

<https://doi.org/10.24223/1999-5555-2020-13-2-139-141>

О критической степени расширения природного газа в турбодетандерах

Косюк А. В., студент НИУ «МЭИ»

В последние годы в российской энергетике среди ученых различных университетов и организаций возник интерес к использованию детандер-генераторных агрегатов (ДГА), или просто турбодетандеров, на тепловых электростанциях. На эту тему было опубликовано большое количество статей и защищено диссертаций. В частности, в [1] была предложена методика определения эффективности турбодетандеров с использованием неизвестной в теории термодинамики и теплотехники так называемой критической степени расширения природного газа (ПГ).

Для ее расчета в [1] была предложена формула

$$\delta_{кр} = (1 - \eta_3/\eta_T)^{-1/m}$$

где η_3/η_T — отношение абсолютного электрического КПД η_3 ТЭЦ или КЭС к относительному электрическому КПД турбодетандера η_T , а $m = (k - 1)/k$, где k — показатель изэнтропы.

В [1] отмечалось, что «для работающих КЭС абсолютный электрический КПД $\eta_3 = 0,33 - 0,40$, а для ТЭЦ (при физическом методе разделения экономии топлива на производство электроэнергии и производство теплоты) $\eta_3 = 0,45 - 0,55$ ».

В [1] была представлена графическая зависимость $\delta_{кр}$ от отношения η_3/η_T , которая подразделяет область возможных вариантов использования турбодетандеров на две зоны: зону с «положительной» экономией теплоты с $\Delta Q > 0$ и зону с «отрицательной» экономией теплоты с $\Delta Q < 0$. В данной статье этот график заимствован из [1, 2].

Но для лучшего понимания результатов последующих расчетов он был разделен на два — для КЭС (рисунок 1) и для ТЭЦ (рисунок 2).

В [1] указано, что при степени расширения ПГ в турбодетандерах с различными отношениями η_3/η_T ниже представленной кривой экономия теплоты не будет достигаться и, следовательно, нагрев ПГ перед турбодетандером оказывается нецелесообразным.

В [1] был приведен пример расчета, из которого следовало, что при значениях для КЭС $\eta_3 = 0,37$ и для турбодетандера $\eta_T = 0,75$ «нагрев ПГ целесообразен

при степени расширения ПГ в детандере $\delta > \delta_{кр} = 8,37$ (при $m = 0,23$)». Однако, из рисунка видно, что точка «а» с этими координатами находится в зоне с $\Delta Q < 0$, т. е. экономия теплоты не достигается и, следовательно, нагрев ПГ перед турбодетандером нецелесообразен. Из кривой и расчета в [2] по вышеприведенной формуле критическая степень расширения ПГ в турбодетандере при $\eta_3/\eta_T = 0,37/0,75 = 0,493$ равна $\delta_{кр} = 19,19$ (точка «б» на рисунке 2).

В [3] были представлены результаты исследования характеристик турбодетандера, установленного на ТЭЦ-21 Мосэнерго. При степени расширения ПГ $\delta = 3,596$ относительный электрический КПД турбодетандера был равен $\eta_T = 0,714$, т. е. $\eta_3/\eta_T = 0,50/0,714 = 0,70$.

На рисунке показана точка «в» с такими координатами [2]. Она находится в зоне с $\Delta Q < 0$, т. е. экономия теплоты не обеспечивается и нагрев ПГ перед турбодетандером на ТЭЦ-21 Мосэнерго нецелесообразен. Этот результат опровергает выводы о высокой эффективности нагрева ПГ перед турбодетандером [4].

