

СЕКЦИЯ «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Термодинамический анализ процесса глубокой утилизации теплоты продуктов сгорания древесной биомассы

Пальченок Г.И., Хутская Н.Г., Коноплева Е.А.
Белорусский национальный технический университет

Одним из приоритетных направлений энергетической политики Республики Беларусь является сдерживание роста валового потребления топливно-энергетических ресурсов за счет проведения энергосберегающих мероприятий, повышения эффективности работы энергогенерирующего оборудования и дальнейшего увеличения использования местных, в том числе возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

К наиболее эффективным устройствам производства тепловой энергии относятся конденсационные газовые котлы малой и средней мощности, в которых осуществляется утилизация скрытой теплоты конденсации водяных паров – основного продукта сгорания природного газа. За счет охлаждения уходящих продуктов сгорания путем теплопередачи к охлаждающей среде (например, обратная сетевая вода или вода из оборотной системы охлаждения) от 120 – 160 °С (в обычных отопительных котлах) до температуры менее 50 – 70 °С (в конденсационных котлах) потери теплоты с уходящими газами снижаются с 8 – 10 % до примерно 2 %. При этом скрытая теплота конденсации, воспринимаемая охлаждающей водой в конденсационном теплоутилизаторе (КТ), может быть технически утилизирована, что равноценно увеличению полезно использованной теплоты котла. В результате КПД котла, основанный на низшей теплоте сгорания топлива, не включающей теплоту конденсации, становится больше 100 %. КПД, рассчитанный по высшей теплоте сгорания, достигает 95 – 97 %.

В настоящее время и на ближайшую перспективу основным видом ВИЭ является растительная биомасса, главным образом, древесина и отходы ее заготовки и переработки. Биомасса, являясь возобновляемым, экологически чистым и CO₂-нейтральным топливом, обладает такими

существенными недостатками, как высокая влажность и, как следствие, низкая теплотворная способность. С другой стороны, повышенная влажность древесины увеличивает влагосодержание продуктов сгорания до уровня, характерного для газовых котлов и даже выше, что делает глубокое охлаждение уходящих газов в КТ наиболее перспективным способом повышения эффективности использования древесного топлива.

В настоящей работе представлены результаты численного анализа процесса глубокой утилизации теплоты уходящих газов при сжигании древесины и топливных древесных гранул (пеллет). Рассчитывались равновесный состав продуктов сгорания в зависимости от температуры газов на выходе из КТ (90 – 30 °С) применительно к условиям в котле Комконт СН160. Исходными данными для расчета являются составы топлива (таблица 1) и продуктов сгорания при температуре уходящих газов 160 °С и коэффициенте избытка воздуха 1,3 (без КТ – базовый вариант), полученные в результате нормативного теплового расчета котла[1].

Таблица 1 – Состав древесины и древесных пеллет, % на рабочую массу

Топливо	W ^p	A ^p	C ^p	H ^p	O ^p	N ^p	S ^p
Древесина (Д)	40	0,04	27,10	4,70	0,04	26,32	0,01
Пеллеты (П)	8	0,74	47,20	5,70	0,09	38,20	< 0,01

Расчеты выполнены с помощью компьютерной программы прикладных расчетов химического равновесия *CEA* [2]. В основу программы положен метод минимизации энергии Гиббса для равновесной смеси газовых и конденсированных компонентов.

Рассчитаны объемный и массовый составы газов, их влагосодержание и теплофизические характеристики, а также показатели энергетической эффективности процесса утилизации теплоты продуктов сгорания в конденсационном теплоутилизаторе.

Параметры газов на входе в КТ обозначены одним штрихом, на выходе – двумя, m_i , - массы компонентов, кг/кг_{топл}; индексы: g – газы, sg – сухие газы, vp – водяной пар, p – располагаемая теплота.

Удельная тепловая мощность КТ (на 1 кг топлива)

$$q_{KT} = m_{cc} (t'_2 c'_{p,cc} - t''_2 c''_{p,cc}) + m'_{en} h'_{en} - m''_{en} h''_{en}, \text{ кДж/кг.}$$

Тепловая мощность КТ (B – расход топлива, кг/с)

$$Q_{KT} = B \cdot q_{KT}, \text{ кВт.}$$

Увеличение полезной теплоты котла за счет утилизации в КТ части скрытой теплоты конденсации водяных паров (на 1 кг топлива)

$$q_{конд} = m'_{en} (h'_{en} - t'_2 c'_{p,en}) - m''_{en} (h''_{en} - t''_2 c''_{p,en}), \text{ кДж/кг}$$

или в процентах от располагаемой теплоты

$$\Delta q_1 = 100 q_{конд} / Q_p, \%$$

$$\text{КПД котла с КТ } \eta_{KT} = \eta + q_2 - q_{2,KT} + \Delta q_1, \%$$

где η и q_2 – соответственно КПД и потеря теплоты с уходящими газами для котла без КТ.

