

Основные вопросы конденсационной техники.

В настоящее время особенно остро стоят вопросы повышения эффективности отопительных установок и снижения экологического давления на окружающую среду. Наиболее перспективным в этом отношении, является применение конденсационной техники, способной наиболее полным образом решить очерченный круг задач.

В данной статье мы постараемся коснуться основных вопросов реализации и применения принципа конденсации водяных паров в отопительной технике.

Вопросы

1. Физический смысл температуры и теплоты (количество теплоты – энтальпия)
2. Состав дымовых газов, высшая и низшая теплота сгорания топлива.
3. Условия необходимые для начала конденсации. Точка росы.
4. Может ли быть коэффициент полезного действия больше 100%
5. Режимы работы конденсационных котлов.
6. Способы реализации принципа конденсации в навесных котлах.
7. Традиционное сжигание газа и сжигание с полным предварительным смешением.
8. Содержание вредных веществ в дымовых газах и способы снижения их содержания.
9. Утилизация кислотного конденсата.
10. Аргументация в пользу конденсационной техники.

1. Физический смысл температуры и теплоты.

Температура это степень нагретости тела (кинетическая энергия молекул тела),

эта величина весьма относительная, это можно легко проиллюстрировать с помощью шкал Цельсия и Фаренгейта.

В быту используется **шкала Цельсия**, в которой за 0 принимают точку замерзания воды, а за 100° точку кипения воды при атмосферном давлении. Поскольку температура замерзания и кипения воды недостаточно хорошо определена, в настоящее время шкалу Цельсия определяют через шкалу Кельвина: градус Цельсия равен градусу Кельвина и абсолютный ноль берут за $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Шкала Цельсия практически очень удобна, поскольку вода очень распространена на нашей планете и наша жизнь основана на ней. Ноль Цельсия — особая точка для **метеорологии**, поскольку замерзание атмосферной воды существенно всё меняет.

В Англии и в особенности в США используется шкала Фаренгейта. В этой шкале на 100 градусов разделен интервал от температуры самой холодной зимы в городе, где жил Фаренгейт, до температуры человеческого тела. Ноль Цельсия — это 32 Фаренгейта, и градус Фаренгейта равен $5/9$ градуса Цельсия.

Пересчет температуры между основными шкалами			
	Кельвин	Цельсий	Фаренгейт
Кельвин (К)	= К	= C + 273,15	= (F + 459,67) / 1,8
Цельсий (°C)	= К - 273,15	= C	= (F - 32) / 1,8
Фаренгейт (°F)	= К · 1,8 - 459,67	= C · 1,8 + 32	= F

Таблица 1 Единицы измерения температуры

Для того, что бы более четко представить себе разницу между понятиями температура и теплота, рассмотрим следующий пример:

Пример с нагреванием воды:

Допустим, мы нагрели некоторое количество воды (120 л.) до температуры 50°C, а какое количество воды мы сможем нагреть до температуры 40 °C, используя тоже количество теплоты (сожженного топлива)? Для простоты, будем считать, что в обоих случаях начальная температура воды 15 °C.

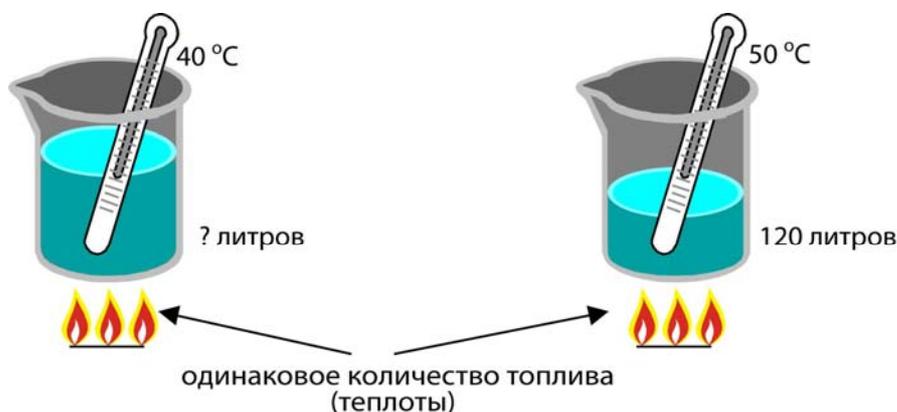


Рисунок 1 Пример 1

$$\frac{50\text{ }^{\circ}\text{C} - 15\text{ }^{\circ}\text{C}}{40\text{ }^{\circ}\text{C} - 15\text{ }^{\circ}\text{C}} = 1,4;$$

$$120 \text{ Л (при } 50^{\circ}\text{C)} \cdot 1,4 = 168 \text{ Л (при } 40^{\circ}\text{C)}$$

Как видно из наглядного примера, температура и количество теплоты – это различные понятия. Т.е. тела при разной температуре, могут обладать одинаковой тепловой энергией, и наоборот: тела с одинаковой температурой могут иметь разную тепловую энергию.

Для упрощения определений придумали специальную величину - Энтальпию

Энтальпия-количество тепла, содержащееся в единице массы вещества [кДж/кг]

В естественных условиях на Земле существует три агрегатных состояния воды: твердое (лед), *жидкое (собственно вода)*, *газообразное (водяной пар)*

Переход воды из одного агрегатного состояния в другое сопровождается поглощением либо выделением тепла телом при постоянной температуре (изменяется состояние тела, а не его температура, другими словами - все тепло тратится на изменение состояния, а не на нагрев).

Например, если взять кусок льда поместить в сосуд и поставить его в теплое помещение, лед начнет таять, температура льда и растаявшей воды будет постоянной и равной 0°C до тех пор пока весь лед не растает. Вся теплота, поглощенная в этом процессе, пойдет на таяние льда, а не на его нагрев, это так называемая скрытая теплота.

Явная теплота – та теплота, при которой изменение количества тепла подведенного к телу вызывает изменение его температуры

Скрытая теплота – теплота парообразования (конденсации) или таяния (плавления) то есть та теплота, которая не изменяет температуры тела, а служит для изменения агрегатного состояния тела.

Проиллюстрируем данные понятия графиком, на котором по оси абсцисс будет отложена энтальпия (количество подведенного тепла), а по оси ординат температура. Данный график показывает процесс нагрева жидкости (воды) при постоянном давлении равном 1 атм.

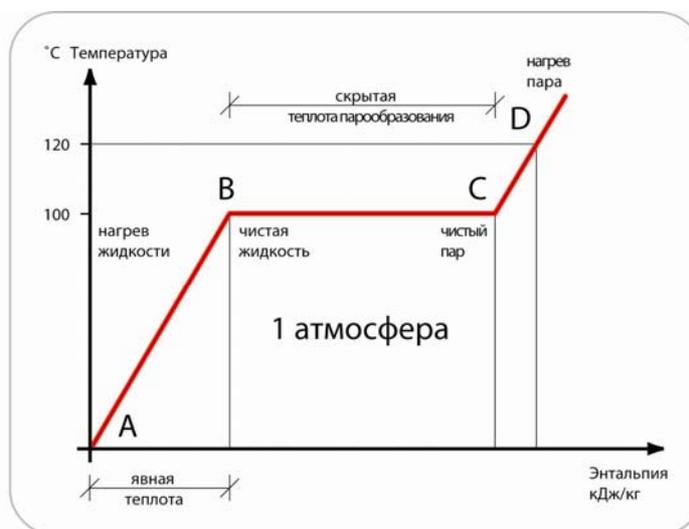


Рисунок 2 График зависимости Энтальпия – Температура, для воды

A-B происходит нагрев воды от температуры 0°C до температуры 100°C (при этом все тепло, подведенное к воде идет на повышение ее температуры)

B-C происходит кипение воды (при этом все тепло, подведенное к воде, идет на преобразование ее в пар, температура при этом остается постоянной 100°C)

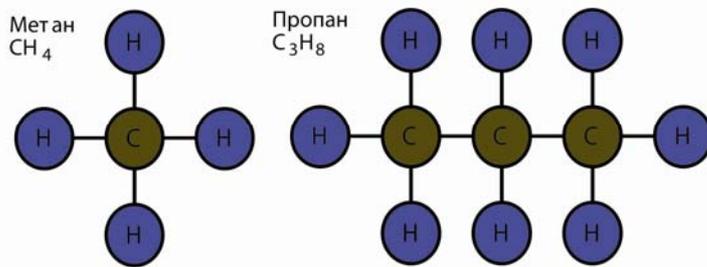
C-D вся вода превратилась в пар (выкипела) и теперь тепло идет на повышение температуры пара.

