УДК 697.243.56 DOI: 10.22227/1997-0935.2018.11.1296-1304

Анализ тепловых потерь в бытовых печах. Реальный КПД печи

В.В. Шевяков
независимый исследователь

АННОТАЦИЯ
Введение. Представлен подход к разработке рекомендаций по выбору режимов работы печи и ее конструктивных параметров. Эффективность бытовой печи — довольно широкое понятие, под которым подразумевается равномерность нагрева поверхностей печи, теплоотдачи по времени и т.п. Рассмотрим технический показатель — способность печи получать тепло от сгорающих дров и передавать его в помещение с минимальными потерями. Работа любой печи является циклической. Каждый цикл состоит из двух частей: накапливание тепла и его отдача в обогреваемое помещение. Режим топки печи характеризуется коэффициентом полезного действия (КПД). Не все тепло, оставшееся в печи, передается в помещение. Часть его уходит в фундамент и через задвижки в трубу. Даны оценка тепловых потерь и количества окиси углерода в бытовой печи и рекомендации по их снижению.
Материалы и методы. Рассмотрены аналитические выражения для расчета тепловых потерь и количества окиси углерода в зависимости от коэффициента избытка воздуха для бытовой печи.
Результаты. Представлены рекомендации по выбору режимов работы печи и ее конструктивных параметров на основе результатов исследования.
Выводы. При проектировании бытовых печей можно воспользоваться результатами проведенной автором аналитической работы.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бытовые печи, колосниковые и подовые топки, испытание печей, тепловые потери, измерение концентрации окиси углерода, эффективность (КПД) печи

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: *Шевяков В.В.* Анализ тепловых потерь в бытовых печах. Реальный КПД печи // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 11. С. 1296–1304. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.11.1296-1304

Analysis of heat losses in stoves. The real efficiency of the furnace

Vladimir V. Shevyakov
Independent researcher

ABSTRACT
Introduction. An approach to the development of recommendations on the choice of operating modes of the furnace and of its design parameters is presented. Efficiency of a household stove is a rather broad concept by which the uniform heating of stove surfaces and heat transfer over time, etc. are understood. The ability of the stove to receive heat from burning wood and transfer heat to the room with minimal losses is the technical characteristics, which we will consider. The operation of any furnace is cyclic. Each cycle consists of two parts: the accumulation of heat (the mode of the furnace, the combustion of wood) and the heat transfer to a heated room (the mode of heat release). The furnace furnace mode is characterized by the efficiency of the furnace. Not all the heat left in the furnace is transferred to the room. Part of the heat goes into the foundation and through the valves in the pipe. The estimation of heat losses and the amount of carbon monoxide in a household oven, recommendations for their reduction are given.
Materials and methods. A detailed analysis and assessment of heat losses, an estimate of the amount of carbon monoxide in a household oven, and the development of recommendations for their reduction are given.
Results. The results of the study and analysis are used to develop ecommendations on the choice of operating modes of the furnace and the choice of its design parameters.
Conclusions. The results of the work can be recommended in the development of domestic stoves.

KEYWORDS: household ovens, grate and hearth furnaces, furnace test, heat loss, measurement of carbon monoxide concentrations, furnace efficiency

FOR CITATION: Shevyakov V.V. Analysis of heat losses in stoves. The real efficiency of the furnace. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering]. 2018; 13(11):1296-1304. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.11.1296-1304

Вестник МГСУ • Vestnik MGSU • Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) Том 13 Выпуск 11, 2018 Volume 13 Issue 11, 2018

© В.В. Шевяков, 2018

ВВЕДЕНИЕ

Чаще всего проектирование печи сводится к выбору мощности и размеров печи, выбору схемы движения газов в печи, площади теплоотдающей поверхности печи, толщине стенок печи и т.п. [1].

Однако при проектировании бытовой печи часто возникают вопросы, связанные с влиянием ее режима работы на тепловые потери и на количество угарного газа на выходе печи. Режим работы печи в процессе сгорания дров сильно зависит от ее конструктивных параметров и характеристик печной трубы. И не всегда удается получить заданный режим сгорания дров. Но при проектировании печи очень важно представлять, каким образом те или иные параметры процесса сгорания дров влияют на характеристики печи.

Испытание печей проводят согласно описанию [2]. Раньше испытания в РФ проводились по труду [3]. Полученные результаты работы не могут претендовать на высокую точность, однако достаточно правильно отражают тенденции процессов горения дров в печи.

Поэтому целью данной публикации является анализ влияния параметров печного процесса на тепловые потери и количество угарного газа на выходе печи в соответствии с нормативными документами:

1. ГОСТ 2127-47. Печи отопительные, теплоемкие. Нормы проектирования.

2. Евростандарт EN 15250. Теплоемкие отопительные приборы на твердом топливе. Требования к конструкции и методы испытания.

3. ГОСТ 3000-45. Печи отопительные теплоемкие. Методы испытания.

