
ДОСТИЖЕНИЯ НАУКИ – ПРОИЗВОДСТВУ

REDUCTION OF ADVANCES IN SCIENCE TO PRACTICE

Известия вузов. Строительство. 2021. № 9. С. 111–122.

ISSN 0536-1052

News of Higher Educational Institutions. Construction. 2021; (9): 111–122.

ISSN 0536-1052

Научная статья

УДК 697.243.56

DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-111-122

УМЕНЬШЕНИЕ ВЫБРОСОВ СО В КОМБИНИРОВАННОМ ТОПЛИВНИКЕ БЫТОВОЙ ПЕЧИ БЕЗ КОЛОСНИКОВОЙ РЕШЕТКИ

Владимир Викторович Шевяков

Независимый исследователь, Москва, Россия, shevvladimir@gmail.com

Аннотация. Рассмотрены причины возникновения выбросов угарного газа в бытовых печах при сгорании в них дров и исследованы способы снижения этих выбросов. Использование доработанной конструкции комбинированного топливника позволило уменьшить выбросы СО при догорании углей на 18–22 %. Результаты испытания и расчетов показали, что топливник с дополнительной камерой догорания при правильном регулировании процесса разгорания дров уменьшает суммарные выбросы СО до величин, соизмеримых с топками ЭКО+. Предложенные решения улучшают характеристики как самого топливника, так и всей печи. Конструкция исследуемого топливника может быть использована в бытовых печах.

Ключевые слова: бытовые печи, испытание печей, графики сгорания дров, колосниковая топка, комбинированный топливник, топки ЭКО+, выбросы СО, дожигание углей

Для цитирования: Шевяков В.В. Уменьшение выбросов СО в комбинированном топливнике бытовой печи без колосниковой решетки // Известия вузов. Строительство. 2021. № 9. С. 111–122. DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-111-122.

Original article

REDUCTION OF CO EMISSIONS IN A COMBINED FUEL WITHOUT GRATE IN A HOUSEHOLD OVEN

Vladimir V. Shevyakov

Independent researcher, Moscow, Russia, shevvladimir@gmail.com

Abstract. The reasons for the occurrence of carbon monoxide emissions in household stoves during the combustion of firewood in them are considered and ways to reduce these emissions are investigated. A modified design of the combined firebox was used. This made it possible to reduce CO emissions during the burning of coal by 18–22 %. The results of testing and calculations showed that the firebox with an additional afterburner and the

correct regulation of the firewood combustion process can reduce total CO emissions to values commensurate with ECO+ furnaces. The proposed solutions improve the characteristics of both the firebox itself and the entire furnace. The design of the studied firebox can be used in household stoves.

Keywords: household stoves, stove testing, wood combustion schedules, grate firebox, combined firebox, ECO+ fireboxes, CO emissions, coal afterburning

For citation: Shevyakov V.V. Reduction of CO emissions in a combined fuel without grate in a household oven. *News of Higher Educational Institutions. Construction*. 2021; (9): 111–122. (In Russ.). DOI: 10.32683/0536-1052-2021-753-9-111-122.

Введение. Бытовая печь состоит из нескольких характерных узлов: топливник, конвективная система и печная труба. Топливник является основной частью печи, где сгорает топливо и выделяется тепло, которое нагревает всю печь. Для качественного сгорания конкретного вида топлива требуются специфические условия. Для этого существуют, и при необходимости разрабатываются, новые конструкции топливников, в которых наиболее полно осуществляется сгорание того или иного топлива [1–6]. В бытовых печах применяются два типа сгорания дров: подовое и на колосниковой решетке. При подовом сгорании дров воздух к дровам подается сверху или сбоку, а при колосниковой решетке – снизу через колосниковую решетку [1]. Эти способы сжигания дров имеют свои отличительные особенности и свои недостатки¹.

Сравнение способов сгорания дров показало, что печи с колосниковой решеткой имеют несколько большие величины КПД, но содержание угарного газа в дымовых газах у них выше по сравнению с подовым сжиганием дров². Печи с колосниковой решеткой у нас в стране получили гораздо большее распространение, чем печи с подовой топкой. Основное их преимущество заключается в меньшем времени догорания углей. Это позволяет быстрее завершить топочный процесс и закрыть выходную задвижку, тем самым сократить потери тепла.

В последнее время появилось новое направление в строительстве бытовых печей в основном за границей, так называемые «ракетные печи». Эти печи, по словам авторов, обладают рядом положительных качеств: сгорание почти любого твердого топлива при малых выбросах угарного газа на выходе печи. Однако эти печи недостаточно исследованы [7]. Нет окончательно отработанных конструкций, пригодных для наших условий эксплуатации. Количество тепла, получаемое на участке догорания углей, невелико ~13 % от всего тепла, заключенного в дровах, а потери с уходящими газами больше. И на этом участке происходит охлаждение печи [8]. Поэтому сокращение времени догорания углей дает возможность повысить КПД печи и снизить суммарное выделение угарного газа.

