

Ильин Роман Альбертович

канд. техн. наук, доцент,
заведующий лабораторией

Ермолаев Антон Сергеевич

магистрант

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный
технический университет»

г. Астрахань, Астраханская область

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДГА В КОТЕЛЬНЫХ ГОРОДА АСТРАХАНИ

Аннотация: в статье рассмотрены вопросы использования детандер-генераторного агрегата (ДГА) в котельных для выработки электрической энергии. Представлены результаты расчётов количества электроэнергии вырабатываемой детандер-генератором при имеющихся условиях.

Ключевые слова: детандер-генератор, котельная, газообразное топливо, перепад давления.

Энергоэффективность и энергосбережение входят в пять стратегических направлений приоритетного технологического развития, РФ. Одним из них является направления повышения энергетической эффективности теплоэнергетического оборудования, в частности котельных большинством в своей массе построенных до 90-х годов XX века. В связи с моральным и техническим износом основной массы оборудования, в целом по стране износ уже в 2000 году составил более чем 60%. Резко встает проблема повышения энергетической, и как следствие, экономической эффективности в условиях непростой ситуации функционирования энергетического рынка страны.

За последние 15–20 лет в большинстве промышленно развитых стран созданы и внедрены достаточно совершенные установки для преобразования энергии органического топлива в электрическую энергию и теплоту. Дальнейшее повышение технико-экономических показателей таких установок требует поиска новых, нетрадиционных методов, применение которых позволило бы существенно повысить технико-экономические показатели работы энергетического оборудования и одновременно улучшить его экологические показатели.

На сегодняшний день подавляющее большинство газораспределительных станций и газорегуляторных пунктов осуществляет процесс понижения давления за счёт дросселирования потока газа, в результате чего теряется колоссальное количество энергии. Одной из возможностей решения этой проблемы, на объектах, использующих в качестве топлива природный газ, могло бы получить применение детандер-генераторных агрегатов (ДГА) (Рис.1). Он представляет собой устройство, в котором за счет утилизации перепада давления потребляемого магистрального природного газа и газа, подаваемого потребителям или используемого на производстве, энергия потока сначала преобразуется в механическую энергию в детандере, а затем в электрическую энергию в генераторе.



Рис. 1. Внешний вид детандер-генераторного агрегата типа ТДА-СРТ

На рис. 2 представлена схема ДГА. К теплообменнику 3 подводится теплоноситель (вода, дымовые газы и т. д.) от котельной для подогрева газа перед де-

тандером. В детандере 4.1 происходит преобразование энергии движущегося потока в механическую энергию, а затем в генераторе 4.2 – в электрическую. Также предусмотрено дросселирующее устройство 5 или уже имеющиеся регуляторы давления, на случай выхода из строя детандера или других составляющих, которое продолжит подавать газ с необходимыми параметрами обеспечивая ремонтотпригодность ДГА.

