

УДК 621.64

Получение электрической энергии посредством редуцирования давления поступающего газа

Богушевич В.И.

Научный руководитель – ст. препод. СТАЛОВИЧ В.В.

Известно, что достаточно часто высокое давление газа перед подачей потребителю редуцируется, при этом потенциальная энергия сжатого газа теряется безвозвратно. Такую потенциальную энергию возможно преобразовать в электрическую, механическую или тепловую посредством использования детандерных установок.

Детандер - устройство, преобразующее потенциальную энергию газа в механическую энергию. При этом газ, совершая работу, охлаждается. Так же детандер можно рассматривать как бестопливную установку для производства электроэнергии, теплоты и холода. Наиболее распространены турбодетандеры, поршневые детандеры и детандер-генераторы [1].

Также детандеры нашли применение в технологических процессах получения жидких водорода, кислорода, воздуха, азота и других криогенных газов, необходимых для технологических процессов.

Данные устройства понижают давление газа до требуемого потребителю, выполняя функцию газораспределительных пунктов и станций, одновременно вырабатывая электроэнергию. Газ при этом поступает потребителю под необходимым давлением. Такие установки экологичны и не загрязняют окружающую среду. Мощность детандера зависит от количества газа, его температуры и перепада давлений.

На сегодняшний день на производственных объектах в Республике Беларусь наиболее часто встречаются турбодетандерные установки. Так, они достаточно успешно используются для получения электроэнергии и снижения давления газа и пара на таких объектах как ОАО «Лакокраска» мощностью 2 МВт и 250 кВт, ОАО «СветлогорскХимволокно» мощностью 250 кВт и др.

На приведенном ниже рисунке изображена принципиальная схема турбодетандерной установки.

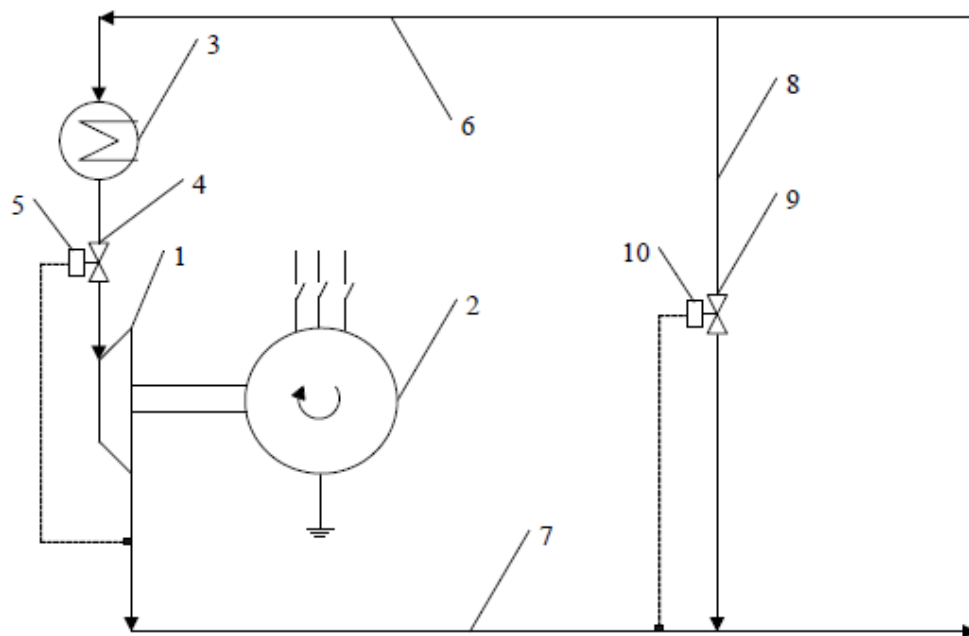


Рисунок 1 – Принципиальная схема турбодетандерной установки

На схеме представлены: турбина 1, кинематически соединенная с электрогенератором 2, подогреватель газа 3, регулирующий клапан 4 турбины 1, управляемый регулятор давления 5, газопровод высокого давления 6, газопровод низкого давления 7, байпасный трубопровод 8 с клапаном 9, управляемый регулятор давления 10.

Природный газ поступает к установке по газопроводу высокого давления 6, проходит подогреватель 3, регулирующий клапан 4 и расширяется в турбине 1. Отдав свою энергию турбине 1, газ через газопровод низкого давления 7 поступает к потребителю. Мощность турбины 1 передается генератору 2, производящему электрический ток. Природный газ нагревается в подогревателе 3 для предотвращения выпадения из него влаги и тяжелых фракций (гидратов, пропана, бутана и т.п.). Для этого необходимо, чтобы температура газа за турбиной составляла около 5°C. Регулирующий клапан 4 турбины 1, управляемый регулятором давления 5, поддерживает необходимое потребителю значение давления газа после турбины 1 в газопроводе низкого давления 7. Байпасный трубопровод 8 используется в процессе пуска установки, ее нормального и аварийного выводов из работы. В этих случаях байпасный клапан 9, управляемый регулятором давления 10, поддерживает необходимое потребителю значение давления газа в газопроводе низкого давления 7.

