УДК 621.316

А.А.СУМИЧ, аспирант (БНТУ),
заместитель начальника теплотехнической службы РУП «Гродноэнерго»
г. Минск

РАСШИРЕНИЕ ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕИЯ ТУРБО-ДЕТАНДЕРНЫХ УСТАНОВОК

Каждый день во всем мире огромное количество природного газа транспортируется по трубопроводам от источников до потребителей. Компрессоры большой мощности, приводимые в действие, в основном, газотурбинными двигателями, используются для сжатия газа с целью его транспортировки. Такое же оборудование используется во многих пунктах (компрессорных станциях) по длине газопровода для компенсации потерь давления газа от трения, поддерживая, таким образом, необходимое давление газа по длине газопровода. Как только газ достигает области распределения, он, обычно, передается от газотранспортной компании к компании, которая обслуживает потребителей газа. Так как газ, обычно, транспортируется при давлении, во много раз превышающем, требуемое конечному потребителю, между трубопроводами транспорта газа и сетью его распределения установлены так называемые газораспределительные станции (ГРС). ГРС, в основном, состоит из дроссельных клапанов и подогревателей газа. Подогреватель газа необходим для компенсации температурных потерь в дроссельных клапанах. Аналогичные устройства, называемые газораспределительными пунктами (ГРП), обычно, устанавливаются между сетью распределения газа и его конечными пользователями.

Энергия потребляется, как в процессе сжатия газа, так и в процессе его расширения. При этом потребление энергии в процессе сжатия газа происходит в результате работы, которую необходимо совершить для сжатия газа до давления в трубопроводе и поддержания этого давления на требуемом уровне в процессе его транспортировки. В процессе расширения газа на ГРС и ГРП энергия потребляется для восстановления его температуры после охлаждения в результате этого расширения.

Восстановление этой энергии на ГРС и крупных ГРП возможно путем замены дроссельных клапанов турбодетандером, что позволяет генерировать электричество или произвести другую полезную работу. Однако следует отметить, что при этом часть этой энергии должна быть затрачена на подогрев газа. Газ должен быть подогрет для предотвращения выпадения из него газгидратов в проточной части турбины, приводящего к снижению ее надежности. Для этого необходимо, чтобы температура газа за турбиной составляла не менее $+5^0$C. Кроме того, необходимо, чтобы она не превышала допустимую температуру, гарантирующую надежную работу

теплоизоляционного и антикоррозийного покрытий газопровода (не более + 40 ^{0}C). Подогрев газа повышает его внутреннюю энергию и, тем самым, мощность турбодетандера. Повышается также КПД турбодетандера. Подогрев газа от 0 ^{0}C до +80 ^{0}C повышает мощность турбодетандера на 30 - 35 %. Однако, такие требования являются одним из основных факторов, сдерживающих широкое внедрение турбодетандеров. Подогрев природного газа до указанных температур требует наличия соответствующего теплоносителя, а при его отсутствии – значительного усложнения схемы турбодетандерной установки путем применения ступенчатого расширения рабочего тела с промежуточным подогревом до требуемой температуры. Многоступенчатая схема с несколькими расширительным машинами и теплообменниками возможна. Подобным образом поступили в концерне «Atlas Copco», где создали турбодетандерную установку производительностью от 0,5 до 20 тыс. м3/ч. В ней от 2-х до 6-ти радиальных высокооборотных ступеней расширения вращают общий вал редуктора и далее генератор. Подогрев газа осуществляется после каждой ступени в выносных теплообменниках [1]. Альтернативой такой схеме установки может выступать цикл, приведенный на рисунке 1.

Природный газ от газопровода высокого давления (1,3 – 2,5 МПа) подается в подогреватель 1, затем в подогреватель 2, расширяется в турбодетандере №1, подогревается в подогревателе 3, смешивается с газом, отдавшим тепло в подогревателе 2, далее расширяется в турбодетандере №2, проходит подогреватель 4, часть газа поступает потребителю, другая часть поступает в компрессор, где сжимается до давления, равного давлению после турбодетандера №1. При сжатии газа значительно возрастает его температура. Газ с высокой температурой направляется в качестве теплоносителя в подогреватель 2, а затем подмешивается к потоку после турбодетандера №1. Таким образом контур включающий турбодетандер №2, подогреватели 4, 2 и компрессор можно рассматривать как тепловой насос, использующий низкопотенциальное тепло теплоносителя, поступающего в подогреватель 4 для подогрева газа до значительно более высокой температуры в подогревателе 2.

При предварительном расчете параметров данного цикла были использованы следующие допущения:

1. Состав природного газа - 100% метан [2].
2. Температура греющего и нагреваемого газа на выходе из теплообменника одинаковы (один из возможных режимов работы противоточного теплообменника).
3. Внутренний относительный КПД и турбодетандера и компрессора принят равным 70%.
4. Подача в подогреватели 1,3,4 технической воды позволяет нагреть газ до температуры в 15^{0}C.

   Результаты расчета сведены в таблицу 1.

