

kohout 16 do polohy pro jímání ohřáté vody, kterou vypouštíme do zvažované nádoby o objemu 10 l. Po dobu jímání odečítáme střídavě teploty na obou teploměrech a zapisujeme je do tabulky podobné tab. 21. Po vyhoření 5 g kapalného paliva přepneme trojcestný kohout do polohy pro odtok do výlevky. Vodu v nádobě zvážíme na obchodních váhách.

Způsob vyhodnocení

Při stanovení spalného tepla a výhřevnosti topného plynu se doporučuje nejprve změřit a zapsat hodnoty stavových podmínek (nejlépe každou na samostatný řádek), a to: atmosférický tlak p_a , teplotu laboratoře t_1 , teplotu plynu t , odečtenou na plynoměru, a ji odpovídající absolutní teplotu T , tlak sytých vodních par p_s při teplotě odečtené na plynoměru, údaj h na manometru a jeho přepočtení na tlakovou diferenci Δp podle vzorce $\Delta p = h \rho g$, specifickou tepelnou kapacitu vody c_v a součinitel úměrnosti k_v pro přepočtení změřeného objemu plynu V při teplotě T a tlaku p na objem V_0 za normálních podmínek. Součinitel k_v vypočteme ze stavové rovnice

$$k_v = \frac{p T_0}{p_0 T} \quad (8.9)$$

Tlak suchého plynu zjistíme z uvedených veličin podle vzorce

$$p = p_a + \Delta p - p_s \quad (8.10)$$

a objem V_0 po vyčíslení součinitele k_v podle rovnice

$$V_0 = k_v V \quad (8.11)$$

Z hodnot vstupních a výstupních teplot t_1 a t_2 , uvedených v tabulce, vypočítáme průměrné hodnoty a z nich průměrný teplotní rozdíl Δt pro každé měření. Tento rozdíl použijeme k výpočtu spalného tepla podle rovnice (8.5). Zjištěnými hodnotami doplníme tabulku a vypočteme průměrnou hodnotu včetně chyby.

Výhřevnost vypočteme podle rovnice (8.6).

Při stanovení spalného tepla a výhřevnosti kapalného paliva nevzniká vodní kondenzát, neboť se spaliny vstupují do výměníku 10 velký nadbytek vzduchu, který není nasycen vlhkostí, protože je to technicky obtížné. Vlhkost obsažená v palivu a vlhkost vzniklá spálením tedy nezkondenzují, a ze změřených hodnot proto vypočteme výhřevnost podle rovnice (8.7). Spalné teplo můžeme vypočítat z rovnice (8.6), známe-li složení paliva.

KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Vyslovte definici spalného tepla a výhřevnosti.
2. Vysvětlete podstatu stanovení spalného tepla a výhřevnosti a odvodte vzorce pro jejich výpočet.
3. Které veličiny musíme měřit pro stanovení spalného tepla a výhřevnosti plyných a kapalných paliv?
4. Proč nemůžeme vypočítat výhřevnost kapalného paliva podle vzorce, který platí pro palivo plyné?
5. Proč se při energetickém hodnocení paliv používá vedle spalného tepla také výhřevnost? Kterou veličinu považujete z tohoto hlediska za důležitější a proč?
6. Vysvětlete možnost stanovení reakčního tepla ze spalného tepla výchozích látek a produktů reakce. Kterého zákona je při této variantě stanovení reakčního tepla využito?
7. Proč se nemá při měření, které je uvedeno v této úloze, používat voda z vodovodu, ale voda přibližně 20 °C teplá? Pokuste se zhodnotit velikost chyb, způsobených nedodržením tohoto požadavku, při měření s plyným a kapalným palivem.
8. Je metoda stanovení spalného tepla a výhřevnosti plyných paliv správná, dojde-li ke změně objemu při spalování?
9. Pokuste se vypočítat spalné teplo a výhřevnost např. vodíku, methanu, oxidu uhelnatého apod. z reakčního tepla jejich úplné oxidace.

8.4 TEPELNÁ BILANCE A STANOVENÍ SOUČINITELE PROSTUPU TEPLA JEDNODUCHÉHO TEPELNÉHO VÝMĚNÍKU

Úkol: Sestavte měřicí aparaturu, změřte veličiny pro výpočet tepelných bilancí a součinitele prostupu tepla jednoduchého výměníku a vypočítejte je.

Teoretický úvod

Tepelná bilance je vyjádřena rovnicí

$$\dot{Q} = \dot{m}_1 c_1 \Delta t_1 = \dot{m}_2 c_2 \Delta t_2 \quad (8.12)$$

kde \dot{Q} je tepelný tok výměníku, \dot{m}_1 – hmotnostní tok teplého proudu, c_1 – specifická tepelná kapacita teplého proudu, Δt_1 – rozdíl teplot na vstupu a výstupu teplého proudu, \dot{m}_2 – hmotnostní tok studeného proudu, c_2 – specifická tepelná kapacita studeného proudu, Δt_2 – rozdíl teplot na výstupu a vstupu studeného proudu.

