

УДК 697.34

В. Д. РЫЖИКОВА

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК БЫТОВЫХ ВОДОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Рассматривается задача оптимизации температуры воздуха, поступающего в проточные газовые водонагреватели, обеспечивающая предотвращение отложения сажи на радиаторе и не приводящая к повышенным потерям теплоты в окружающую среду.

газовые водонагреватели, сажа, радиатор

Формулировка проблемы. В нашей стране основное количество нагретой воды, используемой для бытовых целей, получается за счет использования водонагревателей. Используемые водонагреватели разделяются на два принципиально отличающиеся типа — проточные и емкостные. Емкостные водонагреватели отличаются громоздкостью, инерционностью и постепенно заменяются проточными.

Анализ последних исследований. Проточные водонагреватели начали широко использоваться в бывшем СССР со середины прошлого века. В Украине проточные водонагреватели выпускаются на Львовском и Мариупольском заводах. На рис. 1 показан бытовой водонагреватель, который с

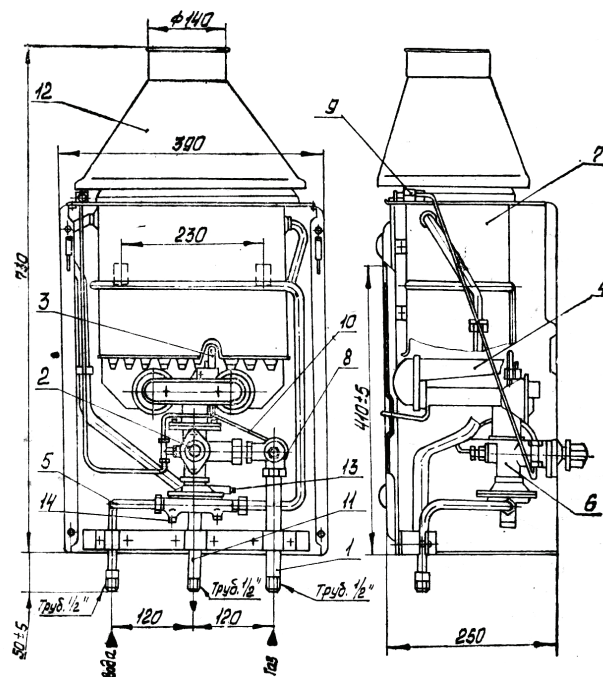


Рисунок 1. Проточный газовый водонагреватель: 1 — газопровод; 2 — кран газовый; 3 — горелка запальная; 4 — горелка основная; 5 — патрубок холодной воды; 6 — блок водогазовый с форсункой; 7 — теплообменник; 8 — электромагнитный клапан; 9 — датчик тяги; 10 — терморпара; 11 — патрубок горячей воды; 12 — устройство газоотводящее; 13, 14 — винт регулировочный.

© В. Д. Рыжикова, 2009

некоторыми изменениями широко используется в России и Украине. Основные показатели водонагревателей, которые выпускаются в Украине и России приведены, в табл. 1.

Особенностью водонагревателей, разработанных в России и Украине, является их достаточно высокая металлоемкость, низкая оснащенность автоматикой горения, невысокий КПД и низкие экологические показатели. Для сравнения в табл. 2 приведены характеристики водонагревателей производства зарубежных фирм.

Несмотря на низкую массу выбросов токсичных компонентов (в среднем 1,2 кг/год оксида углерода и 3,9 кг/год оксидов азота), большое количество нагревателей создает значительный неблагоприятный фон загрязнителей в атмосфере.

Изложение основного материала исследований. Сжигание газа в водонагревателях осуществляется с использованием инжекционных щелевых грелок низкого давления, работающих с избытком воздуха $\alpha < 1,0$. "Дожигание" – доокисление продуктов горения газа осуществляется за счет вторичного воздуха, который поступает снизу через щели между распределительными патрубками горелки и между горелкой и стенками топочной камеры.

Полнота сжигания газа зависит от интенсивности процесса горения и степени разбавления высокотемпературных продуктов горения, подсосываемых холодным воздухом.