2. Состав дымовых газов при сжигании газообразного топлива

Процесс горения – процесс окисления горючих составляющих топлива с помощью кислорода воздуха, при этом выделяется тепло.



Качественный состав газообразного топлива



Примеры углеводородов



Состав воздуха

Рисунок 3 Состав Природного газа и воздуха

Давайте посмотрим, как развивается реакция горения газообразного топлива:

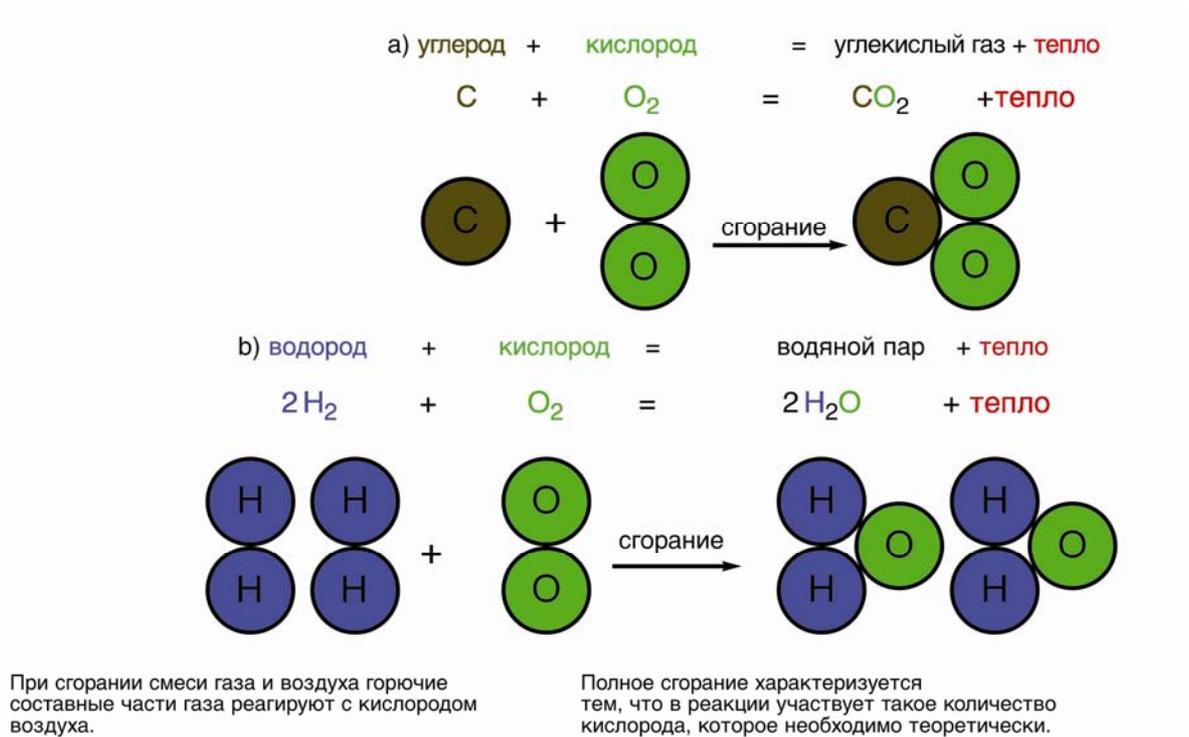


Рисунок 4 Реакция горения газообразного топлива

Как видно из уравнения реакции окисления, в результате мы получаем углекислый газ, водяной пар (дымовые газы) и тепло.

Теплота, которая выделяется при сгорании топлива, называется *Низшей теплотой сгорания топлива (PCI)*

Если мы будем охлаждать дымовые газы, то при определенных условиях водяные пары начнут конденсироваться (переходить из газообразного состояния в жидкое).

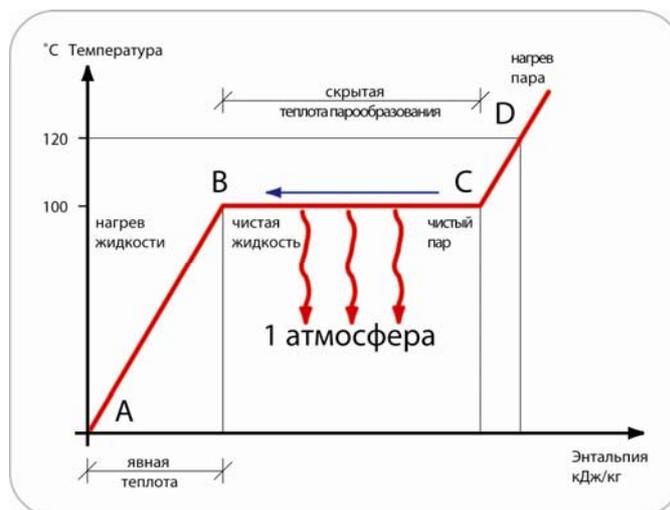


Рисунок 5 Выделение скрытой теплоты, при конденсации водяных паров (процесс C-B)

При этом будет выделяться дополнительное количество теплоты (скрытая теплота парообразования/конденсации).

Сумма Низшей теплоты сгорания топлива и скрытой теплоты парообразования/конденсации, называется *Высшей теплотой сгорания топлива (PCS)*.

Естественно, что чем больше водяных паров находится в продуктах сгорания, тем больше разница между Высшей и Низшей теплотой сгорания топлива. В свою очередь, количество водяных паров зависит от состава топлива:

Тип топлива	PCS (kcal)	PCI (kcal)	разница (%)
Солярка	10.600/kg	10.210/kg	3,82
Керосин	10.700/kg	10.290/kg	3,98
Печное топливо	10.200/kg	9.760/kg	4,51
Метан	9.530/Nm ³	8.570/Nm ³	11,20
Пропан	23.850/Nm ³	21.600/Nm ³	10,42
Бутан	30.500/Nm ³	28.300/Nm ³	7,77

Таблица 2 Величины высшей и низшей теплоты сгорания для различных видов топлива

Как видно из вышеприведенной таблицы, наибольшую дополнительную теплоту мы можем получить при сжигании метана.

Состав природного газа не постояен и зависит от месторождения. Средний состав природного газа изображен на рисунке



Рисунок 6 Состав природного газа

Промежуточные выводы:

1. *Используя скрытую теплоту парообразования/ конденсации, можно получить больше тепла, чем выделяется при сжигании топлива*
2. *Наиболее перспективное топливо, в этом отношении – природный газ (разница между высшей и низшей теплотой сгорания составляет более 10%)*

3. Условия необходимые для начала конденсации. Точка росы.

Водяные пары в дымовых газах имеют несколько другие свойства, чем чистый водяной пар. Они находятся в смеси с другими газами и их параметры отвечают параметрам смеси. Поэтому температура, при которой начинается конденсация отличается от 100 °С

Значение этой температуры зависит от состава дымовых газов, что в свою очередь является следствием вида и состава топлива, а также коэффициента избытка воздуха.

Температура дымовых газов, при которой начинается конденсация водяных паров в продуктах сгорания топлива, называется *Точкой Росы*.

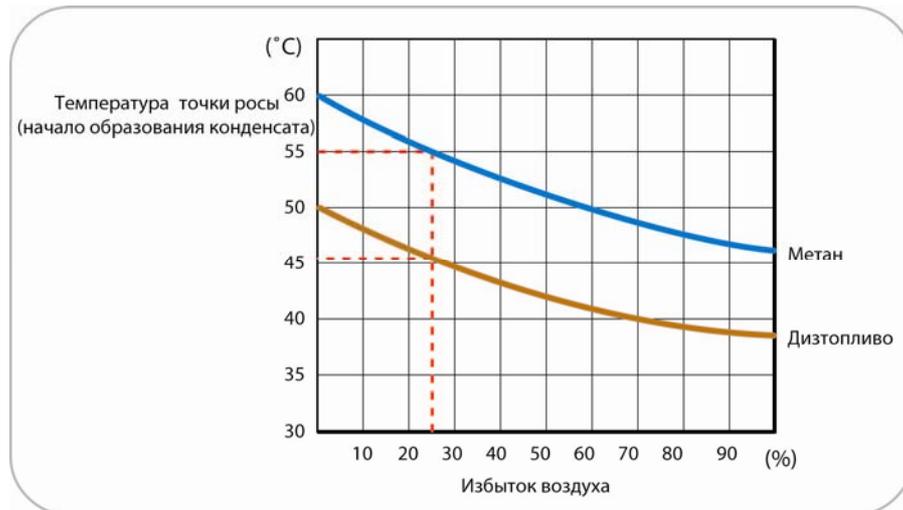


Рисунок 7 Точка росы

Промежуточные выводы:

3. Задача конденсационной техники - охладить продукты сгорания ниже точки росы и отобрать теплоту конденсации, используя ее в полезных целях.

