

УДК 681.121.84

Іван Крук, Олег Крук  
ГПУ "Львівгазвидобування"

## МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ ВИТРАТИ ВОЛОГОЇ ВОДЯНОЇ ПАРИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ МЕТОДУ ЗМІННОГО ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

© Крук Іван, Крук Олег, 2002

**In the article is given the method of calculation of flow of damp water vapor at flowmeter of variable of pressure differential on a standard diaphragm. The results can be used at creation of the programs that make design for flowmeters of damp water vapor.**

Масова витрата пари  $F_m$  визначається за рівнянням

$$F_m = \frac{\pi}{4} d^2 \alpha \varepsilon \sqrt{2 \Delta P \rho}, \text{ кг/с}, \quad (1)$$

у якому  $d$  – діаметр отвору діафрагми при вимірній температурі  $t$ ;  $\alpha$  – коефіцієнт витрати,  $\varepsilon$  – поправний множник на зміну густини  $\rho$  пари при проходженні її крізь діафрагму,  $\Delta P$  – вимірний перепад тиску на діафрагмі.

Діаметр  $d$  визначається як

$$d = d_{20} [1 + \alpha_{td} (t - t_0)], \quad (2)$$

де  $d_{20}$  – середній діаметр отвору діафрагми при температурі  $t_0$  ( $t_0 = 20^\circ \text{C}$ ),  $\alpha_{td}$  – середній коефіцієнт лінійного розширення матеріалу діафрагми. Для основних матеріалів і вказаного діапазону температур  $N_t$  значення коефіцієнтів  $\alpha_{td}$  наведені в таблиці [1].

### Середні значення коефіцієнтів лінійного розширення основних матеріалів діафрагми

№ з/п	Матеріал	$\alpha_{td} \times 10^7, ^\circ \text{C}^{-1}$	Діапазон температур $N_t, ^\circ \text{C}$
1	Ст.35, ст.40,	144	0...600
2	Ст.20, ст.25, 15ХМА, 15М, 20М	139	-30...600
3	X23H13, X18H25C2	167	20...600
4	1X18H9T, 1X18H10T, 12X18H10T	193	-30...900
5	X17, 12X17	121	-30...800 20...800
6	X17H2, 10X17H13M2T	115	-30...1000 20...600
7	X70M, X5M	131	-30...600 -30...700

Діаметр отвору  $d$  діафрагми визначають також і за рівнянням

$$d = D \sqrt{m}, \quad (3)$$

де  $D$  – внутрішній діаметр трубопроводу при вимірній температурі  $t$ , який за аналогією до (2) визначають за виразом

$$D = D_{20} [1 + \alpha_{tD} (t - t_0)], \quad (4)$$

у якому  $D_{20}$  – середній внутрішній діаметр трубопроводу при температурі  $t_0$ ;  $\alpha_{tD}$  – середній коефіцієнт лінійного розширення матеріалу трубопроводу, значення  $\alpha_{tD}$  відповідають значенням  $\alpha_{td}$  для матеріалу, що наведені в таблиці;  $m$  – відносна площа ( $m = d^2/D^2$ ).

Поправний множник  $\varepsilon$  сухої насиченої та перегрітої водяної пари визначають за рівнянням

$$\varepsilon = 1 - (0,41 + 0,35m^2) \frac{\Delta P}{P\chi}, \quad (5)$$

де  $P$  – абсолютний тиск пари;  $\chi$  – показник адиабати пари при тиску  $P$  і температурі  $T$  ( $T = t + 273,15$ ).

Для вологої водяної пари поправний множник  $\varepsilon_{ВП}$  визначають за відомими значеннями  $\varepsilon$  для сухої насиченої пари (5) і відносною вологістю  $\varphi$  водяної пари або ступенем сухості  $x$  водяної пари ( $\varphi = 1 - x$ ) згідно з формулою

$$\varepsilon_{ВП} = \varepsilon + \varphi(1 - \varepsilon); \quad (6)$$

або

$$\varepsilon_{ВП} = \varepsilon + (1 - x)(1 - \varepsilon). \quad (7)$$

При визначенні поправного множника  $\varepsilon$  для сухої насиченої пари, необхідно спочатку для виміряного значення абсолютного тиску  $P$  розрахувати температуру насичення  $t_{нас}$  [2]

$$t_{НАС} = 647,3 \sum_{i=1}^n a_i \left( -\ln \frac{P}{225,51} \right)^{n-1}, \quad (8)$$