Подовые топливники, которые чаще применяются в печах за пределами нашей страны, позволяют делать печи с малым содержанием угарного газа в дымовых газах, что является одним из важнейших требований, появившихся

¹ Испытания печи-трансформер на заводе Вольфсхойер Тонверке. URL: <http://www.forum.stovemaster.ru/viewtopic.php?t=7235> (дата обращения: 14.06.2021).

² *Шевяков В.В.* Испытание печи-трансформер. Сравнение колосникового и подового сжигания дров. URL: <http://www.stroiteli.info/showthread.php/4207> (дата обращения: 14.08.2021).

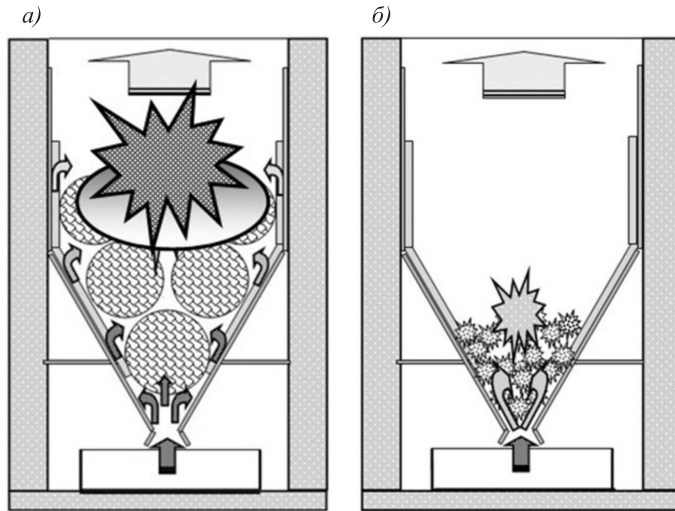


Рис. 1. Комбинированный топливник без колосниковой решетки

a – сгорают дрова; *b* – догорают угли

Fig. 1. Combined fuel tank without grate

a – burning wood; *b* – the embers are burning down

в последнее время при строительстве бытовых печей³. Однако время догорания углей в таком топливнике намного больше, чем с колосниковой решеткой, что приводит к большим потерям тепла.

Для уменьшения недостатков как подовой, так и колосниковой топки, автором предложена конструкция комбинированного топливника без колосниковой решетки [9]. Такая конструкция обладает рядом преимуществ, по сравнению с подовой и колосниковой топкой. Испытания топливника показали его хорошие эксплуатационные характеристики, однако он недостаточно исследован по возможности повышения его энергетических характеристик и снижения количества выбросов угарного газа [10]. На рис. 1 показан комбинированный топливник при разных режимах горения дров [10].

Необходимо отметить, что наибольшие выбросы СО возникают при разгорании дров и догорании углей, а на участке основного горения дров выделения СО относительно небольшие. На рис. 2 приведены графики сгорания закладки березовых дров влажностью 20–25 % массой 7,3 кг в печи ПДКШ-2,0 [10]. Нижняя входная воздушная щель имеет площадь 72,0 см² с размерами 36×2 см.

На количество выбросов СО в момент разгорания дров влияет как конфигурация топливника, так и положение задвижки прямого хода (ПХ). А на количество выбросов СО при догорании углей оказывает влияние в первую очередь скорость дожигания углей. Подбор размеров нижней входной щели, толщины полозьев и положения задвижки ПХ при разгорании дров позволяет изменить количество воздуха, поступающего к дровам и вокруг дров, и получить нужный режим сгорания дров.

³ Топки ЭКО+. Рудольф Хазельбёк. <https://dropdoc.ru/doc/244194/topki-e-ko> (дата обращения: 23.08.2021).