4. Может ли КПД быть больше 100%?

Возьмем техническую характеристику некоторого произвольного навесного котла:

Полная мощность котла = 23.000 Kcal/h (26,7 KW);

Полезная мощность котла = 21.000 Kcal/h (24,03 KW);

Что это значит? Читается просто: максимальная тепловая мощность горелки 23.000 Kcal/h (количество теплоты, которое выделяется при сгорании топлива), а максимальное количество теплоты, получаемой теплоносителем, составляет 21.000 Kcal/h.

Неужели это ошибка? Нет просто некоторое количество вырабатываемой теплоты (6-8%) теряется с уходящими дымовыми газами, а другое (1,5-2%) рассеивается в окружающем пространстве через стенки котла.

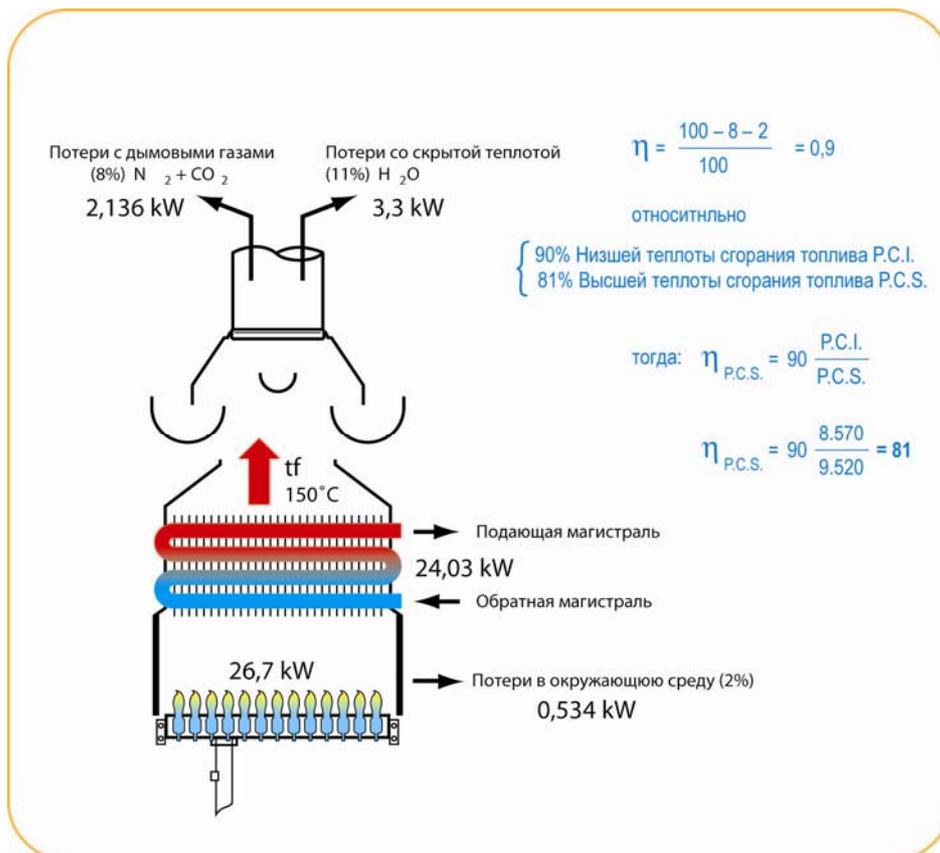


Рисунок 8 КПД традиционного котла

Если мы сложим эти величины, то сможем записать следующее уравнение:

$$\begin{cases} 26,7 = 2,136 + 0,534 + 24,03 \\ 100\% = 8\% + 2\% + 90\% \end{cases}$$

Если мы разделим полезную мощность котла на полную и умножим результат на 100%, то получим коэффициент полезного действия котла (КПД) в %.

Если мы внимательно вчитаемся в текст определения, то увидим, что полная мощность котла равна количеству теплоты, которое выделяется при сгорании топлива за единицу времени.

Таким образом эта величина напрямую зависит от Низшей теплоты сгорания топлива, и не учитывает то тепло, которое может выделиться, при конденсации водяных паров из продуктов сгорания.

Другими словами это коэффициент полезного действия котла, относительно Низшей теплоты сгорания топлива.

Если принять во внимание величину теплоты конденсации водяных паров (см. Табл. 1), то можно представить следующую картину распределения тепловых потоков в традиционном котле.

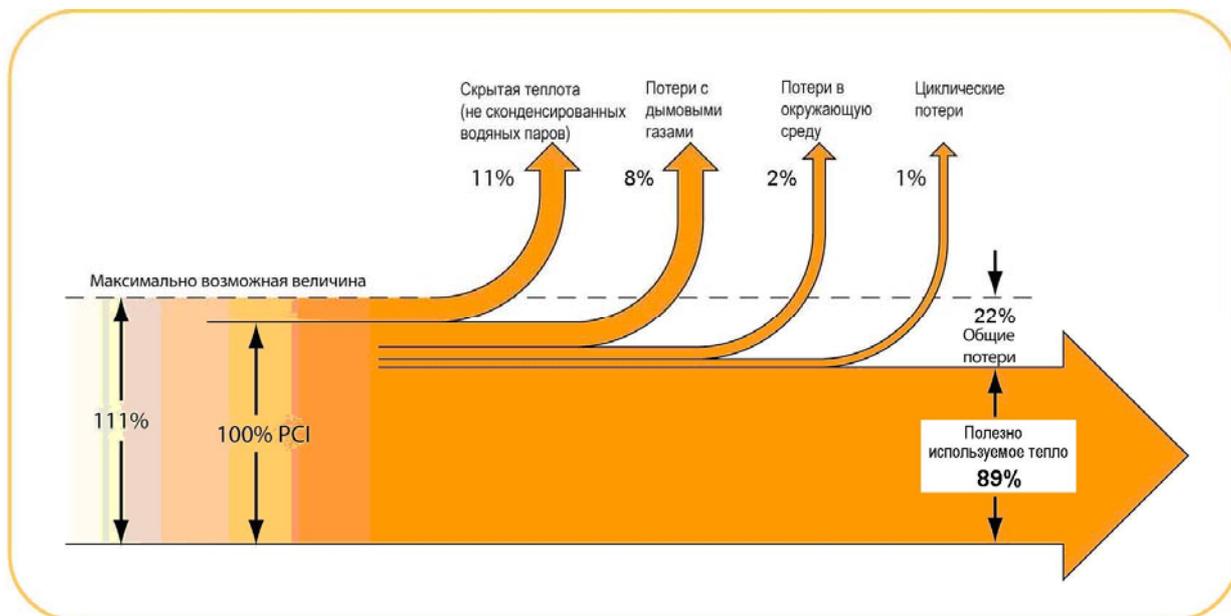


Рисунок 9 Распределение тепловых потоков в неконденсационном котле

Тогда, как в конденсационном котле, распределение тепловых потоков, будет выглядеть следующим образом:

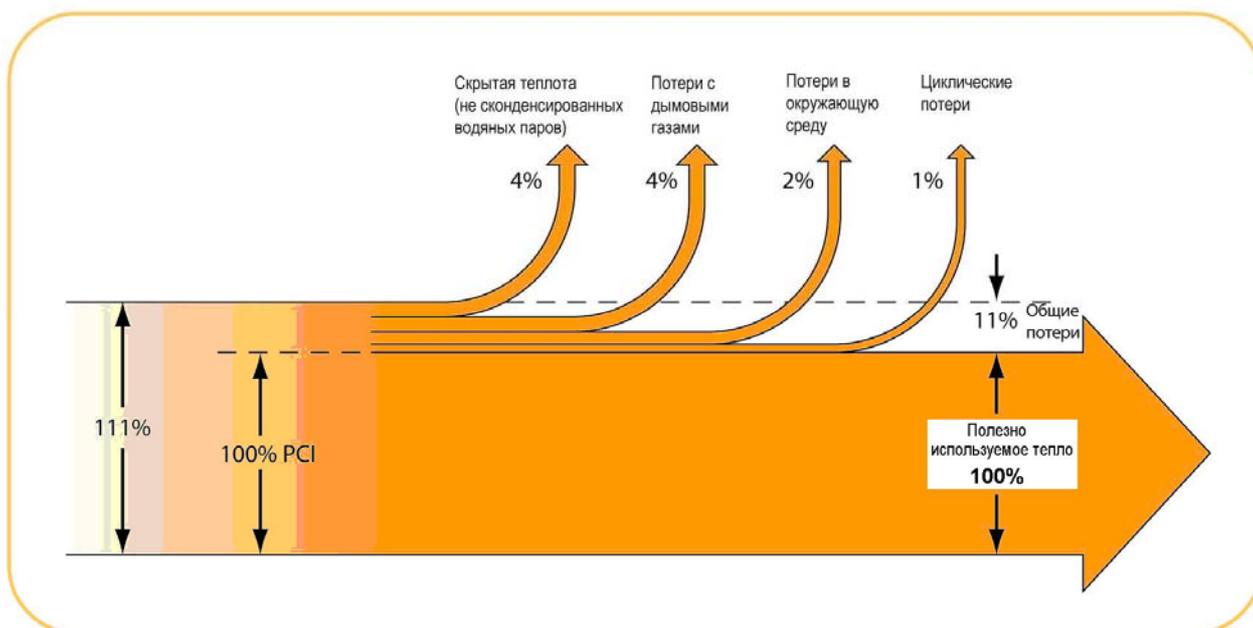


Рисунок 10 Распределение тепловых потоков в конденсационном котле

Промежуточные выводы:

4. КПД 100 % и более возможен, если за точку отсчета принимать Низшую, а не Высшую теплоту сгорания.
5. Полностью использовать всю теплоту (явную и скрытую) мы не можем по техническим причинам, поэтому КПД котла равный или больший 111% при сжигании природного газа (относительно Низшей теплоты сгорания топлива), является недостижимым по техническим причинам.

5. Режимы работы конденсационных котлов

Газовые конденсационные котлы могут быть установлены в любую отопительную систему. Величина используемой теплоты конденсации и коэффициент полезного действия, зависящий от режима эксплуатации, в свою очередь зависят от расчета отопительной системы.

Чтобы использование теплоты конденсации водяного пара, содержащегося в дымовых газах, сделать эффективным, нужно охладить дымовые газы до температуры ниже точки росы. Степень использования теплоты конденсации зависит от расчета температур в системе и от количества отработанных часов в режиме конденсации. Это показано на графиках 11 и 13, в которых температура точки росы составляет 55 °С.

Отопительная система 40/30 °С.

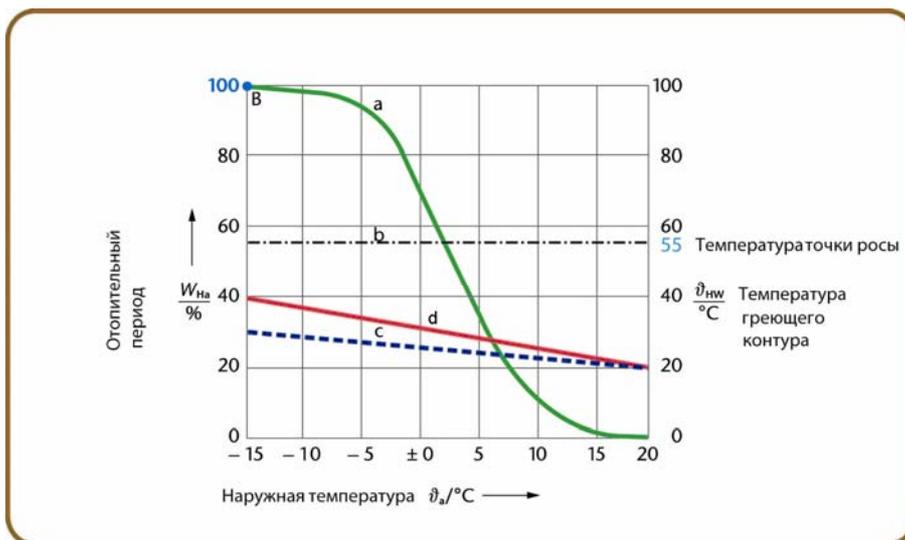


Рисунок 11 График работы низкотемпературной системы.

- a* – зависимость полезной мощности системы отопления от температуры наружного воздуха и длительности отопительного периода;
- b* – температура точки росы;
- c* – зависимость температуры обратной воды от температуры наружного воздуха и длительности отопительного периода;
- d* – зависимость температуры подачи от температуры наружного воздуха и длительности отопительного периода.

Большое значение имеет производительная мощность конденсационных котлов такой отопительной системы в течение всего отопительного периода. Низкие температуры обратной линии всегда ниже температуры точки росы, так что конденсат возникает постоянно. Это происходит в системах низкотемпературного панельного отопления или при отоплении пола. К таким системам идеально подходит конденсационный котел.

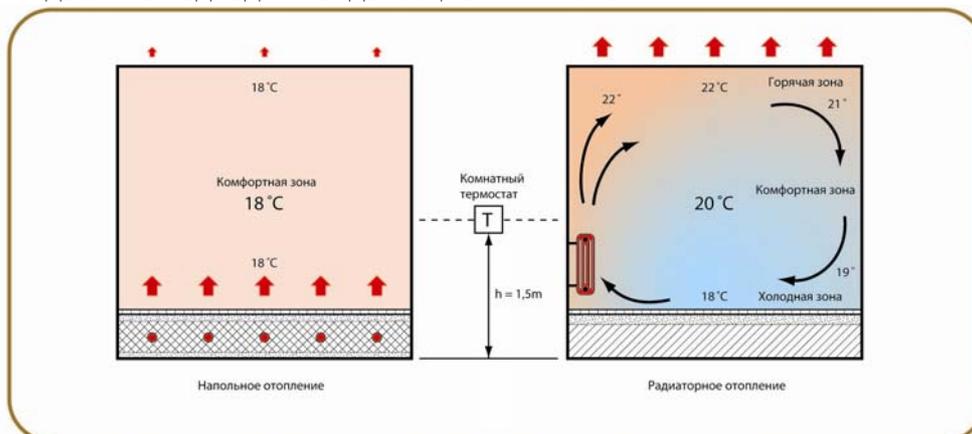


Рисунок 12 Температурный режим помещения при использовании напольного и конвекторного отопления

Преимущества систем водяного напольного отопления перед традиционными достаточно много:

- Повышенный комфорт. Пол становится тёплым и по нему приятно ходить, так как теплоотдача происходит с обширной поверхности с относительно низкой температурой.
- Равномерное нагревание всей площади помещения, а значит и равномерное отопление. Человек одинаково комфортно чувствует себя и возле окна и посреди комнаты.
- Оптимальное распределение температуры по высоте помещения. Рисунок 12 иллюстрируют примерное распределение температур по высоте помещения при использовании традиционного отопления и напольного. Распределение температур, при напольном отоплении, ощущается человеком как наиболее благоприятное. Также необходимо отметить снижение потерь тепла через потолок, так как разность температур внутренний воздух - наружный воздух существенно снижается, и мы получаем комфортное тепло только там где нужно, а не отапливаем окружающую среду через крышу. Это позволяет эффективно использовать систему напольного отопления для зданий с высокими потолками – церквей, выставочных холлов, спортзалов и т.п.
- Гигиеничность. Отсутствует циркуляция воздуха, уменьшаются сквозняки, а значит, и нет циркуляции пыли, что является большим плюсом для самочувствия людей, особенно если они страдают заболеваниями дыхательных путей.
- Существенная часть тепла от пола передается в виде лучистого теплообмена. Излучение, в отличие от конвекции, немедленно распространяет тепло к окружающим поверхностям.
- Нет искусственного осушения воздуха вблизи нагревательных приборов.
- Эстетичность. Отсутствуют нагревательные приборы, нет необходимости в их дизайнерском оформлении или подборе оптимальных размеров.

