

УДК 621.18  
**АНАЛИЗ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГИИ И ЗАТРАТ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ  
КОНДЕНСАЦИОННЫХ КОТЛОВ**  
**ANALYSIS OF THE ENERGY AND COST SAVINGS CAUSED BY  
USING CONDENSING BOILERS**

М.А. Ерёменко, Ю.А. Чешун

Научный руководитель – Н.Б. Карницкий, д.т.н., профессор  
Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Республика Беларусь  
tes\_bntu@tut.by

M. Yaromenka, Y. Chashun

Supervisor – M. Karnitzki, Doctor of Technical Sciences, Professor  
Belarusian national technical university, Minsk, Belarus

**Аннотация:** конденсационные котлы уже несколько лет используются для отопления помещений и бытового водоснабжения во многих странах, и в настоящее время их потенциал для использования оценивается как с технической, так и с экономической точки зрения. Эта технология оказалась рентабельной для регионов, где есть природный газ, со сроками окупаемости от 3 до 5 лет. Критическими факторами, влияющими на экономию конденсационных котлов, оказались коэффициент теплопотерь жилища, применяемые теплоносители, стоимость оборудования, цены на энергию и, что не менее важно, часы работы система обогрева.

**Annotation:** condensing boilers have been in use for space and domestic water heating in many countries for some years now, and in the present work their potential for using them is evaluated from both the technical and economic viewpoints. The technology proved to be cost effective for the areas of where natural gas is available, with payback periods ranging between 3 and 5 years. Critical factors affecting the economy of condensing boilers proved to be the total heat loss coefficient of the dwelling, the heating media applied, the cost of equipment, the energy prices and last but not least the hours of operation of the heating system. These may vary if the use of the boiler is combined with other systems such as solar water heating or a heat pump, and the latter system may offer a flexible alternative which can produce optimum running costs depending on the demand and the price of gas and electricity applying at the time.

**Ключевые слова:** конденсационный котел; экономия энергии; жилища; система обогрева; рентабельность.

**Keywords:** condensing boiler; energy savings; dwellings; heating system; cost-effectiveness.

### **Введение**

Конденсационные котлы – это водонагреватели, работающие на газе или масле. Они достигают высокой эффективности (обычно более 90% при более высокой теплотворной способности), конденсируя водяной пар в выхлопных газах и таким образом используя его скрытую теплоту парообразования,

которая в противном случае была бы потеряна. Конденсат этого пара выходит из системы через дренаж.



Рисунок 1 – Схема конденсационного котла

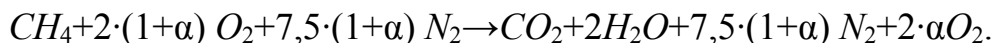
### Основная часть

При использовании скрытой теплоты в продуктах сгорания КПД конденсационных котлов может иметь примерно на 10% выше, чем КПД обычных высокоэффективных котлов на верхнем конце своего цикла нагрузки, но даже когда они не работают в конденсационном режиме, все еще имеются некоторые преимущества за счет большей площади теплообмена [1]. Хотя он предназначен для сжигания различных видов топлива, таких как нефть, попутный и природный газы, последний является наиболее интересным из-за более высокого содержания паров в дымовых газах (более высокая точка конденсации дымовых газов, которую легче всего достичь конденсацией и увеличить потенциал рекуперации энергии). Энергетические преимущества очевидны, если учесть, что, например, для природного газа более 10% его высшей теплотворной способности выделяется в виде скрытого тепла, которое в противном случае теряется. Помимо необходимости нейтрализации и утилизации конденсата, конденсационные котлы не вносят никаких сложностей или особых требований в установку. Поскольку их стоимость на 30-50% выше, чем у обычных котлов, выбор конденсационного котла вместо обычного котла является экономическим вопросом. Более высокая их стоимость обусловлена большей площадью теплообмена и необходимостью сбора конденсата. Отказ от специального материала, необходимого для противодействия кислоте конденсату, и более сложные требования к регулированию, чтобы поддерживать коэффициент избытка воздуха и более объективно учитывать различные погодные условия. Дополнительная возможность мгновенного производства горячей воды в системе горячего водоснабжения еще больше увеличивает годовую экономию топлива по сравнению с обычным комбинированным котлом.

Оценка производительности котла включает две задачи:

1. расчет эффективности котла для различных нагрузок в пределах его номинального рабочего диапазона для различных температур теплоносителя (воды);
2. определение КПД теплоносителя при минимальных нагрузках.

Эффективность котла была оценена путем основанным на реакции горения и изменении нагрузки и рабочих температур теплоносителя в зависимости от температуры окружающей среды. Реакция горения имеет следующий вид:



Температура обратной воды зависит от температуры окружающей среды и выбранной кривой компенсации для работы котла. Для конденсационного котла целесообразно использовать изогнутые линии, которые лучше подходят для излучающих сред. Для обычного устройства можно применять линейную компенсацию. Температура возвратной воды влияет на температуру дымовых газов, которая фактически определяет эффективность сжигания.

Для конденсационного котла полученные кривые производительности показаны на рисунке 2. Как и ожидалось, эффективность немного увеличивается с уменьшением нагрузки (из-за уменьшения массового расхода дымовых газов), но, что более важно, с понижением температуры возвратной воды (снижается температура уходящих дымовых газов).

