

Водоструен подгревател за утилизация на отпадна топлина

Валентин Бобиллов, Пенчо Златев, Живко Колев, Пламен Мушаков

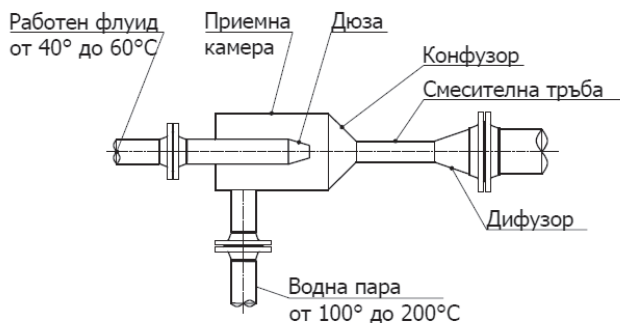
Water-jet heater for waste heat utilization: In this material general information and classification of the stream apparatuses have been considered. An attention to mixing water-stream heater used for utilization of waste water steam has been paid. Equations to determine the main characteristics of the water-stream heater have been examined. Experimental data from held research of such apparatus have been considered.

Key words: Water-jet Heater; Utilization; Waste Water Steam.

ВЪВЕДЕНИЕ

Струйните апарати са устройства, в които се осъществява процес на инжектиране на един флуид към друг флуид, заключаващ се в предаване на кинетична енергия чрез непосредствен контакт (смесване). Смесващите се флуиди могат да бъдат в едно и също агрегатно състояние или в различни агрегатни състояния (течност и газ). В процеса на смесване на двата флуида те могат да не си променят агрегатното състояние или да го променят (например газ да кондензира, смесвайки се с течност). Флуидът, който постъпва в процеса на смесване с по-голяма скорост на движение се нарича работен а този с по-малка скорост – инжектиран. Като правило в струйните апарати първоначално се осъществява процес на преобразуване на потенциална или топлинна енергия в кинетична енергия. В процеса на движение на двата флуида в проточната част на струйния апарат се осъществява изравняване на скоростите им и смесване. Следва процес на преобразуване на кинетичната енергия на вече смесения поток в потенциална или топлинна енергия [3].

На фиг.1 е показана принципна схема на водоструен подгревател.



Фиг.1. Принципна схема на водоструен подгревател

Работният поток (чрез работната дюза) и инжектираният поток постъпват в приемната камера на струйния апарат. В смесителната тръба скоростите на двата флуида се изравняват и те се смесват. В дифузора се осъществява процес на понижаване на скоростта и повишаване на налягането на вече смесения поток. Налягането на смесения поток на входа на дифузора е по-голямо от налягането на инжектирания флуид, постъпващ на входа на приемната камера [3].

ИЗЛОЖЕНИЕ

Струйните апарати (СА), макар и не масово, са намерили успешно приложение в промишлената топлотехника и топлоенергетика – директни топлофикационни абонатни станции (ТФАС), кондензационни уредби на ТЕЦ, отоплителни инсталации с трансзвукови подгреватели, пневмо- и хидро-транспортни уредби и т.н.

Съществува голямо разнообразие на СА, в зависимост от вида на работния и инжектирания поток, вида на агрегатните състояния и енергийните преобразувания на потоците (таблица 1). Независимо от това, поради общия принцип на работа процесите в тях могат да се опишат с помощта на обобщени уравнения, основаващи се на закона за запазване на енергията, масата и импулса [3].

