

**ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЫМОТВОДЯЩЕГО СОПЛА
ПРОМЫШЛЕННОГО УНИФИЦИРОВАННОГО РЕКУПЕРАТОРА
«СИЛАЛ» М-I 115×460×860-05 И «СИЛАЛ» М-II 230×460×860-1,0**

Докт. техн. наук, проф. **НЕСЕНЧУК А. П.**, канд. техн. наук **РЫЖОВА Т. В.**,
магистр техн. наук **ШИДЛОВСКИЙ В. В.**, инж. **ШКЛОВЧИК Д. И.**,
магистр техн. наук **КОВАЛЕВ С. С.**

*Белорусский национальный технический университет,
ОАО «Минский автомобильный завод»,
УП «Авторемпромпроект»*

Ущерб от загрязнения рабочей зоны, предусмотренной для обслуживания расположенного в цехе промышленного предприятия оборудования, можно существенно сократить, увеличив площадь рассеивания. Промышленные печи являются серьезными загрязнителями рабочей зоны в цехах (участках) заготовительного и механосборочного производств машиностроительных и автотракторных предприятий. Эти печи являются огнетехническими установками, служащими для нагрева и термообработки металлических изделий и заготовок под операцию горячего формообразования и термической обработки. Нагрев происходит в атмосфере продуктов сгорания органического топлива. Дымовые газы, содержащие СО и NO_x, через рекуператор сбрасываются в рабочую зону подкранового пространства, загрязняя ее. Концентрация загрязняющих выбросов может быть существенно снижена, если рекуператор (устройство для регенеративного теплоиспользования тепловых отходов – продуктов сгорания органического топлива) будет оснащен дозвуковым суживающимся дымоотводящим зонтом (соплом) (рис. 1).

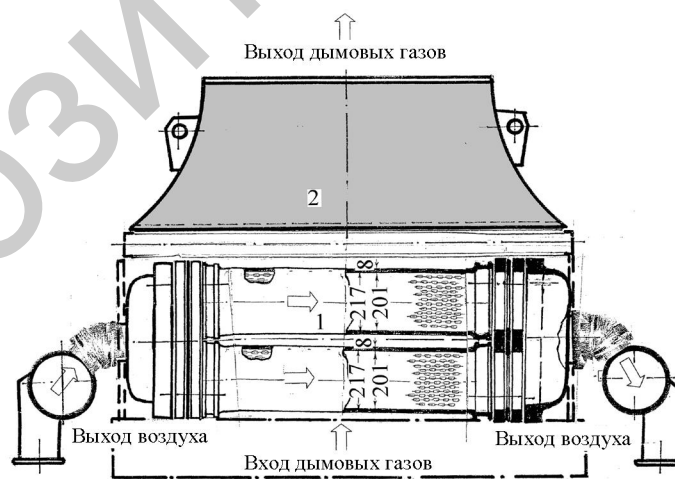


Рис. 1. Промышленный рекуператор, предлагаемый к внедрению в высокотемпературных теплотехнологиях заготовительного и механосборочного производств заводов республики (в сборе): 1 – поверхность теплообмена; 2 – дымоотводящее сопло

Как видно из рис. 1, рекуператор промышленной печи состоит из поверхности теплообмена и суживающегося сопла (затемненная часть рисунка), призванного отводить продукты сгорания в подкрановое пространство зоны обслуживания печи. Рекуператор, обладая высоким гидравлическим сопротивлением, на выходе имеет скорость газов на уровне 0,5–1,5 м/с, что и обуславливает слабое рассеивание и, как следствие, сильное загрязнение атмосферы цеха.

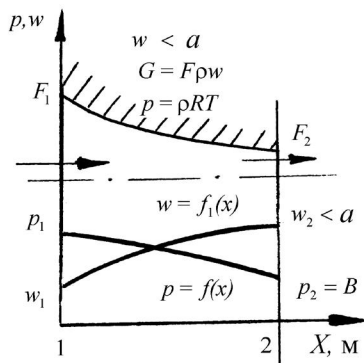


Рис. 2. Процесс движения продуктов сгорания в суживающемся сопле, установленном на рекуператоре промышленной печи

С целью увеличения скорости выхода дымовых газов (теплотехнологии машиностроительного и автотракторного производств) разработанный авторами промышленный рекуператор (рис. 1) предусматривает в верхней своей части такое дозвуковое сопло. Распределение давления и скорости при истечении представлено на рис. 2.

Очевидно, что движение (рис. 2) дымовых газов в канале происходит за счет перепада давлений $\Delta p = p_1 - p_2$ ($p_2 = B$), который рассчитывается по соотношениям, записанным для определения самотяги, обусловленной разницей плотностей атмосферного воздуха $\rho_{\text{в}}^t$ и продуктов сгорания $\rho_{\text{д.г.}}^t$.

Приступая к расчету сопла (определение скорости w_2 на выходе), вначале выполняют оценку режима течения в сопле (истечение идеального газа из сосуда неограниченной емкости через суживающееся сопло). При этом в качестве исходных данных могут быть использованы данные табл. 1 (величины взяты для конкретного случая работы нагревательной печи).

Таблица 1

Исходные данные для оценки режима движения газов в сопле

Наименование величины	Обозначение	Размерность	Величина
Температура дыма на входе в сопло	$t_{\text{д.г.}}$	°С	650
Скорость дыма на входе	w_1	м/с	1,5
Давление во входном сечении сопла	p_1	мм Н ₂ О	$10 \cdot 10^3$
Давление в выходном сечении	p_2	мм Н ₂ О	$9,99 \cdot 10^3$
Падение давления в патрубке (оценивается по формулам для режима самотяги)	Δp	мм Н ₂ О	10; 5 и 1

Определение скорости продуктов сгорания на входе в атмосферу цеха (выходное сечение суживающегося дозвукового сопла) выполняем для вариантов, когда Δp принимает значения 1; 5 и 10 мм Н₂О. Результаты расчета сводим в табл. 2.