Součinitel prostupu tepla k vypočteme podle rovnice

$$k = \frac{\dot{Q}}{S \Delta t_{stř}} \quad (8.13)$$

kde S je povrch trubky, na kterém dochází k prostupu tepla, Δt_{stf} – střední teplotní rozdíl mezi teplým a studeným proudem.

V praxi vztahujeme hodnoty součinitele prostupu tepla buď k vnějšímu povrchu S_1 , nebo k vnitřnímu povrchu S_2 . Pro jejich hodnoty platí vztah

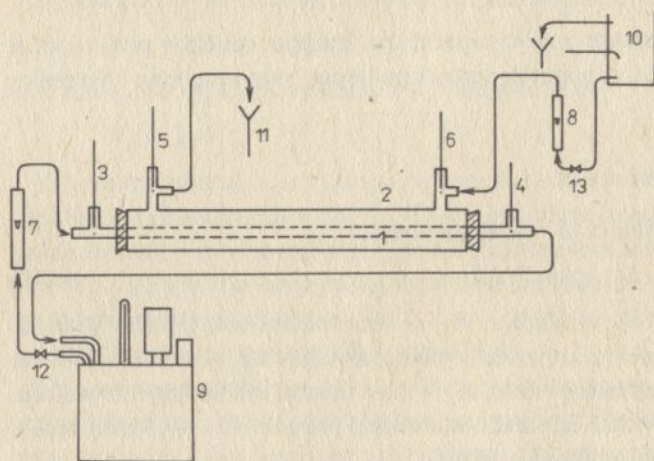
$$\frac{k_1}{k_2} = \frac{S_2}{S_1} \quad (8.14)$$

Příklad zadání úlohy

Vypočtete tepelný tok a součinitel prostupu tepla jednoduchého výměníku v souproutném nebo protiproudém uspořádání pro zvolené průtoky teplé a studené vody.

Koncepce a doporučení aparatury

Konstrukce výměníku musí umožňovat snadný výpočet teplosměnné plochy, měření průtoků teplého a studeného proudu a jejich teplot na vstupu a výstupu z výměníků. Zdrojem studeného proudu může být vodovodní voda protékající chladicí termostatickou lázní (např. vody s ledem). Teplým proudem může být kapalina protékající termostatickou lázní



Obr. 47. Jednoduchý výměník „trubka v trubce“
1 – kovová trubice, 2 – novodurový plášť, 3, 4, 5, 6 – mikroteploměry, 7, 8 – rotametry, 9 – ultratermostat, 10 – dekantační válec, 11 – výlevka, 12, 13 – regulační tlačky

vroucí vody. Teploty měříme běžnými kapalinovými nebo odporovými teploměry. Průtoky proudů měříme způsoby, které byly uvedeny dříve.

Jednoduchou aparaturu pro stanovení součinitele prostupu tepla sestavíme např. podle obr. 47. Její hlavní částí je výměník, tvořený kovovou trubicí 1 uloženou v pryžových zátkách v novodurovém plášti 2. Na kovovou trubici jsou proužkem pryžové hadice připojeny skleněné tvarovky T s mikroteploměry 3 a 4, jimiž měříme teploty teplého proudu na vstupu a výstupu. V novodurovém plášti jsou na jeho okrajích vyvrtány otvory, které se uzavírají pryžovými zátkami osazenými rovněž tvarovkami T s mikroteploměry 5 a 6 pro měření teplot na vstupu a výstupu chladného proudu.

Hmotnostní toky teplého a studeného proudu měříme rotametry 7 a 8. Zdrojem tepla pro ohřev teplého proudu bývá např. ultratermostat 9, kterým teplý proud cirkuluje, zdrojem chladného proudu bývá voda z vodovodu, přiváděná z dekantačního válce 10 s přepadem k zajištění rovnoměrného průtoku. Chladný proud ohřátý ve výměníku se odvádí do výlevky 11. Toky obou proudů se regulují tlačkami 12 a 13. Tvarovky T musí mít dostatečný průměr, aby voda dobře obtékala nádobky teploměrů, a musí být pečlivě izolovány (např. vatou).

Na schématu výměníku (obr. 47) je nakresleno jeho protiproudé uspořádání, které lze snadno přeměnit na souproutné. Rovněž můžeme vyměňovat trubice z různých kovů pro vedení teplého proudu a měnit průtoky měřené rotametry. Uvedené varianty ovlivňují tepelnou bilanci a hodnoty součinitelů prostupu tepla.