Таблица 1. Проточные водонагреватели производства Украины и России для горячего водоснабжения

Тип и модель аппарата	Тепловая мощность, кВт	Расход и т-ра горячей воды.		Металлоемкость, кг/кВт	КПД, %	Содержание		Изготовители
		л/мин	град			NO _x , мг/м ³	CO, % об	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ВПГ-18-1-3-П	21,0	5,4	55	0,95	82,0	180	0,004	ПО «Газмашаппарат», Львовский завод газовой аппаратуры
ВПГ-18	21,0	5,4	55	0,95	82,0	180	0,004	Авиационный ПП (г.Кумертау). Нижегородский ЗГА, Россия
ВПГ-20	23,2	5,8	55	0,92	82,0			АО «Тула-Чермет + АО «Ванадий», з-д «Азовмаш», Брянский механический з-д. Казанский Вертолетный з-д, Россия
ВПГ-23, мод 3293	25,0	6,07	55	1,6	73,0		0,05	Перевелецкий механический з-д, Арамавирский ЗГА, АО «Газаппарат» (СПб), Машиностроительный з-д (г.Благодарный Ставропольского края), Россия
ВПГ-23 М (3209)	23,0	8,1	45	1,9				
ВПГ-25	30,0	6,3	55	0,83	83,0		0,05	АО «Красный гидропресс» (г. Таганрог)
ВПГ-19	22,0		55	-	82,0		0,05	Нижегородский ЗГА
НЕВА 3001	9,0	2,6	55	0,8	80,0	-	-	АО «Газаппарат»(СПб), Россия + фирма «Мерлони» (Италия)
НЕВА 3208-01	23,0	6,2	55		73,0	220	0,055	

Таблица 2. Проточные водонагреватели зарубежного производства для горячего водоснабжения

№ №	Тип и модель аппарата	Тепло вая мощ- ность кВт	Расход и т-ра горячей воды.		Металло- емкость, кг/кВт	КПД, %	Конструктивные особенности изготовителя и наличие разрешения ГОСГОРТЕХНАДЗОРА
			л/мин	град			
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Vaillant Geyser MAG 125XW						Vaillant GmbH & Co (Remscheid, Germany). Разрешение №03- 35/137 16.06.94
2	MAG 350XW	24,4	11,7/7,0	40/60	0,573	87,0	
3	MAG 400XW	17,9	13,5/8,0	40/60	0,10	-	
4	Junkers W 115	8,7	5,0	35	0,920	85,0	Junkers (Norman Germany). Оснащены автоматическим регулятором расхода тепловой воды
5	WR 21 S-1 K	13,5	11,1/5,0	-	0,677	86,0	
6	WR 350-1 K	24,4	14,0/7,0	35/60	0,573	86,0	
7	WR 400-1 K	27,9	16,0/6,0	35/60	0,574	86,0	
8	WR 250-1 A	17,4	10,0/5,0	35/60	0,565	86,0	
9	WR 325-1 A	22,4	13,0/6,5	-	0,715	86,0	
10	BAYARD STAR	17,4	10,0/5,0	35,60		86,0	Shafföteaux et Maury (Italia)
11	10 CF-PV _c	22,7	13,0/6,5	35/60		86,0	
12	13 CF-PV _c 16 CF-PV _c	27,8	16,0/8,0	35/60		86,0	
13	SYLBER 125 P (125 SP)	10,5	5,0/2,5	40/65	-	82,8	SILVER LAVORAZIONE LAM IE RE (Milano, Italia)
14	DEVYL 250	17,4	10,0/5,0	40/65		87,4	
15	250P 1 W	20,9	10,0/5,0	40/65		83,3	
16	UNYC 250	20,9	10,0/5,0	40/65		83,4	
17	MULTYC 250	20,9	10,0/6,3	40/65	-	83,2	
18	Master 325	22,7	13,0/6,5	40/65	-	84,1	
19	UNYC 325	22,7	13,0/6,5	40/65	-	84,2	
20	MULTYC 325	22,7	9,2	55		81,4	
21	SIEMENS DH	12,0	6,54,4	38/50			Аппараты обеспечиваются термостатическим смесительным
22	1200	18,0	9,8/6,7	38/50			
23	DK 1800 BOSH-24	24,4	11,0/7,	38/60	0,575		

Скорость выгорания газозвушной смеси, поступающей после инжекционной горелки, зависит от соотношения в смеси окислитель-газ, характеризуемого избытком воздуха α , времени необходимого для подогрева смеси до температуры воспламенения $t_{\text{под}}$ и времени реакции газа и кислорода воздуха τ_p .