Печное дровяное отопление остается наиболее дешевым и доступным способом для обогрева помещения большинства сельских жителей нашей страны. Это связано с тем, что подвод магистрального газа к жилым объектам стоит весьма существенную сумму, а в некоторых местах это невозможно осуществить по техническим причинам. Поэтому печное отопление будет еще долго играть важную роль в обогреве домов в сельской местности. Особенно это связано с получением в свое время гражданами большого количества дачных участков, где очень востребованы печи с минимальной массой и габаритами, обеспечивающие достаточно комфортное проживание в течение дачного сезона и в случае периодических приездов в зимний период [1].

В исследовании [2] приведен краткий обзор работ авторов, заложивших основы конструирования печей и печного отопления в XIX — начале XX в., и выбор основных конструктивных параметров печи.

Подробно описаны различные конструкции печей, разработанных и применявшихся в начале и середине XX в. [3, 4]. Приведен подробный разбор конструкций топливников и анализ особенностей их работы и применения.

Значительный вклад в развитие печей сделан в материале [5]. Была улучшена конструкция русской печи и предложена конструкция отопительной печи «Двухъярусный колпак».

Последние серьезные исследования бытовых печей проведены ведущими советскими специалистами в середине XX в. В 1939–1950 гг. для массового строительства были разработаны и исследованы печи заводского изготовления в стальном каркасе, облицованные теплостойкими декоративными материалами [6, 7].

В книге [8] подробно разобраны вопросы перевода бытовых печей на жидкое топливо и газ, приведены конкретные примеры переделки различных печей на газ.

Вопросы сгорания дровяного топлива в бытовых печах и движение горячих газов в топочных устройствах и в конвективных системах печей рассмотрены в труде [9].

В работах [10–12] авторами приведены практические конструкции бытовых печей и способы их изготовления.

Развитие печного строительства за границей происходит в направлении создания подовых печей из готовых шамотных блоков с малыми выбросами угарного газа. Это печи ЭКО+. За счет боковой равномерной подачи воздуха к закладке удается значительно снизить количество угарного газа на выходе печи [13–15]. Но такие печи весьма дорогие из-за высокой стоимости шамотных блоков и недостаточно теплоемкие для наших условий эксплуатации.

В последние годы, в основном за границей, а также в России, начинают строить так называемые «ракетные печи» [16–18]. Эти печи, по словам авторов, обладают рядом положительных качеств, в частности сгорания почти любого твердого топлива при малых выбросах угарного газа на выходе печи. Однако пока еще нет окончательно отработанных конструкций пригодных для наших условий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В труде [19] показано, что замеры параметров печи на участке, указанном в Евростандарте EN 15250, могут приводить к существенным ошибкам. Исходным материалом для анализа в данном исследовании являлись графики испытаний бытовых печей, взятые большей частью из интернета [20] и из работ автора, проведенных по требованиям Евростандарта EN 15250, поэтому при анализе пришлось придерживаться результатов этих графиков.

Поскольку работа любой бытовой печи является циклической, рассмотрим каждый этап ее работы.

Топка печи (набор тепла)

Режим топки характеризуется коэффициентом полезного действия (КПД) печи. Он определяется

Вестник МГСУ Vestnik MGSU • Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) Том 13 Выпуск 11, 2018 Volume 13 Issue 11, 2018

отношением количества тепла, оставшегося в печи при ее топке, к тому теоретическому количеству тепла, находящемуся в сжигаемых дровах.

КПД печи определяется по формуле:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_{др}} \cdot 100\ (\%), \qquad (1)$$

где Q_1 — тепло, оставшееся в печи; $Q_{др}$ — тепло, заключенное в дровах.

$$Q_1 = Q_{др} - Q_2 - Q_3 - Q_4, \qquad (2)$$

где Q_2 — потери тепла с уходящими газами; Q_3 — потери тепла от химической неполноты сгорания; Q_4 — потери тепла от механической неполноты сгорания.

Потери тепла с уходящими газами равны:

$$Q_2 = C_{ср} \cdot V_{вых} \cdot \left(T_{ух} - T_{вх}\right), \qquad (3)$$

$$Q_2 = C_{ср} \cdot \left(V_{вх} + V_{доп}\right) \cdot \left(T_{ух} - T_{вх}\right), \qquad (4)$$

$C_{ср}$ — средняя теплоемкость газов

$$C_{ср} = 0{,}38 \left(\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}}\right) [21].$$

Заменяя количество входного воздуха на выражение:

$$V_{вх} = M_{др} \cdot V_{ст} \cdot \alpha \ \ (\text{м}^3), \qquad (5)$$

где $V_{ст}$ — стехиометрический объем воздуха, м^3, для сгорания 1 кг дров (при влажности W = 25 %, $V_{ст}$ = 3,5 м^3);

$$V_{доп} \approx (0{,}85...0{,}89) \cdot M_{др}\ (\text{м}^3)\ [22],$$

где $M_{др}$ — масса сгоревших дров, кг;

$$V_{вых} = M_{др} \cdot (V_{ст} \cdot \alpha + 0{,}85)\ \ (\text{м}^3), \qquad (6)$$

α — средний коэффициент избытка воздуха на участке сгорания дров.