Отопительная система 75/60 °С:

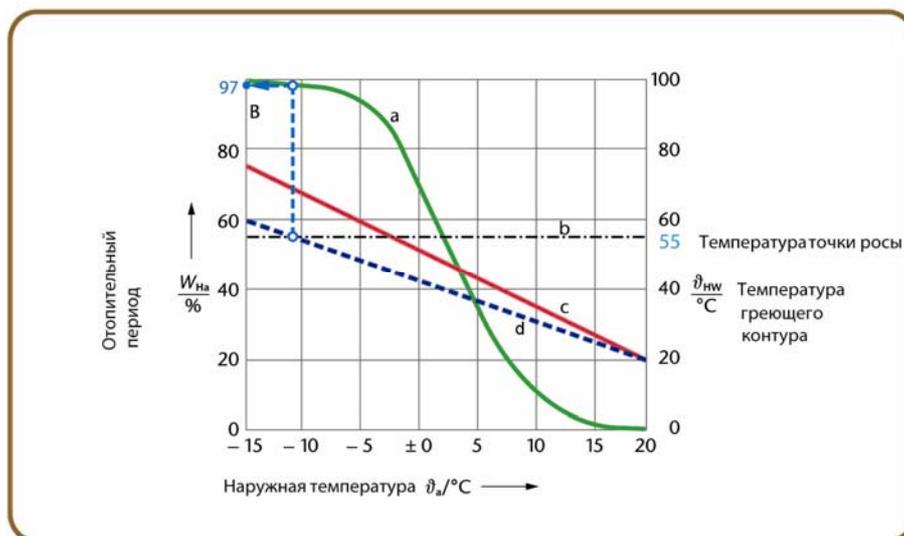


Рисунок 13 График работы высокотемпературной системы

a – зависимость полезной мощности системы отопления от температуры наружного воздуха и длительности отопительного периода;

b – температура точки росы;

c – зависимость температуры обратной воды от температуры наружного воздуха и длительности отопительного периода;

d – зависимость температуры подачи от температуры наружного воздуха и длительности отопительного периода.

Эффективное использование теплоты конденсации возможно также при расчетных температурах 75/60 °С за время, составляющее 97 % от длительности годового отопительного периода. Это относится к наружным температурам от – 11 °С до + 20 °С. Старые отопительные

установки, которые были рассчитаны на температуры 90/70 °С, работают сегодня практически с температурами 75/60 °С. Даже на установках с теплоносителем 90/70 °С и с режимом работы, при котором регулирование температуры котловой воды происходит в зависимости от наружной температуры, время использования теплоты конденсации составляет 80 % от длительности годового отопительного периода.

Высокий стандартизированный коэффициент полезного действия

В примерах на Рисунках 11 и 13 хорошо видно, что различный для этих двух вариантов, но, в то же время, высокий процент использования тепла конденсации оказывает прямое влияние на потребление энергии газовым конденсационным котлом. Для обозначения эффективности потребления топлива отопительными котлами было введено понятие стандартизированного коэффициента полезного действия. На Рисунке 14 представлена зависимость коэффициента полезного действия котла от различных расчетных температур отопительной системы.

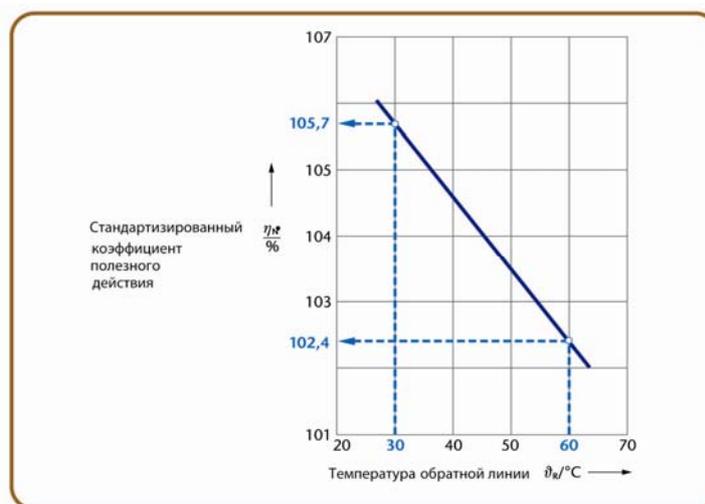


Рисунок 14 Зависимость КПД от температуры обратной магистрали

Высокие стандартизированные коэффициенты полезного действия газовых конденсационных котлов объясняются следующими факторами:

- Реализация высокого значения CO_2 . Чем выше содержание CO_2 , тем выше температура точки росы отопительных газов.
- Поддержание низких температур обратной линии. Чем ниже температура обратной линии, тем активнее конденсация и тем ниже температура дымовых газов.

Промежуточные выводы:

Коэффициент полезного действия конденсационного котла очень сильно зависит от температурного режима эксплуатации системы отопления.

На новых установках должны быть использованы все возможности для оптимальной эксплуатации газового конденсационного котла. Высокий коэффициент полезного действия достигается при соблюдении следующих критериев:

- 1. Ограничить температуру обратной линии до значения максимум 50 °С*
- 2. Стремиться поддерживать разницу температур между подающей и обратной линиями минимум 20 К*
- 3. Не принимать мер для повышения температуры обратной линии (к ним относятся, например, установка четырехходового смесителя, байпасные линии, гидравлические стрелки.*

6. Способы реализации принципа конденсации в навесных котлах

Два основных способа:

- 1) выносной экономайзер;
- 2) нержавеющий теплообменник со встроенным экономайзером;

Первый способ не будем подробно рассматривать, его основной недостаток – ограниченная эффективность. КПД котла с экономайзером такого типа ограничено и ниже чем при теплообменнике со встроенным экономайзером.

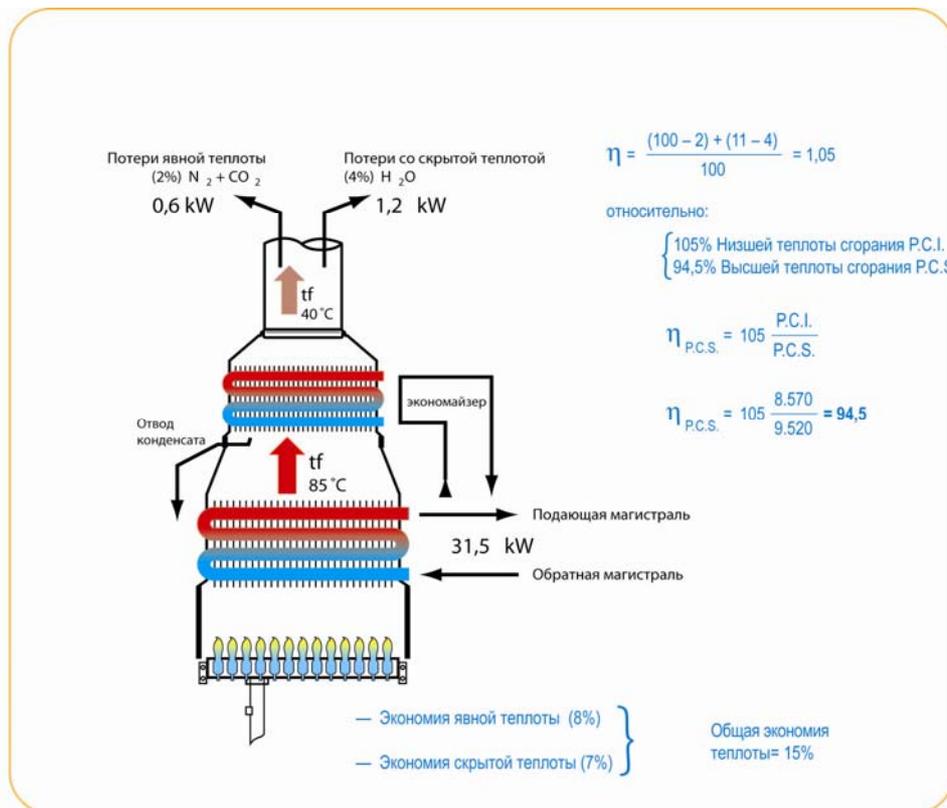


Рисунок 17 Конденсационный котел с выносным экономайзером

Теплообменник со встроенным экономайзером состоит из 4 теплообменных элементов (змеевиков). Каждый теплообменный элемент, в свою очередь, состоит из 4 витков гладкой трубы, из нержавеющей стали с толщиной стенки припл. 0,8 мм.