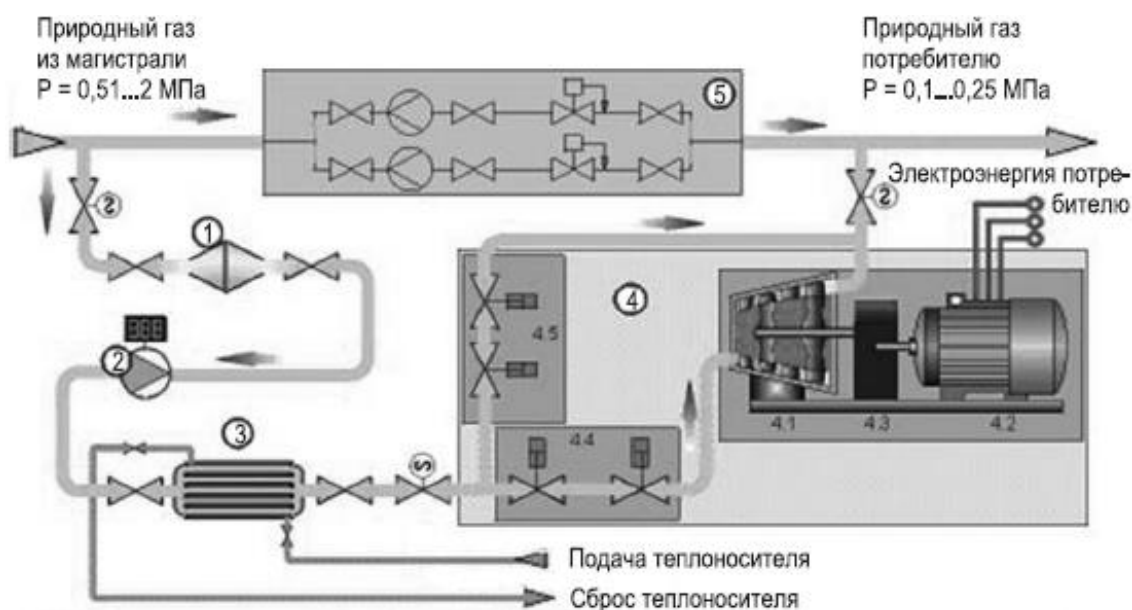


Рис. 2. Принципиальная схема детандер-генераторного агрегата с подогревом газа: 1 – фильтр; 2 – счётчик расхода газа; 3 – теплообменный аппарат для подогрева газа; 4 – детандер-генераторный агрегат: 4.1 – детандер; 4.2 – генератор; 4.3 – редуктор; 4.4 – блок дросселирующего клапана; 4.5 – блок регулятора давления на байпасной линии; 5 – газоредуцирующий пункт

Анализ варианта внедрения ДГА был проведён для котельной №1 (г. Астрахань) при следующих условиях: давление газа перед ДГА $3,2 \text{ кгс/см}^2$, давление газа после ДГА $0,5 \text{ кгс/см}^2$, температура газа перед ДГА после подогрева $353,15 \text{ К}$, низшая теплота сгорания топлива $Q_H^C = 35040 \text{ кДж/м}^3$, собственные электрические технологические нужды котельной 1206 кВт , КПД детандера =

0,85. Газопровод Промысловка – Астрахань плотность газа равна $2,615 \text{ кг/м}^3$, состав газа представлен в таблице 1.

Таблица 1

Физические свойства компонентов природных газов

Компонент	Объёмная доля, %	Молярная масса, кг/кмоль	Объёмный показатель адиабаты
Метан	92,4	16,04	1,3144
Этан	3,12	30,07	1,1405
Пропан	3,12	44,09	1,2181
Азот	1,28	28,02	1,4192
Углекислый газ	0,101	44,01	1,2232
Кислород	0,01	32	1,4085
Сероводород	0,0005	34,02	1,4083

По известным формулам получаем следующие зависимости:

Молярная масса M , кг/кмоль;

$$M = a_1 \cdot M_1 + a_2 \cdot M_2 + a_3 \cdot M_3 + a_4 \cdot M_4 + a_5 \cdot M_5 + a_6 \cdot M_6 + a_7 \cdot M_7, \quad (1)$$

где M_i – молярная масса компонента, кг/кмоль; a_i – процентная доля компонента;

$$M = 0,924 \cdot 16,04 + 0,0312 \cdot 30,07 + 0,0312 \cdot 44,09 + 0,0128 \cdot 28,02 + 0,00101 \cdot 44,01 + 0,0001 \cdot 32 + 0,000005 \cdot 34,02 = 17,541.$$

Газовая постоянная R , Дж/(кг·К):

$$R = R' / M, \quad (2)$$

где $R' = 8314,4$ – универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К).