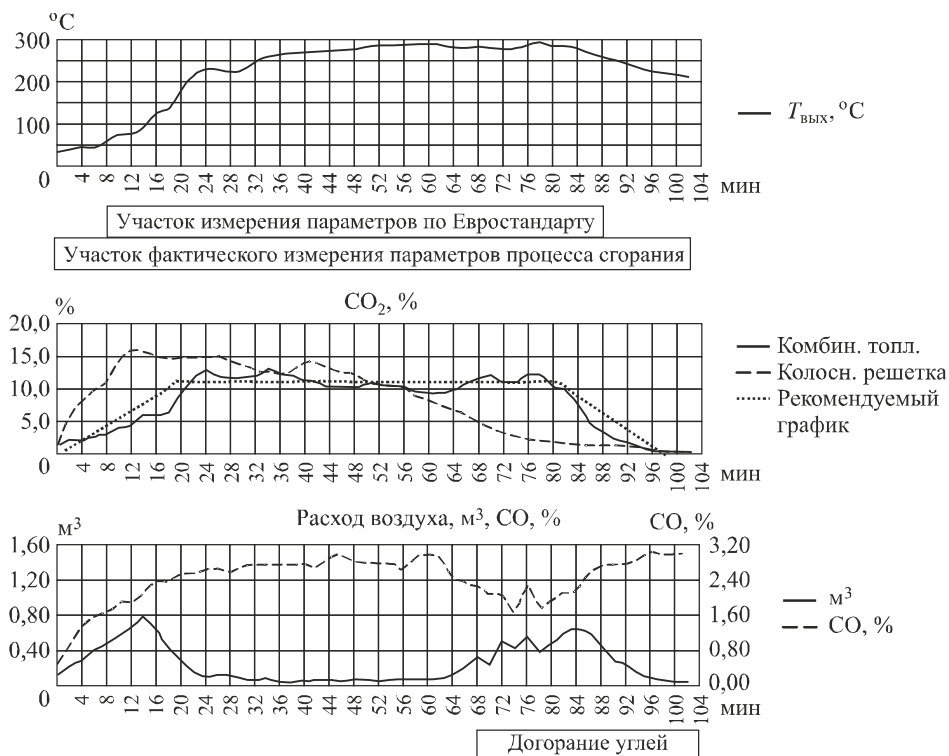


Рис. 2. График сгорания дров в комбинированном топливнике без колосниковой решетки

Fig. 2. Schedule of firewood combustion in a combined fuel tank without a grate

Поэтому целью данной работы является дополнительное исследование и конструктивная доработка комбинированного топливника, позволяющая установить зависимость между конструктивными элементами топливника и его характеристиками.

Результаты испытаний. Для дальнейших испытаний комбинированного топливника была построена новая печь, аналогичная по структуре печи ПДКШ-2,0. Канальная печь ПДКШ-2,0 относится к печам противоточкам и имеет лучшие эксплуатационные характеристики, чем прямоточки [11]. В печи установлена топочная дверка высотой 350 мм вместо 280 мм. Это позволило увеличить высоту закладки дров и организовать более равномерное послойное сжигание дров сверху вниз при верхнем розжиге.

Основная цель испытаний – определение влияния конструктивных элементов топки на величину выбросов CO . В качестве измерительных приборов использовались газовый анализатор и анемометр. Измерения проводились через временной интервал 2 мин. На графиках значение расхода воздуха через печь приведено в кубических метрах за 2 мин. Надо напомнить, что в топке ЭКО+ выбросы CO при измерении по Евростандарту 15250⁴ составляют 10–20 г/кг (грамм на килограмм абсолютно сухих дров). При этом берут дрова с массой поленьев 1,8–3,0 кг и влажностью 15–20 %. Реальные выбросы в топке ЭКО+ более чем в 2 раза больше и составляют 20–55 г/кг

⁴ Евростандарт 15250. Теплоемкие отопительные приборы на твердом топливе. Требования к конструкции и методы испытания. 2007.

[10]. В колосниковой топке выбросы СО при измерении по Евростандарту примерно 50–80 г/кг, в комбинированном топливнике 71–77 г/кг [10].

На рис. 3 показаны графики сгорания дров (7,5 кг) в новой печи при мере нижней щели 2×36 см, где α – коэффициент избытка воздуха.

Испытания показали следующее:

1. Установка топочной дверки высотой 350 мм и увеличение высоты закладки дров привели к более медленному и послойному сгоранию дров. Сначала горит верхний слой. При догорании верхнего слоя, загорается средняя часть дровяной закладки. При догорании углей верхнего слоя выделяющийся в нем СО сгорает вместе с пиролизными газами (летучими) среднего слоя,

