

УДК 623.004.67

А.І. Андрущенко, Ю.І. Кушнерук

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

**ВИМІРЮВАННЯ ВИТРАТИ ДВОФАЗНИХ РЕЧОВИН***Аналізуються методи вимірювання витрати двофазних речовин та похибки при їх застосуванні.***Ключові слова:** витрати, речовина, структура, потік.**Вступ**

**Постановка задачі.** Потік вимірювання двофазних матеріалів має свої особливості і труднощі, пов'язані зі складом суміші, неомогеністю різниці швидкостей окремими фазами, а також їх концентрації та структури. У зв'язку з розподіленими структурами концентрації окремих фаз часто змінюється по довжині труби і тому вимірювання миттєвої витрати має мале значення. Тому є досить актуальним вимірювання середньої витрати речовини протягом певного часу, що характеризує двофазний потік цієї речовини.

**Аналіз літератури.** В відомій літературі [1 – 3] розглядаються різні методи вимірювання витрати речовини, але не визначаються питання, що пов'язані з дослідженням витрат двофазних речовин.

**Метою статті** є аналіз методів вимірювання витрати двофазних речовин, визначення похибки, що виникають у процесі вимірювань та їх вплив на результати визначення витрат.

**Основний матеріал**

Модель циркулюючих речовин можуть бути трьох типів: суміш рідких и твердих фази, суміш газів і твердої фази та рідкі суміші з газом або пари. Першим з них є різні осади або гною, вони часто зустрічаються. Переміщує гідравлічний транспорт організованого вугілля і торфу, руди і скелі, каоліну і целюлози, поташ і сіль бури кальцій, міномети і бетонних сумішей, деревину та паперу ваги, різноманітні мулу, піску, ґрунту та інші матеріали. Суміші газів в твердій фазі виникає, коли переміщення через труби в пневматичних транспортної пилоподібного вугілля і борошно, цементу та супутніх товарів, газонасичені нафти і мокрий пар дві фази суміші є прикладами третього типу.

Потік вимірювання двофазних матеріалів має свої особливості і труднощі, пов'язані зі складом суміші, неомогеністю різниці швидкостей окремими фазами, а також їх концентрації та структури.

У зв'язку з розподіленими структурами концентрації окремими фазами часто змінюються по довжині труби і тому вимірювання миттєвої витрати має мале значення. Його тільки середня витрата протягом певного часу належним чином може характеризувати двофазний потік. Мінімальна довжина в середньому

залежить від структури газової рідини. Потік речовини може досягати в деяких випадках 90 – 100 м/с. Середня швидкість більш серйозної фази яка набуває більшої швидкості, ніж швидкість світла. Він серйозно ускладнює визначення середнього споживання суміші і ідентифікації окремих етапів і призводить до необхідності розрізняти справжню із витрат фаз концентрації, і щільності суміші. Істинна концентрація або доля одного з компонентів суміші, наприклад важкого, це відношення об'єму  $V_T$  або маси

$$M_T = V_T \cdot \rho_T \quad (1)$$

цього компонента загального об'єму

$$V_c = V_T + V_L \quad (2)$$

або загальній масі

$$M_c = V_T \cdot \rho_T + V_L \cdot \rho_L \quad (3)$$

суміші відповідно в обрізаній трубі, довжина якої  $L$  має бути достатня, щоб забезпечити правильне співвідношення середнього змісту фаз. Тут  $V_L$  – об'єм легкого компонента суміші, а  $\rho_L$  і  $\rho_T$  – щільність легкого і важкого компонентів. Зв'язок між концентраціями обох компонентів визначається рівняннями:

$$\varphi_0 = 1 - \eta_0; \quad (4)$$

$$\varphi_M = 1 - \eta_M; \quad (5)$$

де  $\varphi_0$  і  $\varphi_M$  – відповідного об'ємна і масова концентрації легкого компонента;  $\eta_0$  і  $\eta_M$  – важкого компонента.

Залежність для витрат об'ємом  $\delta_0$  і масою  $\delta_M$  концентрацій важкого відповідно до об'єму  $\beta_0 = 1 - \delta_0$  і масою  $\beta_M = 1 - \delta_M$  концентрацій легкого компонента суміші матимуть вигляд:

$$\delta = Q_{T0}/Q_{C0}; \quad \delta_M = Q_{TM}/Q_{CM}; \quad (6)$$

$$\beta_0 = Q_{T0}/Q_{C0}; \quad \beta_M = Q_{TM}/Q_{CM}; \quad (7)$$

де  $v$ ,  $v_L$ ,  $v_c$  – об'єм і маса витрат;  $v_L > v_c > v_T$ , то  $\delta_0$ ,  $\delta_M$  – важкого, легкого компонентів і суміші відповідно.

Зв'язок між дійсними і витратними концентраціями визначається формулами:

$$P_c = P_T - \varphi_0 \cdot (P_T - P_L), \quad (8)$$

а витратну  $P_{Cp}$  – по рівнянню

$$P_{Cp} = P_T - \beta_0 \cdot (P_T - P_L). \quad (9)$$

Віднімаючи останнє рівняння від попереднього, отримаємо

$$P_c - P_{Cp} = (\beta_0 - \varphi_0) / (P_T - P_L),$$

звідки витікає, що витратна щільність  $P_{Cp}$  менше істинної  $P_c$ , оскільки  $P_0 > \varphi$ .