Можно получить зависимость потерь с уходящими газами Q_2 от коэффициента избытка воздуха:

$$Q_2 = C_{ср} \cdot M_{др} \cdot \left(V_{ст} \cdot \alpha + 0{,}85\right) \cdot \left(T_{ух} - T_{вх}\right). \qquad (7)$$

Из выражения (7) видно, что для снижения потерь в печи с уходящими газами необходимо осуществлять сгорание дров с уменьшением коэффициента избытка воздуха и снижать температуру уходящих газов. Однако снижение коэффициента избытка воздуха приводит к увеличению количества CO в дымовых газах и, как следствие, к увеличению величины химической неполноты сгорания. А снижение температуры уходящих газов может привести к появлению конденсата в печной трубе.

Величина потерь тепла с уходящими газами q_2 в % от $Q_{др}$ определяется по формуле:

$$q_2 = \frac{Q_2}{Q_{др}} \cdot 100\ (\%); \qquad (8)$$

$$q_2 = \frac{C_{ср} \cdot M_{др} \cdot \left(V_{ст} \cdot \alpha + 0{,}85\right) \cdot \left(T_{ух} - T_{вх}\right)}{M_{др} \cdot Q_н} \cdot 100\ (\%). \qquad (9)$$

Для дров со средней влажностью W = 25 % $V_{ст}$ = 3,5 м^3, $Q_н$ = 3150 ккал получим:

$$q_2 = \frac{0{,}38 \cdot \left(3{,}5 \cdot \alpha + 0{,}85\right) \cdot \left(T_{ух} - T_{вх}\right)}{3150} \cdot 100\ (\%). \qquad (10)$$

При замерах параметров процесса сгорания дров с помощью газового анализатора (ГА) величина потерь с уходящими газами в процентах определяется в ГА по формуле Зигерта [23]:

$$q_2 = \frac{\Delta T_{вых} \cdot A}{CO_2}\ (\%). \qquad (11)$$

Коэффициент A для дровяного топлива в разных странах может принимать значения от 0,6 до 0,765.

$$A \sim 0{,}74\ [23],$$

где $\Delta T = T_{ух} - T_{вх}$ — разница между температурой дымовых газов и температурой входного воздуха, CO_2 — измеренная концентрация CO_2, %.

Принимая $CO_2 = \frac{21}{\alpha}$, получим:

$$q_2 = \Delta T \cdot \alpha \cdot \frac{0{,}765}{21} = 0{,}036 \cdot \Delta T \cdot \alpha, \qquad (12)$$

где α — коэффициент избытка воздуха «альфа».

Выражение из газового анализатора выглядит проще. Но, учитывая заложенный разброс коэффициента A для дровяного топлива и получаемые несколько заниженные значения из данного выражения, для анализа воспользуемся выражением (10) при влажности дров W = 25 %.

Из выражений (9) и (10) видно, что с увеличением коэффициента избытка воздуха потери с уходящими газами увеличиваются. Однако при этом происходит и снижение температуры продуктов сгорания (рис. 1) [24] и, соответственно, снижение выходной температуры дымовых газов, что приводит к более медленному увеличению потерь с уходящими газами.

Из графика на рис. 1 видно, что температура продуктов сгорания при влажности дров W = 20…40 % мало зависит от влажности дров.

Из выражения (10) для температуры дымовых газов 150 °C и температуры воздуха 0 °C при α = 2,0 потери с уходящими газами равны 14,2 %.

Если считать по выражению (11) из ГА [23], то при тех же значениях температур и коэффициента избытка воздуха потери с уходящими газами для A = 0,765 составят 11 %, т.е. ГА занижает величину потерь с уходящими газами.

Вестник МГСУ ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) Том 13 Выпуск 11, 2018
Vestnik MGSU • Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering • Volume 13 Issue 11, 2018

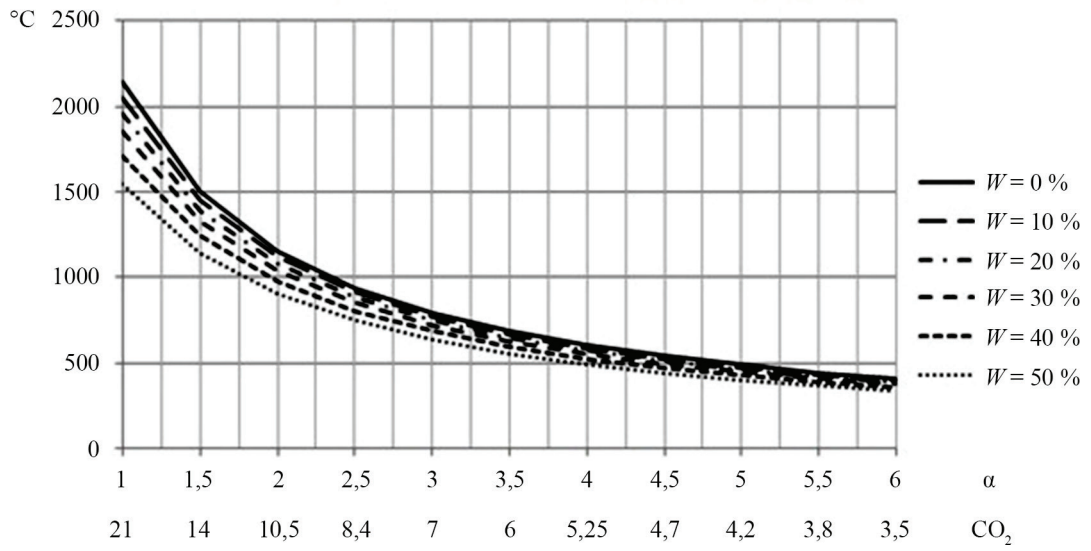


Рис. 1. Температура продуктов сгорания

Fig. 1. Temperature of combustion products

Величину потерь тепла от химической неполноты сгорания q_3 в % от $Q_{др}$ для дров с $W = 30$ % можно определить из [25]:

$$q_3 = \frac{70 \cdot CO}{(CO_2 + CO)}(\%). \quad (13)$$

Для дров с влажностью 40 %:

$$q_3 = \frac{90 \cdot CO}{(CO_2 + CO)}(\%), \quad (14)$$

где CO_2 — величина в выходных газах, %; CO — величина в выходных газах, %.

Для средних значений q_3 значения CO_2 и CO берутся как средние на участке измерения параметров процесса сгорания дров. Расчет в средних значениях дает достаточную точность конечных результатов.

Замена значений CO_2 на коэффициент избытка воздуха даст более наглядную картину взаимосвязи CO и α при сгорании дров.

Тогда

$$q_3 = \frac{70 \cdot CO \cdot \alpha}{21 + CO \cdot \alpha}. \quad (15)$$

Из выражения (15) видно, что величина потерь в процентах на химическую неполноту сгорания зависит от коэффициента избытка воздуха и от величины CO в дымовых газах и увеличивается с увеличением α и CO. В свою очередь величина CO на выходе печи зависит от коэффициента избытка воздуха и снижается с его увеличением.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Можно построить примерную зависимость среднего значения величины CO в процентах от среднего значения коэффициента избытка воздуха для печей с колосниковой решеткой, основываясь на результатах анализа графиков многочисленных испытаний печей [20] и работ автора. На рисунке приведены примерные значения CO и коэффициента избытка воздуха при замерах CO по Евростандарту EN 15250.

На рис. 2 показан примерный разброс значений $CO_{ср}$ и диапазон работы бытовой печи с колосниковой решеткой.

Изменение CO от коэффициента избытка воздуха достаточно точно описывается следующим выражением:

$$CO_{ср}(\%) = 2,85\left(\frac{\alpha_{ср} - 0,5}{0,5}\right)^{-1,5}. \quad (16)$$

Однако такой график не является наглядным, так как количество CO измеряется ГА в процентах от общего расхода входного воздуха. А расход входного воздуха изменяется в больших пределах. И невозможно понять, то ли количество CO снижается с увеличением альфы, или количество CO просто разбавляется большим количеством входного воздуха. В Евростандарте EN 15250 для оценки и сравнения печей по количеству угарного газа CO пересчитывается при содержании 13 % кислорода в топочных газах.

Пересчет проводят по формуле:

$$CO\left(O_{2(13\%)}\right) = CO\frac{21 - O_{2(13\%)}}{21 - O_2} = CO\frac{8}{21 - O_2}. \quad (17)$$

На рис. 3 приведены графики изменения CO, пересчитанные на значение кислорода 13 %.

Вестник МГСУ
Vestnik MGSU • Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering • Volume 13 Issue 11, 2018
ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online)
Том 13 Выпуск 11, 2018