Doporučený postup při měření

Z možných uspořádání můžeme zvolit protiproudé a sestavit aparaturu podle obr. 47. Doporučuje se naplnit termostat vodou ohřátou na vstupní teplotu t'_1 , aby ohřev v termostatu netrval příliš dlouho. Místo termostatu můžeme zvolit lázeň vroucí vody, kterou cirkuluje teplý proud ve stočené trubce. Tlačkou 12 nastavíme konstantní tok teplého proudu, tlačkou 13 měníme tok studeného proudu. Oběma rotametry měříme průtoky a kontrolujeme jejich stálost. Objemové průtoky odečtené z kalibračních grafů přepočítáme na hmotnostní podle návodů přiložených k rotametrům. Hmotnostní průtoky můžeme kontrolovat jímáním vody (teplého proudu pro rozpojení okruhu) při konstantním údajích rotametry do odměrných válců po dobu měřené stopkami. Do vhodně rozvržené ta-

bulky (podle vzoru tabulky 22) zapíšeme výchozí zvolený průtok \dot{m}_1 teplého proudu a \dot{m}_2 studeného proudu a v minutových intervalech měříme teploty na všech teploměrech. Po ustálení teplot odečítáme a zapisujeme,

Tabulka 22. Hodnoty pro výpočet tepelné bilance a součinitele prostupu tepla výměníku

Číslo měření	t'_1 °C	t''_1 °C	Δt_1 K	\dot{m}_1 g s ⁻¹	\dot{Q}_1 W	t'_2 °C	t''_2 °C

$\frac{\Delta t_2}{K}$	$\frac{\dot{m}_2}{g s^{-1}}$	$\frac{\dot{Q}_2}{W}$	$\frac{\Delta t'}{K}$	$\frac{\Delta t''}{K}$	$\frac{\Delta t_{str}}{K}$	$\frac{\dot{Q}_{str}}{W}$	$\frac{k}{W m^{-2} K}$

rovněž v minutových intervalech, teploty t'_1 a t'_2 teplého a studeného proudu na straně vstupu a t''_1 a t''_2 na straně výstupu teplého a studeného proudu. Měření opakujeme pětkrát.

Pak změníme průtok studeného proudu, vyčkáme ustálení teplot a pokračujeme v měření a zápisu hodnot stejným způsobem, jak již bylo uvedeno. Průtok chladného proudu změníme aspoň pětkrát.

Způsob vyhodnocení

K výpočtu tepelného toku z bilance podle rovnice (8.12) vypočteme průměrné hodnoty teplot t'_1, t'_2, t''_1 a t''_2 , z nich střední teplotní rozdíly $\Delta t_1 = \bar{t}'_1 - \bar{t}''_1$ a $\Delta t_2 = \bar{t}''_2 - \bar{t}'_2$ teplého a studeného proudu a zapíšeme je do tabulky 22. Pak vypočteme podle rovnice (8.12) tepelný tok \dot{Q}_1 z teplého proudu a tepelný tok \dot{Q}_2 do studeného proudu, vypočteme z nich střední hodnotu \dot{Q}_{str} tepelného toku a všechny hodnoty zapíšeme rovněž do tabulky. Ze středních hodnot teplot pak vypočteme teplotní rozdíly proudů $\Delta t' = \bar{t}'_1 - \bar{t}''_2$ na straně vstupu teplého proudu a $\Delta t'' = \bar{t}''_1 - \bar{t}'_2$ na straně jeho výstupu a podle velikosti poměru $\Delta t'/\Delta t''$ vypočteme buď aritmetický,

nebo logaritmický střední teplotní rozdíl Δt_{str} . Všechny vypočtené hodnoty zapisujeme do tabulky.

Po skončení měření nebo před jeho zahájením změříme délku, vnější a vnitřní průměr kovové trubky výměníku a vypočteme buď její vnější, či vnitřní povrch (S_1 nebo S_2) podle toho, zda se rozhodneme počítat podle rovnice (8.13) hodnoty součinitele prostupu tepla k_1 vzhledem k vnějšímu, nebo k_2 vzhledem k vnitřnímu povrchu trubky. Vypočtené hodnoty součinitelů prostupu tepla zapíšeme do tabulky a závislost hodnot součinitele prostupu tepla na průtoku studeného proudu vyjádříme názorným grafem.

Stejným způsobem lze vyhodnotit závislost součinitele prostupu tepla na průtoku teplého proudu při konstantním průtoku studeného proudu. Obě uvedené varianty je možno zhodnotit také pro souproutné uspořádání.

KONTROLNÍ OTÁZKY

1. Nakreslete schéma jednoduchého výměníku a) v souproutném uspořádání, b) v protiproudém uspořádání a vyznačte na něm měřené veličiny pro výpočet tepelné bilance a součinitele prostupu tepla.
2. Uveďte pravidla pro výpočet středních hodnot dvou veličin, podle kterých je možno nahradit výpočet logaritmické střední hodnoty výpočtem aritmetické střední hodnoty. Uveďte výrazy pro jejich výpočet.
3. Jak závisí součinitel prostupu tepla na součinitelích přestupu tepla vedením a prouděním? Odvoďte příslušné výrazy.
4. Jak vysvětlíte rozdíly vypočtených hodnot tepelných toků \dot{Q}_1 a \dot{Q}_2 ? Zdůvodněte, proč vypočítáváme jejich průměrnou hodnotu \dot{Q}_{str} .
5. Jak odvodíte vztah mezi hodnotami součinitelů prostupu tepla vzhledem k vnější a vnitřní ploše a mezi velikostmi těchto ploch? Kterou rovnici zvolíte jako výchozí?