де  $a_i$  – коефіцієнти апроксимації, значення яких наведені нижче

$$\begin{aligned} a_1 &= 2,5281 \times 10^{-4}; & a_7 &= 1,8473 \times 10^{-3}; \\ a_2 &= -1,5572 \times 10^{-8}; & a_8 &= -5,3820 \times 10^{-3}; \\ a_3 &= 4,1963 \times 10^{-7}; & a_9 &= 9,0052 \times 10^{-3}; \\ a_4 &= -6,5023 \times 10^{-6}; & a_{10} &= 4,6596 \times 10^{-3}; \\ a_5 &= 6,4067 \times 10^{-5}; & a_{11} &= -1,3026 \times 10^{-1}; \\ a_6 &= -4,1928 \times 10^{-4}; & a_{12} &= 5,7803 \times 10^{-1}. \end{aligned}$$

Після розрахунку  $t_{нас}$  визначаємо  $\chi$ , прийнявши  $t = t_{нас}$ .

Нами одержані апроксимуючі залежності показника  $\chi$  для сухої насиченої пари, у яких за базові значення  $\chi$  прийняті дані з [3, 4]:

за даними [3]

$$\chi = 1,33 - 0,7 \times 10^{-4} t + 3,6 \times 10^{-9} t^2 - 3,5 \times 10^{-9} t^3; \quad (9)$$

за даними [4]

$$\chi = -0,09 \exp(0,0021 t) + 1,42; \quad (10)$$

або

$$\chi = 1,33 - 0,2 \times 10^{-3} t - 2,24 \times 10^{-7} t^2. \quad (11)$$

Похибки залежностей (9), (10) і (11) при зміні температури  $t = t_{нас}$  від  $0^\circ\text{C}$  до  $100^\circ\text{C}$  відповідно становлять  $\pm 0,08\%$  для (9) і  $\pm 0,15\%$  для (10) і (11).

Густину  $\rho_{\text{ВП}}$  вологої водяної пари необхідно визначати із співвідношення:

$$\rho_{\text{ВП}} = \left[ (1 - \varphi) \frac{1}{\rho_{\text{снп}}} + \varphi \frac{1}{\rho_{\text{в}}} \right]^{-1}, \quad (12)$$

де  $\rho_{\text{снп}}$  і  $\rho_{\text{в}}$  – відповідно густини сухої насиченої пари та води.

Значення  $\rho_{\text{снп}}$  розраховують за даними таблиць додатка 6 [5] або за апроксимуючими залежностями [1, 6].

Густину води  $\rho_{\text{в}}$  визначають за даними таблиці додатка 8 [5] або апроксимуючими залежностями [1, формула (63)].

Динамічну в'язкість  $\mu_{\text{ВП}}$  вологої водяної пари визначають за формулою

$$\mu_{\text{ВП}} = \mu_{\text{в}}\varphi + \mu_{\text{снп}}(1 - \varphi), \quad (13)$$

де  $\mu_{\text{в}}$  і  $\mu_{\text{снп}}$  – динамічні в'язкості відповідно води та сухої насиченої пари.

Динамічну в'язкість води та сухої насиченої пари розраховують за графіками додатка 26 [5] або апроксимуючими залежностями [1, 7].

Слід акцентувати увагу на тому, що при визначенні густини  $\rho_{\text{снп}}$  і в'язкості  $\mu_{\text{снп}}$  за розрахункове значення температури  $t$  необхідно брати величину  $t = t_{\text{нас}}$ , яку попередньо треба визначати за вимірним абсолютним значенням тиску  $P$  згідно з рівнянням (8).

Коефіцієнт витрати  $\alpha$  для діафрагми визначають за методикою [5].

1. Пистун Е. П., Крук И.С. САПР – “Расходомер-2М”. Методические указания по эксплуатации системы автоматизированного расчета и проектирования оптимальных по точности измерения расходомеров переменного перепада давления. Львов, ЛПИ, 1989.
2. Руководящие указания. Тепловой расчет котельных агрегатов для ЕС ЭВМ. – Вып. 53. – Л., 1987.
3. Вуканович М. П. и др. Показатель адиабаты для перегретого водяного пара // Теплоэнергетика, 1968 .– № 10. – С. 66–69.
4. Колодный Д.П. Таблицы показателя адиабаты перегретого водяного пара // Теплоэнергетика. 1970. – № 5. – С. 84–85.
5. РД 50-213-80. Правила измерения расхода газов и жидкостей стандартными сужающими устройствами. Издательство стандартов, 1982 319 с.
6. Эксплуатационный циркуляр № Ц-06-84 (т). – М., 1984.
7. Лупей А. Г. Уравнения для определения теплофизических свойств воды и пара. Сб. Организация коммерческого учета энергоносителей. Часть 1. СПб.: 1995. – С.193–198.