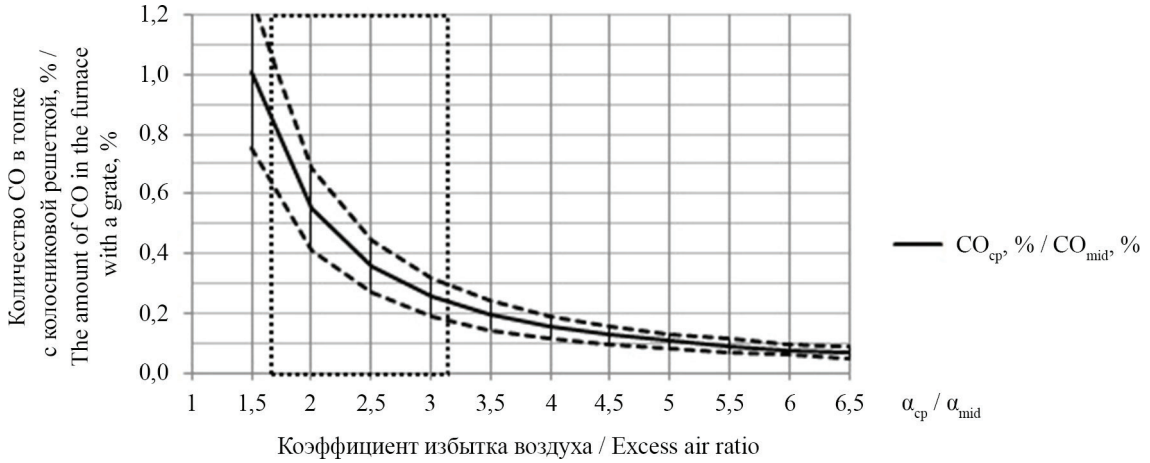


Рис. 2. Количество CO в топке с колосниковой решеткой

Fig. 2. The amount of CO in the furnace with a grate

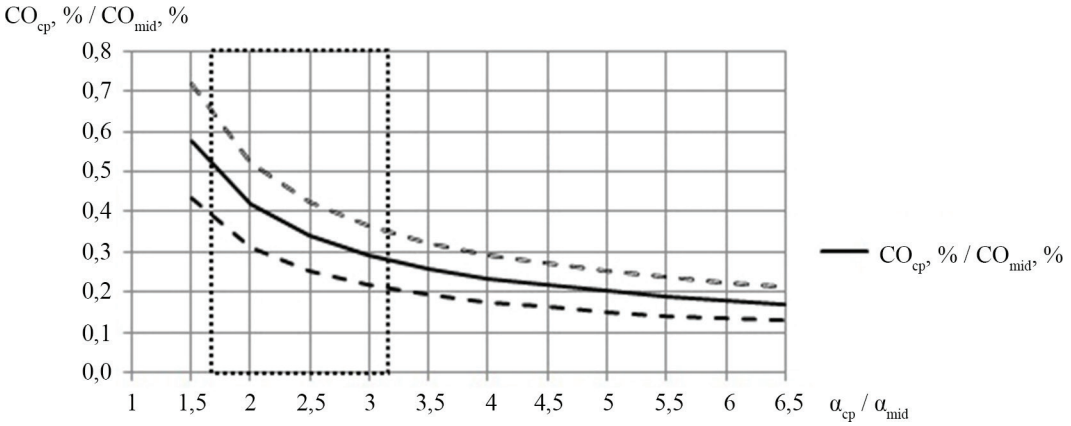


Рис. 3. Количество CO в топке с колосниковой решеткой при O_2 = 13 %

Fig. 3. The amount of CO in the furnace with a grate at O_2 = 13 %

Табл. 1. Расчет количества CO в г/кг сухих дров

Table 1. Calculation of the amount of CO in g/kg dry wood

W, %	$Q_н$, ккал / Q_l kcal	α	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5
20	3400	$V_{ст}$, м³ / V_{st}, m³	3,7	5,6	7,4	9,3	11,1	13,0	14,8	16,7	18,5	20,4	22,2	24,1
		$CO_{ср}$, % / CO_{mid}, %		1,01	0,55	0,36	0,25	0,19	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07
		$CO_{ср}$, дм³ / CO_{mid}, dm³		55,9	40,6	33,0	28,3	25,1	22,8	21,0	19,5	18,3	17,3	16,5
		$CO_{ср}$, г / CO_{mid}, g		69,9	50,7	41,2	35,4	31,4	28,5	26,2	24,4	22,9	21,7	20,6
		$CO_{ср}$, г/кг / CO_{mid}, g/kg		87	63	51	44	39	36	33	31	29	27	26
30	2900	$V_{ст}$, м³ / V_{st}, m³	3,23	4,8	6,4	8	9,6	11,2	12,8	14,4	16	17,6	19,2	20,8
		$CO_{ср}$, % / CO_{mid}, %		1,01	0,55	0,36	0,25	0,19	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07
		$CO_{ср}$, дм³ / CO_{mid}, dm³		48	35	29	24	22	20	18	17	16	15	14
		$CO_{ср}$, г / CO_{mid}, g		60,4	43,8	35,6	30,6	27,1	24,6	22,7	21,1	19,8	18,7	17,8
		$CO_{ср}$, г/кг / CO_{mid}, g/kg		86,3	62,6	50,9	43,7	38,8	35,2	32,4	30,2	28,3	26,8	25,5
40	2400	$V_{ст}$, м³ / V_{st}, m³	2,8	4,2	5,6	7	8,4	9,8	11,2	12,6	14	15,4	16,8	18,2
		$CO_{ср}$, % / CO_{mid}, %		1,01	0,55	0,36	0,25	0,19	0,15	0,13	0,11	0,09	0,08	0,07
		$CO_{ср}$, дм³ / CO_{mid}, dm³		42,3	30,7	24,9	21,4	19,0	17,2	15,9	14,8	13,9	13,1	12,5
		$CO_{ср}$, г / CO_{mid}, g		52,9	38,4	31,2	26,8	23,8	21,5	19,8	18,5	17,3	16,4	15,6
		$CO_{ср}$, г/кг / CO_{mid}, g/kg		88,2	64,0	52,0	44,6	39,6	35,9	33,1	30,8	28,9	27,3	26,0

Вестник МГСУ ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) Том 13 Выпуск 11, 2018
Vestnik MGSU • Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering • Volume 13 Issue 11, 2018

Однако наиболее наглядной является оценка количества CO в граммах на один килограмм сухой древесины. Для 1 кг дров с влажностью 20, 30 и 40 %:

Расчет приведен в табл. 1.

Из таблицы видно, что влажность дров практически не влияет на количество CO в г/кг сухих дров.

На рис. 4 приведены графики зависимости количества CO в граммах на один килограмм сухой древесины, построенные по результатам табл. 1 с учетом разброса.

На рис. 5 приведены результирующие графики потерь с уходящими газами q_2 и графики потерь на химическую неполноту сгорания q_3 в зависимости от коэффициента избытка воздуха.