Структура двофазного потоку залежить від багатьох обставин/ Якщо концентрація однієї з фаз мала, то отримаємо дисперсну або бульбашкову структуру, при якій краплі рідини (чи бульбашки пари) рівномірно розподілені в парі чи рідині. ЗУ горизонтальній трубі при розшарованій течії немає кільцевого шару рідини. Остання під дією сил тяжіння все більшою мірою опускається вниз і рухається по нижній частині труби, а у верхній її частині переміщуються пара або газ разом з краплями рідини, що ще не осіли (рис. 1).

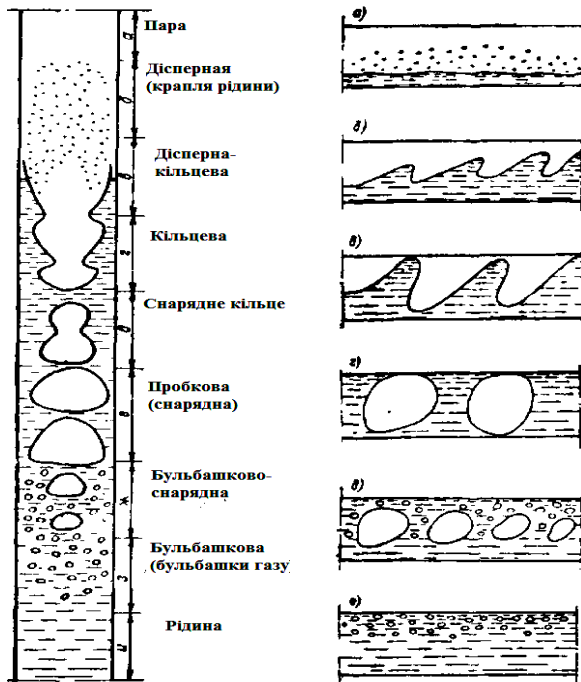


Рис. 1. Структура газо-жидкісного потоку у вертикальній та горизонтальній трубах

Зі збільшенням швидкості потоку і одночасно зростанні долі рідини на поверхні розділу фаз починають виникати хвилові гребені. Вони ростуть зі збільшенням і починають розтинати на окремі частини потік пари або газу, що рухається в центрі вертикальної труби або у верхній частині горизонтальної труби. Пара або газ переміщується у вигляді окремих пробок або пухирів, що перекривають повністю або частково переріз труби. Їх частота (від долі Гц до 4-5 Гц) залежить від швидкості потоку  $v_0$ , або, точніше, від числа Фруда

$$Fr = v^{n/c} / q \cdot D,$$

де  $q$  – прискорення сили тяжіння;  $D$  – діаметр труби.

При подальшому зростанні долі рідини газові пробки зменшуються в розмірі, переходячи частково в дрібні газові пухирі. Виникає бульбашково-снарядна структура, яка потім переходить у бульбашкову. У вертикальній трубі бульбашки розподілені рівномірно по перерізу, а в горизонтальній вони рухаються у верхній частині.

При збільшенні долі газу в суміші маємо зворотну картину переходу від рідинного однофазного потоку до бульбашкової, бульбашково-снарядної і пробкової або снарядної структури. При подальшому збільшенні газозмісту в потоці, що супроводжується зазвичай збільшенням середньої швидкості газу, відбувається перехід від пробкової структури до розшарованої течії, спочатку з хвилями на межі розподілу фаз. Амплітуда цих хвиль зменшується у міру збільшення долі газу тим раніше, чим менша середня швидкість потоку, і поверхня розділу фаз стає гладко. Потім настає дисперсна структура і при повній відсутності рідини утворюється однофазний потік. У промислових трубопроводах найбільш поширена пробкова структура потоку.

## Висновки

1. Дослідження вимірювання витрат двофазних речовин показали відмінність у вимірюванні цих речовин від вимірювання однорідних речовин.

2. Структура двофазного потоку залежить від швидкості потоку, діаметру трубопроводу, його розташування в просторі і відсоткового вмісту тієї або іншої фази.

3. Особливості вимірювання двофазних речовин різко виражені для сумішей рідини з газом або паром.

## Список літератури

1. Беляев Д.В. *Тепловые методы и средства автоматического контроля расхода и состава веществ: учебник / Д.В. Беляев.* – М.: НИИГЭХИМ, 1978. – 55 с.
2. Поліщук Є.С. *Методи та засоби вимірювання неелектричних величин / Є.С. Поліщук.* – Л Техком, 2008. – 432 с.
3. Лачков В.И. *К вопросу о методах проверки расходомеров. Совершенствование расхода, регулирование и коммерческий учет энергоносителей: учебник / В.И. Лачков, О.Б. Чугунов.* – М.: Приборостроение, 2004. – 332 с.

Надійшла до редколегії 29.12.2015

Рецензент: д-р техн. наук, проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. Івана Кожедуба, Харків.

## ИЗМЕРЕНИЕ РАСХОДА ДВУХФАЗНЫХ ВЕЩЕСТВ

А.И. Андрущенко, Ю.И. Кушнерук

*Анализируются методы измерения расхода двухфазных веществ и погрешности при их эксплуатации.*

**Ключевые слова:** расходомер, вещество, структура, поток.

## MEASURING OF EXPENSE OF DIPHASIC MATTERS

A.I. Andrushchenko, Yu.I. Kusneruk

*The methods of measuring of expense of diphasic matters and error are analysed at their adaptation.*

**Keywords:** expensment, matter, structure, stream.