

БАННАЯ ПАРОВАЯ ПЕЧЬ

Т. В. Захарова, Е. Л. Мальцев, С. П. Рябихин

В работе на основе проведенного анализа обоснованы требования к металлической банной печи, приведена конструкция оригинальной паровой печи. Представлены результаты исследования по изучению влияния конструктивных параметров на мощность и коэффициент полезного действия.

Ключевые слова: банная паровая печь, температура и влажность, тепловая мощность, пожаробезопасность, энергоэффективность.

Введение

В России банная культура имеет давние традиции. В современных условиях широкой популярностью традиционно пользуются русские бани, получили распространение так называемые сауны, входят в обиход восточные хамамы. Параметрами, характеризующими тот или иной вид бани [1], являются температура и влажность в парильном помещении, стабильность поддержания заданных параметров длительное время, а также составом воздуха, характеризуемым количеством кислорода и минеральных веществ и степенью отклонения от так называемого среднестатистического значения. Банные печи традиционно изготавливают из камня и кирпича. Каменные печи обладают такими неоспоримыми преимуществами, как большая мощность и теплоемкость, инерционность, высокая пожаробезопасность. Это позволяет стабильно поддерживать требуемые параметры парильного помещения, создавать комфортные условия для парения. Достигается это использованием большого количества материала, в частности камня и кирпичей. В результате каменные печи являются тяжелыми, громоздкими, для своей установки требуют отдельного полноценного фундамента. Стоимость каменных печей сопоставима стоимости срубовых бань и в современных условиях может составлять многие сотни тысяч рублей. Поэтому разработка металлической банной печи, обеспечивающей при заданной мощности высокую теплоемкость, пожаробезопасность и низкую стоимость является актуальным.

Известно [1, 2], что большинство существующих печей отдают тепло за счет конвекции, теплопередачи и лучистой энергии. Сочетание этих видов теплопередачи определяет эффективность подготовки и нагрева парной в начальный период и затем поддержание требуемой температуры в течение длительного периода использования печи собственно по назначению.

Влажность воздуха в парной в сочетании с фактической температурой существенно влияет на ощущение и комфортность парильщиков. Для оценки режима парения широко пользуются поня-

тием относительная влажность воздуха. Численное значение этого показателя характеризует относительное количество влаги, растворенное в воздухе, от максимально возможного при данной температуре. Незначительное повышение или понижение температуры воздуха приводит к существенному изменению относительной влажности. По субъективным оценкам, значение температуры, при достижении которой начинается водно-тепловой режим под общим названием баня, начинается примерно с 40 °С и заканчивается при 120–140 °С. Воздух в парильном помещении содержит определенное количество влаги. В зависимости от влажности банный пар может быть легкий, не насыщенный, влажный, острый, ядреный, тяжелый, кусачий, перегретый. По обобщенным данным русская баня характеризуется примерно одинаковым сочетанием значений температуры и влажности в диапазоне от 45 до 60...65; сауна – температурой от 70 °С до 100 °С и больше, а влажностью от 10...15% и пропорционально уменьшающейся до нуля с ростом температуры; хамамы характеризуются повышенной влажностью вплоть до 100% при температуре близкой или чуть выше температуры тела.

На основе приведенной выше информации, к банной печи можно предъявить ряд требований. Основное требование – это достаточная тепловая мощность для прогрева и поддержания требуемого режима в конкретном помещении. Как правило, длительность прогрева парильного помещения должна составлять не более 1...3 часов в зависимости от времени года. Из установившейся практики, при использовании современных материалов для строительства и утепления бани, печь должна обеспечивать не менее 1 кВт тепловой мощности на 1 м³ парной. Размеры парной домашней бани изменяются в широком диапазоне, наиболее распространенными являются малого и среднего размера 8...30 м³. Мощность печи должна составлять не менее 25...30 кВт.

Тепловая мощность определяется [3] количеством и теплотворной способностью топлива, сгоревшего в единицу времени. В качестве топлива для домашних бань наибольшее распространение получили дрова, хотя газ набирает популярность.

Теплотворная способность дров зависит от породы древесины и ее влажности. В целом количество дров является более значимым параметром, чем их теплотворная способность. Определяющим для мощности печи является объем топки и, в том числе, длина закладываемых дров.

Следующее требование-возможность управления температурой и влажностью воздуха в парильном помещении в течении длительного времени. Выполнения этого требования зависит от соотношения мощности печи и объема парильного помещения. Чем больше мощность, тем легче обеспечить требуемый режим. Однако избыточная мощность тоже не нужна.