Из графиков на рис. 5 видно, что основные потери в бытовой печи в диапазоне нормальной работы при α = 1,7…3,3 приходятся на потери с уходящими газами.

Для снижения этих потерь и повышения КПД печи необходимо снижать температуру на выходе печи и коэффициент избытка воздуха. Нижний предел этой температуры определяется условиями не появления конденсата в печной трубе [22]. Уменьшение коэффициента избытка воздуха приводит к увеличению количества CO и увеличению потерь на химическую неполноту сгорания дров.

При проектировании печи необходимо выбирать или высокий КПД печи или чистоту сгорания дров.

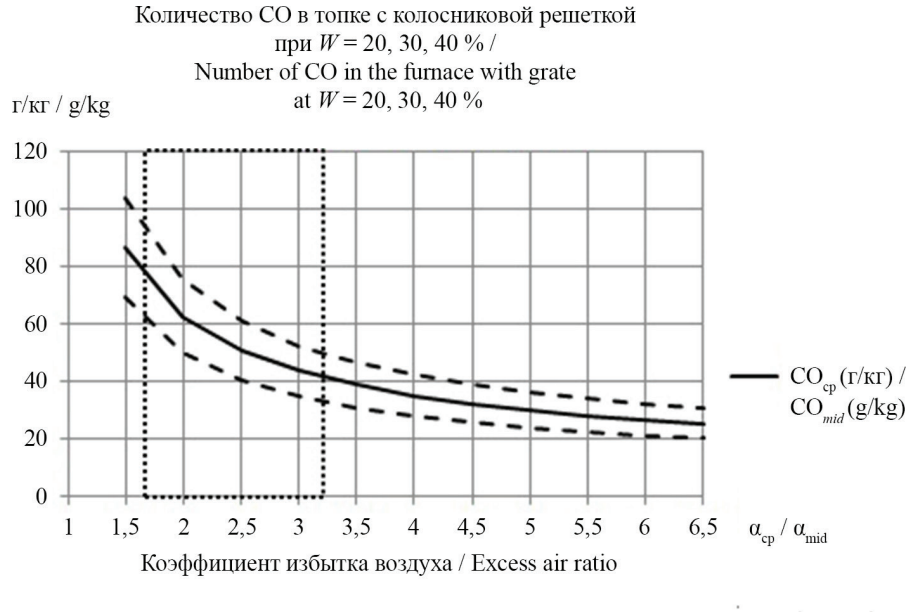


Рис. 4. Количество CO в граммах на килограмм сухих дров

Fig. 4. Quantity of CO in grams per kilogram of dry wood

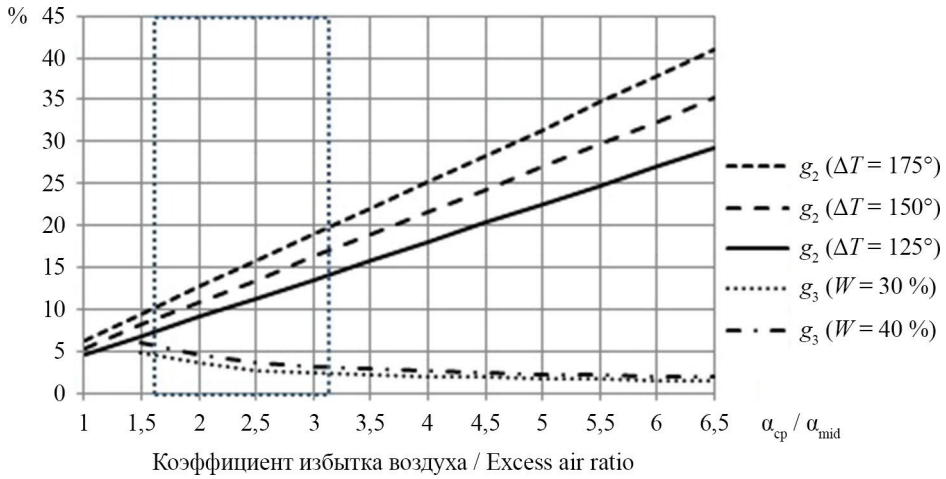


Рис. 5. Тепловые потери в бытовой печи

Fig. 5. Heat loss in a home furnace

Вестник МГСУ
Vestnik MGSU • Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering • **Volume 13 Issue 11, 2018**
ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online)
Том 13 Выпуск 11, 2018

Величина потерь тепла от механической неполноты сгорания для топок с колосниковой решеткой обычно в пределах 0,5…1,5 % [26].

Отдача тепла печью

В этом режиме печь накопленное тепло Q_1 отдает в обогреваемое помещение. Однако часть тепла уходит в фундамент и в трубу. Если при наборе печью тепла потерями в фундамент можно пренебречь, то на этапе отдачи тепла потери тепла в фундамент становятся заметными. Если примерно посчитать, что количество тепла уходящего в фундамент, пропорционально отношению площади сечения печи к площади всей печи, то количество уходящего тепла через фундамент можно оценить в 5–6 % от $Q_{др}$. Для снижения потерь через фундамент между печью и фундаментом устанавливают теплоизоляцию или размещают печь на шанцах.