Изолирующая плита разделяет теплообменник на две камеры, в первой камере (по ходу продуктов сгорания) находятся три теплообменных элемента. Они играют роль "первой ступени", так как здесь происходит лишь незначительная конденсация. Четвертый теплообменный элемент расположен сзади изолирующей плиты. В этой "конденсационной ступени" происходит главный процесс конденсации.

Преимущества данной компоновки заключаются в очень эффективной передаче тепла и, с другой стороны, в исключении шумов кипения, вызванных высокими скоростями потоков в гладких трубах.

Следующим преимуществом данного теплообменника является его малая склонность к известкованию, так как благодаря небольшим сечениям труб создается высокий уровень турбулентности потока воды.

Гладкая поверхность труб из нержавеющей стали и вертикальное направление потока обеспечивают эффект самоочистки.

Присоединение обратной линии теплообменника расположено сзади, подключение подающей линии – спереди. На теплообменнике установлен сток конденсата.

Сборник отходящих газов до подключения трубопровода подвода воздуха/отвода отходящих газов, выполнен из пластмассы.

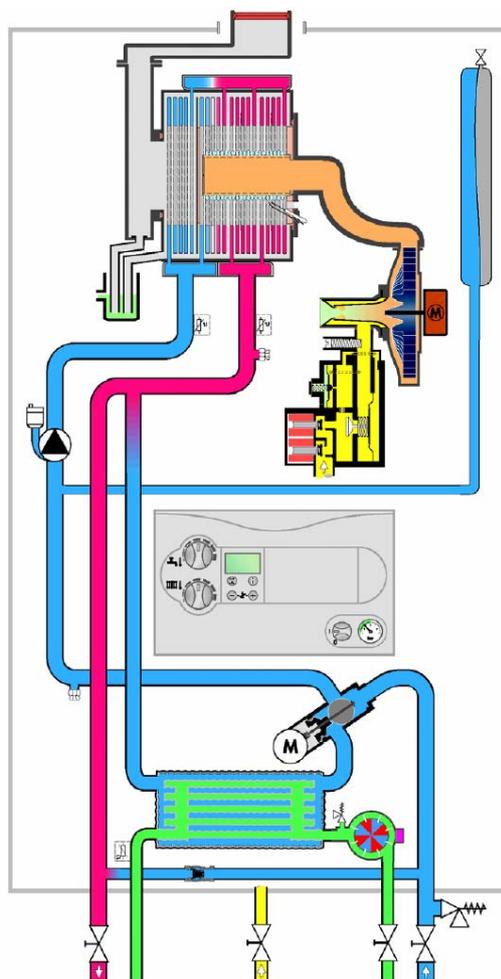


Рисунок 18 Схема конденсационного котла со встроенным экономайзером.

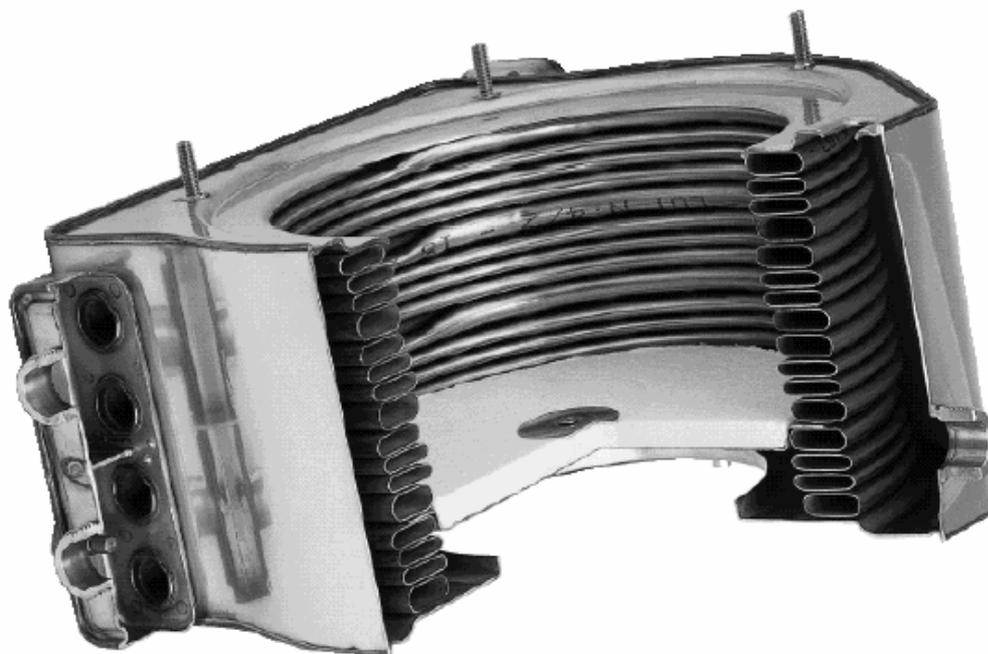


Рисунок 19 Теплообменник конденсационного котла со встроенным экономайзером.

7. Традиционное сжигание газа и сжигание с полным предварительным смешением

- Открытая камера сгорания
- Закрытая камера сгорания
- Полное предварительное смешение

Большинство котлов с *атмосферными горелками* имеют одинаковый принцип сжигания газа. За счет кинетической энергии газовой струи подсасывается воздух:

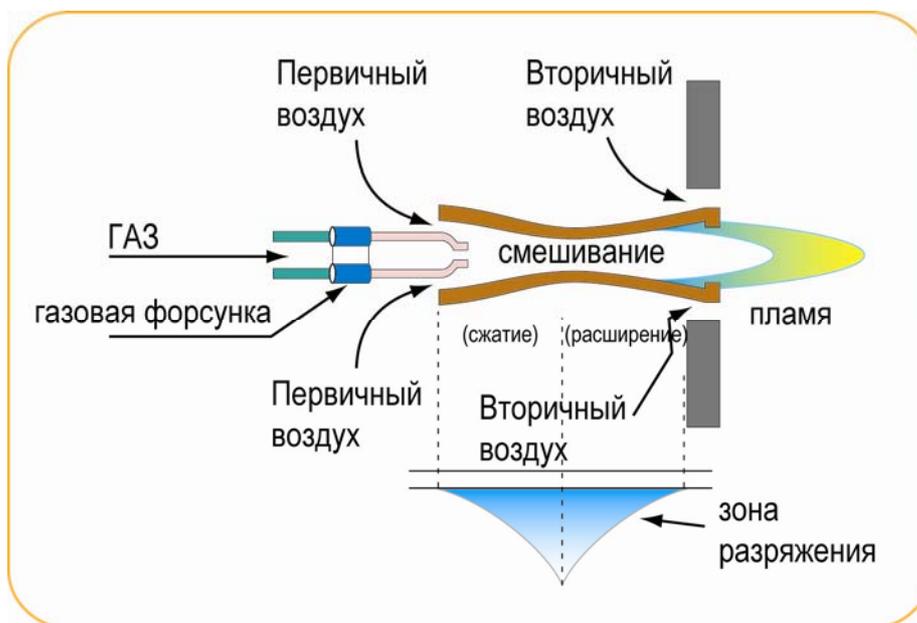


Рисунок 20 Принцип сжигания газа в атмосферных горелках (сопло Вентури)

Горючий газ поступает под давлением на форсунку. Здесь, за счет сужения прохода потенциальная энергия давления переходит в кинетическую энергию струи. За счет специального геометрического сечения сопла Вентури, происходит подмешивание первичного воздуха, - инжекция. Непосредственно в сопле происходит смешивание газа и воздуха (образуется газо-воздушная смесь). На выходе из сопла происходит подмес вторичного воздуха. Изменение мощности горелки происходит за счет изменения давления газа, соответственно изменяется скорость газовой струи и количество подсасываемого воздуха

Преимущества данной конструкции заключаются в ее простоте и бесшумности.

