

# Особенности работы котлов с применением конденсационных экономайзеров.

**Может ли быть КПД водогрейного котла больше 100%?  
Нарушает ли это законы физики?**

Общепринятые понятия говорят, что КПД котла не может быть больше 100%.

Показатель КПД для котлов с применением конденсационных экономайзеров может превышать 100%.

Это связано не с нарушениями законов физики, а с особенностями методики расчета КПД. Данная методика была разработана для традиционных котлов и не учитывает теплоты, выделяемой при конденсации пара, который образуется при сгорании топлива.

**Что такое топливо и из чего оно состоит?**

Д.И.Менделеев четко разграничил понятие «Топливо» и «Горючие материалы».

Топливо это горючие материалы, сжигаемые для производства тепловой энергии.

В состав топлива входят: углерод С, водород Н, кислород О, сера S, азот N, зола А и вода W.

Рабочий состав топлива выражается по массе следующим равенством:

$$C^P + H^P + O^P + S^P + N^P + A^P + W^P = 100\%.$$

Горючими элементами в твердом топливе являются углерод С, водород Н и летучая сера S.

Зола А и вода W являются нежелательными составляющими топлива и являются балластом топлива.

**Откуда в топливе вода?**

Ввода W в составе топлива состоит из внутренней влаги топлива, химически связанной с иными составляющими топлива и внешней влаги в виде воды находящейся в порах твердого топлива.

**Теплотворная способность низшая и высшая, что это такое?**

Высшей теплотой сгорания топлива  $Q^P_v$  называют количество тепла, выделяемое топливом при полном его сгорании с учетом тепла, которое может выделиться при конденсации водяных паров, которые образуются при горении.

Низшей теплотой сгорания  $Q^P_n$  называют количество тепла, выделяемое топливом при полном его сгорании без учета тепла, которое может выделиться при конденсации водяных паров, которые образуются при горении.

Всегда Низшая  $Q^P_n$  теплота сгорания меньше, чем Высшая  $Q^P_v$  теплота сгорания и это отличие зависит от величины водорода  $H^P$  и влаги  $W^P$  в топливе.

$$Q^P_v = Q^P_n + 600 ( 9 H^P / 100 + W^P / 100 ) = Q^P_n + 6 ( 9 H^P + W^P ) \text{ Ккал/кг.}$$

Во всех расчетах КПД котлов, во всех расчетах расхода топлива на выработку тепловой энергии используется значение Низшей теплотворной способности топлива  $Q_{н}^p$ .

## Пример анализа топлива.

### Протокол испытания

**Наименование работ :** заявлена как УГОЛЬ

**Место отбора пробы :** топливный склад (котельная), шламовая площадка (котельная)

Наименование показателя	Метод испытания	Базовое значение	Фактическое значение
Общая влага( $W^f_1$ ).%	ГОСТ Р 53911 (ИСО 589, ИСО 5068-1)	-	10,5
Зольность сухого топлива ( $A^d$ ).%	ГОСТ 11022 (ИСО 1171)	-	35,9
Общая сера сухого топлива ( $S^d_1$ ).%	ГОСТ 8606 (ИСО 334)	-	0,35
Выход летучих веществ сухого беззольного топлива ( $V^{daf}$ ).%	ГОСТ 6382 (ИСО 562)	-	47,5*
Низшая теплота сгорания ( $Q^f_1$ ).кДж/кг (ккал/кг)	ГОСТ 147 (ИСО 1928)	-	16936 (4045)
Высшая теплота сгорания сухого беззольного топлива ( $Q_s^{daf}$ ) кДж/кг(ккал/кг)	ГОСТ 147 (ИСО 1928)	-	31175 (7446)
Недожог (в шлаке).%		-	2,6

\*Состояние нелетучего остатка порошкообразный

**Заключение:**

Примечания:

- 1.) Номенклатура проверенных показателей заявлена Заказчиком.

В примере влага угля  $W^p = 10,5\%$ , Низшая теплота  $Q_{н}^p = 4045$  Какл/кг, Высшая теплота  $Q_{в}^p = 7446$  Какл/кг.

У топлива с малым содержанием водорода и влаги различие между Высшей и Низшей теплотой сгорания невелико, у антрацита и кокса всего лишь около 2%.

У топлива с высоким содержанием водорода и влаги это различие очень велико.

Так например у природного газа, состоящего в основном из  $CH_4$  и содержащего 25% водорода по массе, Высшая теплота сгорания превышает Низшую на 11%.

