АРХИТЕКТУРА И ГРАДОСТРОИТЕЛЬСТВО. РЕКОНСТРУКЦИЯ И РЕСТАВРАЦИЯ

УДК 697.243.56

DOI: 10.22227/1997-0935.2018.1.23-32

РАЗРАБОТКА И ИСПЫТАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО ТОПЛИВНИКА БЕЗ КОЛОСНИКОВОЙ РЕШЕТКИ ДЛЯ БЫТОВОЙ ПЕЧИ

В.В. Шевяков

пенсионер

Предмет исследования: рассмотрены характеристики подовых топливников и топливников с колосниковой решеткой, применяемых в бытовых печах.

В подовых топках дрова сгорают более чисто с меньшим содержанием угарного газа на выходе. Недостатком таких топливников является более длительный процесс догорания углей, чем в топках с колосниковой решеткой. В печах с колосниковой решеткой время догорания углей меньше, что позволяет быстрее завершить топочный процесс и закрыть выходную задвижку. Это повышает КПД печи, однако для дальнейшего уменьшения времени догорания углей их приходится сгребать и дожигать на колосниковой решетке. Это усложняет процесс обслуживания самой печи. Предложенная конструкция комбинированного топливника позволяет улучшить характеристики как самого топливника, так и всей печи.

Цель: создание и исследование комбинированного топливника, повышающего КПД печи и упрощающего процесс обслуживания печи при количествах угарного газа на выходе, сопоставимых с теми, что у подовых топливников.

Материалы и методы: проведен подробный анализ подовых топливников ЭКО+ по количеству угарного газа на выходе.

Результаты анализа использованы для сравнения с комбинированным топливником. Конструкция комбинированного топливника выбрана по результатам предварительных испытаний нескольких топливников, предложенных и испытанных автором в печи ПДКШ-2,0. Особенностью конструкции комбинированного топливника является отсутствие колосниковой решетки и наличие в нижней части топливника узкой щели, через которую входной воздух поступает к дровам. Между стенками топливника и дровами установлены полозья, образующие воздушный зазор, через который входной воздух равномерно поступает ко всей закладке дров. По мере сгорания дров и образования углей дрова опускаются к низу топливника, там они интенсивно догорают в максимальном потоке воздуха. Комбинированный топливник состоит из нескольких частей, выполнен из стали толщиной 4,0 мм и устанавливается в топку печи через топочную дверку. При исследовании процессов сгорания дров использованы газовый анализатор и анемометр.

Результаты: Полученные результаты испытания комбинированного топливника показали, что процесс сгорания дров в нем более равномерный и более длительный. Время догорания углей сократилось на 40...50 %. Фактическое значение КПД печи увеличивается на 2...3 %, а выбросы СО сопоставимы с топками ЭКО+.

Выводы: комбинированный топливник без колосниковой решетки можно рекомендовать для применения в бытовых печах различного назначения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подовый топливник, топки ЭКО+, колосниковая решетка, сравнение топок, бытовая печь, сгорание дров, потери при дожигании углей, КПД печи, конструкция комбинированного топливника

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Шевяков В.В. Разработка и испытание комбинированного топливника без колосниковой решетки для бытовой печи // Вестник МГСУ. 2018. Т. 13. Вып. 1 (112). С. 23–32.

DEVELOPMENT AND TESTING OF COMPOUND FUEL CHAMBER WITHOUT A GRATE FOR HOUSEHOLD FURNACE

V.V. Shevyakov

Pensioner

Subject: characteristics of hearth fuel chambers and fireboxes with a grate, used in household furnaces, are considered.

In hearth furnaces, the firewood is burned more cleanly with less carbon monoxide at the outlet. The disadvantage of such fireboxes is a longer process of coal burnout than in grate-fired furnaces. In furnaces with a grate, the burnout time of coals is less, which makes it possible to finish the combustion process more quickly and close the outlet latch. This increases the efficiency of the furnace but to further reduce the time of burning out the coals they have to be raked and burned on the grate. This complicates the process of operating the furnace itself. The proposed design of the compound firebox allows us to improve characteristics of both the firebox itself and the entire furnace.

Research objectives: creation and study of a compound firebox that increases the efficiency of the furnace and simplifies the furnace maintenance process with the values of carbon monoxide at the outlet comparable to hearth furnaces.

Materials and methods: a detailed analysis of hearth fuel chambers ECO+ was carried out according to the amount of carbon monoxide at the outlet.