$$R = 8314,4 / 17,541 = 474.$$

Объёмный показатель адиабаты k_v :

$$k_v = a_1 \cdot k_{v1} + a_2 \cdot k_{v2} + a_3 \cdot k_{v3} + a_4 \cdot k_{v4} + a_5 \cdot k_{v5} + a_6 \cdot k_{v6} + a_7 \cdot k_{v7}, \quad (3)$$

$$k_v = 0,924 \cdot 1,3144 + 0,0317 \cdot 1,1405 + 0,0317 \cdot 1,2181 + 0,0128 \cdot 1,4192 + 0,00101 \cdot 1,2232 + 0,0001 \cdot 1,4085 + 0,000005 \cdot 1,408 = 1,309.$$

Коэффициент сжимаемости газа k рассчитывается по формуле:

$$k = C_p / C_v, \quad (4)$$

где C_p – удельная теплоёмкость 1,2854 кДж/кг·К, C_v – объёмная теплоёмкость 1,4559 кДж/м³·К.

$$k = 1,2854/1,4559 = 0,882.$$

Располагаемая работа при адиабатическом процессе расширения газа в турбодетандере l_0 , кДж/кг:

$$l_0 = (k_v/k_v - 1) \times k \times R \times T \times [1 - (P_2/P_1)^{k_v/k_v - 1}], \quad (5)$$

где k_v – объёмный показатель адиабаты; k – коэффициент сжимаемости газа; R – индивидуальная газовая постоянная; T – температура газа на входе в детандер (принимается равной 80⁰С); P_1 , P_2 – давление газа на входе и на выходе из детандера, соответственно.

Тогда:

$$l_0 = (1,309/1,309 - 1) \times 0,882 \times 0,474 \times 353,15 \times [1 - (0,5/3,2)^{1,309/1,309 - 1}] = 803,56 \text{ кДж/кг}.$$

Мощность, которую можно получить при использовании технологического понижения давления газа детандер-генераторных агрегатов N , кВт:

$$N = G \cdot l_0 \cdot \eta_{ДГА} \cdot \eta_m, \quad (6)$$

где G – расход газа через детандер, кг/с; $\eta_{ДГА} = 0,85$ – КПД детандера; $\eta_m = 0,95$ КПД передачи.

Получаем:

$$N = 0,46 \cdot 803,56 \cdot 0,85 \cdot 0,95 = 298,49 \text{ кВт}.$$

Таким образом, при существующем на газораспределительной станции перепаде давлений газа и среднем расходе за год 0,46 кг/с теоретически ДГА сможет произвести 298,49 кВт электрической энергии, что позволит покрыть 24,75% потребляемой фактической электрической нагрузки котельной в пиковый месяц.

Аналогично был проведён анализ варианта внедрения ДГА котельную №6 г. Астрахань при следующих условиях: давление газа перед ДГА 4,5 кгс/см², давление газа после ДГА 0,5 кгс/см², температура газа перед ДГА после подо-

грева 353,15 К, низшая теплота сгорания $Q_H^C = 35040$ кДж/м³, собственные электрические технологические нужды котельной установки 296,1 кВт, КПД детандера = 0,85. Газопровод: Промысловка – Астрахань, плотность газа равна 2,615 кг/м³.

Молярная масса М, кг/кмоль:

$$M = a_1 \cdot M_1 + a_2 \cdot M_2 + a_3 \cdot M_3 + a_4 \cdot M_4 + a_5 \cdot M_5 + a_6 \cdot M_6 + a_7 \cdot M_7, \quad (1)$$

где M_i – молярная масса компонента, кг/кмоль, a_i – процентная доля компонента;

$$M = 0,9241 \cdot 6,04 + 0,0312 \cdot 30,07 + 0,0312 \cdot 44,09 + 0,0128 \cdot 28,02 + 0,00101 \cdot 44,01 + 0,0001 \cdot 32 + 0,000005 \cdot 34,02 = 17,541.$$

Газовая постоянная R, Дж/(кг·К):

$$R = R' / M, \quad (2)$$

где $R' = 8314,4$ – универсальная газовая постоянная, Дж/(кмоль·К).

