1–4] висвітлюються результати досліджень, спрямовані на створення засобів вимірювання, що дозволяють оперативно перевіряти стан мереж пожежного водопостачання. Найбільшу зацікавленість визиває можливість автоматизованого вирішення завдань моніторингу стану мережі з використанням нового вимірювального засобу теплового витратоміра та інформаційних технологій.

Згідно з ДБН В.2.5-74:2013. «Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування» проектування і розрахунок комунікацій повинен відповідати цілому ряду норм і правил. У цьому нормативному акті регламентовані основні параметри систем водопостачання [2].

Нормативними документами регламентовані значення необхідних витрат води, згідно з якими повинен бути забезпечений водопровід під час пожежогасіння. Величина витрат обумовлює параметри обладнання трубопроводів і водопроводів. Існуючі методики передбачають випробування з використанням мірних ємностей, стовбурів водомірів, трубок Піто (рис. 1) та інших приладів, які забезпечують вимірювання параметрів роботи окремих пожежних стволів з наступним перерахунком отриманих проміжних значень напорів або обсягів (рис. 2). При цьому передбачається нарощування кількості задіяної пожежної техніки і стовбурів до досягнення відповідних витрат та залучення значної кількості фахівців. Разом з тим, зміна параметрів міської забудови обумовлює необхідність оперативної перевірки мереж водопроводів на водовіддачу.

Наведена методика проведення випробувань, розроблена в 50–60 роках минулого століття, передбачає значні витрати ресурсів техніки і кількості води при цьому не забезпечується достатня достовірність отриманих результатів. Для визначення встановлених нормативними документами регламентованих значень необхідної витрати, яку повинний забезпечити водопровід під час пожежогасіння, в якості вимірювального пристрою доцільно застосувати сучасні високоточні вимірювальні системи та пристрої.

Це дозволить значно зменшити час випробувань, витрати води, кількість техніки, що застосовується для випробувань, знизити витрати ресурсу експлуатації техніки. Технічні

характеристики та конструктивне виконання вимірювальних засобів повинні забезпечити їх працездатність, економічність та використання в автоматизованих системах управління та контролю.

Рис. 1. Методика вимірювань фактичних витрат води з водопроводу за тиском у патрубка пожежної колонки

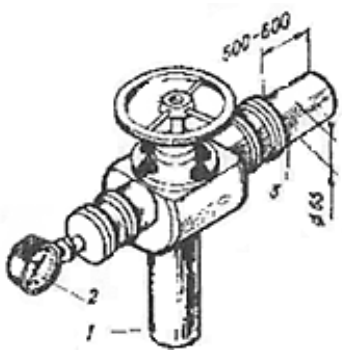

Рис. 2. Схема вимірювань фактичних витрат води з водопроводу за тиском у патрубка пожежної колонки:

1 – колонка; 2 – манометр; 3 – гладкий патрубок

У ході досліджень проведено аналіз використання у якості вимірювального елементу витратомірів, які мають різні принципи дії відносно визначення змін у вимірювальному середовищі. На (рис. 3) наведена економічна ефективність використання термоанемометрічного датчика у потоці (а) у порівнянні з використанням, вихрових (б), турбінних (в), діафрагмових (г) витратомірів. Встановлення на трубопровід датчиків типів б, в, г створює додатковий опір потоку води, звужує трубопровід, вимагає значного переобладнання мережі, створення вимірювальних ділянок, що забезпечують точність показань вимірювальних засобів.

Виходячи з викладеного, у роботі запропоновано використання масового витратоміра (МР) за термоанемометричним принципом дії для виконання робіт з автоматизації процесів вимірювання, збору і контролю витрат води в мережі протипожежного водопостачання.

Включення витратоміра в комунікаційні мережі дозволить передавати інформацію не тільки про параметри технологічного процесу, а й про стан пристроїв, які керують процесом.

Для відображення даних про витрату, температуру, тиск можуть використовуватися різні типи периферійних пристроїв (самописний пристрій, індикатор, ЕОМ тощо) (рис. 4).

Зміна параметрів міської забудови обумовлює необхідність оперативної перевірки мереж водопроводів на водовіддачу. В ході випробувань параметрів мереж пожежного водопостачання можливо отримувати з використанням сучасних приладів оперативну і точну інформацію про забезпечення необхідної витрати води. Одним із шляхів вирішення такої задачі може бути використання сучасних засобів масових витратомірів, принцип дії яких засновано на використанні термоанемометрічного методу вимірювання масової витрати води.