Результаты расчетов представлены на рисунках 1 – 3.

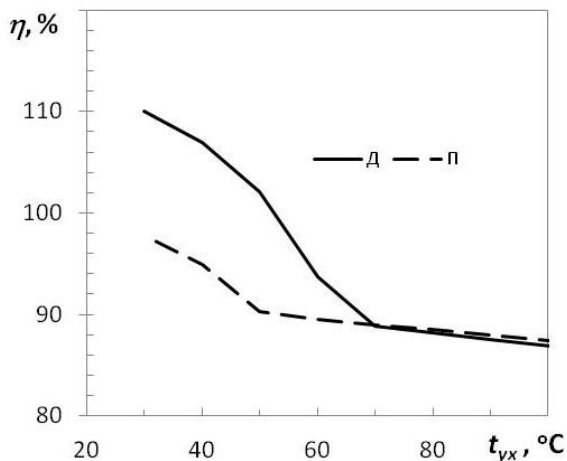


Рисунок 1 – Зависимость КПД котла с КТ от температуры уходящих газов на выходе из утилизатора

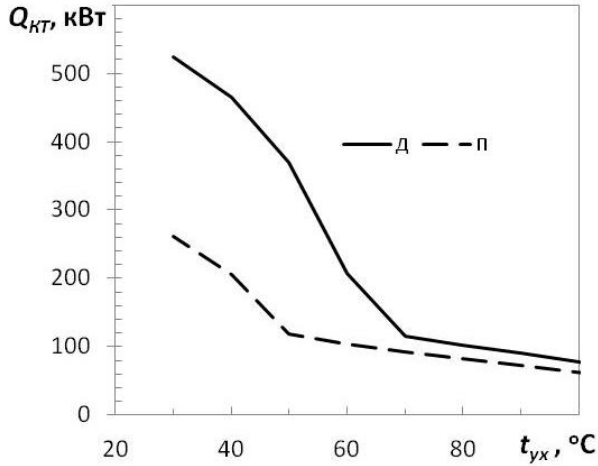


Рисунок 2 – Зависимость тепловой мощности КТ от температуры уходящих газов на выходе из утилизатора

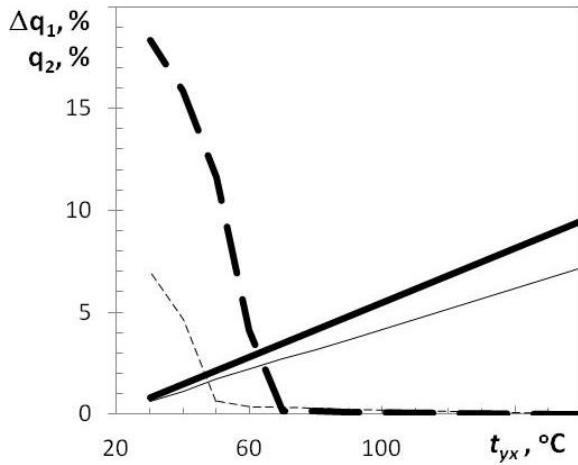


Рисунок 3 – Зависимости Δq_1 (штриховые линии) и q_2 (сплошные линии) от температуры уходящих газов на выходе из КТ; жирные линии – древесина, тонкие линии – пеллеты

Рисунок 1 показывает, что глубокая утилизация теплоты дымовых газов влажной древесины существенно эффективнее, чем

практически сухих пеллет. КПД котла, основанный на низшей теплоте сгорания, достигает соответственно 110 % и 90 % при минимальной температуре уходящих газов 30 °С. До начала конденсации водяных паров КПД на обоих видах топлива практически одинаков. Дальнейшее охлаждение газов приводит к приросту КПД до 20 % на древесине и 8 % на пеллетах.

Тепловая производительность КТ при глубокой утилизации теплоты конденсации для древесины примерно в два раза выше, чем для пеллет (рисунок 2).

Из рисунка 3 следует, что с увеличением влажности биомассы эффективность утилизации тепла возрастает главным образом за счет прироста полезного тепла, связанного с конденсацией влаги в КТ. Эффект уменьшения потерь с уходящими газами менее существенен, особенно в случае более сухого топлива вследствие меньшего расхода газов.

Литература

1. Кузнецов Н.А. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / Н.А. Кузнецов и др. – М.: Энергия. - 1973. - 295 с.

2. The NASA Computer program CEA (Chemical Equilibrium with Applications) [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://www.grc.nasa.gov/WWW/CEAWeb/ceaguiDownload-win.htm>

.Дата доступа: 30.01.2018.

Исследование характеристик магнитожидкостного уплотнения

Баштовой В.Г., Рекс А.Г., Еремейчик А.С.

Белорусский национальный технический университет

Одними из самых распространенных технических применений магнитных жидкостей являются магнитожидкостные уплотнительные системы [1, 2], в которых магнитная жидкость удерживается в уплотняемом зазоре, чаще всего между корпусом устройства и