The results of the analysis are used for comparison with compound fuel chamber. The structure of the compound firebox was chosen based on the results of preliminary tests of several fuel chambers proposed and tested by the author in the furnace

PDKSh-2.0. A peculiarity of the structure of the compound firebox is the absence of a grate and the presence of a narrow slit in the lower part of the firebox through which the incoming air enters the firewood. Between the walls of the firebox and firewood, skids are installed, forming an air gap, through which the inlet air is uniformly supplied to the entire firewood supply. With gradual combustion of firewood and formation of coal, the firewood descends to the bottom of the firebox, where they intensively burn out in the maximum air flow. Compound firebox consists of several parts, it is made of steel with a thickness of 4.0 mm and installed into the furnace fire through the fuel entry door. In studying the combustion of firewood process, a gas analyzer and an anemometer are used.

Results: the results of the test of the compound firebox showed that the combustion of firewood in it is more even and takes more time. The time of burnout of coals was reduced by 40...50 %. The actual value of the furnace efficiency is increased by 2...3 %, and the CO emissions are comparable with the ECO+ furnaces.

Conclusions: compound firebox without a grate can be recommended for use in household furnaces for various purposes.

KEY WORDS: hearth fuel chamber, ECO+ furnaces, grate, comparison of furnaces, household furnace, firewood combustion, losses at afterburning of coals, furnace efficiency, structure of compound firebox

FOR CITATION: Shevyakov V.V. Razrabotka i ispytanie kombinirovannogo toplivnika bez kolosnikovoy reshetki dlya bytovoy pechi [Development and testing of compound fuel chamber without a grate for household purposes]. Vestnik MGSU [Proceedings of the Moscow State University of Civil Engineering]. 2018, vol. 13, issue 1 (112), pp. 23–32.

ВВЕДЕНИЕ

Топливник является основной частью печи, где происходит сгорание топлива и выделение тепла, которое и нагревает всю печь. Для качественного сгорания какого-то конкретного вида топлива требуются свои специфические условия. Для этого существуют и при необходимости разрабатываются новые специальные конструкции топливников, в которых наиболее полно осуществляется сгорание того или иного топлива [1–4]. Поскольку основным видом топлива для бытовой печи является дровяное топливо, дрова, то особенности конструкций топливников будут рассматриваться применительно для сжигания дров.

В бытовых печах применяется два способа сжигания дров: на поду, когда воздух для горения подается к дровам сверху, или сбоку и на колосниковой решетке, когда воздух подается снизу к дровам через колосниковую решетку.

Эти способы сжигания дров имеют свои отличительные особенности и свои недостатки. Сравнение этих способов сгорания дров показало, что печи с колосниковой решеткой имеют несколько большие КПД, но содержание угарного газа СО в дымовых газах у них выше, чем при подовом сжигании дров [5, 6].

Печи с колосниковой решеткой у нас в стране получили гораздо большее распространение, чем печи с подовой топкой. Основное их преимущество — это меньшее время догорания углей, что позволяет быстрее завершить топочный процесс и закрыть выходную задвижку и тем самым сократить потери тепла.

Количество тепла, получаемое на участке догорания углей невелико, всего 7...8 % от всего тепла, заключенного в дровах, а потери с уходящими газами больше и на этом участке происходит охлажде-

ние печи [7]. Поэтому сокращение времени догорания углей позволяет повысить КПД печи.

Подовые топливники, которые чаще применяются в печах за пределами нашей страны, позволяют делать печи с малым содержанием угарного газа СО в дымовых газах, что является одним из важнейших требований, появившихся в последнее время при строительстве бытовых печей [8, 9]. Однако время догорания углей в таком топливнике намного больше, чем с колосниковой решеткой, что приводит к большим потерям тепла.

Поэтому целью данной работы является создание топливника, позволяющего дожигать угли быстрее, чем с колосниковой решеткой, при этом получать количества СО на выходе не больше, чем с колосниковой решеткой, и сопоставимые со значениями для подовых топливников.

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

«Из всех отраслей строительной промышленности, сильно отставшей по сравнению с другими областями техники, наиболее отсталым является печное дело. Этому способствует распространенный (подчас в среде самих строителей) взгляд на печное дело как на весьма простое и не заслуживающее особого внимания» [1], — эти слова, высказанные более 80 лет назад, являются актуальными и сейчас.