Ниже представлены методика расчёта для выбора и определения эффективности турбодетандерных установок, работающих на природном газе, при их внедрении на производственных объектах [2, 3].

Требуемая электрическая мощность турбодетандера определяется по формуле:

$$N = \frac{\Delta h_{\text{тд}} \times \rho \times G}{3600}, \text{ кВт} \quad (1)$$

где $\Delta h_{\text{тд}}$ – адиабатический перепад в турбодетандере, кДж/кг;

G – расход природного газа, $\text{м}^3/\text{ч}$;

ρ – плотность природного газа, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Адиабатический перепад в турбодетандере определяется по формуле:

$$\Delta h_{\text{тд}} = \frac{k}{k-1} \times R \times T_{\text{н}} \times \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{p_{\text{н}}}{p_{\text{к}}} \right)^{\frac{k-1}{k}}} \right), \text{ кДж/кг}, \quad (2)$$

где k – показатель адиабаты для природного газа;

R – газовая постоянная для природного газа, $\text{кДж}/\text{кг}\cdot\text{К}$;

$T_{\text{н}}$ – температура газа на входе в турбодетандер, К ;

$p_{\text{н}}$ – начальное давление газа, МПа ;

$p_{\text{к}}$ – конечное давление газа, МПа .

Необходимо отметить, что согласно формуле (2), чем больше будет разность давлений на входе и на выходе турбины, тем больший будет эффект от работы установки.

Годовая экономия электрической энергии в пересчете в условное топливо составит [3]:

$$\Delta B_{\text{г}} = N \times T_{\text{г}} \times b \times 10^{-6} \text{ т у. т.}, \quad (3)$$

где $T_{\text{г}}$ – число часов работы турбодетандера в год, ч.

b – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, $\text{г у. т.}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$ (на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) по итогам работы за 2018 год $b = 284,1 \text{ г у. т.}/\text{кВт}\cdot\text{ч}$);

Следует отметить, что газ перед входом в турбодетандер необходимо подогревать. Расход тепловой энергии на подогрев газа можно определить по формуле:

$$\Delta Q = \frac{c_{\Gamma} \times (t_2 - t_1) \times \rho \times G}{3600}, \text{ кВт} \tag{4}$$

где c_{Γ} – теплоемкость газа, кДж/кг·К;
 t_1 – температура газа до подогревателя, °С;
 t_2 – температура газа после подогревателя, °С.
 За год расход тепловой энергии составит:

$$\Delta Q_{\Gamma} = \Delta Q \times T_{\Gamma} \times b \times 10^{-6}, \text{ т у. т.} \tag{5}$$

Таким образом, суммарная экономия после реализации мероприятия составит:

$$\Delta B = \Delta B_{\Gamma} - \Delta Q_{\Gamma}, \text{ т у. т.} \tag{6}$$

В денежном эквиваленте эффект составит:

$$\mathcal{E} = \Delta B \times C \times 10^{-3}, \text{ тыс. руб.} \tag{7}$$

где C – стоимость 1 т у.т, руб.

Срок окупаемости внедрения мероприятия определяется формулой:

$$C_{\text{ок}} = \frac{K}{\mathcal{E}}, \text{ лет} \tag{8}$$

где K - капиталовложения в мероприятие, тыс. руб.

Стоимость 1 т у.т. в 2019 году для Республики Беларусь составляет 215 у.е., курс американского доллара на 02.11.2019 г. составляет 2,05 руб., таким образом, стоимость 1 т у.т. составляет 440,75 рубля.

Согласно представленной выше методике был осуществлён пример расчёта по исходным данным, отражённым в таблице 1. На рисунке 2 представлена зависимость величины экономии в денежном эквиваленте при изменении расхода газа в пределах 200 до 1900 $\text{нм}^3/\text{ч}$.

Таблица 1 – Исходные данные для расчёта

ρ , кг/м ³	k , о.е.	R , кДж/кг·К	$T_{\text{н}}$, К	$p_{\text{н}}$, МПа	$p_{\text{к}}$, Мпа	T_{Γ} , ч	t_1 , °С	t_2 , °С	C , руб
0,62	1,32	0,51	353,15	0,6	0,02	8400	20	80	440,45