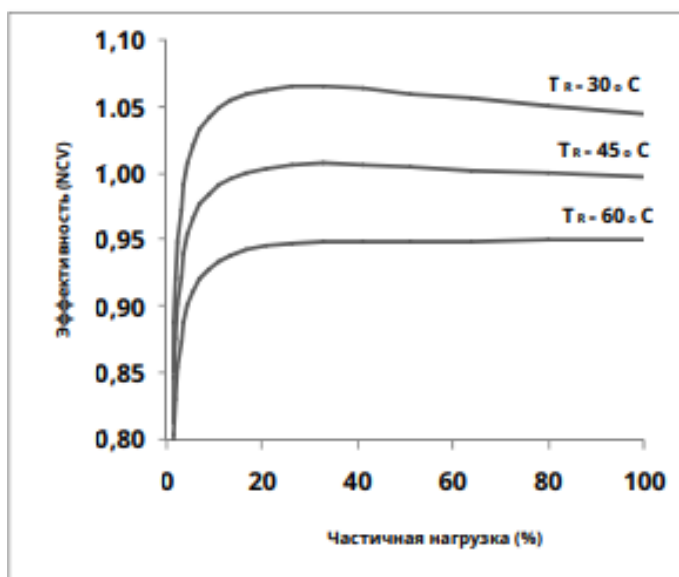


Рисунок 2 – Изменение КПД конденсационного котла в зависимости от нагрузки и температуры окружающей среды

Для обычного котла мы обнаружили, что эффективность увеличивается с уменьшением температуры обратного потока, как показано на рисунке 3, где две линии соответствуют максимальному тепловому потоку (верхняя линия) и минимальному тепловому потоку (нижняя линия). Тем не менее фактором, который ее в конечном итоге определяет общую эффективность, является мощность котла, и её уменьшение приводит к увеличению избытка воздуха и незначительному снижению эффективности, как показано пунктирной линией на том же рисунке. Следовательно, котел сохраняет довольно стабильную

эффективность без существенного повышения экономичности от понижения температуры. Например, при максимальном расходе газа снижение температуры дымовых газов со 100 до 60 °С повысит эффективность с 93 до 96%, снижение расхода при той же температуре на 10% снизит эффективность до 86%, а комбинированный эффект в конечном итоге приведет к небольшому снижению эффективности до 90% (пунктирная линия на рисунке 3).

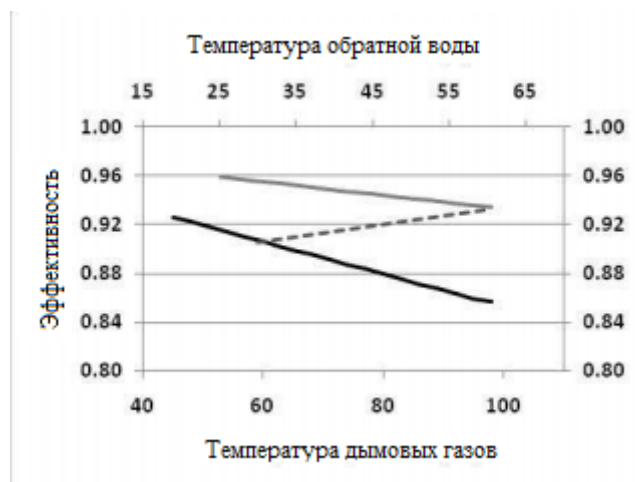


Рисунок 3 – Изменение КПД обычного котла в зависимости от температуры дымовых газов и воды в обратном трубопроводе для максимального, минимального и переменного расхода газа

Когда котел работает циклически, КПД определяется с включением всех потерь, а именно с дымовыми газами (явное и скрытое тепло), через дымоход (потери на вентиляцию) и через корпус (поверхностные потери). В горелках с принудительной циркуляцией воздуха при отключении котла (и вентилятора) временно останавливаются любые потери тяги через дымоход. Более того, в современных котлах потери через корпус очень низкие, что влияет на КПД при очень низких нагрузках, когда конденсационные котлы уже имеют высокий КПД из-за конденсации. Основываясь на периодичности работы горелки, можно проанализировать различные потери в котлах и отметить, что линейная зависимость между нагрузкой и потребляемой энергией является хорошим приближением для бытовых агрегатов. Эта линейная зависимость, а также модель установившегося состояния оказались адекватными для расчетов обычных котлов с вариациями в прогнозе энергопотребления ниже 3%.

Следует ожидать, чем менее утеплено жилище, тем выгоднее становится конденсационный котел. Поскольку есть большие возможности для экономии, быстрая окупаемость делает конденсационные котлы в этих случаях конкурентоспособными.

### Заключение

Конденсационные котлы имеют ряд преимуществ по сравнению с обычными низкотемпературными котлами, такими как их большая площадь теплообмена, более высокий КПД во всем рабочем диапазоне и столь же эффективное ГВС. Несмотря на это перспективы выхода конденсационных котлов на рынок не столь оптимистичны. К сожалению, конденсационные

котлы продаются либо по высокой закупочной стоимости, либо по очень высокой цене по сравнению с обычными низкотемпературными котлами, поэтому срок их окупаемости более значительный. Перспективной альтернативой представляется гибридная система, включающая газовый котел с тепловым насосом, но в этом случае нет необходимости применять конденсационный котел. Несмотря на это, установка конденсационного котла может быть очень важной и экономичной мерой для неизолированных жилищ, где есть большие возможности для экономии топлива. Эта мера может быть первоочередной, потому что любое обновление, которое может быть предпринято впоследствии, не отменяет преимуществ конденсационного котла.

### Литература

1. Harris D.J. A guide to energy management in buildings. Spon Press: London. – 2012.
2. Weiss M, Dittmar L, Junginger M, Patel M, Blok K. Market diffusion, technological learning, and cost-benefit dynamics of condensing gas boilers in the Netherlands. Energy Policy 2009.
3. ANALYSIS OF THE ENERGY AND COST SAVINGS CAUSED BY USING CONDENSING BOILERS FOR HEATING DWELLINGS IN GREECE [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://www.researchgate.net/publication/276926502>. – Дата доступа: 01.04.2021.