В XVII–XIX вв. русское печное искусство занимало ключевые позиции в Европе, типы русских печей были распространены в Германии, Франции, Англии и других странах Западной Европы [2].

Последние серьезные исследования бытовых печей проведены ведущими советскими специалистами в середине XX в. Профессором Л.А. Семеновым в 1939–1940 гг. были разработаны и исследованы для массового строительства печи заводского

изготовления в стальном каркасе и облицованными теплоустойчивыми декоративными материалами [10]. В работе [2] описаны теоретические основы конструирования печей и конкретные современные типовые индустриальные бытовые печи, утвержденные Госстроем СССР и применяющиеся в массовом строительстве. Однако в последние 20–30 лет у нас в стране работы по дальнейшему исследованию бытовых печей практически прекратились. За рубежом работы по исследованию печей продолжаются, в основном, в направлении создания печей из стандартных унифицированных шамотных блоков на основе топок с подовым сгоранием дров и с малыми выбросами угарного газа [8, 9]. Учитывая специфику нашей страны со средней зимней температурой значительно ниже, чем в Европе, такие печи нам не очень подходят. Несмотря на проводимую в нашей стране газификацию жилых объектов, печное отопление играет и будет дальше играть заметную роль в обогреве домов в сельской и дачной местности. Разработка и создание печей с минимальной массой и габаритами, обеспечивающих достаточно комфортное проживание в течение дачного сезона [11], привело к созданию и дополнительным исследованиям как тепловых процессов в печи [11, 12], так и созданию новых конструкций топливников, на которые были получены патенты на полезную модель [13–16].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Подовая топка. На рис. 1 показана подовая топка ЭКО+ [9].

Рис. 1. Подовая топка ЭКО+

Внизу печи расположена регулируемая задвижка подачи входного воздуха. В таких печах сгорание дров происходит при подаче воздуха через специальные щели в стенках. Это приводит к более медленному и плавному сгоранию дров. Именно такой режим подачи воздуха, когда воздух к дровам подается с небольшой скоростью и с разных сторон, и определяет более чистое сгорание дров. Однако при этом часть входного воздуха уходит сразу в трубу.

В статье [9] приведены результаты испытаний подовых печей. Характерной особенностью является то, что используются дрова с малой влажностью 15,0...20,0 %, в среднем 18,0 %. Для получения дров с такой влажностью их необходимо длительно сушить в помещении. Дрова годичной сушки на улице под навесом имеют влажность около 20,0 %. При массе всей сжигаемой закладки около 22...24 кг масса одного полена в среднем около 1,8...3,0 кг. Чем меньше влажность дров, тем меньше выделяется СО при сгорании дров, а большая масса поленьев обеспечивает более плавное и равномерное сгорание всей закладки, что тоже способствует снижению СО. Дрова сгорают при повышенных средних значениях коэффициента избытка воздуха 3,0...5,0. Все это и приводит в совокупности к снижению выбросов СО при сгорании дров. Там же приведены графики процесса сгорания дров. Все замеры проводятся по Евростандарту 15250¹. В РФ испытания печей проводились по ГОСТу 3000-45². С точки зрения энергетики печи, т.е. определения КПД печи и сравнения печей разных конструкций, это допустимо. Однако подсчет СО только на выделенном участке и неучет СО на участке догорания углей, где выделение СО может быть значительно больше, чем на участке измерения по Евростандарту, приводит к заниженным результатам. Недостатком подовых топок является большое время догорания углей, до нескольких часов. На приведенных в работе [9] фотографиях видно, что даже через час после окончания замеров процесс догорания углей продолжается. Следовательно, продолжается выделение СО. Когда угли полностью догорят — не очень понятно. Поэтому в таких печах для обеспечения безопасности не устанавливаются выходные задвижки. Отсутствие выходной задвижки приводит к более быстрому охлаждению печи. Для снижения тепловых потерь в печи устанавливают герметичную топочную дверку и герметичную дверку подачи входного воздуха.

В итоговой таблице [9] представлены результаты многочисленных испытаний подовой печи. Из таблицы видно, что количество СО (в граммах на

¹ Евростандарт 15250 Теплостойкие отопительные приборы на твердом топливе. Требования к конструкции и методы испытания.

² ГОСТ 3000-45 Печи отопительные теплоемкие. Методы испытания.

килограмм абсолютно сухой древесины) колеблется в больших пределах от 9,0 до 27,0 г/кг. Эти результаты зависят во многом от того, как уложены дрова и как они разгораются.