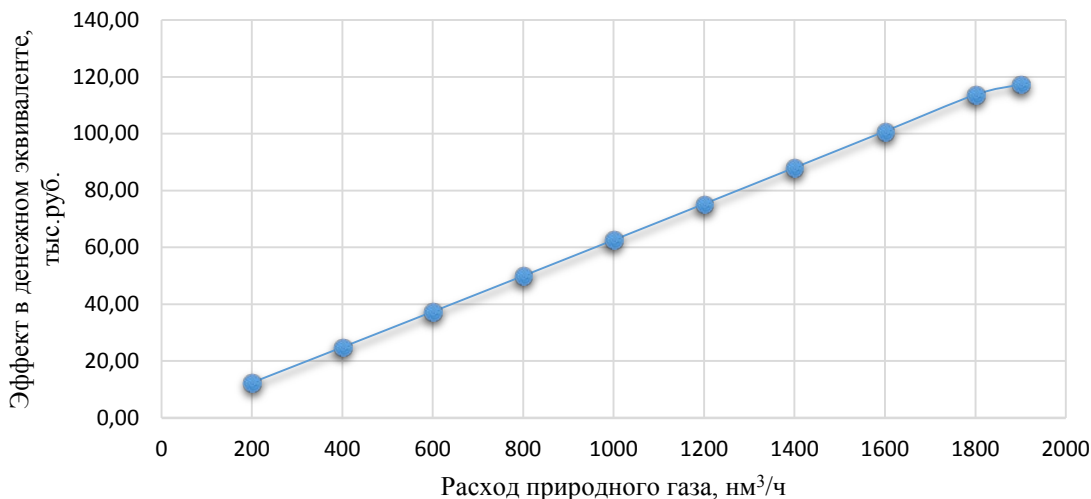


Рисунок 2 – Изменение эффекта в зависимости от роста расхода газа

Построенная кривая на рисунке 1 наглядно отражает рост экономического эффекта от внедрения турбодетандерной установки при росте расхода природного газа предприятием, а также позволяет оценить срок окупаемости по формуле (8). Например, согласно данным зарубежных и отечественных торговых компаний, капиталовложения на внедрение турбодетандерной установки на параметры, отраженные в таблице 1 и расходе газа $500 \text{ м}^3/\text{ч}$, оцениваются величиной порядка 145 тыс. руб., соответственно, срок окупаемости составит в пределах 5 лет.

Далее построим кривую экономии после реализации мероприятия в денежном эквиваленте при изменении величины начального давления газа от 0,3 МПа до 6,0 МПа при постоянных параметрах системы, отраженных в таблице 1 и максимальном расходе газа $1900 \text{ м}^3/\text{ч}$ (рисунок 3).

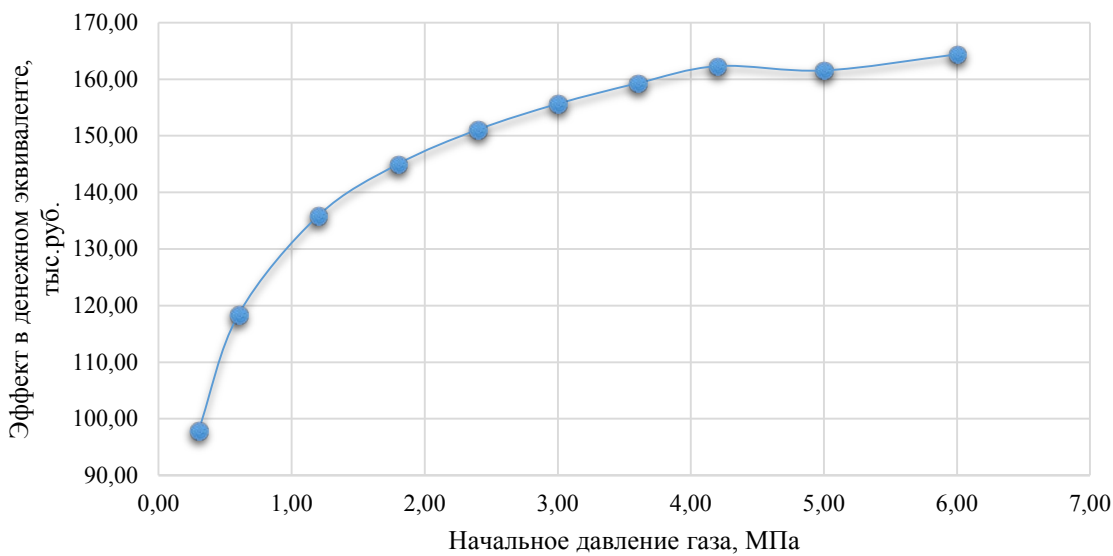


Рисунок 3 – Изменение экономического эффекта при росте начального давления газа

Данная кривая показывает, что увеличение начального давления ожидаемо даёт положительный эффект, однако рост эффективности турбодетандерной установки происходит не столь ощутимо, как при росте расхода природного газа. Таким образом, при определении целесообразности внедрения турбодетандерной установки в первую очередь необходимо учитывать такой параметр, как расход газа.

Таким образом, турбодетандеры утилизируют собственные энергетические ресурсы газотранспортной системы (полезно не используемый перепад давлений газа) и достаточно просты в эксплуатации. На сегодняшний день существуют турбодетандерные установки, отличающиеся способностью работать в широком диапазоне расходов и давлений газа, сохраняя при этом требуемые параметры и качество генерируемой электроэнергии.

На производственных объектах Республики Беларусь существует потенциал по внедрению и использованию турбодетандерных установок, причём они не нарушают режим подачи газа посредством использования байпасного трубопровода в аварийных и других случаях.

Литература

1. Клименко А.В. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник – 4-е изд. – М.: Издательский дом МЭИ, 2007. – 632 с.
2. Аксенов Д.Т. Выработка электроэнергии и «холода» без сжигания топлива // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». 2003. № 6. С. 21-25.
3. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, Минск, Департамент по энергоэффективности Государственного комитета по стандартизации Республики Беларусь, Минск, 2019.