

Н. Н. МАТВИЕНКО

ТЕХНОЛОГИЯ ПЕЧНЫХ РАБОТ

УЧЕБНИК

*Рекомендовано
Федеральным государственным учреждением
«Федеральный институт развития образования» (ФГУ «ФИРО»)
в качестве учебника для использования в учебном процессе
образовательных учреждений, реализующих программы
начального профессионального образования*

*Регистрационный номер рецензии 184
от 17 июня 2011 г. ФГУ «ФИРО»*



Москва
Издательский центр «Академия»
2012

УДК 697.325(075.32)

ББК 38.625я722

М338

Рецензенты:

преподаватель кафедры «Пожарная безопасность в строительстве»
Академии ГПС МЧС России, подполковник внутренней службы *М. В. Панов*;
начальник учебно-научного комплекса проблем пожарной безопасности
в строительстве Академии ГПС МЧС России, д-р техн. наук, проф. *Б. Б. Серков*

Матвиенко Н. Н.

М338 Технология печных работ : учебник для нач. проф. образования / Н. Н. Матвиенко. — М. : Издательский центр «Академия», 2012. — 336 с.

ISBN 978-5-7695-8811-2

Учебник создан в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом по профессии 270802.09 «Мастер общестроительных работ».

Рассмотрены устройство печей для отопления, устройство печей специального назначения, производство печных работ, противопожарные мероприятия при возведении печей и каминов. Уделено внимание облицовочным печным работам и кухонным комплексам. Приведены чертежи и схемы отопительных устройств, печей и каминов, а также усовершенствованных комбинированных печей.

Для учащихся учреждений начального профессионального образования.

УДК 697.325(075.32)

ББК 38.625я722

*Оригинал-макет данного издания является собственностью
Издательского центра «Академия», и его воспроизведение любым способом
без согласия правообладателя запрещается*

© Матвиенко Н. Н., 2012

© Образовательно-издательский центр «Академия», 2012

© Оформление. Издательский центр «Академия», 2012

ISBN 978-5-7695-8811-2

Первым печником был первобытный человек, решивший обложить костер камнями. С появлением первых жилищ стали появляться и прообразы современных печей и каминов. Печник — профессия творческая: он должен понять потребности заказчика и уметь воплощать его идеи в сооружаемой печи, т.е. выразить желание заказчика «языком» кирпича.

Печник — редкая профессия. Опытный строитель не всегда хорошо разбирается в печном деле, поэтому печник решает те проблемы, которые другие специалисты решить не могут.

В современной России интерес молодежи к данной профессии возрождается благодаря следующим факторам: энергетический кризис, полная независимость отопления жилья, экономическая привлекательность профессии, самореализация и повышение статуса в обществе, постоянное повышение творческого и инженерного менталитета, возможность самому соорудить очаг.

В различных регионах России существуют печники-самоучки, не имеющие профессионального образования.

Их работа основывается на печной практике и традициях данного региона.

Следует отметить, что уральская, сибирская, Санкт-Петербургская и московская школы печного искусства отличаются, в первую очередь, климатическими условиями расположения домов и печей, экономическим развитием региона и народными традициями (печные секреты), переходящими из поколения в поколение. В данном учебнике рассматриваются типовые печи и камины русской классической школы и усовершенствованные проекты печей и каминов Русской школы мастеров, апробированные и проверенные на практике.

Курс технологии печных работ рассматривает следующие основные темы:

- устройство печей для отопления;
- устройство печей специального назначения;
- производство печных работ;
- противопожарные мероприятия при возведении печей и каминов.

Особое внимание уделено облицовочным печным работам и кухонным комплексам в связи с массовым спросом на облицованные печи и кухонные комплексы.

Печным делом в России интересовались выдающиеся отечественные ученые, профессора и инженеры: князь Львов Николай Александрович, Свиязев Иван Иванович, Грум-Гржимайло Владимир Ефимович, Подгородников Иосиф Самуилович, Ковалевский Иван Иванович, Колеватов Вадим Михайлович, Школьник Алексей Ефимович.

В данном учебнике приведены чертежи и схемы отопительных устройств, печей и каминов, опубликованные в XX в. известными российскими классиками печного дела. Рассмотрены также некоторые новые, усовершенствованные комбинированные печи.

Большой вклад в возрождение и развитие современного печного дела внесли инженеры Колеватов Вадим Михайлович, Миркис Семен Михайлович, Серегин Сергей Иванович, а также Гильдии печников Москвы, Карелии и Санкт-Петербурга. Надо отметить, что инженерно-техническая интеллигенция Москвы и Санкт-Петербурга (Союзы, Ассоциации, СПО, Гильдии) в настоящее время выступает с законодательной инициативой по усовершенствованию технических регламентов, СНиПов и отраслевых стандартов по печному делу, так как появляются новые материалы и мировая практика диктует новые технические решения по строительству печей и каминов. Русская академия ремесел совместно с ВДПО и МЧС разрабатывают нормативы на материалы и средства огнезащиты. Они проводят идентификацию материалов методами термического анализа. Русская школа мастеров совместно с Московской палатой ремесел проводит профессиональную подготовку и переподготовку высококвалифицированных специалистов по печному делу.