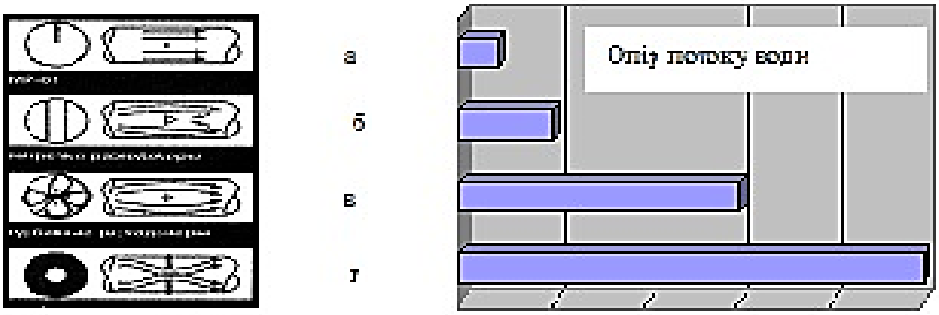

Рис. 3. Перевага термоанемометричного вимірювального пристрою у порівнянні з пристроями за іншими принципами дії

Рис. 4. Схема побудови системи управління та контролю при застосуванні масового витратоміра

З цією метою був розроблений масовий витратомір МР1, який можна застосовувати для вимірювання параметрів системи протипожежного водопостачання, а також для виміру масових витрат води, рідин і їх сумішей в трубопроводах різних діаметрів [5]. Крім того МР1 в якості основного вимірювального засобу можна використати для локальних або розподілених автоматизованих систем збору інформації, обліку і контролю, при управлінні технологічними процесами і в системах запобігання аварійним ситуаціям на підприємствах.

Принцип дії масового витратоміру (МВ) заснований на автоматичній підтримці термодинамічної рівноваги між потікочутливою поверхнею первинного перетворювача і потоком, що омиває її, і в подальшому, обчисленні масової витрати з використанням відомих розрахункових залежностей з теорії витратометрії і теплообмінних процесів [6, 7, 8].

При створенні МВ був використаний відомий термоанемометричний метод, який передбачає наявність «голої» розігрітої нитки в потоці, і визначення витрати води за величиною теплового зносу потоку (рис. 5).

Принцип дії теплового масового витратоміра базується на автоматичній підтримці термодинамічної рівноваги між потікочутливою поверхнею первинного перетворювача і потоком, що її омиває та в обчисленні масової витрати з використанням відомих розрахункових залежностей з теорії витратометрії і теплообмінних процесів [6, 7, 9].

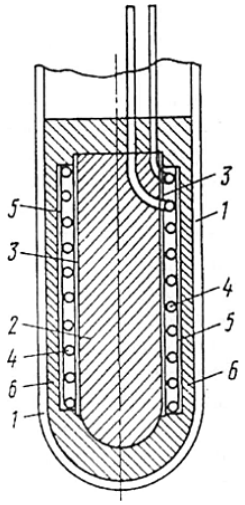

Рис. 5. Схематичне креслення первинного перетворювача теплового витратоміра:

1 – корпус; 2 – каркас – металевий стрижень; 3 – перший шар ізоляції, нанесений на каркас 2; 4 – обмотка нагрівача, яка намотана на перший шар ізоляції 3; 5 – другий шар ізоляції, нанесений на обмотку нагрівача 4; 6 – заповнювач, розташований в простір між шаром ізоляції 5 і внутрішньою поверхнею корпусу 1

Проведено роботи по створенню чутливого елемента вимірювального пристрою, в результаті яких вдалося «голу» розігріту нитку розмістити в стандартному сталевому корпусі термометра опору (рис. 5) і перетворити його поверхню, яка занурюється в потік, в чутливий елемент [1].

Нитка, розміщена в сталевому корпусі, герметично ізольована і не контактує з навколишнім середовищем. Отже вона не піддається окисленню і дії агресивних середовищ. В якості нитки використаний мідний мікродріт, який пройшов процес старіння D, завдяки чому з плином часу його властивості практично не змінюються.

Принцип роботи первинного перетворювача наступний. Високо стабілізований імпульс струму спеціальної форми нагріває нить та поверхню чутливого елементу первинного перетворювача до температури мигтливого імпульсного перегріву $V_{\text{мип}}$. Під впливом потоку поверхня первинного перетворювача охолоджується до визначеної температури перегріву, яка є функцією від температури середи, яка вимірюється та дорівнює:

$$V_{\text{п}} = V_{\text{ср}} + U \ ,$$

де $V_{\text{ср}}$ – температура вимірюваного середовища;

$U = const$ – температура перегріву первинного перетворювача.