При горении газозвушной смеси образуются две зоны пламени: внутренний конус непосредственно над горелочными отверстиями и наружный, расположенный поверх внутреннего. Горение во внутренней и внешней зонах пламени происходит по разным механизмам.

Коэффициент избытка воздуха в инжекционных горелках может колебаться от 40 до 100 % от необходимого стехиометрического количества.

Качественное сжигание газа в водонагревателе влияет на расход газа, выброс продукта недожога - окиси углерода и на возможность отложения сажи на радиаторе. Сажа обладает весьма низкой теплопроводностью. Ее отложение вызывает перерасход газа для достижения требуемой температуры подогрева воды. На рис. 2 показано уменьшение интенсивности отвода тепла от продуктов

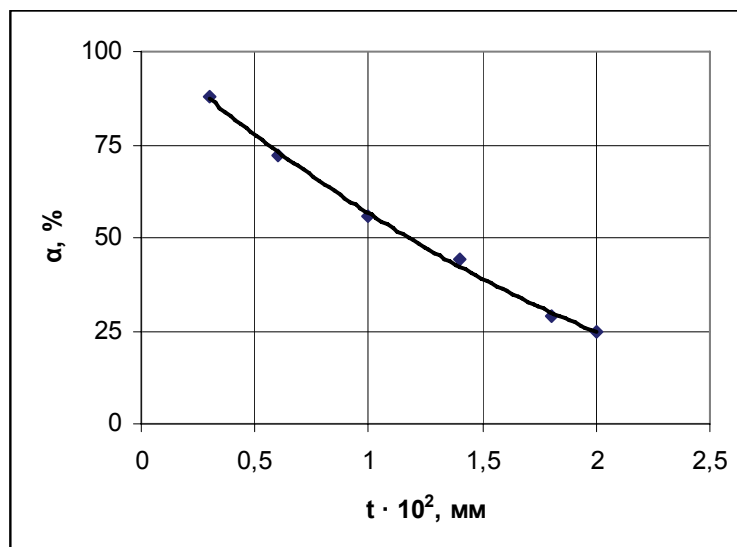


Рисунок 2. Зависимость тепловосприятости от толщины отложений сажи.

горения природного газа в зависимости от толщины отложений сажи.

Горение газа во внутренней зоне пламени подчиняется законам кинетики гомофазных реакций [4] и протекает с высокой интенсивностью. Горение газа во внешнем конусе подчиняется законам молекулярной диффузии газа и воздуха в зону горения. Учитывая это, скорость выгорания газа во внешнем конусе пламени зависит от скорости образования смеси. Сгорание газа в этой зоне в водонагревателях происходит в весьма неблагоприятных условиях, что вызвано поступлением холодного вторичного воздуха, охлаждающего внешнюю зону горения и замедляющего процесс окисления газа.

Полнота сжигания газа в водонагревателях влияет не только на эффективность использования тепла, но и на безопасность эксплуатации водонагревателя. Полнота сгорания необходима также для исключения попадания продуктов горения в помещение. Последнее может быть обусловлено за счет недостаточного разрежения в дымоходе и образования в топочной камере водонагревателя избыточного давления продуктов сгорания газа. В результате этого уменьшаются количество воздуха, подсаваемого в зону горения, и увеличивается концентрация недожога газа.

При недостатке кислорода, обусловленном неполнотой смешения из-за ограниченности топочной камеры, и при недостаточной тяге во внешней зоне горения происходит термическое разложение (термолиз) метана на углерод и водород. Это может проявляться и во внутреннем конусе горения, что свидетельствует об общем недостатке воздуха. В обоих случаях в результате увеличения концентрации несгоревшего углерода (сажи) появляется свечение пламени.