Особенно велико превышение Высшей теплоты сгорания над Низшей у влажных видов топлива, в особенности у биотоплива.

У каменных углей и биотоплива Высшая теплота сгорания может превышать Низшую на 20-25%.

## Как зависит теплотворная способность топлива от его влажности?

У топлива, способного накапливать внешнюю влагу теплотворная способность очень сильно зависит от влажности.

По формуле Д.И. Менделеева Низшая теплота сгорания  $Q_n^p$  определяется следующим образом:

$$Q_n^p = 81C^p + 246 H^p + 26(S - O^p) - 6W^p \text{ Ккал/кг.}$$

Таблица зависимости низшей теплоты сгорания биотоплива от его влажности.

Древесные отходы $Q_n^p$ Ккал/кг	Торф $Q_n^p$ Ккал/кг	Влажность топлива $W$ %	Примечания
3453	3610	20	Биотопливо с влажностью менее 20 % практически не существует, затраты по его осушке слишком велики. Такое топливо считается пересушенным и очень пожароопасным. Биотопливо с влажностью более 70% сжигать практически невозможно. Объем дымовых газов будет слишком высок для работы дымососа.
3200	3345	25	
2947	3080	30	
2693	2820	35	
2440	2560	40	
2187	2295	45	
1933	2030	50	
1680	1765	55	
1427	1500	60	
1173	1240	65	

## Какой пар образуется при сгорании топлива?

В процессе сгорания топлива происходит выпаривание внешней влаги, находящейся в порах твердого топлива.

В процессе сгорания топлива происходят химические процессы связывания водорода с кислородом с образованием паров воды.

В процессе сгорания топлива происходят процессы связывания углеводородов с образованием углекислого газа и паров воды.

В любом случае, даже при сжигании сухого природного газа образуются пары воды.

В случае сжигания твердого топлива, а в особенности переувлажненного биотоплива образуется очень большое количество паров воды.

## Что такое точка росы?

При снижении температуры уходящих газов ниже определенной величины, называемой «точка росы» из уходящих газов выделяются капельки воды и серной кислоты, которые отлагаются на поверхностях нагрева водогрейного котлоагрегата.

«Точка росы» уходящих газов зависит от применяемого топлива.

### Примерная таблица «Точки росы» при обычном составе уходящих газов.

Топливо	Температура точки росы оС.
Антрацит: вентиляторное дутьё	10
Антрацит: паровое дутьё	35
Мазут: воздушное распыливание	40
Мазут: паровое распыливание	50
Бурый уголь	50
Каменный уголь	50
Дрова и торф при $W^P = 40\%$	55
Дрова и торф при $W^P = 50\%$	60
Природный газ	60

### Если пар в дымовых газах конденсируется, то это хорошо или плохо?

Уходящие из водогрейного котла газы имеют в своём составе не только пары воды но и окислы серы.

Смесь паров воды и окислов серы образуют в уходящих газах пары серной кислоты.

При снижении температуры уходящих газов ниже определенной величины, называемой «Точка росы», из уходящих газов выделяются капельки воды и серной кислоты, которые отлагаются на поверхностях нагрева водогрейного котлоагрегата.

Капельки воды и серной кислоты на поверхностях нагрева водогрейного котла способствуют интенсивной кислотной коррозии металла конвективной части котла.

Кроме интенсивной кислотной коррозии, капельки воды и серной кислоты на поверхностях нагрева способствуют интенсивному налипанию частиц сажи на трубах конвективной части котла.

Под влажной налипшей массой частиц сажи и уноса процесс кислотной коррозии ускоряется.

Интенсивное налипание частиц сажи и уноса на наружных поверхностях труб конвективной части котла приводит ещё и к тому, что выходное сечение газового тракта котла уменьшается и увеличивается аэродинамическое сопротивление котла.

Увеличение величины аэродинамического сопротивления котла приводит к снижению разряжения в топке котла, снижению подачи воздуха на горение и снижению мощности котла.

Если происходит конденсация паров воды на конвективных поверхностях котла, то это очень плохо!

### Какие есть требования к температуре воды на входе в котел?

Температура уходящих газов снижается ниже температуры «точки росы» в том случае, если уходящие газы омывают поверхности нагрева котла, в которые поступает вода с пониженной температурой.

С целью предотвращения снижения температуры уходящих газов ниже «точки росы» температура воды на входе в котел должна быть как минимум на 5 °С выше значения температуры «Точки росы».