При досягненні температури нитки і поверхні первинного перетворювача значення, рівного температурі перегріву $V_{П}$, відбувається наступний нагрів, а потім цикл багаторазово повторюється.

Таким чином, вимірювана витрата Q є функцією потужності (частоти імпульсного нагріву), необхідної для підтримки нитки і поверхні чутливого елемента первинного перетворювача при температурі перегріву $V_{П}$.

Виконане математичне моделювання процесу функціонування теплового масового витратоміра. Обчисленню підлягає період проходження імпульсів нагріву чутливого елемента первинного перетворювача витратоміра при вимірюванні витрати води і нафти для різних температур потоку. Первинний перетворювач встановлювався в трубопроводі діаметром 150 мм,

витрата води змінювалася від 14 до 70 м^3/год при температурі 23–24 °С. При математичному моделюванні враховувалася зміна параметрів середовища від її середньої (по діаметру) температури. У результаті моделювання були отримані тимчасові залежності різниці температури між чутливим елементом і середовищем при різних витратах води (рис. 6).

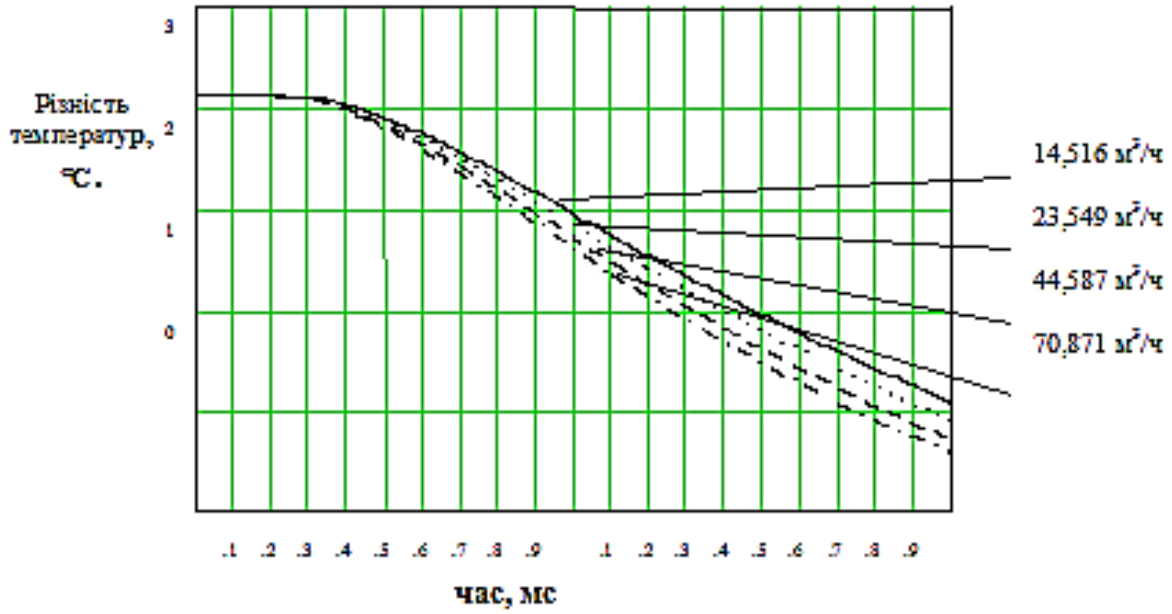

Рис. 6. Залежності різниці температур чутливого елемента і навколишнього середовища від часу при різних значеннях витрати води в трубопроводі період прямування, мс

Момент часу $t = 0$ відповідає закінченню першого імпульсу нагрівання. Час досягнення (в результаті охолодження чутливого елемента під впливом потоку) встановленої в приладі різниці температур 10 °С відповідає моменту подачі наступного імпульсу, що нагріває чутливий елемент до первісної температури $V_{\text{МИП}}$.

Як видно з рис. 6, при збільшенні витрати води спостерігається зменшення періоду надходження імпульсу нагрівання, тобто датчик охолоджується швидше. Наприклад, при витраті в 70 м^3/год охолодження датчика до 10 °С відбувається за 1,27 мс, а при 14 м^3/год – за 1,48 мс.