В России начиная с XXI в. сместились акценты и приоритеты. Применявшиеся в XX в. громоздкие толстостенные печи с многочисленными дымоходами уступили место печам более экономичным и малогабаритным. Инженерами и теплотехниками проводились опыты по изучению тепловых процессов, происходящих в печах, изыскивались новые строительные материалы для сооружения печей, совершенствовались способы их возведения. В учебнике приведены примеры печей заводской комплектации (ПЗК) и дымоходов заводской комплектации (ДЗК). В настоящее время распространены ПЗК: чугунные, металлические печи каминного типа (ПКТ), сборно-блочные керамические и бетонные печи, при изготовлении и монтаже которых применяют индустриальные методы.

Выбирая профессию печника, надо понимать, что молодой специалист должен обладать физической силой и выносливостью, развитым чувством равновесия, отсутствием боязни высоты, точным линейным и объемным глазомером, наглядно-образным мышлением, творческим воображением, эстетическим вкусом.

Чтобы быть хорошим печником, нужно не только знать правильные приемы работ и уметь производить кладку печей, но и хорошо знать как конструкции различных печей, так и теоретические основы печного дела. Необходимо применять новые технологии и материалы. Старые материалы: амфиболитовый асбест, войлок (асбофанера, асбестоцементные трубы) — не рекомендованы к применению. Им на смену пришли новейшие экологически чистые материалы: суперсил, базальтовый картон, вермикулит, вибросил и др. Помимо знания материалов и конструкций отопительных печей и печей специального назначения печник должен знать устройство дымовых и вентиляционных каналов, коллекторов и фундаментов для печей. Мастеру-печнику необходимо знать требования к нормам пожарной безопасности, а также дефекты печей и способы их устранения. Печник должен быть хорошо знаком с процессом горения топлива и законами движения газов по каналам печей. Только имея ясное представление обо всех процессах, происходящих в печи, и законах природы, ими управляющих, можно стать хорошим мастером и конструктором печей.

В конце учебника приведены варианты контрольных заданий. Любой начинающий печник (и специалист со стажем) может проверить по заданиям и тестам, насколько глубоки его теоретические знания. Моделирование процесса кладки печей на макете является неотъемлемой частью обучения.

Автор выражает благодарность за неоценимую помощь в написании учебника Вовченко Алексею Дмитриевичу, Миркису Семену Михайловичу, Просвириной Евгении Анатольевне, Сафоновой Дарье Николаевне, Танчевой Диане Алексеевне.

Особая благодарность архитектурным мастерским «АРТДЕКО» за предоставленный иллюстративный материал (www.artdek.ru).

ПРИНЯТЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

- ВНИИПО — Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны.
- ВДПО — всероссийское добровольное пожарное общество.
- ГОСТ Р — Государственный стандарт России.
- ДЗК — дымоходы заводской комплектации.
- ДТЗК — дымовые трубы заводской комплектации.
- ЕСКД — единая система конструкторской документации.
- ЖБИ — железобетонное изделие.
- ИБЛ — идеальная баня Ляхова.
- КПД — коэффициент полезного действия.
- К РШМ — камин Русской школы мастеров.
- МОМЗ — многофункциональный очаг Матвиенко с тремя функциями.
- МОМ4 — многофункциональный очаг Матвиенко с четырьмя функциями.
- МЧС — Министерство по чрезвычайным ситуациям.
- ОВП — отопительно-варочная печь с подтопком.
- ОВП-1 — отопительно-варочная печь И. Ковалевского.
- ОКП — отопительно-кухонная плита.
- ОК — очаг кухонный.
- ПЗК — печь заводской комплектации.
- ПКТ — печь каминного типа.
- ППБ — правила пожарной безопасности.
- ПР — печь русская.
- РШМ — Русская школа мастеров.
- РП РШМ — русская печь Русской школы мастеров.
- СНиП — Строительные нормы и правила.
- СББ — сборно-блочная печь.
- СРО — саморегулируемая организация.
- СЭС — санитарная эпидемиологическая станция.
- Т — печь-теплушка И. С. Подгородникова.
- Т-4 — русская печь-теплушка И. Подгородникова.
- ТИСЭ — технология индивидуального строительства и экологии.
- ТНПБ — территориальные нормы пожарной безопасности.
- УШМ — углошлифовальная машинка.

КЛАССИФИКАЦИЯ И ВИДЫ ПЕЧЕЙ. ТИПЫ КОНВЕКТИВНЫХ СИСТЕМ

1.1. КЛАССИФИКАЦИЯ ПЕЧЕЙ

К основным признакам печей относятся: функциональное назначение, конструктивное исполнение, эксплуатационные характеристики, технологические особенности их сооружения.

В зависимости от выполняемых функций печи классифицируют на отопительные, отопительно-варочные, специальные и банные. В отдельный самостоятельный тип можно выделить камины и многофункциональные очаги.