Для повышения температуры воды на входе в котел выше, чем «Точка росы» как минимум на 5 °С приходится применять либо рециркуляционные насосы, либо двухконтурную систему циркуляции теплоносителя.

### **Какие есть требования к температуре уходящих газов?**

Низкая температура уходящих газов способствует выпадению кислотной росы не только на конвективных поверхностях нагрева котлов, но и в газовом тракте котла и на выходе из дымовой трубы.

Очень часто можно видеть такую картину, что верхняя часть металлической дымовой трубы полностью «прогорела» и представляет собой сплошные дырки.

В Нормативном методе расчета котельных агрегатов в таблице П -9 приведены значения минимальных температур уходящих газов.

Топливо	Температура уходящих газов °С.
Угли с приведенной влажностью $w^n \leq 3$	120 - 130
Природный газ	120 - 130
Угли с приведенной влажностью $w^n = 4 \div 20$	140 - 150
Мазут	150 - 160
Торф и древесные отходы	170 - 190

С целью предотвращения выпадения кислотной росы на конвективных поверхностях котлов и в дымовых трубах приходится держать повышенные значения температур уходящих газов.

### **А это плохо, что температура уходящих газов повышенная?**

Одной из составляющих тепловых потерь котла являются потери с уходящими газами.

Потери тепла с уходящими газами могут определяться по упрощенной формуле профессора Равича М.Б.

$$q_2 = 0,01 (t_{\text{ух.г}} - t_{\text{х.в}}) \times Z \quad - \%$$

где: -  $t_{\text{ух.г}}$  - температура уходящих газов, °С

-  $t_{\text{х.в}}$  - температура холодного воздуха, °С

-  $Z$  — безразмерный коэффициент, зависящий от топлива и состава продуктов сгорания.

Чем выше температура уходящих газов, тем больше потери с уходящими газами.

**Если нельзя допускать выпадения кислотной росы в котле, то как использовать пары воды в дымовых газах?**

Если нельзя допускать выпадения росы на конвективных поверхностях котлов, которые изготовлены из черных сталей, то можно организовать выпадение росы в

конденсационном экономайзере с поверхностями нагрева, выполненными из кислотостойких материалов.

Дымовые газы при этом подаются из котла к дымососу, идут на конденсационный экономайзер и далее поступают в дымовую трубу.

### **После конденсационного экономайзера дымовые газы будут нести капельки росы, можно ли их пускать в дымовую трубу?**

После конденсационного экономайзера в дымовых газах обязательно будут присутствовать капельки кислотной росы и в таком виде пускать их в дымовую трубу нельзя.

При дальнейшем охлаждении дымовых газов в дымовой трубе будет дополнительно выпадать роса, что недопустимо.

С целью недопущения выпадения кислотной росы в газовом тракте котла и в дымовой трубе применяется рециркуляция потока дымовых газов.

Небольшая часть дымовых газов от дымососа проходит минуя конденсационный экономайзер и смешивается с дымовыми газами после него.

Температура дымовых газов после конденсационного экономайзера повышается и дальнейшее выпадение росы прекращается.

### **Увеличится ли КПД котла и за счет чего произойдет это увеличение?**

Простое уменьшение температуры уходящих газов уже приведет к уменьшению потерь с уходящими газами.

Если исходить из формулы:  $Q_2 = 0,01 (t_{ух.г} - t_{х.в}) \times Z \%$ , то снижение температуры уходящих газов, к примеру, от 180 °С до 100 °С может привести в снижению потерь тепла с уходящими газами в два раза.

Выделения тепла при конденсации водяных паров примерно равно 10-15 % от выделенного тепла в топке.

### **Уменьшится ли расход топлива?**

Расход топлива на единицу выработанной тепловой энергии напрямую зависит от КПД котла и теплотворной способности топлива.

Удельный расход натурального топлива на каждой тепловой нагрузке определяется по формуле:

$$B_{у}^н = 1000 / (Q_n^p \times \eta_{бр}) \text{ натур.кг/Гкал}$$

где: 1000 – выработанная котлом теплоэнергия, равная 1 Гкал/час  
 $Q_n^p$  - теплотворная способность топлива - Ккал/кг  
 $\eta_{бр}$  – коэффициент полезного действия котла.

Если, к примеру, КПД котла увеличилось от 75% до 90% то расход топлива снизится на 17%.