Сажа откладывается на охлаждаемых поверхностях и вызывает как указанный выше пережог топлива, так и ухудшение тяги. Последнее явление при недостатке тяги постепенно усиливается, так как повышенное давление продуктов горения в водонагревателе, обусловленное причинами вне водонагревателя, добавляются и внутренние причины — увеличение аэродинамического сопротивления радиатора водонагревателя.

Горение атомарного углерода в зоне горения происходит по гетерогенному механизму. Этот процесс является значительно более медленным по сравнению с гомофазным. В результате этого пламя удлиняется и захлаживается. Происходит отложение несгоревшей сажи в радиаторе с появлением описанных выше нарушений процесса горения в водонагревателе.

Улучшение условий горения может быть достигнуто за счет предварительного подогрева вторичного воздуха. Такое решение используется в некоторых зарубежных водонагревателях, в которых используют регенеративный подогрев воздуха продуктами сгорания газа.

Согласно основному закону теплопроводности — закону Фурье, вектор плотности теплового потока, который определяет тепловую нагрузку водонагревателя, пропорционален градиенту температуры между факелом и тепловоспринимающими поверхностями.

$$q = \lambda \cdot \text{grad } T, \quad (1)$$

Таблица 3. Коэффициенты теплопроводности газов и материалов при разных температурах, λ Вт/(м·К).

Газы						
Компонент	Температура					
	300	400	500	600	800	1000
N ₂	43	48,4	53,5	58,4	68,6	79,6
O ₂	45,6	51,3	57,4	63,4	74,5	85,7
CO ₂	40,7	48,0	54,9	61,3	73,6	85,4
Материалы						
Компонент	Температура					
	0	100	200	300	400	
Латунь: 59 Cu, 36 Zn, 3 Ni, 2 Ni	81	93	106	119	132	
Латунь: 58 Cu, 40 Zn, 2 Mn	67	78	88	97	106	
Сталь 40	-	-	-	48,1	47,7	

где λ – коэффициент теплопроводности, характеризующий способность вещества проводить теплоту.

Исследование влияния температуры факела на тепловую нагрузку водонагревателя показали, что характер изменения нагрузки от температуры имеет вид вытянутого S (рис. 3). Это обусловлено следующими причинами. Кроме изменения объема газов и увеличения числа Nu как безразмерного потока тепла к воде [1, 2] для ламинарного потока

$$Nu = 0,322 \cdot Pr^{0,33} \cdot Re^{0,5}. \quad (2)$$

На тепловой поток влияет изменение λ как для газов, так и для конструкционных материалов латуни и стали.

В таблице 3 представлены данные изменения λ от температуры для N₂, O₂, CO₂, латуни и стали 40 [3].

Как видно из представленных данных, коэффициент теплопроводности газов и латуней существенно увеличивается с ростом температуры, что создает дополнительный вклад (помимо изменения градиента температуры) в изменение теплового потока и, соответственно, нагрузки водонагревателя.

Температура стенки водонагревателя имеет существенное значение с точки зрения выбора типа конструкционных материалов и условий эксплуатации. Этот показатель описывается характерным уравнением температурного поля плоской стенки. При этом безразмерная температура стенки

$$\Theta = \frac{t - t_e}{t - t_g} \text{ зависит от безразмерной координаты } \xi = \frac{l - \bar{l}}{\Sigma l} \text{ и числа Био } Bi = \frac{\alpha l}{\lambda}, \text{ где } l - \text{ координата; } \bar{l},$$

Σl – средний и общий линейный размер стенки в пределах изменения температуры; λ и α – коэффициенты теплопроводности и температуропроводности материала стенки; t , \bar{t} , t_a – соответственно, текущая и средняя температуры боковой стенки водонагревателя и температура воздуха, °С.

Измерения, выполненные при нагрузке водонагревателя 20 кВт показали, что "размах" изменения температурного поля составляет 160 мм. При этом изменение температуры стенки по высоте водонагревателя описывается уравнением

$$\Theta = \frac{t - t_e}{t - t_g} = 1,34 \cdot 10^{-2} \operatorname{arctg} \frac{l - \bar{l}}{\Sigma l} + 0,86, \quad (3)$$

с коэффициентом корреляции $R^2 = 0,95$.