Таблица 2

Результаты расчета дозвукового суживающегося дымоотводящего сопла

Наименование величины	Обозначение и формула для расчета	Размерность	Перепад давления $f\Delta p$, мм H ₂ O			Значение
			10	5	1	
Состав продуктов сгорания						
• Азот:	V_{N_2}					
молярная масса	μ_{N_2}	кг/кмоль	28,15	28,15	28,15	28,15
% объемные	$V_{N_2\%}$	%	69,36	69,36	69,36	69,36
• Трехатомные газы:	V_{RO_2}					
молярная масса	μ_{RO_2}	кг/кмоль	44,11	44,11	44,11	44,11
% объемные	$V_{RO_2\%}$	%	9,09	9,09	9,09	9,09
• Водяные пары:	V_{H_2O}					
молярная масса	μ_{H_2O}	кг/кмоль	18,16	18,16	18,16	18,16
% объемные	$V_{H_2O\%}$	%	21,19	21,19	21,19	21,19
• Кислород:	V_{O_2}					
молярная масса	μ_{O_2}	кг/кмоль	32	32	32	32
% объемные	$V_{O_2\%}$	%	0,36	0,36	0,36	0,36
Суммарный объем продуктов сгорания	$\sum V$	м ³ /м ³				10,83
Плотность продуктов сгорания при нормальных условиях	$\rho_{д.г}$	кг/м ³	1,226	1,226	1,226	1,226
Молярная масса продуктов сгорания	$\mu_{д.г} = \sum_{i=1}^n r_i \mu_i$	кг/кмоль	27,46	27,46	27,46	27,46
Газовая постоянная продуктов сгорания	$R_{д.г} = \frac{R_\mu}{\mu_{д.г}}$ $R_\mu = 8314$	Дж/(кг·К)	302,8	302,8	302,8	302,8
Объемная изобарная теплоемкость продуктов сгорания (при $t_{д.г} = 650$ °С)	$c'_{р.д.г} = \sum c'_{р.и} r_i$	кДж/(м ³ ·К)	1,469	1,469	1,469	1,469
Массовая изобарная теплоемкость продуктов сгорания	$c_{р.д.г} = c'_{р.д.г} / \rho_{д.г}$	Дж/(кг·К)	1,194	1,194	1,194	1,194
Удельная объемная энтальпия продуктов сгорания	$h_{д.г} = c'_{р.д.г} t_{д.г}$	кДж/м ³	955	955	955	955
Показатель адиабаты продуктов сгорания	k		1,338	1,338	1,338	1,338
Местная скорость звука	$c_{р.д.г} = \frac{kR_{д.г}}{k-1}$	м/с	612	612	612	612
Число M во входном сечении сопла	$1 + M^2 \frac{k-1}{k} = \frac{T_0}{T_{д.г}}$		0,0025	0,0025	0,0025	0,0025

Наименование величины	Обозначение и формула для расчета	Размерность	Перепад давления $f\Delta p$, мм Н ₂ О			Значение
			10	5	1	
Состав продуктов сгорания						
Температура торможения		К	923,2	923,2	923,2	923,2
Отношение давлений в выходном и входном сечениях сопла	$\pi = p_2/p_1$		0,9990	0,9990	0,9990	
Критическое отношение давлений	$\pi_{кр} = \left(\frac{2}{k-1}\right)^{\frac{k}{k-1}}$		0,539	0,539	0,539	0,539
Критическая скорость потока	$a_{кр} = \sqrt{2R_{дг}T_0 \frac{k}{k+1}}$	м/с	566	566	566	566
Число λ	$\left(1 - \lambda^2 \frac{k-1}{k+1}\right)^{\frac{k}{k-1}} = \frac{p_2}{p_1}$		0,042	0,0296	0,0132	
Скорость потока в сечении 2 сопла (рис. 2)	$w_2 = \lambda a_{кр} \varphi$	м/с	21,3	15,1	6,7	
Выходное сечение сопла (на 1 м ³ природного газа при общем расходе на печь 100 м ³ /ч)	f_2	м ²	1,780	2,517	5,626	
Площадь входного сечения сопла	F_2	м ²	0,516	0,516	0,516	
Размеры входного сечения		мм	860/800	860/800	860/800	

По результатам расчета построена зависимость $w_2 = f(\Delta p)$ (рис. 3).

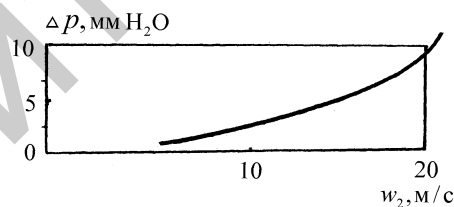


Рис. 3. Значение скорости в выходном сечении сопла ($w_2 = f(\Delta p)$)

ВЫВОД

Расчет суживающегося дозвукового сопла выполняется в соответствии с рис. 2, на котором представлены распределения давления и скорости продуктов сгорания по длине канала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Техническая термодинамика: учеб.: в 2 ч. – Ч. 1. / Б. М. Хрусталеv [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 487 с.
2. Техническая термодинамика: учеб.: в 2 ч. – Ч. 2. / Б. М. Хрусталеv [и др.]. – Минск: УП «Технопринт», 2004. – 560 с.

Представлена кафедрой ПТЭ и ТТ

Поступила 11.11.2009