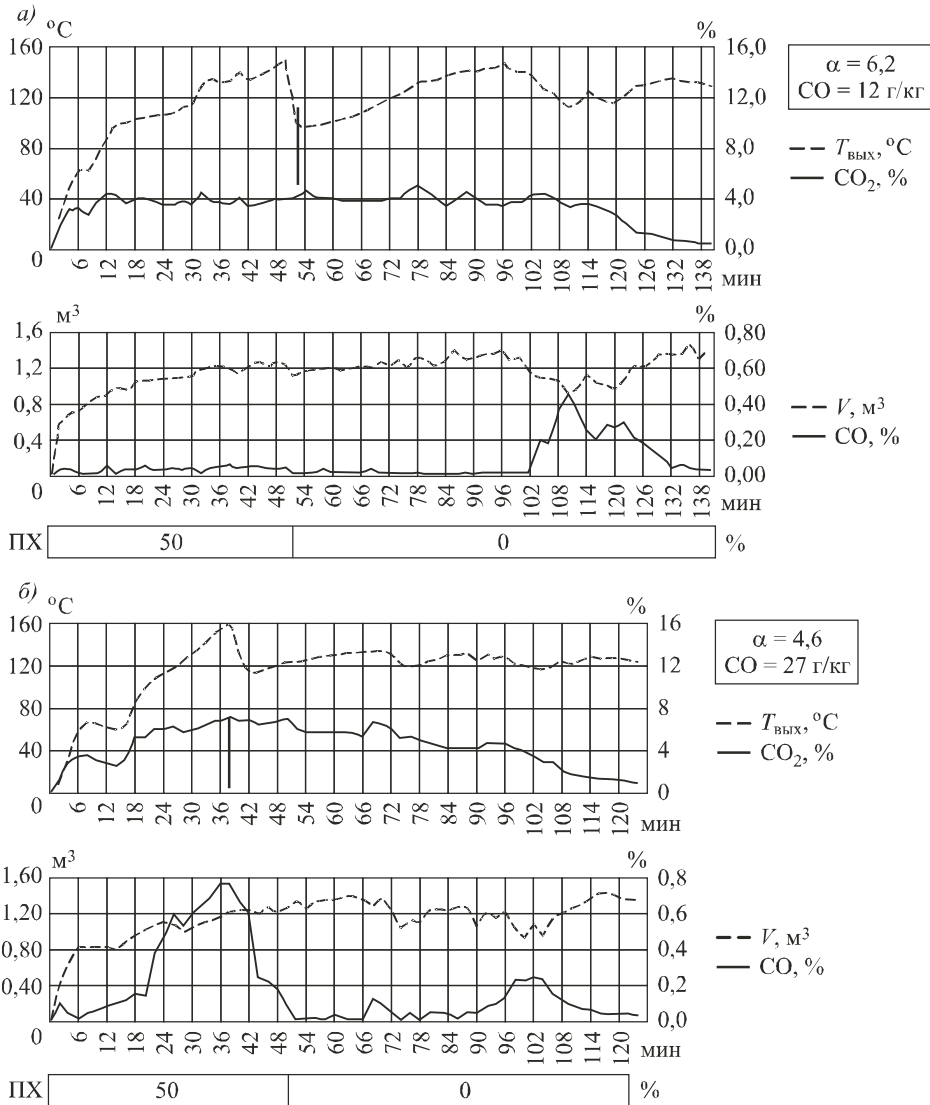


Рис. 3. Графики сгорания дров при $T_{\text{возд}} -3^\circ\text{C}$ (а), 0°C (б). Размер входной щели 2×36 см, $W = 20\%$

Fig. 3. Graphs of firewood combustion at $T_{\text{возд}} -3^\circ\text{C}$ (a), 0°C (b). The size of the entrance slot 2×36 sm, $W = 20\%$

и так далее до самого низа. При таком виде горения дров большая часть СО углей закладки сгорает с пиролизными газами (летучими) нижнего слоя. В конце остаются угли нижнего слоя, которые догорают сами по себе. Они выделяют СО, но значительно в меньшем количестве.

2. Уменьшение ширины нижней щели приводит к уменьшению расхода воздуха через печь, снижению интенсивности горения дров и увеличению коэффициента избытка воздуха. Увеличение ширины входной щели повы-

Таблица 1. Сравнительная таблица
Table 1. Comparizon table

Показатели	Размер входной щели, см			
	2×36	2×36	ЭКО+	
	Рис. 3, а	Рис. 3, б	EN15250	Фактическое значение
Время сгорания закладки дров T , мин	140	124	120	170
Средняя температура на выходе печи $T_{\text{вых ср}}$, °С	119	116	104	111
Среднее количество кислорода O_2 на выходе печи, %	17,6	16,4	13,1	15,3
Среднее значение углекислого газа CO_2 на выходе печи, %	3,4	4,6	7,9	5,7
Коэффициент избытка воздуха α	6,2	4,6	2,7	3,7
Объем воздуха, прошедшего через печь, за время полного сгорания закладки дров $V_{\text{возд}}$, м ³	81	71,5		
Среднее значение угарного газа за время сгорания закладки дров $CO_{\text{ср}}$, %	0,07	0,18	0,07	0,1
Объем угарного газа за время сгорания дров $CO_{\text{ср}}$, м ³	0,057	0,13		
Масса угарного газа за время сгорания дров $CO_{\text{ср}}$, г	71	162		
Масса дров $M_{\text{др}}$, кг ($W = 20\%$)	7,5	7,5	22,6	22,6
Масса абсолютно сухих дров $M_{\text{др}}$, кг ($W = 0\%$)	5,92	5,92		
Теплота сгорания дров $Q_{\text{др}}$, ккал	20060	20060		
Удельные выбросы угарного газа $CO_{\text{ср}}$, г/кг	12	27	10,8	21,4
Разность температур воздуха, прошедшего через печь, $\Delta T_{\text{вых}}$, °С	122	116		
Потери тепла в трубе Q_2 , ккал	3980	3630		
Потери тепла в трубе q_2 , %	20	14		
Потери тепла от химической неполноты горения q_3 , %	1,44	2,7		
Потери тепла от механической неполноты горения q_4 , %	2	2		
КПД, %	76	81	81	–

шает интенсивность сгорания дров и приводит к увеличению размеров недогоревших углей, падающих в зольную коробочку. Это увеличивает механическую неполноту горения.