Широкое распространение получили традиционные способы нагрева парной. Конвективный нагрев происходит за счет нагрева и оборота воздуха в парильном помещении. Повышению вклада данного способа способствует увеличение площади нагретой поверхности. Лучистый нагрев происходит за счет электромагнитного излучения в видимой части спектра. Его эффективность зависит от четвертой степени температуры нагретой поверхности. Лучистый нагрев становится основным фактором при нагреве излучающей поверхности от температуры 250...300 °С и выше. Теплопередача обеспечивает нагрев при механическом контакте. Данный способ хорошо проявляется при нагреве стены каменной печи или помещения, а также керамического лежака. С изменением температуры величина вклада в общий нагрев этих способов изменяется.

Наряду с перечисленными способами для нагрева парной можно использовать водяной пар. Так называемые общественные или городские бани в большом числе обогреваются именно с помощью пара. Для нагрева воды на один градус требуется в 4,2 раза меньше тепла, чем на испарение того же количества воды и получение пара. Пар, соприкасаясь со стенами и другими поверхностями парильного помещения, конденсирует и отдает тепло. Таким образом, пар, как переносчик тепла, является энергонасыщенным. Потери тепловой энергии в цепочке «вода-пар-поверхность интерьера» минимальны. Нагрев парной происходит интенсивно, за короткое время. Поддержание требуемой температуры в парной происходит путем изменения количества и температуры подаваемого пара.

При использовании пара в качестве теплоносителя влажность в парильном помещении повышена. Это ведет к увеличению теплового воздействия на принимающего банные процедуры, которое может быть чрезмерным. Для снижения влажности воздуха применяют интенсивное, так называемое, залповое проветривание: на короткое время открывают дверь и форточку и устраивают сквозняк. При этом поступает новая порция воздуха с пониженной влажностью и температурой. В прогретом помещении температура воздуха быстро поднимается, а влажность остается низкой и обеспечивает

комфортное парение. Таким образом, при использовании пара в качестве источника тепла имеются широкие возможности для управления банными режимами и поддержания требуемых параметров.

Банные процедуры призваны повышать здоровье. Наряду с вопросами воздействия на человека температуры и влажности, большое значение имеет вопрос гигиены дыхания. Сухой воздух [1] имеет низкую теплоемкость и теплопроводность. Для получения достаточного теплового эффекта в суховоздушной сауне приходится повышать температуру до 90 °С, а иногда до 120...140 °С. Для этого воздух пропускают около раскаленных до 300...400 °С поверхностей металлических печей. Такой способ нагрева приводит к выгоранию органики воздуха, в нем накапливаются диоксины и угарный газ. По сути воздух проходит раскаленную зону печи, как при технологическом процессе какого-нибудь производства. Не случайно в суховоздушных саунах часто стоит запах паленого дерева и раскаленного металла, которые парящийся вдыхает во время банной процедуры. Это далеко не оздоровительный процесс.

Под понятием эффективность понимается полнота утилизации тепла горящего топлива для нагрева парильного помещения. В целом, показателем эффективности работы печи, а значит и нагрева парной, является температура дымовых газов, выходящих из трубы. Чем выше температура, тем гуще дым, тем больше тепла выбрасывается через трубу, тем больше потери и ниже эффективность. Снижение температуры дымовых газов является, кроме того, показателем экономичности. Экономичность подразумевает количество дров, необходимых для парения, если можно так сказать, одной смены.

Бани, как правило, изготавливают из дерева. Печи являются источником пожарной опасности для деревянных строений. Выполнение требований, направленных на обеспечение пожаробезопасности эксплуатации бань, является очень важным. Конструктивными мерами по снижению опасности возникновения пожара является снижение температуры внешних стенок печи и трубы, организация вентиляции воздуха с целью теплообмена.

Общая стоимость печи определяется сложностью изготовления конструкции, стоимостью и количеством используемого материала. При установке печи необходимо оборудовать фундамент, той или иной сложности в зависимости от веса, выполнить теплоизоляцию стен и дымоходной трубы особенно в местах касания. В целом стоимость печи тем меньше, чем меньше вес и ниже температура нагрева внешней поверхности.