Для реального, т.е. фактического, определения концентрации СО были проанализированы результаты испытания № ВК1-08 со значением 10,53 г/кг.

На рис. 2 приведен график процесса сгорания дров, пересчитанный в программе Excel.

На рис. 2 пунктиром показан участок измерения параметров процесса сгорания дров по стандарту. Из рис. 2 видно, что после окончания замеров процесс догорания углей продолжается и не заканчивается пределами графика и СО продолжает выделяться. В табл. 1 приведены результаты полученные из работы [9] и полученные расчетом по

представленным графикам согласно Евростандарта 15250 и фактические для всего графика с учетом догорания углей.

Из табл. 1 видно, что даже учет выделения СО в пределах графика приводит к суммарному увеличению СО в два раза, а реально эта величина может быть еще больше. Все определяется моментом закрытия подачи воздуха в печь.

Основываясь на полученных результатах, можно считать, что реальные выбросы СО в таких топках могут лежать в пределах от 20,0 до 55,0 г/кг. И это при очень сухих дровах и при большой массе каждого полена, что очень редко встречается в наших условиях эксплуатации печей. Эти значения СО являются ориентировочными для оценки и сравнения топок с колосниковой решеткой, кото-

Рис. 2. График № ВК1-08

Табл. 1. Испытание № ВК1-08

Параметр	Заявленная величина	Расчет по Евростандарту EN 15250	Фактическое значение
Общая масса дров, кг	22,65	22,65	22,65
Влажность W , %	15	15	15
Масса сухой части, кг	19,25	19,25	19,25
Количество поленьев, шт.	12	12	12
Средняя масса полена, кг	1,8	1,8	1,8
Теплотворная способность дров, ккал	3650	3650	3650
Время сгорания, ч	2,0	2,0	2,83
Скорость сгорания, кг/ч	9,57	9,57	—
Температура $T_{\text{вых}}$ (ср), °C	101	104	111
Концентрация $O_{2\text{ср}}$, %	13,14	13,1	15,3
Концентрация $CO_{\text{ср}}$, %	0,07	0,07	0,1
«альфа» (ср)	2,69	2,7	3,7
Количество СО, г/кг	10,53	10,8	21,4
КПД, %	80,8	—	—

рые имеют значительные преимущества по снижению времени на догорание углей и удобству в обслуживании печи. Сравнение по КПД этих печей проводиться не будет, так как подовые печи ЭКО+ и печь ПДКШ-2,0, используемая для экспериментов, имеют разные конвективные системы и сконструированы для разных условий эксплуатации. Печь ПДКШ-2,0 подробно описана в работе [11].

Печь с колосниковой решеткой. В случае применения колосниковой решетки основной воздух к дровам поступает снизу через решетку. При нагревании дров во время сгорания из них выделяется большое количество летучих, для полного и качественного сгорания которых требуется медленная равномерная подача воздуха на всю закладку. Уголь (кокс), образующийся на полене, горит очень медленно, так как к нему затруднен подход воздуха. Только после попадания угля на колосник в зону входного воздуха он начинает полноценно сгорать.

Для быстрого догорания углей необходима большая скорость подаваемого воздуха. Это требует различных способов подачи воздуха через колосниковую решетку на разных этапах сгорания дров.

К колосниковой решетке предъявляются противоречивые требования:

1. Для равномерной подачи воздуха площадь колосниковой решетки должна быть равна площади дровяной закладки или чуть меньше.
2. Для быстрого догорания углей они должны догорать на небольшой площади колосниковой решетки и продуваться воздухом с большой скоростью.

Если взять колосниковую решетку с большой площадью, то процесс догорания углей затянется и печь будет охлаждаться излишним входным воздухом. А при маленькой площади колосниковой решетки невозможно обеспечить равномерную подачу воздуха под всю закладку.

Воздух, проходящий через прозоры колосниковой решетки на этапе сгорания летучих, приводит к неравномерному сгоранию дров в площади дровяной закладки и, особенно, в площади самой колосниковой решетки. Струи воздуха попадают на дрова, и в этих зонах начинается интенсивное сгорание древесины. Количество кислорода снижается. Сгорание древесины происходит с небольшими коэффициентами избытка воздуха. Температура повышается, выделяется большое количество летучих, которые не успевают сгорать из-за недостатка кислорода.