Из графиков рис. 3 видно, что процесс разгорания дров идет неодинаково, несмотря на одинаковую массу закладки дров. Это связано с особенностями горения дров в закладке. Под графиками показано положение задвижки ПХ. В процентах отражена величина открытия этой задвижки. Поскольку исследуемая печь является печью противоточкой, ее растопка проводится при открытии задвижки прямого хода с дальнейшим ее закрытием. Но не всегда удается получить при растопке дров необходимое соотношение между количеством входного воздуха и количеством выделяемых из дров пиролизных газов. Иногда при разгорании дров на отдельных участках дровяной закладки дрова нагреваются быстрее и там выделяется больше пиролизных газов, чем туда подается воздуха. И этот дисбаланс приводит при некоторой нехватке воздуха к снижению коэффициента избытка воздуха на этих участках. Это в свою очередь вызывает повышение температуры в зоне горения и приводит к еще большему выходу пиролизных газов. Коэффициент избытка воздуха снижается, а выбросы СО увеличиваются.

На нижнем графике рис. 3, б видно, что на участке 20–44 мин выбросы СО увеличены. Это явление наблюдается почти при всех растопках. Однако при уменьшении коэффициента избытка воздуха оно проявляется сильнее. При разгорании дров наблюдается эффект положительной обратной связи, что часто приводит к неустойчивости процесса горения на этапе разгорания. Через некоторое время процесс горения дров приходит в норму и выбросы СО снижаются. Для снижения выбросов СО на этом участке необходимо подбирать площадь открытия задвижки ПХ и время ее закрытия.

В табл. 1 приведены результаты замеров и расчета параметров энергетики испытуемой печи и сравнение с ЭКО+ топкой. Замеры и расчеты проводились на всем участке горения дров до полного прогорания углей и закрытия выходных задвижек (две штуки) и поддувальной дверки. Потери на механическую неполноту горения q_4 приняты в 2,0 %.

Из табл. 1 видно, что увеличение высоты закладки приводит к дальнейшему общему снижению как суммарных выбросов СО, так и удельных. Полученные величины угарного газа в комбинированном топливнике соизмеримы со значениями, полученными в топке ЭКО+. Однако процесс горения протекает при повышенном коэффициенте избытка воздуха, это снижает мощность топки. Для повышения энергетических показателей необходимо уменьшать коэффициент избытка воздуха и снижать величину механического недожога. Поэтому конструкция комбинированного топливника была доработана.

Глубина топки печи и топливник были увеличены под дрова размером 40–41 см. Размер входной щели увеличен до 96,0 см² (3,2×30,0 см). Для снижения механической