Сегодня существует множество видов бытовых печей: кирпичные и металлические, возводимые на месте и переносные, печи-камины заводского изготовления (электрические, газовые, дровяные) и работающие на угле.

Все бытовые печи можно разделить на две категории:

- кирпичные массивные печи;
- легкие печи (печи заводской комплектации).

Существуют различные системы отопления. Если источник образования тепла находится в том же помещении, где и нагревательный прибор, то такая система называется *местным отоплением*. К местному отоплению относится отопление печами и каминами. Если же источник тепла обслуживает несколько нагревательных приборов, находящихся в других помещениях, то такая система называется *центральной отоплением*. К центральному отоплению относятся водяное, паровое, воздушное (калориферное) и прочие системы.

По функциональному назначению печи бывают одно-, двух- и многоцелевые.

Одн о ц е л е в ы е печи предназначены для выполнения какой-либо одной функции (отопления помещений, приготовления пищи, парогенерации, запаривания кормов, сушки фруктов).

Двухцелевые печи могут одновременно выполнять две функции: например, отопления и приготовления пищи, приготовления пищи и выработки теплоты для квартир, нагревания горячей воды для хозяйственных целей и приготовления кормов. К двухцелевым относятся также печи, функционирующие как в режиме кратковременной лучистой отдачи (благодаря открытому огню), так и в результате длительного конвективного теплообмена между теплонакопительными и теплоотдающими поверхностями и помещением. К ним относятся печь-камин, каменка-камин, печь каминного типа и т.д.

Многоцелевые печи служат для выполнения нескольких функций: отопления, нескольких термических операций, выдержки готовой пищи в условиях высоких температур (функции термоса, хлебопечения, парогенерации), сушки продуктов, одежды и т.д. В многоцелевых печах можно выпекать хлеб, обрабатывать сельскохозяйственную продукцию, а также получать топленое молоко и кисломолочные продукты. К многоцелевым печам относятся все многофункциональные и кухонные комплексы в ресторанах и ландшафтные многофункциональные печи, а также разновидности русских печей и некоторые специальные печи.

Массивные печи предназначены для отопления помещений в зимнее время.

Их устанавливают на отдельный фундамент и выкладывают из кирпича, а топливники, работающие на угле, дополнительно футеруют огнеупорным кирпичом. Если дом предназначен к сезонной эксплуатации, оптимальным решением может стать установка отопительно-варочной печи, в которой сочетаются оптимальные для сгорания дров высокий топливник и развитая система дымоходов.

В печь иногда встраивают плиту и духовку для приготовления пищи и быстрой теплоотдачи.

Кирпичные стены начинают обогревать помещение через 4 ч после растапливания печи, чугунная плита и открытая духовка начинают отдавать теплоту практически сразу.

Если по каким-либо причинам в дачном доме строить фундаментальную печь или камин не представляется возможным, идеальным вариантом станет печь нового поколения, выполненная из толстолистовой стали и покрытая жаропрочной эмалью или термостойкой краской — металлическая печь долгого горения.

Печи классифицируют по функциональному назначению, конструктивному назначению, эксплуатационным свойствам и технологии возведения (рис. 1.1).

По теплоемкости печи подразделяются на теплоемкие и нетеплоемкие. При этом под теплоемкостью (аккумулирующей способностью) понимают количество теплоты, накапливаемое печью за время одной топки.

По форме в плане печи бывают прямоугольные, квадратные, круглые, угловые (треугольные), многоугольные.

По этажности: одноэтажные, двухъярусные с расположением двух печей одна над другой, каждая со своим топливником.

По толщине наружных стенок и характеру теплоотдачи различают печи:

- толстостенные, с толщиной всех стенок в 1/2 кирпича и более;
- тонкостенные печи с толщиной стенок топливника в 1/2 кирпича, а остальных стенок в 1/4 кирпича, с периодической топкой;
- длительного горения, обладающие равномерной теплоотдачей;
- тонкостенные печи с металлическими стенками, с футеровкой и без футеровки, у которых температура на наружных поверхностях резко колеблется.

По виду облицовки:

- кирпич в расшивку;
- облицованные керамогранитом, плиткой, клинкером;
- оштукатуренные;
- обшитые декоративным металлом;
- изразцовые;
- из жаростойкого бетона сборно-блочные;