Поскольку площадь колосниковой решетки, как правило, в несколько раз меньше площади пода, то дрова начинают сгорать наиболее интенсивно в зоне решетки, там, где основной поток воздуха, а по краям сгорают медленнее. Угли, образующиеся по краям, падают вокруг колосника и медленно догорают без достаточного притока воздуха. Для дожигания

этих углей их необходимо сгребать на колосник. Это усложняет обслуживание печи. Часть воздуха из колосниковой решетки движется вдоль поленьев в сторону топочной дверки. Водяные пары и часть летучих попадает на стекло топочной дверки и загрязняет его. Чтобы стекло оставалось чистым, перед дверкой делают щель из зольной камеры. Струя воздуха из щели отсекает газы, идущие из дров, но при этом эта часть воздуха не участвует в процессе дожигания углей.

В стандарте³ приведены рекомендации по выбору размера колосниковой решетки исходя из допустимого напряжения колосниковой решетки

$$R \leq 250 \left(\frac{\text{кг}}{\text{м}^2 \cdot \text{ч}} \right).$$

Выбор размеров по этим рекомендациям не позволяет согласовать противоречивые требования, предъявляемые к колосниковым решеткам. Снижение напряжения колосниковой решетки позволяет выбрать колосниковую решетку большей площади и улучшает картину распределения воздуха под дровами, но принципиально не решает вышеизложенных проблем и только увеличивает время дожигания углей.

Поэтому были разработаны и исследованы новые конструкции топливников, обеспечивающие равномерное сгорание дров, быстрое догорание углей и требующие минимального обслуживания, т.е. отсутствие необходимости сгребать догорающие угли на колосниковую решетку.

Комбинированный топливник без колосниковой решетки. Было предложено и рассмотрено несколько конструкций металлических топливников, на которые были получены патенты на полезную модель [13–15]. Некоторые были испытаны в печи ПДКШ-2,0. По итоговым результатам испытаний была предложена конструкция комбинированного топливника без колосниковой решетки [16] (рис. 3).

Из рис. 3 видно, что входной воздух для сгорания дров поступает в топку снизу через узкую щель. Между дровами и стенками топки установлены полозья, по которым дрова по мере сгорания опускаются к низу топки. Между дровами и стенками топки образуется воздушный зазор, определяемый толщиной полозьев. Входной воздух через нижнюю щель топки с большой скоростью поступает к дровам. Часть воздуха огибает дрова через воздушный зазор между дровами и стенкой топки. Постепенно рассеиваясь, воздух поступает равномерно ко всей закладке дров. Это обеспечивает более качественное сгорание дров по сравнению со случаем обычной подачи воздуха через решетку. Подбор размеров нижней входной щели и толщины полозьев позволяет изменять количество воздуха, поступающего непосредственно к дровам и вокруг дров, и, тем

³ ГОСТ 2127-47. Печи отопительные теплоемкие.

Рис. 3. Комбинированный топливник без колосниковой решетки (сгорают дрова)

Рис. 4. Комбинированный топливник без колосниковой решетки (догорают угли)

самым, получить нужный режим сгорания дров. По мере прогорания дров и образования углей дрова опускаются к низу топки. Образовавшиеся угли собираются около нижней щели и весь входной воздух проходит через слой углей. При этом скорость воздуха максимальна, что и приводит к интенсивному догоранию углей. На рис. 4 показана завершающая стадия догорания углей.

Ширина нижней щели определяет размер догорающих углей, падающих в зольную коробочку. Для ускорения окончания процесса догорания углей их остатки можно протолкнуть в зольную коробочку и удалить из печи.

На рис. 5 представлена конструкция такого топливника.

Топливник рассчитан на дрова длиной 40...41 см, выполнен из стали толщиной 4,0 мм и состоит из нескольких частей, которые монтируются в печь через топочную дверку. Боковые пластины топливника имеют угол наклона 60°, что обеспечивает гарантированное перемещение догорающих углей к нижней части топливника. Одновременно боковые пластины являются тепловыми экранами и снижают температуру на внутренних кирпичах топки на 250...300 °С. Нижние боковые полозья имеют сечение 14 × 14 мм а верхние боковые —

Рис. 5. Комбинированный топливник без колосниковой решетки

10 × 10 мм. Нижняя входная воздушная щель имеет размеры 36 × 2 см. На рис. 6 показан комбинированный топливник, установленный в печь ПДКШ-2,0. При исследовании процессов сгорания дров использованы газовый анализатор и анемометр.