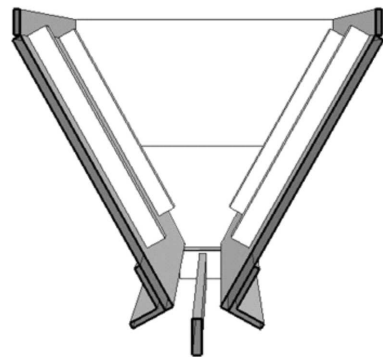


Рис. 4. Топливник с разделяющей пластиной

Fig. 4. Fuel tank with separating plate

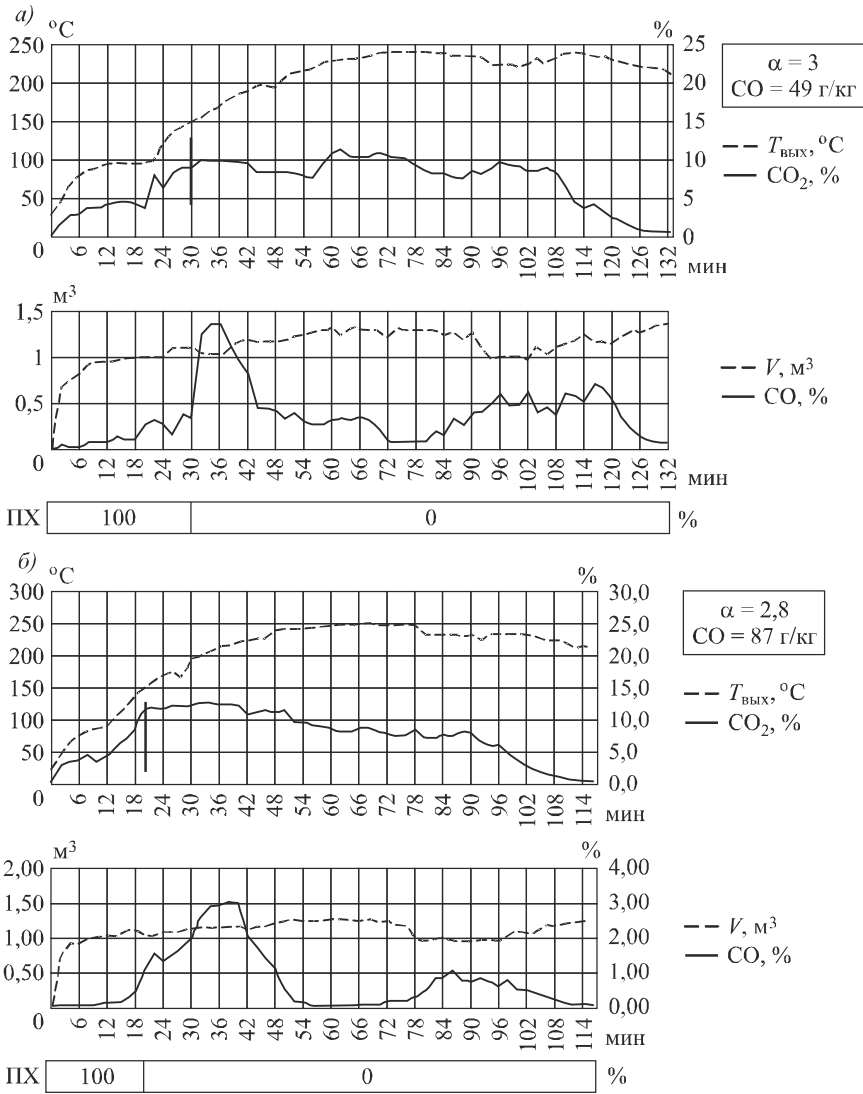


Рис. 5. График сгорания 9,2 кг (а) и 8,8 кг (б) дров. Размер входной щели 3,2×30,0 см, $T_{\text{возд}} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$, $W = 20 \text{ \%}$

Fig. 5. The schedule of combustion of 9,2 kg (a) and 8,8 kg (b) of firewood. The size of the entrance slot 3,2×30,0 sm, $T_{\text{vozd}} = 22 \text{ }^\circ\text{C}$, $W = 20 \text{ \%}$