Проведено порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними. На рис. 6 наведено графік, який ілюструє залежність періоду проходження імпульсів нагріву відвеличини витрати води в трубопроводі (суцільна лінія – експериментальні дані, пунктирна – теоретичні). В результаті проведеного калібрування математичної моделі (за даними експерименту) отримана величина перегріву чутливого елемента, відповідного впливу одного імпульсу.

Результати чисельного моделювання з урахуванням отриманого значення перегріву для ряду еталонних витрат (при різних температурах) показали, що відносна похибка періоду проходження імпульсів в порівнянні з експериментальними даними не перевищує 1,25 % (рис. 7, 8). Такий результат свідчить про те, що розроблена математична модель витратоміра адекватна теплообмінним процесам, що відбуваються в системі «чутливий».

За результатами теоретичних досліджень створено та апробовано промисловий зразок витратоміра, призначений для виміру масових витрат води.

Принцип дії первинного перетворювача масового витратоміру полягає в наступному. Високо стабілізований імпульс струму спеціальної форми нагріває нитку і поверхню чутливого елементу первинного перетворювача до температури миттєвого імпульсного перегрівання.

Під впливом потоку, відбувається охолодження поверхні первинного перетворювача до заданої температури перегрівання, яка є функцією від температури вимірюваного середовища [10].

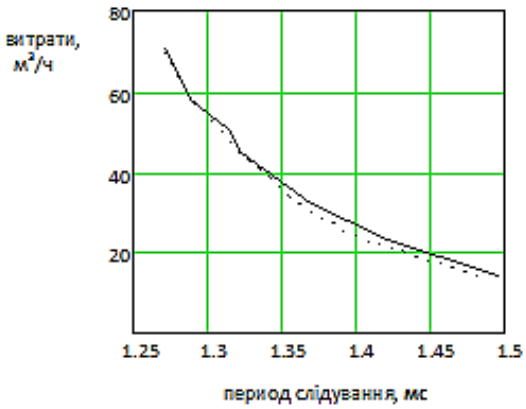

Рис. 7. Порівняння дослідних (сполошна) та теоретичних (пунктирна лінія) даних

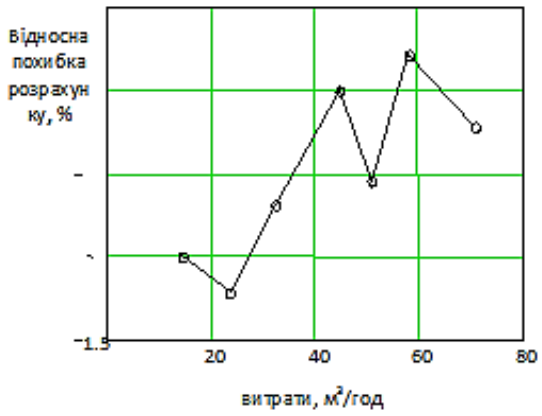

Рис. 8. Відносна помилка розрахунку періоду слідування імпульсів нагріву у порівнянні з експериментальними даними

Апробований зразок масового витратоміру МР1 (рис. 9), якій має наступні основні технічні характеристики:

– діапазон вимірюваних витрат – 1200/1;
– швидкодія – менше 0,5 с;
– відносна погрішність виміру – менше 1 %;
– дозволяє проводити виміри при величині тиску в трубопроводі до 32 МПа і температурі потоку від – 40 до 60°С;
– може експлуатуватися з мірною ділянкою та без неї;
– первинний перетворювач встановлюється на діючі трубопроводи круглої і не круглої конфігурації, а також в лотках.

Для установки первинного перетворювача в трубопроводі (рис. 10) можуть використовуватися стандартні різьбові бобишки М20 × 1,5 (М27 × 2), призначені для монтажу стандартних термоперетворювачів. На підставі даних з первинного перетворювача на виході витратоміра є сигнал про температуру вимірюваного середовища, таким чином немає необхідності встановлювати демонтовані датчик температури.