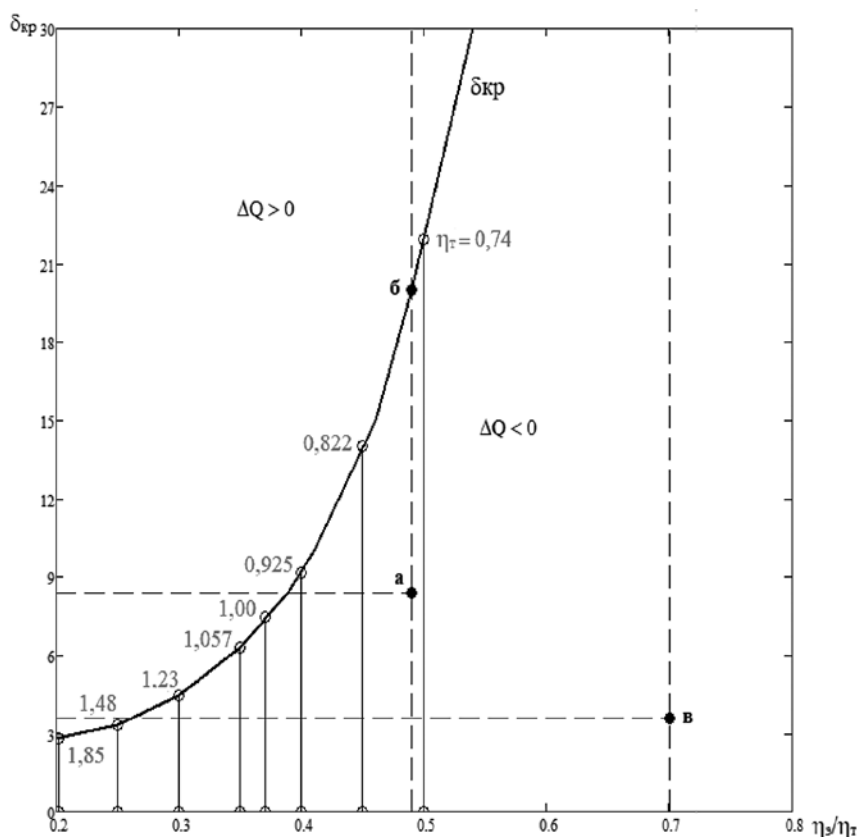


Рисунок 1. Зависимость критической степени расширения ПГ в турбодетандере и его относительного электрического КПД от отношения η_3/η_T (для КЭС). Цифрами в точках кривой отмечены значения КПД

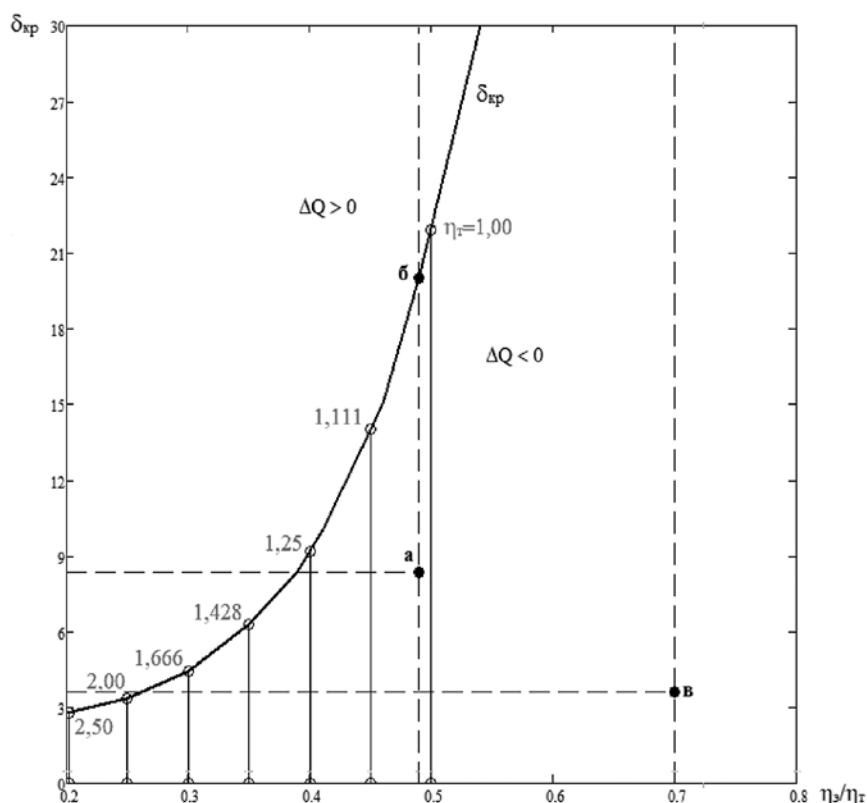


Рисунок 2. Зависимость критической степени расширения в турбодетандере и его относительного электрического КПД от отношения η_z/η_t (для ТЭЦ). Цифрами в точках кривой отмечены значения КПД

В [2] было показано, что для попадания в зону с «положительной» экономией теплоты (слева от графической зависимости) необходимо, чтобы турбодетандер имел повышенные значения критической степени расширения ПГ.

Так, например, критическая степень расширения по расчету по вышеприведенной формуле для точки «б» ($\eta_z/\eta_t = 0,493$) составляет для КЭС 19,19, а для точки «в» ($\eta_z/\eta_t = 0,700$) для ТЭЦ — уже 186,67.