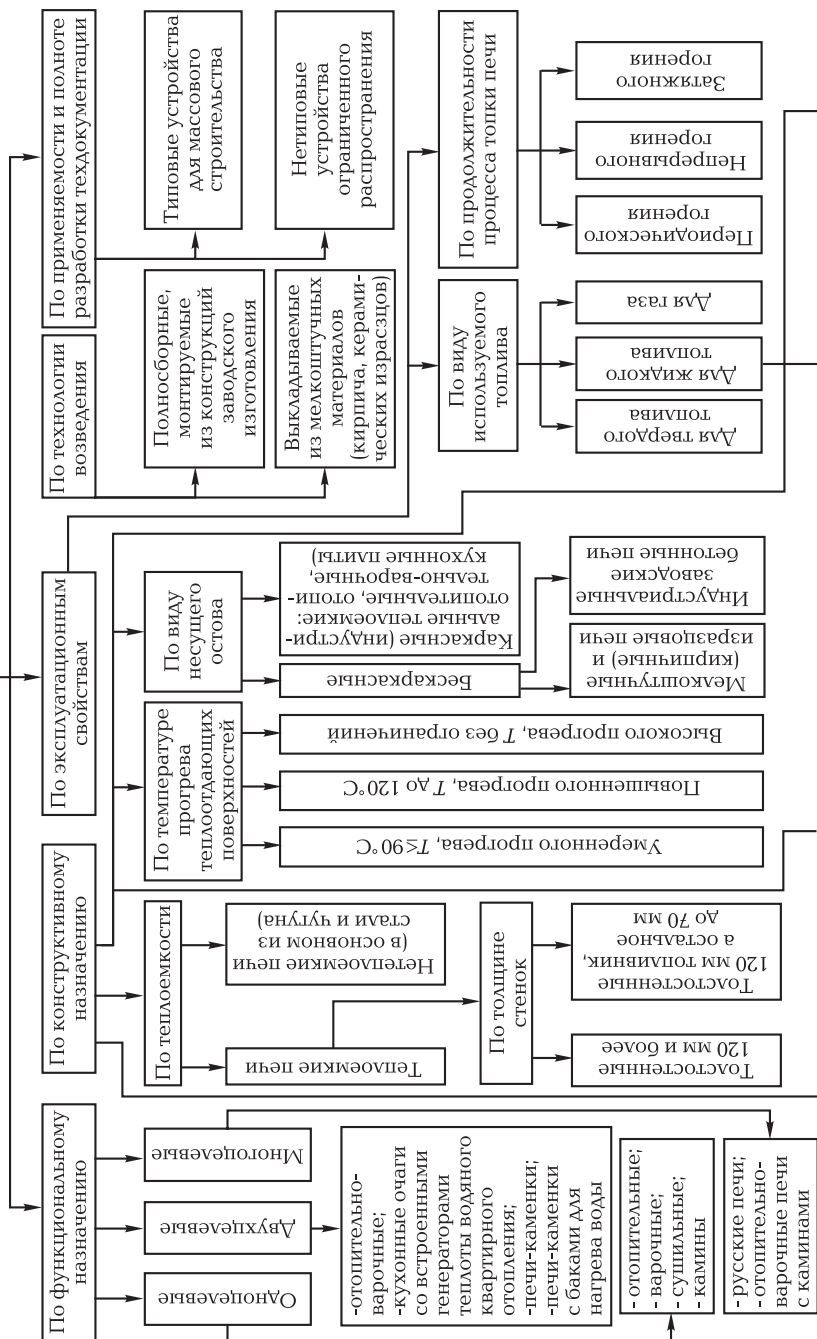
По движению газов внутри печи:

- с движением газов по каналам, соединенным последовательно (однооборотные, двухоборотные, многооборотные);
- с движением газов по каналам, идущим параллельно;
- с преимущественным нижним прогревом;
- с комбинированной системой;
- с каналами и колпаковыми камерами.

По способу отвода дыма: печи с насадной трубой, с коренной трубой, с дымовым каналом в ближайшей стене.

Системы с несколькими (более трех) последовательными дымовыми каналами к применению не рекомендуются вследствие их большого газового сопротивления и возможности дымления во время топки.

Классификация печей (схема)



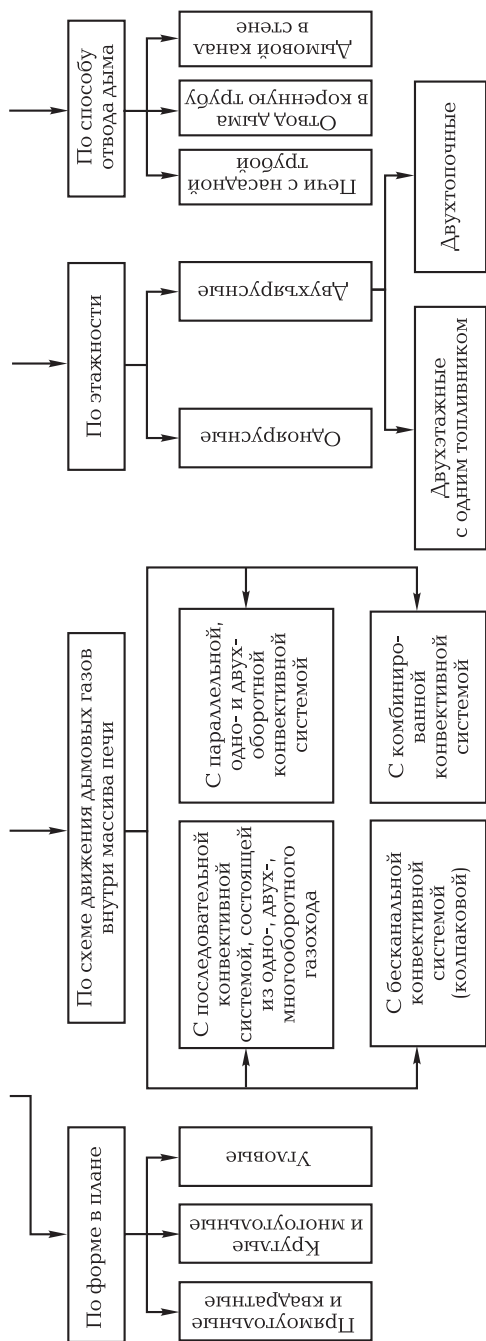


Рис. 1.1. Схема классификации печей (по С.М.Миркису)