Таблица 1. Видове струйни апарати

Група апарати	Състояние на взаимодействащите среди	Свойства на взаимодействащите среди	Степен на компресия, създадена от струйния апарат	Струйни апарати
Еднофазни	Работният и инжектираният флуид имат едно и също агрегатно състояние	Еластични среди	1,2 – 2,5	Газо- (паро-) струйни компресори
			> 2,5	Газо- (паро-) струйни ежектори
		< 1,2	Газо- (паро-) струйни инжектори	
		Нееластични среди	Без ограничение	Струйни помпи
Двухфазни	Работният и инжектираният флуид имат различни агрегатни състояния	Работният флуид е еластична среда; инжектираният флуид е нееластична среда	Без ограничение	Струйни апарати за пневмотранспорт
		Работният флуид е нееластична среда; инжектираният флуид е еластична среда	Без ограничение	Водовъздушни ежектори
		Работният флуид и инжектираният флуид са нееластични среди	Без ограничение	Струйни апарати за хидротранспорт
С изменение на фазата	Единият от двата флуида променя агрегатното си състояние	Работният флуид е еластична среда; инжектираният флуид е нееластична среда	Без ограничение	Пароводни инжектори
		Работният флуид е нееластична среда; инжектираният флуид е еластична среда	Без ограничение	Пароводни смесителни подгреватели

Определящ параметър на СА е коефициента на смесване (инжекция) - обмен или масов, характеризиращ отношението на обемния или масовия дебит на инжектирания и работния поток. Съвършенството (к.п.д.) на СА се определя посредством отношение на ексергийните разлики на смесения и инжектиран, работния и смесен поток, при даден коефициент на смесване [3]:

$$\eta = \mu \cdot \frac{e_c - e_i}{e_p - e_c}, \tag{1}$$

където: e_c , e_i и e_p са съответно специфичните ексергии на смесения, инжектирания и работния поток, kJ/kg;

μ – масов коефициент на смесване.

Изборът на конкретния вид СА и оразмеряването му обикновено се дава в специализираната техническа литература, в зависимост от конкретното му приложение в схемата на инсталацията [1, 2, 3].

Характеристичното уравнение на СА без промяна на агрегатното състояние обикновено има вида:

$$\frac{\Delta p_c}{\Delta p_p} = f\left(\frac{f_p}{f_{c.k.}}, u, \varphi_i\right), \quad (2)$$

където: Δp_c е падът на налягане, създаван от СА на изхода си, Pa;

Δp_p - пад на налягане на работната среда спрямо инжектирания флуид, Pa;

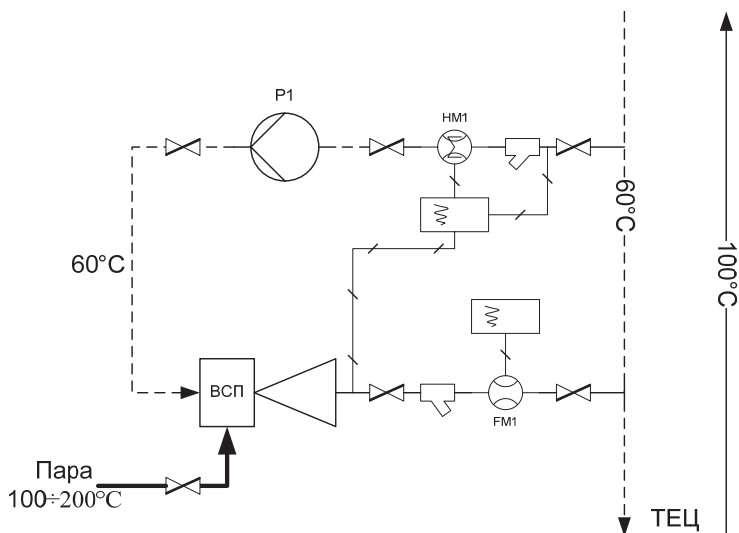
f_p - изходящо напречно сечение на дюзата, m^2 ;

$f_{c.k.}$ - напречно сечение на смесителната тръба, m^2 ;

u - коефициент на смесване (масов);

φ_i - скоростни коефициенти на дюзата, смесителната камера, дифузора и входящия участък на смесителната камера ($i=1 \div 4$) [2].

В настоящия доклад се разглежда принципна схема (фиг.2) на смесителен струен подгревател, предназначен за утилизация на отпадни количества водна пара, получени при екзотермичен химически процес.