Рис. 6. Печь ПДКШ-2,0

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 7 представлены графики сгорания закладки березовых дров влажностью 20...25 % массой 7,3 кг.

В табл. 2 приведены сравнительные результаты расчета по приведенному графику для комбинированного топливника без колосниковой решетки и при сгорании дров на колосниковой решетке.

Расчеты проведены на участке по Евростандарту и на участке до полного сгорания углей.

Расчет КПД печи проводился по формуле

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

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

$$Q_{др} = M_{др} \cdot Q_n,$$

где $Q_n \approx 3200$ ккал — низшее значение теплотворной способности дров для конкретной относительной влажности $W = 20...25$ %.

Рис. 7. График сгорания дров в комбинированном топливнике без колосниковой решетки

Табл. 2. Результаты испытаний

Параметр	Топка с колосниковой решеткой 25 × 15 см		Комбинированный топливник 36 × 2 см	
	Расчет по Евростандарту EN 15250	Фактическое значение	Расчет по Евростандарту EN 15250	Фактическое значение
Масса дров, кг	7,1	7,5	6,9	7,3
Влажность W , %	25	25	25	25
Средняя масса полена, г	—	—	1,46	1,46
Масса сухой части, кг	5,3	5,6	5,2	5,5
Время сгорания, мин	68	98	80	102
Температура $T_{\text{вых}}$ (ср), °C	235	224	227	210
Концентрация $O_{2\text{ср}}$, %	9,5	12,5	11,3	13,1
Концентрация $CO_{2\text{ср}}$, %	11,5	8,5	9,7	7,9
Концентрация CO , %	0,46	0,52	0,54	0,5
КПД, %	76	72	74	72
«альфа» (ср)	1,8	2,5	2,2	2,66
Воздух (дым) по анемометру, м³	43 (48)	62 (68,8)	49,6 (55)	62,3 (68,4)
Воздух (дым) по расчету, м³	45 (51)	66 (72,8)	49,3 (55)	62 (68,2)
Количество CO , м³	0,225	0,364	0,297 (0,272)	0,341 (0,314)
Количество CO , г	282	455	371 (308)	426 (392)
Количество CO , г/кг	53	81	71 (65,4)	77 (71)
Скорость воздуха через колосниковую решетку, м/с	0,286	0,286	1,3	1,3

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

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

При этом принято $q_3 \approx 4,0\%$, $q_4 \approx 1,0\%$,

Потери тепла, ккал, с уходящими газами равны

$$Q_2 = C_{\text{ср}} (V_{\text{вх}} + V_{\text{доп}}) \Delta T_{\text{вых}}, \quad (3)$$

$C_{\text{ср}} = 0,38 \left(\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{град}} \right)$ — средняя теплоемкость дымовых газов [17],

$$V_{\text{доп}} \approx 0,85 M_{\text{др}} [12].$$

Заменяем количество входного воздуха на выражение

$$V_{\text{вх}} = M_{\text{др}} V_{\text{ст}} \alpha, \quad (4)$$

где $V_{\text{ст}}$ — объем воздуха при стехиометрическом горении, м³,

$$Q_2 \approx M_{\text{др}} C_{\text{ср}} (V_{\text{ст}} \alpha + 0,85) \Delta T_{\text{вых}}. \quad (5)$$

Для повышения точности результатов расход входного воздуха измерялся анемометром.

Расчет значений CO проводился по средним и мгновенным значениям (в скобках). Расчет в мгновенных значениях для комбинированного топливника более точен, так как расход воздуха через печь изменяется во время сгорания дров больше, чем с колосниковой решеткой.

Из приведенных графиков и табл. 2 видно:

1. Процесс сгорания закладки дров в комбинированном топливнике более длительный и более равномерный и приближается к рекомендованному графику на рис. 7.

2. На участке догорания углей они интенсивно догорают. Время догорания углей сократилось на 40...50 %.

3. На участке догорания углей расход воздуха через печь снижается примерно на 25 %.

4. Время сгорания дров увеличилось примерно на 30,0 %.

5. Скорость воздуха через угли увеличилась в 4,5 раза и составила 1,3 м/с.

6. Фактическое значение КПД снижается на 2 %, с 74 до 72 %, а в топке с колосниковой решеткой на 4 %, с 76 до 72 %.