Ограничения и недостатки: большой избыток воздуха, ограничение по глубине модуляции, обилие вредных выбросов.

В котлах с закрытой камерой сгорания, принцип сжигания газа аналогичен вышеописанному. Различие заключается только в принудительном выбросе продуктов сгорания и подаче воздуха на сгорание. Все преимущества и недостатки атмосферных горелок в силе и для котлов с закрытой камерой сгорания.

В конденсационных котлах используется принцип «*Полного предварительного смешения газа и воздуха*». Суть этого метода заключается в подмесе газа к воздушной струе, за счет разряжения, создаваемого последней.

Газовая арматура и воздуходувка котлов с полным предварительным смешением.

При включении котла на воздуходувку подается напряжение, и она начинает набирать обороты. После распознавания электронным блоком пускового числа оборотов воздуходувки открываются последовательно расположенные газовые клапаны.

За счет кольцевой щели в соответствии с принципом Вентури возникает явление подсоса в камере над мембраной регулирования магистрального газа в газовой арматуре.

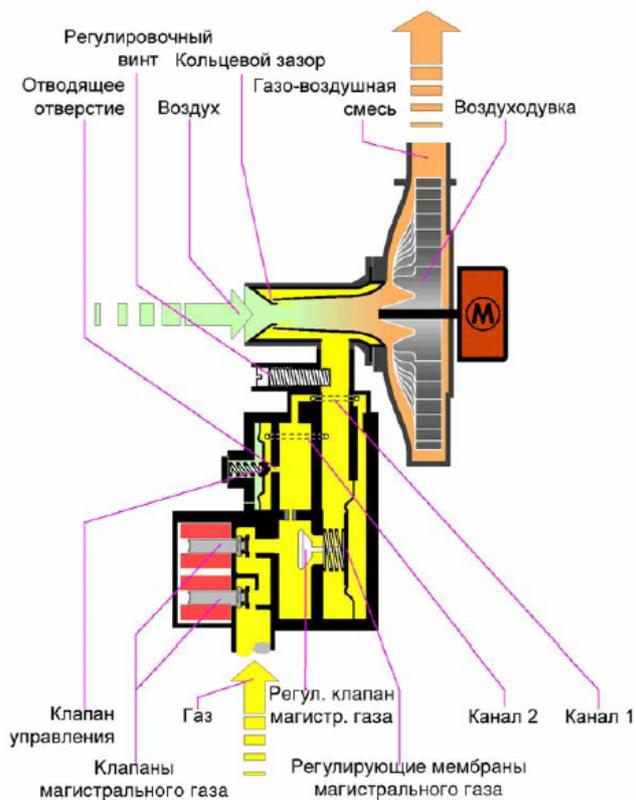


Рисунок 21 Узел смешения горелки с полным предварительным смешением

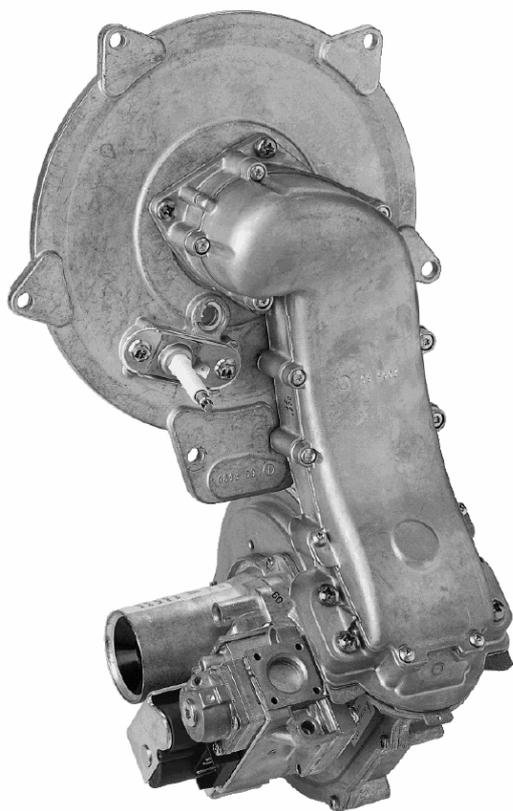


Рисунок 22 Термо модуль горелки с полным предварительным смешением

8. Содержание вредных веществ в дымовых газах и способы снижения их концентрации

В настоящее время загрязнение окружающей среды приобретает угрожающие размеры. Количество выбросов теплоэнергетического сектора стоит на втором, после автомобильного транспорта месте.

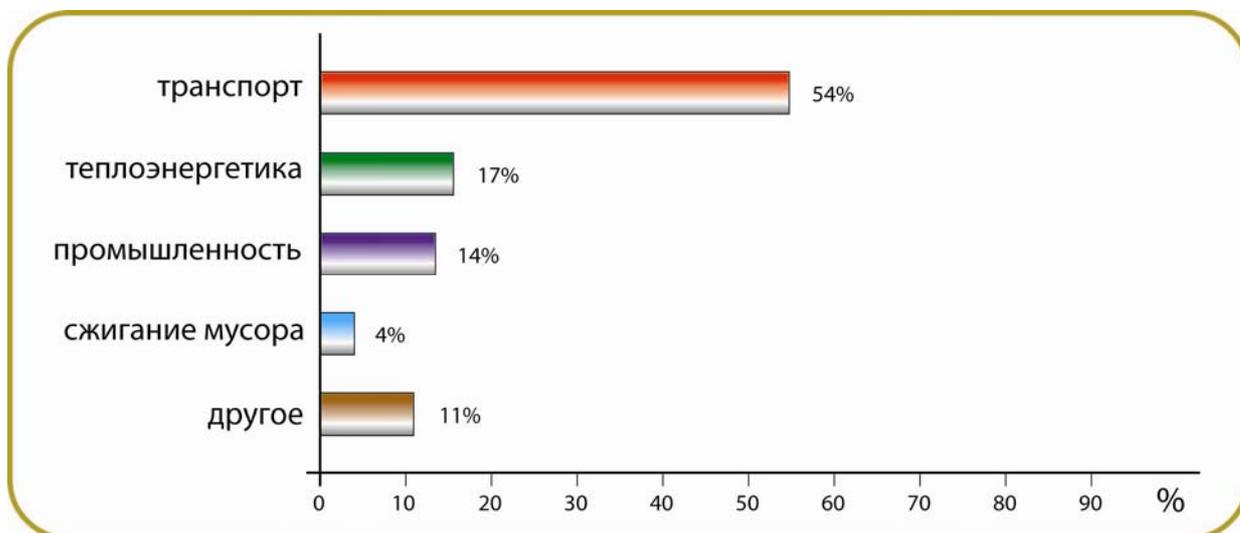


Рисунок 23 Процентное соотношение выбросов

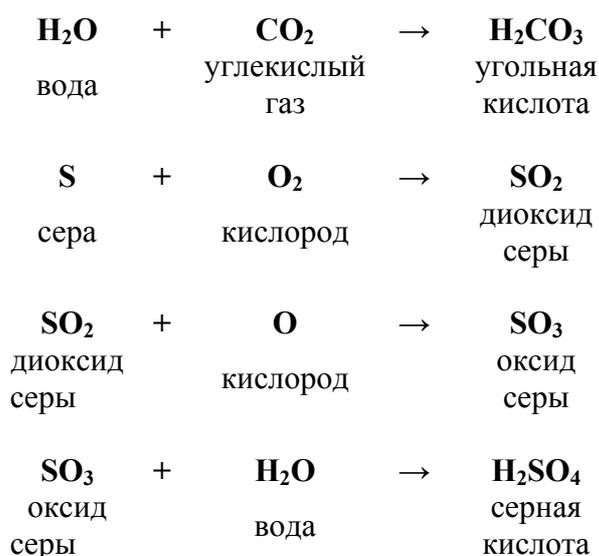
Поэтому особенно остро стоит вопрос снижения вредных веществ в продуктах сгорания.

Основные загрязняющие вещества:

- Оксид углерода CO
- Оксиды азота NO_x
- Пары кислот

С первыми двумя факторами целесообразно бороться путем усовершенствования процесса горения (точное соотношение газ-воздух) и снижение температуры в топке котла.