Потери тепла через задвижки в трубу могут быть соизмеримыми, учитывая, что в них изначально есть защитные отверстия 2,5 см^3 и возможно не плотное закрывание самих задвижек. А в печах с подовым сжиганием дров вообще не рекомендуется ставить выходные задвижки. Оценить эти потери очень трудно. Можно только попытаться их снизить. Именно в этом случае очень важна герметизация самой печи, которая зависит от качества кладки и герметизации топочной, поддувальной дверки и прочисток.

ВЫВОДЫ

1. Для снижения потерь с уходящими газами и для повышения КПД печи необходимо снижать коэффициент избытка воздуха.

2. Для снижения выбросов CO и снижения потерь на химическую неполноту горения, необходимо увеличивать коэффициент избытка воздуха.

3. Наиболее реальную картину выбросов CO дает оценка CO в граммах на килограмм сухой массы дров.

4. Дополнительные потери тепла через фундамент и через задвижки могут снизить КПД печи на 10–15 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Печь для дома и дачи. URL: http://www.pechkaru.ru/

2. *Школьник А.Е.* Печное отопление малоэтажных зданий. М. : Высшая школа, 1991. 161 с.

3. *Протопопов В.П.* Печное дело М. ; Л. : ОНТИ, Госстройиздат, 1934. 280 с.

4. *Полтавцев А.Н.* Печи и кирпичные калориферы. Основы устройства, расчет, топка и уход. М., 1926. 55 с.

5. *Подгородников И.С.* Бытовые печи. Двухколпаковые. 4-е изд., перераб. и доп. М. : Колос, 1992. 160 с.

6. *Семенов Л.А.* Теплоустойчивость и печное отопление жилых и общественных зданий. М. : Издательство Министерства строительства предприятий машиностроения, 1950. 263 с.

7. *Семенов Л.А.* Теплоотдача отопительных печей и расчет печного отопления. М. ; Л. : Стройиздат, 1943. 80 с.

8. *Соснин Ю.П., Бухаркин Е.Н.* Бытовые печи, камины и водонагреватели. М. : Стройиздат, 1985. 368 с.

9. *Хошев Ю.М.* Дровяные печи. Процессы и явления. М., 2014. 392 с.

10. *Рязанкин А.И.* Секреты печного мастерства. М. : Народное творчество, 2004. 360 с.

11. *Колеватов В.М.* Печи и камины. СПб. : Диамант, Золотой век, 1996. 384 с.

12. *Ковалевский И.И.* Печные работы. М. : Высшая школа, 1983. 208 с.

13. Der Umweltplus Brennraum. Топки ЭКО+ Рудольф Хазельбек. URL: http://docplayer.ru/53409540-Der-umweltplus-brennraum-topki-eko-rudolf-hazelbyok-mitglied-bei.html

14. Austrian Eco Firebox Testing. URL: http://www.heatkit.com/research/lopez-2014-03-01.html

15. Подовые топки ЭКО. URL: MB_10_eco-friendly combustion chamber_20120424Version2.pdf

16. *Эванс Я., Джексон Л.* Ракетные печи. Сверхэффективные печи СВОИМИ руками : пер. с англ. Издательство Cob Cottage Compani, 2014. 130 с.

17. Печь-ракета. Уникальная конструкция. URL: https://fermer.ru/forum/samodelkin-racionalizator-obshchie-voprosy/215438

18. Реактивные печи. URL: http://donkey32.proboards.com/thread/2180/another-attempt-apply-rocket-technology

19. *Шевяков В.В.* Особенности испытания бытовых печей по Евростандарту 15250 с помощью газового анализатора и анемометра // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 6 (117). С. 709–716. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.6.709-716

20. *Шевяков В.В.* Испытание печи-трансформер. Сравнение колосникового и подового сжигания дров. URL: http://www.stroiteli.info/showthread.php/4207-Испытание-печи-трансформер-Сравнение-колосникового-и-подового-сжигания-дров

21. *Нагорский Д.В.* Общая методика расчета печей. М. ; Л. : АН СССР, 1941. 317 с.

22. *Шевяков В.В.* Конденсат в трубе бытовой печи при горении дров // Universum: Технические науки. 2015. № 6. URL: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2254

Вестник МГСУ ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) Том 13 Выпуск 11, 2018
Vestnik MGSU • Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering • Volume 13 Issue 11, 2018

23. Анализатор дымовых газов. URL: http://testo-pribor.ru/download/Analizatory_dymovyh_gazov_2014.pdf

24. *Шевяков В.В.* Сгорание дров в топке бытовой печи // Universum: Технические науки. 2015. № 4–5. URL: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2161

25. *Равич М.Б.* Упрощенная методика теплотехнических расчетов. 5-е изд., доп. М. : Наука, 1966. 415 с.

26. *Щеголев М.М.* Топливо, топки и котельные установки. 4-е изд., перераб. М. : Госстройиздат. 1953. 544 с.

Поступила в редакцию 23 июля 2018 г.
Принята в доработанном виде 25 августа 2018 г.
Одобрена для публикации 29 октября 2018 г.