7. Реальные выбросы СО уменьшились с 81 до 71 г/кг и сопоставимы с подовыми топками ЭКО+ (55 г/кг).

8. Отпала необходимость сгребать угли.

9. Температура на кирпичах топки снизилась на 250...300 °С.

10. Меньше стала греться топочная дверка (было 350 °С, стало 250 °С).

11. Не закапчивается стекло топочной дверки.

ВЫВОДЫ

1. Комбинированный топливник без колосниковой решетки может найти применение в бытовых печах различного назначения.

2. Необходимо продолжить работы по дальнейшему изучению комбинированного топливника без колосниковой решетки с целью дальнейшего улучшения его характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протопопов В.П. Печное дело. М. ; Л., 1934. 280 с.

2. Школьник А.Е. Печное отопление малоэтажных зданий. М. : Высш. шк., 1991. 161 с.

3. Хошев Ю.М. Дровяные печи. Процессы и явления. М., 2015. 392 с.

4. Ковалевский И.И. Печные работы. М. : Высш. шк., 1983. 208 с.

5. Испытания печи-трансформер на заводе Вольфсхойер Тонверке // Форум «Печных дел мастера». Режим доступа: <http://www.forum.stovemaster.ru/viewtopic.php?t=7235>.

6. Шевяков В.В. Испытание печи-трансформер. Сравнение колосникового и подового сжигания дров // Форум печников и строителей. Режим доступа: <http://www.stroiteli.info/showthread.php/4207-Испытание-печи-трансформер-Сравнение-колосникового-и-подового-сжигания-дров>.

7. Шевяков В.В. Сгорание дров в топке бытовой печи // Universum: Технические науки. 2015. № 4–5 (17) . Режим доступа: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2161>.

8. Der Umweltplus Brennraum. Режим доступа: <http://docplayer.ru/53409540-Der-umweltplus-brennraum-topki-eko-rudolf-hazelbyok-mitglied-bei.html>.

9. Austrian Eco Firebox Testing. Режим доступа: <http://www.heatkit.com/research/lopez-2014-03-01.html>.

10. Семенов Л.А. Теплоустойчивость и печное отопление жилых и общественных зданий. М. : Машстройиздат, 1950. 264 с.

11. Печь для дома и дачи. Режим доступа: <http://www.pechkaru.ru/>.

12. Шевяков В.В. Конденсат в трубе бытовой печи при горении дров // Universum: Технические науки. 2015. № 6. Режим доступа: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2254>.

13. Патент на полезную модель РФ № 161205, МПК F24B 13/00 (2006.01). Топливник отопительной печи / патентообл. В.В. Шевяков. Оpubл. 10.04.2016; бюл. № 10, 13.07.2015.

14. Патент на полезную модель РФ № 169230, МПК F24B 1/00 (2006.01) F24B 5/04 (2006.01). Топливник отопительной дровяной печи с двумя каналами подачи воздуха и с двумя зонами горения / патентообл. В.В. Шевяков. Оpubл. 13.03.2017, бюл. № 8, 08.09.2016 .

15. Патент на полезную модель РФ № 170184, МПК F24B 1/02 (2006.01) F24B 1/191 (2006.01) F24B 13/02 (2006.01). Топливник отопительной печи со смещенной колосниковой решеткой / патентообл. В.В. Шевяков. Оpubл. 18.04.2017, бюл. № 11, 28.11.2016.

16. Патент на полезную модель РФ № 173707, МПК F24B 1/02 (2006.01) F24B 1/197 (2006.01). Комбинированный топливник без колосниковой решетки / патентообл. В.В. Шевяков. Оpubл. 07.09.2017; бюл. № 25, 05.06.2017.

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

Поступила в редакцию 19 июня 2017 г.

Принята в доработанном виде 7 декабря 2017 г.

Одобрена для публикации 28 декабря 2017 г.

О Б АВТОРЕ: Шевяков Владимир Викторович — кандидат технических наук, пенсионер, shevvladimir@gmail.com; ORCID 0000-0001-5946-2742.