Фиг.2. Принципна схема на присъединяване на водоструен подгревател към топлофикационната система

Предимството на този вид топлообменни апарати е високият коефициент на топлопредаване от кондензиращата наситена водна пара към топлофикационна вода от градската топлофикационна система (ТФС). Съгласно [3], този коефициент, отнесен към повърхността на цилиндрична смесителна камера има порядък 10^6 $kW/(m^2.K)$. Освен това струйният подгревател има несравнимо по-малки габарити от класическия блок „пароводен-водоводен кожухотръбен нагревател“.

Експерименталните резултати, получени при изследване на такова съоръжение в „Оргхим“ - Русе показаха, че при разход на работен флуид (топлофикационна мрежова вода) 50 l/s (180 t/h) е постигната топлинна мощност от порядъка на 9 MW,

при продължителен период на експлоатация.

Коефициентът на смесване (инжекция) [3], получен при изследвания водоструен подгревател е следния:

$$u = \frac{c \cdot \Delta t}{r} = \frac{4,19 \cdot 43}{2148} = 0,084, \quad (3)$$

където: $\Delta t = t_{\text{изх}} - t_{\text{вх}} = 93 - 50 = 43 \text{ } ^\circ\text{C}$;

$r = 2418 \text{ kJ/kg}$ за $p_n = 2,5 \text{ bar}$ (манометрично);

$t_{\text{изх}}$ и $t_{\text{вх}}$ – температури на водата на изхода и на входа на СА, $^\circ\text{C}$;

r – специфична топлина на кондензация на инжектираната пара, kJ/kg ;

p_n – налягане на насищане на инжектираната пара, bar .

Първоначалните експерименти бяха проведени при същия разход на работен флуид и ограничен разход на инжектирана пара ($p_n = 1,8 \text{ bar}$ (манометрично); $\dot{m}_n = 8500 \text{ kg/h}$; $\dot{Q}_T = 6 \text{ MW}$; $\Delta t \approx 29 \text{ } ^\circ\text{C}$; $u \approx 0,051$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Предимства на пароводния подгревател в сравнение с класическата схема „пароводен-водоводен подгревател“:

- По-малки инвестиционни разходи.
- По-малки габаритни размери.
- По-ниски разходи за експлоатация, ремонт, профилактика.
- Възможност за работа с отпадни количества пара, независимо от налягането и термодинамичното състояние.
- Много лесно отчитане на утилизираната топлина.
- Подобряване качеството на мрежовата вода (вносяне на чист кондензат).

2. Недостатъци:

- Високо ниво на шум при технологичния процес. Помещението следва да е самостоятелно, без продължителен престой на хора.
- Необходимост от подмяна на работната дюза през период от 7 – 8 месеца, поради износването ѝ при непрекъсната работа.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Лямаев, Б. Пароструйные насосы и установки. Машиностроение, Ленинград, 1988.
 [2] Соколов, Я. Теплофикация и тепловые сети. Энергоздат, Москва, 1982.
 [3] Соколов, Я., Н. Зингер. Струйные аппараты. Энергоатомиздат, Москва, 1989.

За контакти:

Доц. д-р Валентин Бобилев, катедра “Топлотехника, хидравлика и екология”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 844, e-mail: bobilov@uni-ruse.bg
 Гл. ас. д-р Пенчо Златев, катедра “Топлотехника, хидравлика и екология”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 303, e-mail: pzlatev@uni-ruse.bg
 Гл. ас. д-р Живко Колев, катедра “Топлотехника, хидравлика и екология”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 304, e-mail: zkolev@uni-ruse.bg
 Гл. ас. Пламен Мушаков, катедра “Топлотехника, хидравлика и екология”, Русенски университет “Ангел Кънчев”, тел.: 082-888 304, e-mail: pgm@uni-ruse.bg

Докладът е рецензиран.