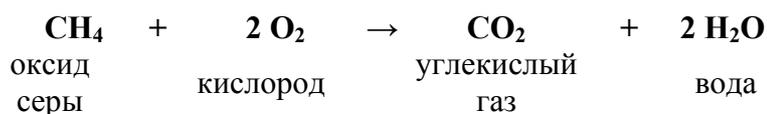
Реакции, приводящие к образованию паров кислот в процессе сжигания газа:



Пары кислот прекрасно выводятся вместе с конденсатом. Утилизировать в жидком состоянии их довольно просто.

9. Утилизация кислотного конденсата

Как видно из реакции горения метана:



При сгорании 1 м³ газа, образуется 2 м³ водяных паров. При обычном режиме работы конденсационного котла за день образуется порядка 15-20 л. конденсата. Этот конденсат имеет небольшую кислотность (порядка Ph=3,5-4,5), что не превышает допустимый уровень бытовых отходов.

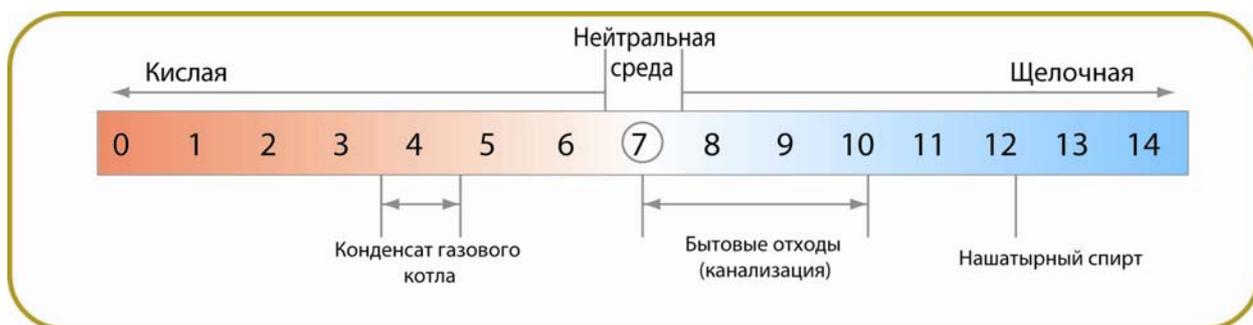


Рисунок 24 Уровень кислотности конденсата газового котла

Содержание других вредных веществ в конденсате также не превышает допустимых пределов:

Компоненты конденсата	Нормативные показатели	Содержание в конденсате газовой конденсационных котлов
	мг/л	мг/л
Свинец	0,2	≤ 0,01
Кадмий	0,01	0,001 – 0,005
Хром	0,15	0,01 – 0,08
Медь	0,25	≤ 0,01
Никель	0,25	0,01 – 0,04
Цинк	0,5	0,05 – 0,06
Олово	0,5	≤ 0,05

Поэтому допускается сбрасывать конденсат в канализацию, где он будет нейтрализован с помощью щелочных бытовых отходов.

Следует принять к сведению, что бытовые канализационные системы изготовлены из материалов стойких к кислому конденсату:

- Керамические трубы;
- Трубы из жесткого ПВХ;
- Трубы из полиэтилена высокой прочности;
- Трубы из полипропилена;
- Трубы из сополимера акрилонитрила, бутадиена и стирола или сополимера, акрилонитрила, стирола и акриловых эфиров (ABS/ASA);
- Трубы из нержавеющей стали;
- Боросиликатные трубы.

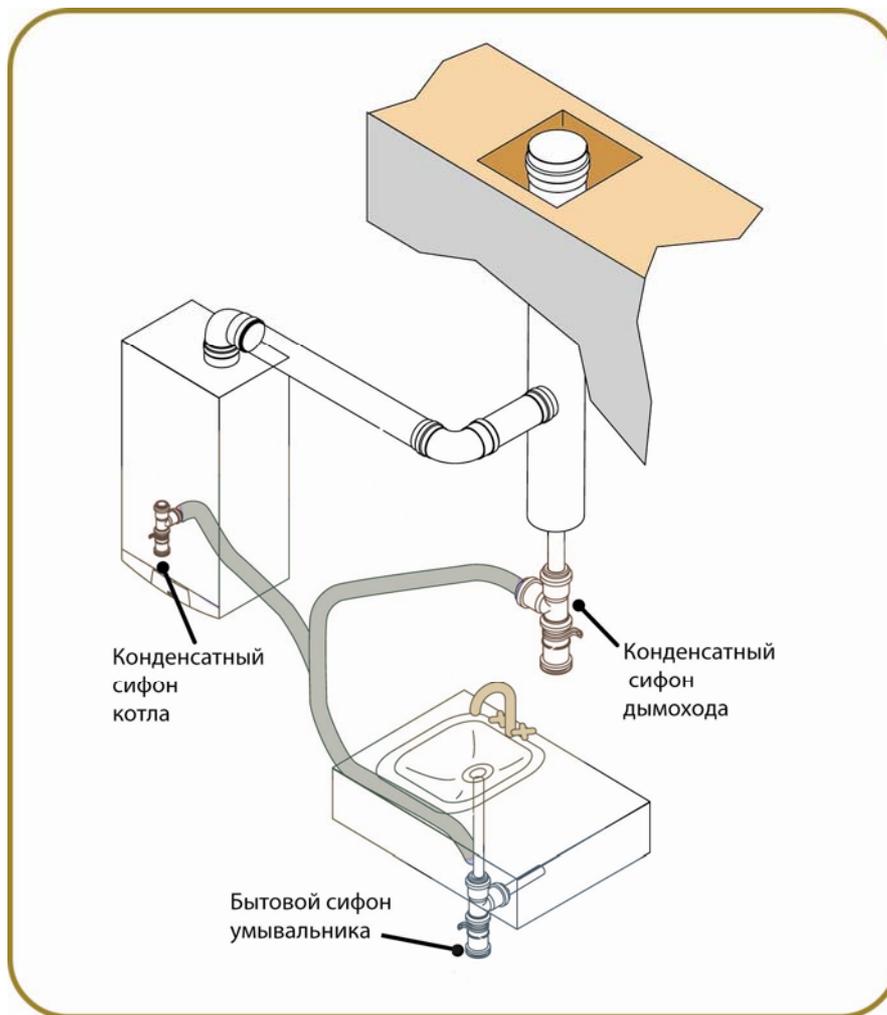


Рисунок 25 Утилизация конденсата

10. Аргументация в пользу конденсационной техники

	Рекламные аргументы в отношении всех новых конденсационных систем Аргументы в пользу эффективности		
Технические характеристики	Сервисный центр	Потребитель	Монтажник
Гладкотрубные теплообменники из нержавеющей стали Части, проводящие отходящие газы / конденсат, изготовлены из пластмассы	Аргумент продажи: Продолжительный срок службы, незначительные затраты на техническое обслуживание	<ul style="list-style-type: none"> • Хорошее соотношение стоимость / полезный эффект благодаря длительному сроку службы аппаратов • Незначительные расходы на техническое обслуживание 	Аргумент для продажи: длительный срок службы
Высокий уровень нормированного коэффициента использования и незначительная эмиссия вредных веществ	<ul style="list-style-type: none"> • Аргументы продажи • Перспективная технология сжигания топлива 	<ul style="list-style-type: none"> • Незначительные расходы на топливо • Незначительная нагрузка на окружающую среду 	• Перспективный аппарат
Компактный аппарат и высококачественный / привлекательный дизайн	<ul style="list-style-type: none"> • Не требуется котельное помещение • Возможность универсального использования подвалов, жилых помещений, ниш, чердаков • Простая установка и монтаж 	<ul style="list-style-type: none"> Требуются мало места • Не требуется "прятать" аппарат 	<ul style="list-style-type: none"> • Не требуется котельное помещение • Возможность универсального использования подвалов, жилых помещений, ниш, чердаков
Широкий диапазон модуляции	Универсальная модель, способная работать на широком спектре объектов	<ul style="list-style-type: none"> • Эффективный, экономичный режим работы во всех диапазонах мощности • Бесшумная работа благодаря низкой тактовой частоте Снижение расходов на топливо 	Универсальная модель, способная работать на широком спектре объектов