REFERENCES

1. Protopopov V.P. *Pechnoe delo* [Stove business]. Moscow, Leningrad, 1934. 280 p. (In Russian)
2. Shkol'nik A.E. *Pechnoe otoplenie malotazhnykh zdaniy* [Furnace heating of low-rise buildings]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1991. 161 p. (In Russian)
3. Khoshev Yu.M. *Drovyanye pechi. Protsessy i yavleniya* [Wood stoves. Processes and phenomena]. Moscow, 2015. 392 p. (In Russian)
4. Kovalevskiy I.I. *Pechnye raboty* [Oven work]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1983. 208 p. (In Russian)
5. Ispytaniya pechi-transformer na zavode Vol'fskhoyer Tonverke [Tests of the furnace-transformer at the plant Wolfsheuer Tonverke]. *Forum «Pechnykh del мастера»* [Forum "Furnace master"]. Available at: <http://www.forum.stovemaster.ru/viewtopic.php?t=7235>. (In Russian)
6. Shevyakov V.V. Ispytanie pechi-transformer. Sravnenie kolosnikovogo i podovogo szhiganiya drov [Test furnace-transformer. Comparison of grate and bottom firewood burning]. *Forum pechnikov i stroiteley* [Forum of stove workers and builders]. Available at: <http://www.stroiteli.info/showthread.php/4207-Ispytanie-pechi-transformer-Sravnenie-kolosnikovogo-i-podovogo-szhiganiya-drov>. (In Russian)
7. Shevyakov V.V. Sgoranie drov v topke bytovoy pechi [Burning of firewood in the furnace of a household furnace]. *Universum: Tekhnicheskie nauki* [Universum: Technical sciences]. 2015, no. 4–5 (17). Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2161>. (In Russian)
8. *Der Umweltplus Brennraum*. Available at: <http://docplayer.ru/53409540-Der-umweltplus-brennraum-topki-eko-rudolf-hazelbyok-mitglied-bei.html>.
9. *Austrian Eco Firebox Testing*. Available at: <http://www.heatkit.com/research/lopez-2014-03-01.html>.
10. Semenov L.A., *Teploustoychivost' i pechnoe otoplenie zhilykh i obshchestvennykh zdaniy* [Thermal stability and furnace heating of residential and public buildings]. Moscow, Mashstroyizdat, 1950. 264 p. (In Russian)
11. *Pech' dlya doma i dachi* [Furnace for home and cottages]. Available at: <http://www.pechkaru.ru/>. (In Russian)
12. Shevyakov V.V. Kondensat v trube bytovoy pechi pri gorenii drov [Condensate in the tube of a household stove while burning wood]. *Universum: Tekhnicheskie nauki* [Universum: Technical sciences]. 2015, no. 6. Available at: <http://7universum.com/ru/tech/archive/item/2254>. (In Russian)
13. Utility model patent RF № 161205 IPC F24B 13/00 (2006.01). *Toplivnik otopitel'noy pechi* [Heating furnace heater]. Patentholder V.V. Shevyakov, published 10.04.2016; byul, no. 10, 13.07.2015. (In Russian)
14. Utility model patent RF № 169230 IPC F24B 1/00 (2006.01) F24B 5/04 (2006.01). *Toplivnik otopitel'noy drovyanoy pechi s dvumya kanalami podachi vozdukha i s dvumya zonami goreniya* [Fuel tank for the heating wood stove with two channels of air supply and two combustion zones]. Patentholder V.V. Shevyakov, published 13.03.2017, byul. no. 8, 08.09.2016. (In Russian)
15. Utility model patent RF № 170184 IPC F24B 1/02 (2006.01) F24B 1/191 (2006.01). F24B 13/02 (2006.01). *Toplivnik otopitel'noy pechi so smeshchennoy kolosnikovoy reshetkoy* [Heating furnace stove with displaced grate]. patentholder V.V. Shevyakov, published 18.04.2017, byul. № 11, 28.11.2016. (In Russian)
16. Utility model patent RF № 173707 IPC F24B 1/02 (2006.01) F24B 1/197 (2006.01). *Kombinirovannyi toplivnik bez kolosnikovoy reshetki* [firebox of the heating furnace with a displaced grate] / patentholder Shevyakov V.V. published 07.09.2017; byul, no. 25, 05.06.2017.
17. Nagorskiy D.V. *Obshchaya metodika rascheta pechey* [General procedure for calculating ovens]. Moscow, Leningrad, AN SSSR, 1941. 317 p.

Received June 19, 2017.

Adopted in final form on December 7, 2017.

Approved for publication on December 28, 2017.

ABOUT THE AUTHOR: **Shevyakov Vladimir Viktorovich** — Candidate of Technical Sciences, Pensioner, shevvladimir@gmail.com; ORCID 0000-0001-5946-2742.