$$R = 8314,4 / 17,541 = 474$$

Объёмный показатель адиабаты k_v :

$$k_v = a_1 \cdot k_{v1} + a_2 \cdot k_{v2} + a_3 \cdot k_{v3} + a_4 \cdot k_{v4} + a_5 \cdot k_{v5} + a_6 \cdot k_{v6} + a_7 \cdot k_{v7} \quad (3)$$

$$k_v = 0,924 \cdot 1,3144 + 0,0317 \cdot 1,1405 + 0,0317 \cdot 1,2181 + 0,0128 \cdot 1,4192 + 0,00101 \cdot 1,2232 + 0,0001 \cdot 1,4085 + 0,000005 \cdot 1,408 = 1,309;$$

Коэффициент сжимаемости газа k рассчитывается по формуле:

$$k = C_p / C_v, \quad (4)$$

где C_p – удельная теплоёмкость 1,2854 кДж/кг·К, C_v – объёмная теплоёмкость 1,4559 кДж/м³·К.

$$k = 1,4559 / 1,2854 = 1,1326.$$

Располагаемая работа при адиабатическом процессе расширения газа в турбодетандере l_0 , кДж/кг:

$$l_0 = (k_v / k_v - 1) \times k \times R \times T \times [1 - (P_2 / P_1)^{k_v / k_v - 1}], \quad (5)$$

где k_v – объёмный показатель адиабаты; k – коэффициент сжимаемости газа; R – индивидуальная газовая постоянная; T – температура газа на входе в детандер

(принимая равной 80°C); P_1 , P_2 – давление газа на входе и на выходе из детандера, соответственно.

Тогда:

$$l_0 = (1,309/1,309 - 14) \times 1,1326 \times 0,474 \times 353,15 \times [1 - (0,5/4,5)^{1,309/1,309 - 1}] = 803,77 \text{ кДж/кг.}$$

Мощность, которую можно получить при использовании технологического понижения давления газа детандерных установок N , кВт:

$$N = G \cdot l_0 \cdot \eta_{\text{ДГА}} \cdot \eta_{\text{М}}, \quad (6)$$

где G – расход газа через детандер, кг/с; $\eta_{\text{ДГА}} = 0,85$ – КПД детандера; $\eta_{\text{М}} = 0,95$ – КПД передачи.

Получаем:

$$N = 0,31 \cdot 803,77 \cdot 0,85 \cdot 0,95 = 200,96 \text{ кВт.}$$

Таким образом, при существующем на газораспределительной станции перепаде давлений котельной и расходе $0,31$ кг/с теоретически ДГА сможет произвести $200,96$ кВт электрической энергии, что позволит покрыть $26,48\%$ потребляемой котельной фактической электрической нагрузки в пиковый месяц.

Из анализа двух рассмотренных вариантов видно, что перспектива использования и спектр применения ДГА масштабны, в особенности актуальным направлением использования ДГА является теплоэнергетическая отрасль. Установка ДГА на котельных, использующих в качестве основного топлива природный газ, позволит в полной мере осуществить одно из наиболее эффективных энергосберегающих мероприятий. В частности позволит произвести выработку электрической энергии, которая в свою очередь полностью или частично компенсирует потребление электрической энергии на собственные нужды, а также на некоторых объектах может производить излишки которые, могут продаваться другим потребителям или в общую сеть.

Список литературы

1. Агабабов В.С. Математическое описание схем бестопливных установок генерации электроэнергии на базе одно- и двухступенчатых детандер-генераторных агрегатов и теплонасосных установок парокомпрессионного и воздушного типов / В.С. Агабабов, Ю.О. Байдакова // Энергосбережение и водоподготовка. – 2013. – №1. – С. 39–42.
2. Ильин Р.А. Регенерация теплоты отработавших газов в ГТУ простого и сложного циклов / Р.А. Ильин, В.А. Иванов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2016. – №2. – С. 21–24.