Металлические печи по свойствам не уступают кирпичным. Они более легкие, быстрее прогревают помещение, достаточно просты в установке и имеют приемлемую стоимость. Однако, существуют и недостатки, такие как низкая теплоотдача и высокая пожароопасность. Все существующие недо-

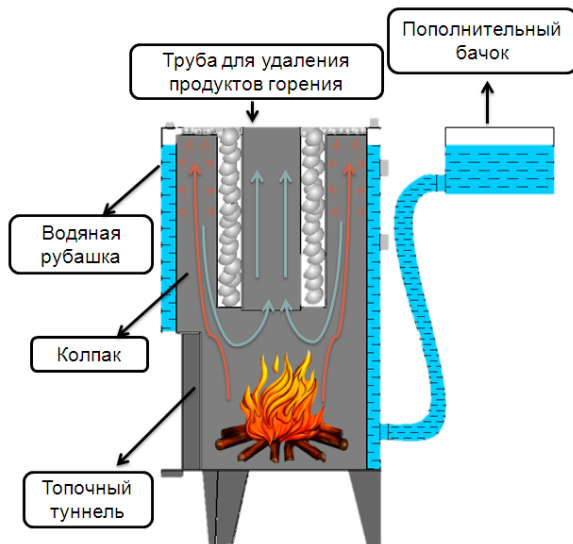


Рис. 1. Схема паровой банной печи

статки можно устранить с помощью специальных технических решений в конструкции печи.

Целью работы является обоснование рациональной конструкции энергоэффективной банной паровой колпаковой печи с топкой подового типа. При заданной мощности такая печь обеспечивает высокую теплоемкость, пожаробезопасность и низкую стоимость.

Задачи исследования – разработать конструкцию банной паровой печи, отвечающей предъявляемым требованиям; на основе теоретического анализа рабочего процесса разработать методику и провести исследование, по результатам которого разработать рекомендации по конструкции печи, позволяющие повысить ее энергоэффективность.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования является конструкция разрабатываемой колпаковой банной печи, представленная на рисунке 1.

Печь устроена следующим образом: корпус составляет водяная рубашка, топка оборудована туннелем, газовыделительная система образует колпак над полостью топки. В рубашке имеются патрубки для подвода воды, горячего водоснабжения и отвода пара. В комплект входит дополнительный бачок.

Функционирование печи основывается на двух главных принципах, позволяющие повысить её КПД – это верхнее горение дровяного топлива и наличие достаточного объема для свободного движения газов.

Таблица 1 – Параметры исследуемых печей

Наименование печи	Внешние размеры, мм	Объем колпака, м ³	Объем топки, м ³	Объем воды, л	Масса, кг	Объем залитой воды, л	Масса, закладываемых дров, кг
Печь 1 круглой формы	Ø 425 Н-620	0,067	0,033	21	36	14	9,6
Печь № 2 круглой формы	Ø 465 Н-860	0,114	0,054	33	70	22	15,9
Печь № 3 квадратной формы	□ 490x490 Н-860	0,114	0,054	93	87	62	15,9

В процессе работы печи горячий воздух от сгораемого топлива поднимается и заполняет замкнутый сверху колпак, где взаимодействует с его стенками и водяной рубашкой печи, отдавая им тепло. Как только давление под колпаком превысит атмосферное (в трубе), остывший воздух устремляется в трубу, тем самым происходит выхлоп. При выравнивании давления выхлоп прекращается. При этом выделяемое тепло идет на парообразование и на нагрев воды, а температура металлической конструкции (трубы) снижается до 100–200 °С.

Предлагаемая конструкция печи позволит решить главную проблему всех металлических печей – пожароопасность. Это достигается, прежде всего, из-за водяной рубашки, так как нагретая металлическая конструкция отдает тепло жидкостной прослойке, наличие которой, в свою очередь, позволяет снизить тепловые потери.

Математическая модель [2, 3], описывающая работу колпаковой подовой печи, представлена в виде уравнения теплового баланса:

$$Q_T = Q_{\text{пол}} + Q_{\text{мех}} + Q_V + Q_{\text{п}} + Q_{\text{н.п.}} + Q_{\text{возд}}, \quad (1)$$

где Q_T – теплота от горения топлива;

$Q_{\text{пол}}$ – теплота на нагрев металла печи;

Q_V – количество теплоты на нагрев воды;

$Q_{\text{п}}$ – количество теплоты, требуемое на

получение пара;

$Q_{\text{мех}}$ – механические потери из-за выноса

мелких частиц топлив;

$Q_{\text{н.п.}}$ – неучтенные потери;

$Q_{\text{возд.}}$ – количество теплоты, необходимое на

нагрев поступающего воздуха и продуктов горения до температуры отходящих дымообразных остатков [2].