Об авторе: **Шевяков Владимир Викторович** — кандидат технических наук, независимый исследователь, shevvladimir@gmail.com, orcid.org/0000-0001-5946-2742.

REFERENCES

1. [*Furnace for home and garden*]. [Electronic resource]. URL: http://www.pechkaru.ru/ (rus.).

2. Shkol'nik A.E. [*Oven heating of low-rise buildings*]. Moscow, High school Publ., 1991; 161. (rus.).

3. Protopopov V.P. [*Stove business*]. Moscow, Leningrad, ONTI, Gosstroyizdat Publ., 1934; 280. (rus.).

4. Poltavtsev A.N. [*Stoves and brick heaters. Basics of the device, calculation, heating and care*]. Moscow, 1926; 55. (rus.).

5. Podgorodnikov I.S. [*Household stoves. Two-bell*]. [4th edition, revised and enlarged]. Moscow, Kolos Publ., 1992; 160. (rus.).

6. Semenov L.A. [*Heat resistance and stove heating residential and public buildings*]. Moscow, Publishing House of the Ministry of Construction of Machine-Building Enterprises. 1950; 263. (rus.).

7. Semenov L.A. [*Heat transfer heating furnaces and calculation of furnace heating*]. Moscow, Leningrad, Stroyizdat Publ., 1943; 80. (rus.).

8. Sosnin Yu.P., Bukharkin E.N. [*Household stoves, fireplaces and water heaters*]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1985; 368. (rus.).

9. Khoshev Yu.M. [*Wood stoves. Processes and phenomena*]. Moscow, 2014; 392. (rus.).

10. Ryazankin A.I. [*Secrets of kiln craftsmanship. Practical guide*]. Moscow, Folk art Publ., 2004; 360. (rus.).

11. Kolevatov V.M. [*Stoves and fireplaces*]. St. Petersburg, Diamond, Golden Age Publ., 1996; 384. (rus.).

12. Kovalevskiy I.I. [*Furnace work*]. Moscow, High School Publ., 1983; 208. (rus.).

13. *Der Umweltplus Brennraum. ECO+ Rudol'f Khazel'bek.* URL: http://docplayer.ru/53409540-Der-umweltplus-brennraum-topki-eko-rudolf-hazelbyok-mitglied-bei.html

14. *Austrian Eco Firebox Testing*. URL: http://www.heatkit.com/research/lopez-2014-03-01.html

15. [*Hearth firebox ECO*]. URL: MB_10_eco-friendly combustion chamber_20120424Version2.pdf (rus.).

16. Evans I., Jackson L. *Rocket mass heaters*. Publisher Cob Cottage Compani, 2014; 120.

17. *Rocket stove. Unique design.* URL: https://fermer.ru/forum/samodelkin-racionalizator-obshchie-voprosy/215438 (rus.).

18. *Jet furnaces*. URL: http://donkey32.proboards.com/thread/2180/another-attempt-apply-rocket-technology (rus.).

19. Shevyakov V.V. Peculiarities of testing household furnaces by European standard 15250 with the help of gas analyzes and anemometer. *Vestnik MGSU* [Proceeding of Moscow State University of Civil Engineering]. 2018; 13(6):709-716. DOI: 10.22227/1997-0935.2018.6.709-716 (rus.).

20. Shevyakov V.V. *Testing the furnace-transformer. Comparison of grate and hearth burning wood.* URL: http://www.stroiteli.info/showthread.php/4207-Ispytanie-pechi-transformer-Sravnenie-kolosnikovogo-i-podovogo-szhiganija-drov (rus.).

21. Nagorskiy D.V. [*The general method of calculating furnaces*]. Moscow, Leningrad, USSR Academy of Sciences Publ., 1941; 317. (rus.).

22. Shevyakov V.V. Condensate in the pipe of a household stove when burning firewood. *Universum: Technical sciences*. 2015. URL: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2254 (rus.).

23. [*Flue Gas Analyzer*]. URL: http://testo-pribor.ru/download/Analizatory_dymovyh_gazov_2014.pdf (rus.).

24. Shevjakov V.V. Combustion of wood in the furnace of a household stove. *Universum: Technical sciences*. 2015; 4-5. URL: http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2161 (rus.).

Вестник МГСУ
Vestnik MGSU • Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering • ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online)
Том 13 Выпуск 11, 2018
Volume 13 Issue 11, 2018

25. Ravich M.B. [*Simplified method of thermal calculations*]. 5 ed., suppl. Moscow, Nauka Publ., 1966; 415. (rus.).

26. Shchegolev M.M. [*Fuel, firebox and boiler installations*]. 4th ed., rev. Moscow, GosStroyIzdat Publ., 1953; 544. (rus.).

Received July 23, 2018
Adopted in a modified form on August 25, 2018
Approved for publication October 29, 2018

About the author: **Vladimir V. Shevyakov** — Candidate of Technical Sciences, independent researcher, shevvladimir@gmail.com; ORCID 0000-0001-5946-2742.

Вестник МГСУ ISSN 1997-0935 (Print) ISSN 2304-6600 (Online) **Том 13 Выпуск 11, 2018**
Vestnik MGSU • Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering • **Volume 13 Issue 11, 2018**