Конвективные системы печей (рис. 1.2) в зависимости от схемы их газового тракта бывают последовательными, параллельными, бесканальными, комбинированными, с воздушонагревательной камерой (духовка).

Начиная работу по возведению печи, необходимо сразу разобраться, какой вид конвективной системы заложен в конструкцию печи.

В зависимости от типа конвективной системы определяются характер дымооборотов и теплоотдача печи.

Конвективные системы с последовательно соединенными каналами. В конвективных последовательных системах печей дымовые газы проходят протяженный путь к трубе, преодолевая большое количество местных сопротивлений в верхних перевалах и нижних подвертках, а также значительные линейные сопротивления.

Большинство печников старой школы стремились класть такие печи, у которых последовательная конвективная система имела много оборотов: от 7 до 13. Такие системы называют *многооборотными*. При этом нередко применялась двухплоскостная система с несколькими подъемными и опускными каналами.

К конвективным печам с последовательно соединенными каналами относятся печи с вертикальными, горизонтальными, смешанными

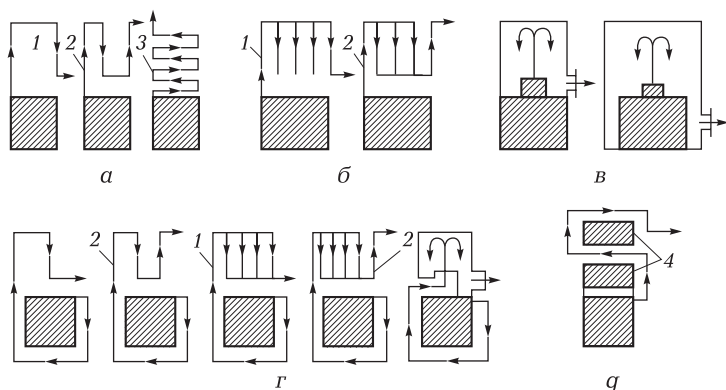


Рис. 1.2. Конвективные системы печей:

а — последовательные; б — параллельные; в — бесканальные (колпаковые); г — комбинированные; д — с воздушной камерой; 1 — однооборотные; 2 — двухоборотные; 3 — многооборотные; 4 — воздушная камера

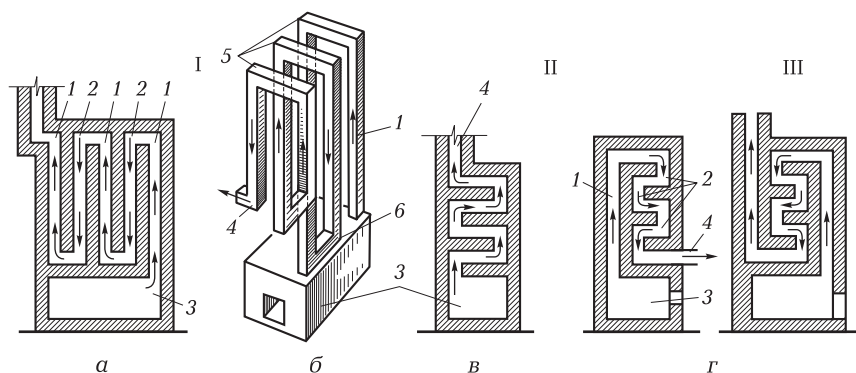


Рис. 1.3. Последовательная конвективная система с дымооборотами:

а — одноплоскостными; б — двухплоскостными; в — подъемными; г — опускаемыми; 1, 2 — каналы; 3 — топливник; 4 — вход (хайло) в дымовую трубу; 5 — перевалы; 6 — подвертка; I — вертикальные; II — горизонтальные; III — смешанные

(вертикальными и горизонтальными), подъемными и опускаемыми каналами, расположенными в одной или двух плоскостях (рис. 1.3).

Такие печи малоэффективны, и им уделяется внимание только для того, чтобы мастер печник умел их ремонтировать.

Основные недостатки многооборотных печей:

- неравномерный прогрев конвективной зоны, что вызывает многочисленные трещины в кладке печи из-за неравномерного температурного расширения каналов;
- значительное сопротивление газового тракта, что обуславливает необходимость возведения высоких дымовых труб;
- большое количество мест, где скапливается сажа.