Мощность представленной печи зависит объема топки, а КПД – от соотношения геометрических параметров, таких как соотношения объема топки и колпака, высоты и диаметра водяной рубашки, что соответственно определяет номинальный объем воды в печи, а также количества и качества используемого топлива.

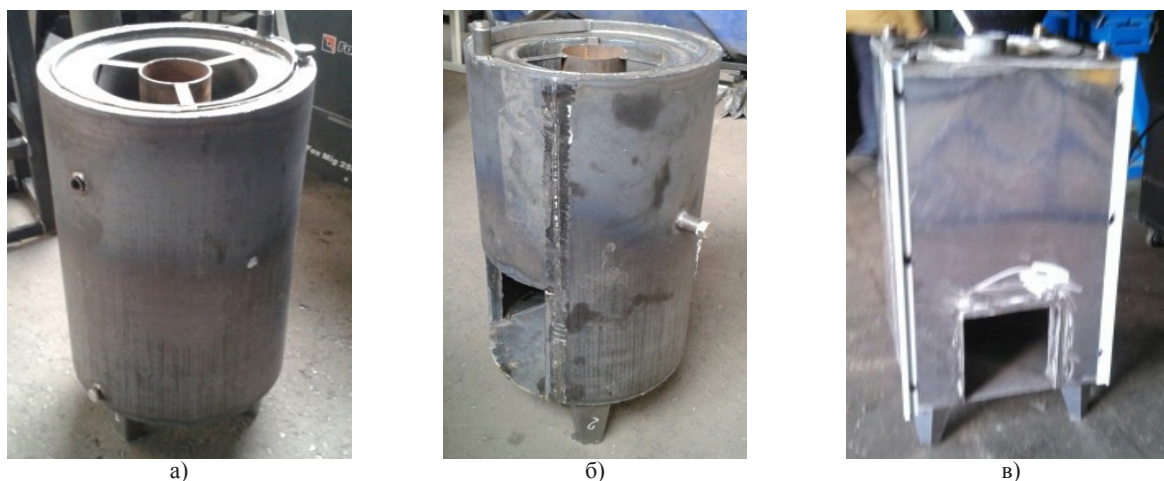


Рис. 2. Исследуемые образцы: а – печь №1; б – печь №2; в – печь №3

Для проведения исследования были изготовлены образцы паровой печи трех типоразмеров с параметрами, представленными в таблице 1. Внешний вид образцов представлен на рисунке 2

Цель эксперимента – оценить мощность и КПД колпаковой подовой печи.

В работе применялась следующая методика оценки мощности.

1. Теоретически определялась максимальная мощность печи, исходя из теплотворной способности березовых дров, времени и интенсивности сгорания топлива

$$P = \frac{(M - M_{\text{ост}}) \cdot C_{\text{п}}}{1000 \cdot T}, \quad (2)$$

где P – мощность печи, кВт;

M – масса закладки дров, кг;

$M_{\text{ост}}$ – остаток несгоревших дров (в активной

фазе горения), кг;

$C_{\text{п}}$ – теплотворная способность дров, МДж/кг

(березы = 16,3 МДж/кг);

Таблица 2 – Результаты эксперимента

Параметры	Наименование печи		
	печь №1	печь №2	печь №3
Время выхода на рабочий режим, мин	28	22	23
Среднее время работы печи, мин	35	55	55
Количество воды, переработанное в пар, кг	18	50	40
Остаток несгоревших дров, кг	2,4	3,19	3,19
Время сгорания топлива, с	2100	3300	3300

Таблица 3 – Результаты расчетов

Параметры	Наименование печи		
	печь №1	печь №2	печь №3
Нормативное количество воды, преобразуемое в пар, кг	45	84	77
Фактическое количество воды, переработанное в пар, кг	18	50	40
КПД	0,4	0,6	0,52
Максимальная мощность печи, кВт	22	63,1	63,1
Теплопроизводительность печи, кВт.	14	38	32

T – время сгорания дров, с.

2. Определялся КПД, как отношение между расчетным и фактическим показателем количества воды, переведенного в пар, полученным в результате эксперимента.

3. Определялась теплопроизводительность (полезная мощность) печи, используемая для нагрева помещения, камней и других предметов

$$P_{\text{п}} = P \cdot K_{\text{п}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{п}}$ – теплопроизводительность, кВт;

P – максимальная мощность печи, кВт;

$K_{\text{п}}$ – КПД печи.

Результаты и их обсуждение

Исследования каждой печи проводились по предложенной методике, число повторностей – 5. Обобщенные результаты эксперимента представлены в таблице 2, результаты расчета – в таблице 3.