Примем относительный электрический КПД турбодетандера $\eta_t = 0,75$ (как в [1]) и рассчитаем по вышеуказанной формуле критическую степень расширения ПГ в турбодетандерах при максимальных и минимальных значениях абсолютного электрического КПД η_z для КЭС и ТЭЦ:

Для КЭС при $\eta_z = 0,33$ $\delta_{кр} = 12,44$
при $\eta_z = 0,40$ $\delta_{кр} = 26,548$

Для ТЭЦ при $\eta_z = 0,45$ $\delta_{кр} = 53,725$
при $\eta_z = 0,55$ $\delta_{кр} = 296,71$.

По результатам испытаний турбодетандера на ТЭЦ-21 Мосэнерго давление ПГ после турбодетандера составляло 0,2 МПа [3]. Тогда в соответствии с расчетными данными по критической степени расширения ПГ минимальное давление перед турбодетандером должно составлять 2,488 МПа ($12,44 \cdot 0,2 = 2,448$ МПа) для КЭС и 10,745 МПа ($53,725 \cdot 0,2 = 10,745$ МПа) для ТЭЦ.

Следует отметить, что давление ПГ в магистральных трубопроводах составляет 5,5–8,0 МПа, а после газораспределительных пунктов тепловых электростанций давление ПГ обычно находится на уровне 1,1–1,2 МПа. Согласно техническим условиям завода-изготовителя на турбодетандер, установленный на ТЭЦ-21 Мосэнерго, максимальное давление ПГ на входе в него всего лишь 1,2 МПа.

Таким образом, можно заключить, что указанные расчетные значения критической степени расширения ПГ в турбодетандерах по формуле, приведенной в [1], недостижимы на современных КЭС и ТЭЦ.

Наряду со степенью расширения ПГ одним из важнейших показателей является относительный электрический КПД турбодетандера, при котором обеспечивается попадание в левую часть графиков на рисунках 1 и 2.

В таблицах 1 и 2 представлены результаты расчетов относительного электрического КПД турбодетандеров при постоянном значении абсолютного электрического КПД для КЭС $\eta_z = 0,37$ и для ТЭЦ $\eta_z = 0,50$.

Полученные значения КПД турбодетандеров также нанесены на кривых рисунка 1 для КЭС и рисунка 2 для ТЭЦ соответственно.

Из них видно, что для попадания в зону с «положительной» экономией теплоты турбодетандеры для КЭС должны иметь нереально высокие относительные электрические КПД, что противоречит законам

Таблица 1. Значения η_t для КЭС при абсолютном электрическом КПД КЭС $\eta_z = 0,37$ и различных отношениях η_z/η_t

η_z	η_z/η_t	η_t
0,37	0,20	1,85
0,37	0,25	1,48
0,37	0,30	1,23
0,37	0,35	1,057
0,37	0,37	1,00
0,37	0,40	0,925
0,37	0,45	0,822
0,37	0,50	0,74
0,37	0,55	0,672
0,37	0,60	0,616
0,37	0,65	0,569
0,37	0,70	0,528
0,37	0,75	0,493

Таблица 2. Значения η_T для КЭС при абсолютном электрическом КПД ТЭЦ $\eta_э = 0,50$ и различных отношениях $\eta_э/\eta_T$

$\eta_э$	$\eta_э/\eta_T$	η_T
0,50	0,20	2,50
0,50	0,25	2,00
0,50	0,30	1,666
0,50	0,35	1,428
0,50	0,40	1,25
0,50	0,45	1,11
0,50	0,50	1,00
0,50	0,55	0,909
0,50	0,60	0,833
0,50	0,65	0,769
0,50	0,70	0,714
0,50	0,75	0,666

термодинамики, а турбодетандеры для ТЭЦ, кроме этого условия, должны иметь дополнительно еще и

нереально большие значения так называемой критической степени расширения ПГ.

Вывод

Методика определения эффективности турбодетандеров с расчетом критической степени расширения в них природного газа не рекомендуется для использования в научно-исследовательских целях в связи с нарушением законов термодинамики.

Список литературы

1. Трухний А. Д. Термодинамические основы использования утилизационных турбодетандерных установок. Вестник МЭИ 1999, 5: 11 – 15.
2. Закирова И. Р. К определению КПД турбодетандеров. Надежность и безопасность энергетики 2020, (13)1: 56 – 58.
3. Куличихин В. В., Кудрявый В. В., Чижов В. В., Лазарев Л. Я. Методика и результаты исследования характеристик детандер-генераторного агрегата. Вестник МЭИ, 2001, 4: 19 – 24.
4. Агабабов В. С. Влияние детандер-генераторных агрегатов на тепловую экономичность тепловых электростанций. Дисс. на соискание уч. степени д.т.н. Москва, МЭИ (ТУ) 2003.