По эксплуатационным и технологическим качествам такие системы несовершенны. Они имеют недостатки вследствие сопротивления и трения газовых смесей о стенки дымовых каналов. Это объясняется тем, что горячий поток топочных газов, перемещаясь по горизонтальным каналам, наслаивается на их верхние стенки, что ведет к снижению теплопередачи от газового потока к нижним стенкам каналов.

КПД конвективных систем с горизонтальными каналами всегда ниже КПД систем с вертикальными каналами.

Кроме того, горизонтальные каналы, у нижней поверхности которых скорость газов мала, подвержены интенсивным отложениям сажи и золы. Это ведет к ухудшению работы печи.

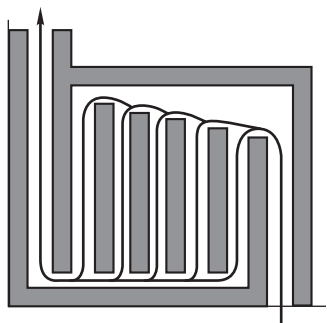


Рис. 1.4. Конвективная схема с параллельными опускающимися каналами

Печи с горизонтальными, последовательными, конвективными системами были распространены лишь в XIX—XX вв. в помещениях небольшой высоты, в которых вертикальные системы разместить не удавалось.

Параллельные конвективные системы. Конструктивная особенность параллельных конвективных систем печей состоит в том, что продукты горения подводятся к конвективной зоне по подъемному каналу и распределяются общим верхним каналом по нескольким параллельно функционирующим опускающимся каналам газохода печи.

В каналах топочные газы движутся сверху вниз, достигая коллектора, из которого отводятся в дымовую трубу через последний подъемный канал.

В многоплоскостных параллельных системах подъемный канал, из которого продукты горения подводятся к конвективной зоне, как правило, занимает центральное положение.

Каналы с нисходящим потоком газов объединяются сборным горизонтальным каналом, из которого газы по каналу попадают в дымовую трубу (рис. 1.4).

Преимущества параллельных конвективных систем по сравнению с последовательными следующие:

- при равновеликих площадях поверхностей тепловосприятия сопротивление газового тракта значительно меньше;
- в одном и том же объеме конвективной зоны размещается большая теплоаккумулирующая масса;
- значительно меньшее количество сопротивлений на пути газового тракта;
- обеспечение равномерного прогрева всей конвективной части печи;
- простота очистки каналов от сажи.

Преимущество систем с одним подъемным и несколькими опускаемыми параллельными каналами — самопроизвольное регулирование тяги в конвективной части печи.

Выравнивание объемов циркулирующей среды выполняется лишь при двух условиях, когда продукты сгорания поступают в параллельно расположенные опускаемые каналы из одиночного подъемного участка газохода, а не наоборот: когда нижний коллектор обладает достаточной высотой.

Коллектор должен быть сконструирован так, чтобы перегородки параллельных опускаемых каналов (рассечки) не сужали его живое сечение.

Несоблюдение этого условия — частая ошибка, допускаемая при кладке печей и ведущая к неравномерному прогреву массива печи.

Несмотря на значительные преимущества параллельные конвективные системы печей имеют и недостаток: перегрев верхней зоны, куда направляются наиболее горячие газы из топливника. Поэтому нижняя часть печи прогревается недостаточно интенсивно, что отрицательно сказывается на тепловом режиме помещения.

На рис. 1.5 показан проект печи с параллельной конвективной системой движения газов. Огневой канал (внутренняя огнеупорная оболочка), соединенный с топливником, отделен от оболочки печи при помощи «сухого» стыка, поэтому наиболее горячая часть печи имеет свободу перемещения газов и не зависит от остальных конструкций печи. Дымовые газы удаляются через дымоход в основании печи, поэтому обеспечивается свобода перемещения газов в оболочке печи. Применение внутренней огнеупорной оболочки (футеровки) позволило создать печи с очень большим сроком эксплуатации.

Для обеспечения тяги в этой печи длина дымохода должна быть не менее 6 м.

Комбинированные конвективные системы. Комбинированные конвективные системы печей устроены так, что горячие газы, выйдя из топливника, сначала опускаются вниз, обогревая стенки печи, расположенные на уровне топливника, затем поднимаются вверх и поступают в параллельно расположенные каналы, размещенные в верхней части печи. Такие конвективные системы печей называют также системами преимущественно нижнего обогрева.