Анализ этой таблицы показывает, что самой мощной и эффективной печью является печь № 2. Геометрические параметры печи являются наиболее рациональными из всех исследуемых для выработки достаточного количества пара и тепла, подогрева воды, обеспечения безопасности использования и экономии топлива. Печь № 3, обладающая большим объемом водяной рубашки по сравнению с № 2, также обладает достаточной мощностью для эффективной работоспособности. Печь № 1 обладает самым низким показателем мощности. Недостаточность эффективности работы и низкая пожаробезопасность такой печи объясняются, прежде всего, её геометрическими параметрами.

По итогам исследования были разработаны рекомендации по изготовлению банных паровых печей:

1. Высота печи должна быть не менее 800 мм.
2. Колпак высотой не менее 450 мм.
3. Расстояние между верхним краем топки и началом дымоходной трубы – не менее 150 мм.
4. Размер топочного отверстия – 250X250 мм.
5. Для обеспечения максимальной мощности рекомендуется уменьшить толщину водяной рубашки, т. е. расстояние между внешней и внутренней стенками водяной рубашки.

Выводы

Для выполнения натурных исследований, входящих в состав работ по этапу 2, был определен объект исследования, разработаны этапы проведения эксперимента, утверждена методика определения КПД и мощности банной печи колпакового типа. Эксперимент проводился для каждой печи 5 раз. Фиксировались следующие параметры: количество закладываемых дров, остаток несгоревших дров (в активной фазе горения), время сгорания дров, время выхода на рабочий режим, продолжи-

тельность рабочего режима, количество полученного пара. Была проведена статистическая обработка результатов эксперимента. С помощью математической модели был описан процесс работы колпаковой подовой печи. Определены КПД и мощность. Осуществлена проверка математической модели на адекватность с помощью критерия Фишера путем анализа дисперсий воспроизводимости показателя количества выработанного той или иной печью пара.

Печь №4 по результатам пробных испытаний к натурным исследованиям не была допущена вследствие неравномерного процесса горения, продолжительного времени выхода на режим и незначительного времени рабочего режима. Анализ геометрических параметров печей и параметров их работы позволил сформулировать рекомендации к конструкции экспериментального образца печи.

В итоге проведенных исследований была определена наиболее оптимальная конструкция колпаковой подовой печи, отвечающая требованиям энергоэффективности и безопасности.

Как видно из результатов исследований это печь, которая обладает следующими параметрами: высота – не менее 800 мм, колпак длиной не менее 450 мм, расстояние между верхним краем топки и началом дымоходной трубы – не менее 150 мм. Все это обеспечивает полное сгорание топлива и, как следствие, более высокую мощность. Рекомендуемый размер топочного отверстия – 250X250 мм. Такой размер обеспечивает достаточное количество закладываемых дров в топку. Для обеспечения максимальной мощности рекомендуется уменьшить толщину водяной рубашки, то есть расстояние между внешней и внутренней стенками.

Анализ геометрических параметров печей и параметров их работы позволил сформулировать рекомендации к конструкции экспериментального образца печи.

Список литературы

- [1] Хошев, Ю. М. Теория бань. Учебник. – М.: Книга и бизнес, 2006. – 232 с.
- [2] Архаров, А. М. Теплотехника / А. М. Архаров, С. И. Исаев, И. А. Кожин – М.: Наука и техника, 1986. – 432 с.
- [3] Ксенофонтов, А. Г. Расчет и конструирование нагревательных устройств: учеб. для вузов / А. Г. Ксенофонтов. – 2-е изд., исп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2014. – 503 с.

TUBE OVEN FOR STEAM BATH

T.V. Zakharova, E.L. Maltsev, S.P. Ryabikhin

The article deals with state-of-the-art analysis and presents data concerning construction of tube oven for steam bath. It also provides study results of how design factors influence output and efficiency coefficient.

Keywords: tube oven for steam bath, temperature and humidity, thermal output, fire safety, energy performance.

References

- [1] Khoshev, Yu.M. Theory of steam bath / Yu.M. Khoshev.–Moscow: Kniga i biznes, 2006.– 232 p.
- [2] Arkharov, A.M. Heat Engineering / A.M. Arkharov, S.I. Issayev, I.A. Kozhinov.–Moscow: Nauka i tehnika, 1986.– 432 p.
- [3] Ksenofontov, A.G. Calculation and development of heating devices / A.G. Ksenofontov.–Moscow: Publishing house of Bauman Moscow State Technological University, 2014.– 503 p.