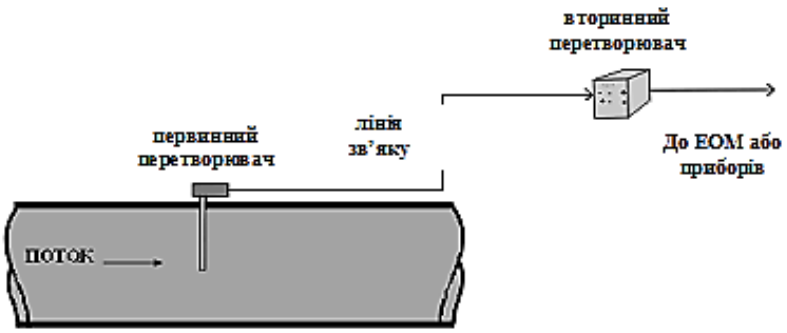

Рис. 9. Підключення до вимірювальної мережі витратоміру

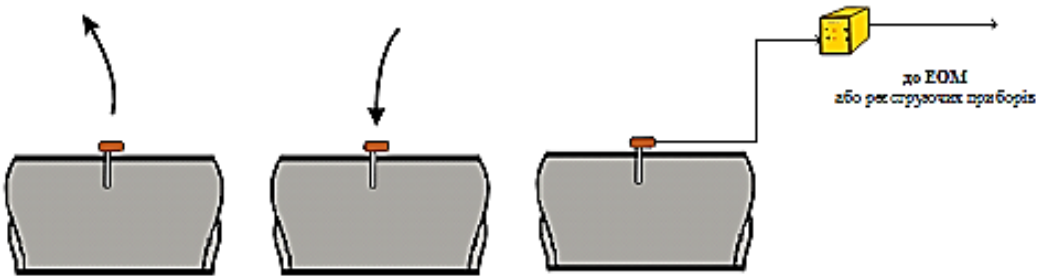

Рис. 10. Послідовність дій при установці первісного перетворювача на трубопровід

ВИСНОВКИ

Результати досліджень та вивчення технічних можливостей запропонованого пристрою доводять, що тепловий масовий витратомір, при його застосуванні в якості вимірювального пристрою в системі вимірювання параметрів системи протипожежного водопостачання, дозволить точно виміряти (з похибкою вимірювання 1 %) і оперативно обробити (з швидкодією менше 0,5 с) інформацію про витрату води у водоводах. Це дозволить удосконалити та оптимізувати методику випробувань водопровідних мереж на водовіддачу під час пожежогасіння, значно зменшити час випробувань, витрати води, кількість техніки, що застосовується, знизити витрату ресурсу експлуатації техніки

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Важинський С. Е. Застосування масових витратомірів при випробуванні водопровідних мереж на водовіддачу під час пожежогасіння / С. Е. Важинський, В. М. Гераськін, М. М. Гончаренко // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. – 2014. – № 3(40). – С. 161–164.

2. Водопостачання. Зовнішні мережі та споруди. Основні положення проектування. ДБН В.2.5-74:2013. – [Чинний від 01-01-14]. – К. : Мінрегіон України, 2013. – 172 с. (Державні будівельні норми України).

3. Внутрішній водопровід та каналізація. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво. ДБН В.2.5-64:2012. – [Чинний від 01-03-13]. – К. : Держбуд України, 2013. – 135 с. (Державні будівельні норми України).

4. Кремлевский П. П. Расходомеры и счетчики количества. Справочник / П. П. Кремлевский. – Л. : Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989. – 701 с.

5. Пат. 2143667 Российская Федерация, МПК G01F 1/69 (1995.01). Датчик для измерения расхода и способ его изготовления / Павлов Е. А. (UA), Колодяжный Б. Я. (UA), Артемов А. Ф. (UA) ; патентообладатель частная фирма "Арнат" (UA). – № 99113312/28 ; заявл. 30.06.1999 ; опубл. 27.12.1999 , Бюл. 27/2004.

6. Карлслоу Х. С. Теория теплопроводности : пер. с англ / Х. С. Карлслоу. – М. – Л. : ОГИЗ ГИТТЛ, 1977 г. – 288 с.

7. Лыков А. В. Тепломассообмен : справочник / А. В. Лыков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергия, 1978. – 480 с.

8. Кутателадзе С. С. Справочник по теплопередаче / С. С. Кутателадзе, В. М. Боришанский. – Л.-М. : Госэнергоиздат, 1959. – 414 с.

9. Кошляков Н. С. Уравнения в частных производных математической физики / Н. С. Кошляков, Э. Б. Глинер, М. М. Смирнов. – М. : Высшая школа, 1970. – 710 с.

10. Деклараційний патент на винахід 64901А, МПК (2006) G01F 25/00. Спосіб градуювання витратомірів / Артьомов О. Ф. (UA), Важинський С. Е. (UA), Залевський Г. С.(UA), Жартовський Д. М. (UA), Козлов В. Є. (UA), Сухаревський О. І. (UA) ; заявник та патентовласник ЗАО "Інтерекономресурс" (UA). – № 2002119256 ; заявл. 21.11.2002 ; опубл. 15.03.04 , Бюл. № 3

Стаття надійшла до редакції 11.09.2017 р.