К комбинированным конвективным системам печей относятся следующие печи:

- преимущественно нижнего обогрева;

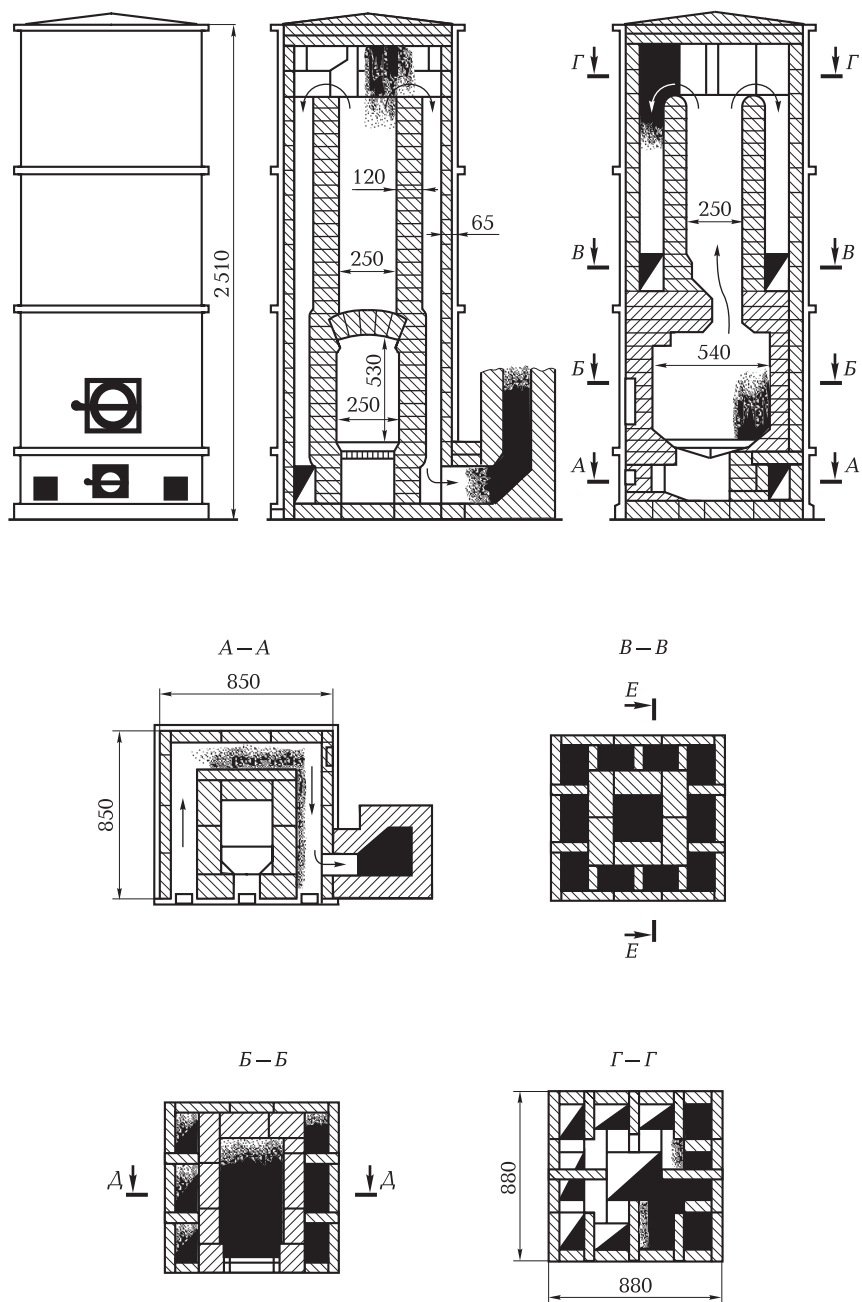


Рис. 1.5. Отопительная печь с параллельной конвективной системой

- с распределительным коллектором равномерной раздачи;
- с многоколлекторной схемой;
- с последовательной схемой.

В комбинированных конвективных системах нижнего обогрева с одним подъемным и несколькими опускными каналами различной высоты содержится верхний распределительный канал, представляющий собой коллектор переменного сечения (рис. 1.4, 1.6).

Дымовые газы поступают из подъемного канала в коллектор, сечение которого в начале наибольшее, а в конце — наименьшее.

Благодаря этому газоздушная смесь равномерно распределяется по всем опускным каналам, что способствует равномерному прогреву печи.

Если сечение коллектора постоянное, то большой объем горячих газов, обладающих значительной кинетической энергией, поступает в последний по ходу канал, вызывая неравномерный прогрев массива печи.

Многоколлекторные комбинированные конвективные системы, применяемые в печах-лежанках, состоят из параллельных каналов, сгруппированных по два-три. Каждая группа объединяется своим распределительным и сборным коллектором.

В некоторых комбинированных системах используют также последовательную схему, при которой дымовые газы сначала омывают нижнюю область печи, а затем поступают в последовательно объединенные каналы.