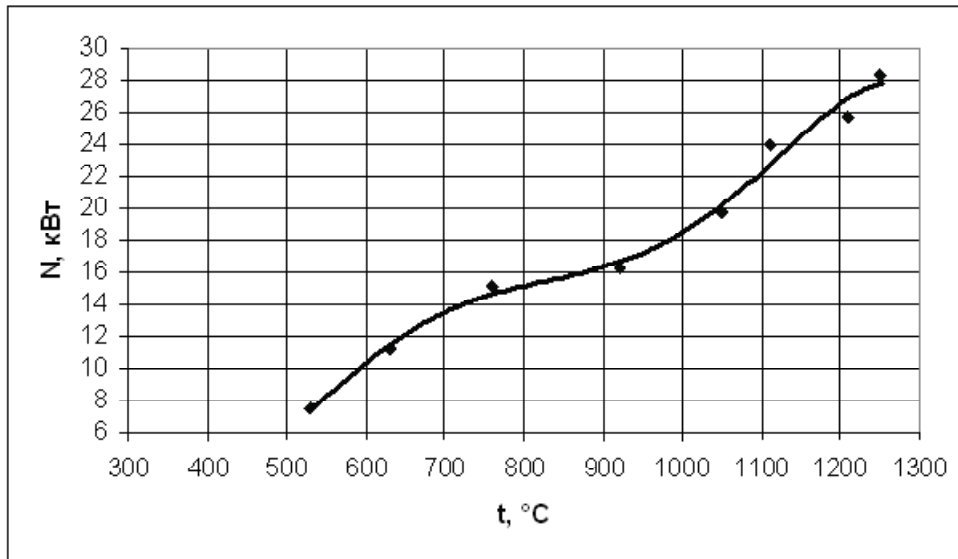


Рисунок 3. Зависимость нагрузки водонагревателя от температуры в зоне горения.

Выводы.

1. Выполнен анализ процессов горения природного газа в бытовых водонагревателях.
2. Показано, что изменение тепловой нагрузки водонагревателя от температуры имеет вид S-образной кривой. На основании анализа изменения коэффициента теплопроводности газов и материалов объяснен характер кривой.
3. Определены параметры температурного поля боковых стенок водонагревателя, что важно для выбора конструкционных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Повх И. Л. Аэродинамический эксперимент в машиностроении. – Л.: Машиностроение, 1974. – 480 с.
2. Ф. В. Недопекин. Тепломассоперенос. – Донецк: ДонНУ, 2007. – 174 с.
3. Тепло и массообмен. Теплотехнический эксперимент. Справочник // Под ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. – Москва: Энергоиздат. – 510 с.
4. Э.А. Молвин-Хьюз. Физическая химия. – М.: Изд-во иностр. лит., 1962. – 1148 с.
5. Котел "АТЕМ". Секреты технологий. Инф. материалы Украинско-немецкого предприятия Atem-Frank. Житомир. www.atem.zhitomir.net

В. Д. РИЖИКОВА
ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПОБУТОВИХ
ВОДОНАГРІВАЧІВ

Донбаська національна академія будівництва і архітектури

Розглядається задача оптимізації температури повітря, що надходить до проточних газових водонагрівачів, яка забезпечує запобігання відкладення сажі на радіаторі і не приводить до підвищених втрат теплоти в навколишнє середовище.

газові водонагрівачі, сажа, радіатор

V. D. RIZHIKOVA
RESEARCH OF TECHNICAL FEATURES OF DOMESTIC WATER HEATERS
Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The problem of air the temperature optimization entering flowing gas water heaters is considered, which provides preventing soot formation on the radiator and is not result of increasing loss water to the environment.
gas water heaters, soot, radiator

Рижикова Вікторія Дмитрівна — магістр, аспірант кафедри "Теплотехніка, теплогазопостачання і вентиляція" Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: енергоресурсозбереження.

Рыжикова Виктория Дмитриевна — магістр, аспірант кафедри "Теплотехника, теплогазоснабжение и вентиляция" Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: энергоресурсосбережения

Rizhikova Viktoria Dmytrievna — master's the "Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation", Chair the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: energy resource savings.