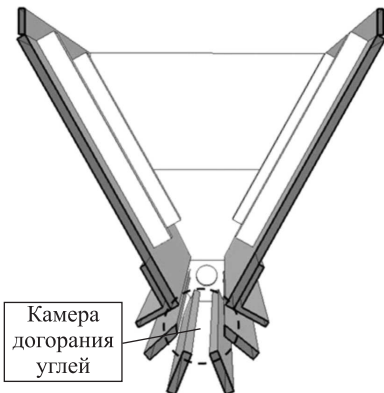


Рис. 6. Камера догорания углей
Fig. 6. Coal burning chamber

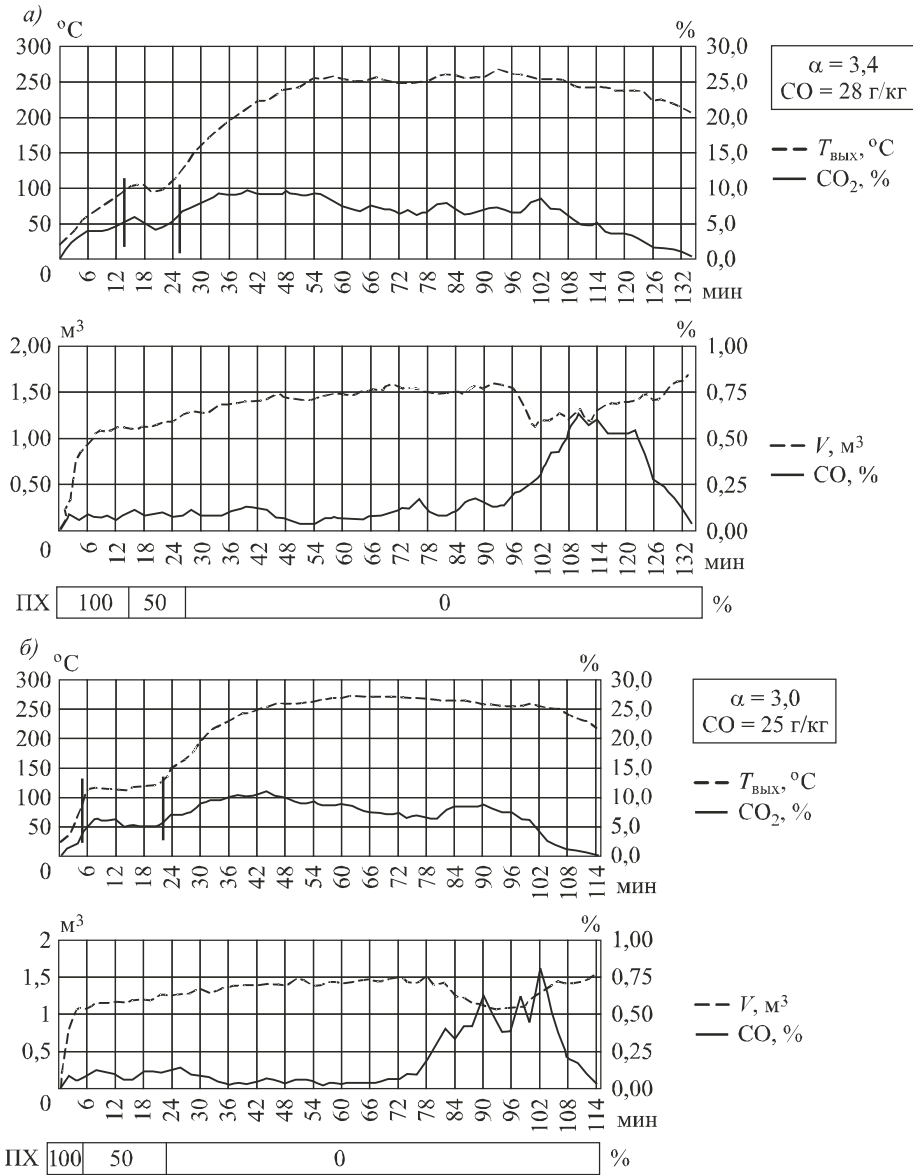


Рис. 7. График сгорания 8,7 кг (а) и 8,5 кг (б) дров
 Fig. 7. The schedule of combustion of 8,7 kg (a) and 8,5 kg(b)

неполноты горения установлена разделяющая пластина, снижающая размер проваливающихся в зольную коробочку углей до 12–13 мм. Это позволило увеличить максимальную величину закладки дров до 8,0–8,8 кг, повысить мощность топки и снизить механическую неполноту горения.

На рис. 4 приведено сечение нижней части топливника. На рис. 5 показаны графики сгорания дров в этом топливнике.

Из рис. 5 видно, что при полном закрытии задвижки ПХ при температуре на выходе 150 °C выбросы CO сильно возрастают. При дальнейших испытаниях при разгорании дров задвижка ПХ будет закрываться на 50 % при достижении температуры выхода 100 °C и до 0 % при достижении температуры на выходе печи 125 °C.

Таблица 2. Сравнение выбросов CO
Table 2. Comparison of emissions CO

Показатели	Рис. 5, а	Рис. 7, а	Рис. 5, б	Рис. 7, б
Время сгорания закладки дров T , мин	134	134	116	116
Объем воздуха, прошедшего через печь, за время полного сгорания закладки дров $V_{\text{возд}}$, м ³	76	90,4	65	75
Масса дров $M_{\text{др}}$, кг ($W = 20\%$)	9,0	8,7	8,8	8,5
Коэффициент избытка воздуха α	3	3,4	2,8	3
Удельные выбросы угарного газа $\text{CO}_{\text{ср}}$, г/кг	49	28	87	25
Участок догорания углей:				
время догорания углей Σt , мин	44	32	38	32
объем воздуха, прошедшего через печь, при догорании углей ΣV , м ³	27	22,6	21,3	22
среднее значение угарного газа при догорании углей $\text{CO}_{\text{ср}}$, %	0,44	0,4	0,54	0,43
объем угарного газа при догорании углей, м ³	0,118	0,092	0,115	0,095
масса угарного газа при догорании углей, г	150	117	145	119
Уменьшение CO, %		-22		-18

Для дальнейшего снижения времени догорания углей топливник был доработан согласно рис. 6. В нижней части топливника была сделана дополнительная камера для приема и сбора крупных углей, которые будут догорать в ней более ускоренно из-за большего притока воздуха⁵, что должно уменьшить время догорания углей и снизить выбросы CO на этом участке.

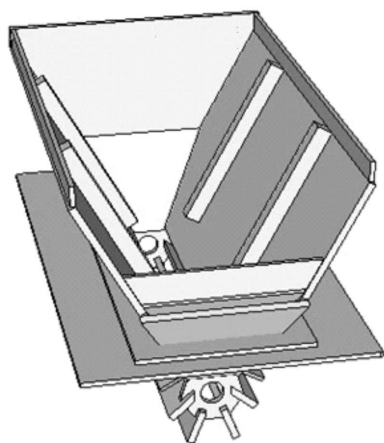


Рис. 8. Комбинированный топливник с дополнительной камерой догорания

Fig. 8. Combined fuel tank with additional combustion chamber

На рис. 7 приведены графики сгорания дров в топливнике с дополнительной камерой догорания углей. Как видно из графиков рис. 7 при закрытии задвижки ПХ при разгорании дров при температуре на выходе печи 100 °С, выбросы CO на этом участке значительно снижаются.

Влияние дополнительной камеры догорания определялось измерением и расчетом количества выбросов CO на участке догорания углей для графиков на рис. 5, а и 7, а, 5, б и 7, б, при этом участок измерения ограничивался значениями $\text{CO} \geq 0,2\%$. Результаты замеров и расчетов занесены в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что в топливнике с дополнительной камерой догорания несколько увеличивается коэффициент избытка воздуха и уменьшаются на 18–22 % выбросы CO на участке догорания углей.