Бесканальные, колпаковые конвективные системы. Работа «Гидравлическая теория печей» русского ученого-металлурга, профес-

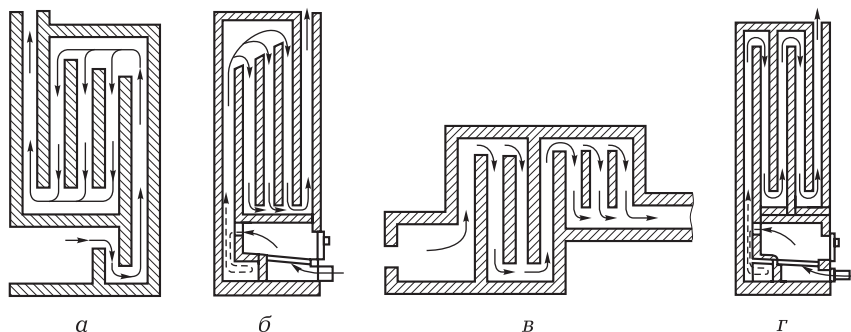


Рис. 1.6. Комбинированные конвективные системы:

а, б — два подъемных и три параллельных опускных канала; в — два опускных, один подъемный и три опускных канала; г — три подъемных и два опускных канала

сора В. Е. Грум-Гржимайло легла в основу создания теории колпаковых печей. В XX в. И. С. Подгородников продолжил работы в направлении колпаковых печей и вывел формулу двухколпаковых печей.

Положения гидравлической теории печей в применении к бытовым печам полностью сохранили свое значение. В. Е. Грум-Гржимайло рекомендовал при проектировании печи в каждой ее части задавать такое направление движению газов, которое отвечало бы их естественному стремлению: струю горячего газа в окружении холодного следует направлять вверх, струйки охлаждающегося газа — вниз. В печах с «оборотами» это не соблюдается: охлаждающиеся газы идут попеременно то вверх, то вниз.

Отличительной особенностью принципа действия колпаковой печи является прохождение горячего дыма в колпак (рис. 1.7). Движение дыма в колпаке происходит не за счет тяги. Движение горячих газов в самой колпаковой печи (колпаке) происходит не под действием тяги трубы, а под действием собственной силы тяжести газов. Внутри колпака происходит турбулентное движение газов, что способствует лучшему восприятию теплоты стенками колпака.

Турбулентное движение газа совершает неупорядоченные, неустановившиеся движения по сложным траекториям, что приводит к интенсивному перемешиванию между слоями движущихся газов.

Температура отработавших в колпаке дымовых газов, которые направляются в трубу, небольшая (около 120°C), что обуславливает высокие теплотехнические качества колпаковых конструкций.

Основное преимущество — малое внутреннее сопротивление потоку газов и высокие теплотехнические показатели (рис. 1.8).

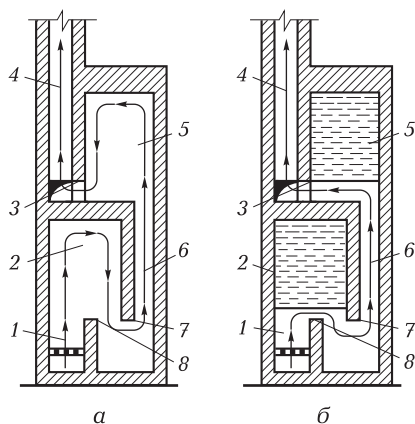
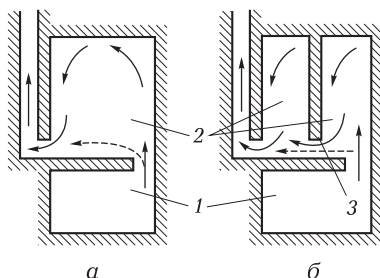


Рис. 1.7. Основная принципиальная схема устройства печи «Двухъярусный колпак»:

а — направление движения горячих газов; *б* — движение холодного воздуха в прогретой печи; 1 — топливник; 2 — нижний колпак (камера дожигания); 3 и 7 — подвертки; 4 — дымовая труба; 5 — верхний колпак; 6 — соединительный канал; 8 — порог топливника

Рис. 1.8. Схема бесканальных (колпаковых) конвективных систем со свободной камерой:

а — однокамерная; *б* — многокамерная с рассечками; 1 — топливник; 2 — колпаковые камеры; 3 — рассечка



Основной недостаток колпаковой печи — перегрев верхней части (перекрыши). Кроме того, возникает необходимость конструирования невысоких печей (15—20 рядов), в которых влияние верхнего перегрева незначительно. Недожог газовоздушной смеси от твердого топлива тоже является одним из недостатков колпаковых печей.

Перечислим основные свойства системы свободного движения газов:

- колпак может иметь любую форму и объем;
- тепловая энергия переносится за счет естественных сил природы;
- внутри колпака происходит турбулентное движение газов;
- в верхней зоне колпака собираются самые горячие газы;
- в перевальных каналах переливаются наиболее холодные, тяжелые газы;
- внутри колпака с повышением температуры возникает избыточное (повышенное) давление;
- нагрев стенок колпака в каждом горизонтальном сечении одинаков и возрастает в каждом лежащем выше сечении;
- источник тепловой энергии может размещаться в любом месте нижней зоны колпака, при этом характер нагрева сохраняется;
- может быть несколько источников теплоты.

Размещение последовательных колпаков один над другим обеспечивает равномерный прогрев в каждом горизонтальном сечении системы: нижний колпак воспринимает больше энергии горячих газов, чем верхний.

При горизонтальном размещении последовательных колпаков прогрев в каждом горизонтальном сечении системы неравномерен, а левый первый колпак воспринимает больше энергии горячих газов, чем последующий.