⁵ Шевяков В.В. Заявка на полезную модель № 2021 136 502.

На рис. 8 показана нижняя часть комбинированного топливника с дополнительной камерой догорания углей.

Выводы. 1. Установка топочной дверки высотой 350 мм и увеличение высоты закладки дров приводят к более медленному и послойному сгоранию дров, что снижает суммарную величину выбросов угарного газа.

2. Закрытие задвижки прямого хода при разгорании дров при температуре на выходе печи 100 °С на 50 % и до 0 % при достижении температуры на выходе печи 125 °С снижает выбросы СО на этом участке в несколько раз.

3. Применение в топливнике дополнительной камеры догорания несколько увеличивает коэффициент избытка воздуха и на 18–22 % уменьшает выбросы СО на участке догорания углей.

4. Данная конструкция топливника уменьшает суммарные выбросы СО до величин, соизмеримых с топками ЭКО+, и может применяться в бытовых печах.

Список источников

1. Школьник А.Е. Печное отопление малоэтажных зданий. М.: Высш. шк., 1991. 161 с.
2. Рязанкин А.И. Секреты печного мастерства: Практик. пособие. М.: Народное творчество, 2004. 360 с.
3. Колеватов В.М. Печи и камины. СПб., 1996. 384 с.
4. Ковалевский И.И. Печные работы. М.: Высш. шк., 1983. 208 с.
5. Козлов А.А. История печного отопления в России. М.: АНКО; СПб.: Эксклюзив Стиль, 2017. 164 с.
6. Хошев Ю.М. Дровяные печи. Процессы и явления. М., 2015. 392 с.
7. Янто Эванс, Лесли Джексон. Ракетные печи. Сверхэффективные печи своими руками. Cob Cottage Company, 2014.
8. Шевяков В.В. Определение температур в топке бытовой печи. UNIVERSUM: Технические науки. № 7. URL: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3402> (дата обращения: 23.07.2021).
9. Пат. на полезную модель 173707. Российская Федерация. Комбинированный топливник без колосниковой решетки / В.В. Шевяков, приоритет 05.06.2017. Опубл.: 07.09.2017; Бюл. № 25.
10. Шевяков В.В. Комбинированный топливник без колосниковой решетки // Вестн. МГСУ. 2018. № 1. С. 23–33.
11. Шевяков В.В. Выбор рациональной схемы движения газов в печи // Строительство: наука и образование. 2018. № 4.

References

1. Shkol'nik A.E. Stove heating of low-rise buildings. Moskov, 1991. 161 p. (In Russ.).
2. Ryazankin A.I. Secrets of oven craftsmanship: Practical guide. Moscow, 2004. 360 p. (In Russ.).
3. Kolevatov V.M. Stoves and fireplaces. St. Petersburg, 1996. 384 p. (In Russ.).
4. Kovalevskiy I.I. Furnace works. Moscow, 1983. 208 p. (In Russ.).
5. Kozlov A.A. The history of stove heating in Russia. Moscow; St. Petersburg, 2017. 164 p. (In Russ.).
6. Khoshev Yu.M. Wood stoves. Processes and phenomena. Moscow, 2015. 392 p. (In Russ.).
7. Yanto E'vans, Lesli Dzhekson. Rocket ovens. DIY Ultra-Efficient Ovens. Cob Cottage Company. 2014. (In Russ.).

8. *Shevyakov V.V.* Determination of temperatures in the furnace of a household stove. *UNIVERSUM: Tekhnicheskiye nauki = Technical science.* (7). Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/3402> (Accessed: 23.07.2021). (In Russ.).
9. Pat. na poleznuyu model' 173707. Rossiyskaya Federatsiya. Combined firebox without grate. *V.V. Shevyakov*; priority 05.06.2017; publ. 07.09.2017; Bull. No. 25. (In Russ.).
10. *Shevyakov V.V.* Combined firebox without grate. *Vestnik MGSU = Bulletin of MGSU.* 2018; (1): 23–33. (In Russ.).
11. *Shevyakov V.V.* The choice of a rational scheme for the movement of gases in the furnace. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovaniye = Construction: science and education.* 2018; (4). (In Russ.).

Информация об авторе

В.В. Шевяков – кандидат технических наук
РИНЦ ID: 4189-8000, ORCID: 0000-0001-5946-2742

Information about the authors

V.V. Shevyakov – PhD
RSCI ID: 4189-8000 ORCID: 0000-0001-5946-2742

Статья поступила в редакцию 29.08.2021
Одобрена после рецензирования 20.09.2021
Принята к публикации 23.09.2021

The article was submitted 29.08.2021
Approved after reviewing 20.09.2021
Accepted for publication 23.09.2021