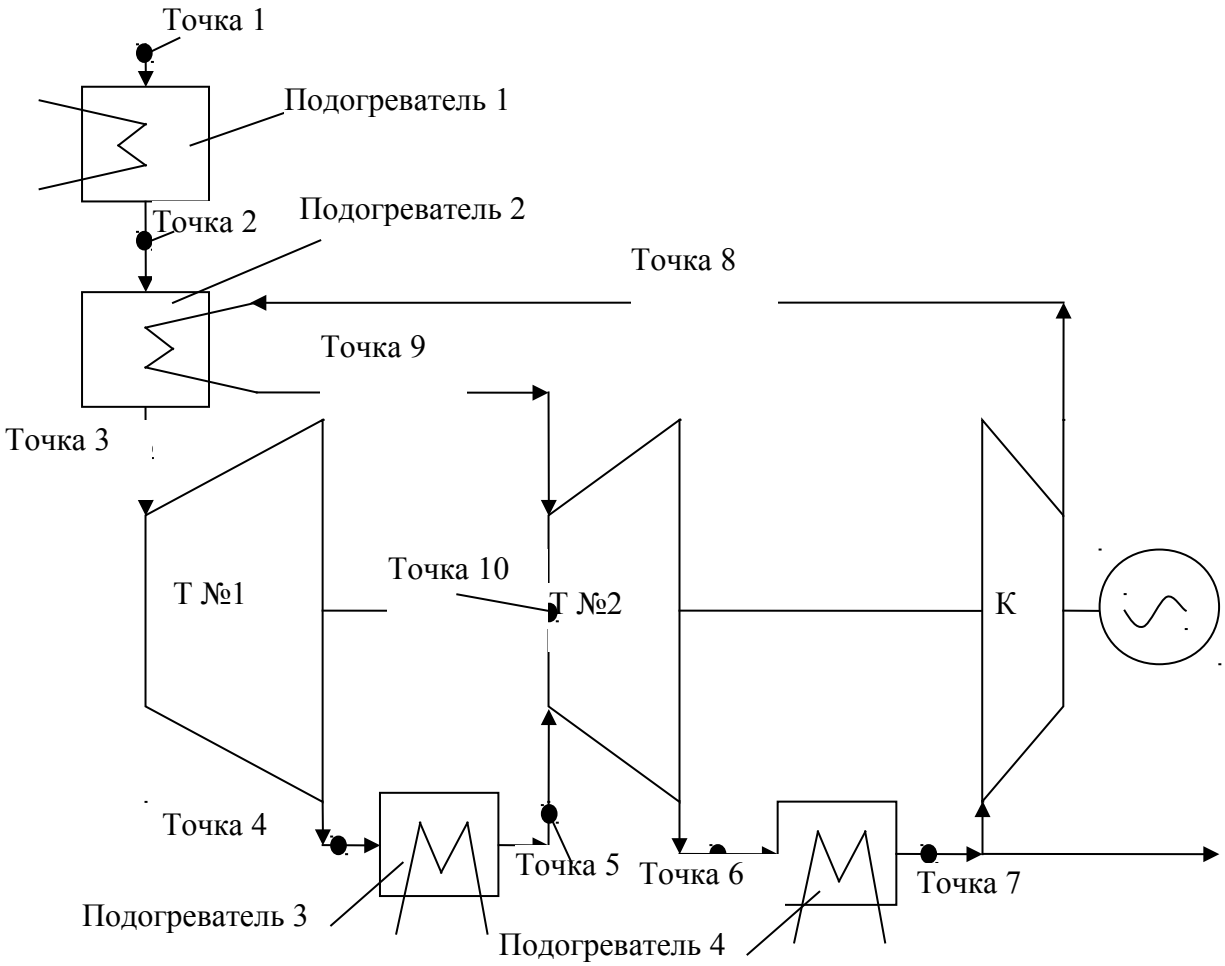

Рисунок 1.

Таблица 1.

Номер точки	Параметры газа		
	P, МПа	T, ^{0}C	h, кДж/кг
1	1,20	-1,00	1126,0
2	1,20	15,00	1162,4
3	1,20	57,95	1263,8
4	0,40	4,20	1145,8
5	0,40	15,00	1170,8
6	0,20	7,22	1154,7
7	0,20	15,00	1172,9
8	0,40	88,25	1341,4
9	0,40	57,86	1269,0
10	0,40	40,47	1228,1

При расходе природного газа потребителю в 90 000 нм^3/ч, мощность турбодетандера №1 составляет 1,87 МВт; турбодетандера №2 – 2,80 МВт; мощность, потребляемая компрессором – 4,15 МВт. Таким образом по-

лезная мощность установки составляет 0,52 МВт. Расход газа через компрессор – 126 400 $нм^3$/ч.

Расчеты схемы обычного трехступенчатого турбодетандера с промежуточным подогревом газа теплоносителем со схожими параметрами показали невозможность его надежной работы при имеющихся параметрах теплоносителя по условиям обеспечения температуры природного газа за турбиной не ниже $+5^0$С.

Таким образом, рассмотренная схема турбодетандерной установки может найти широкое применение на ГРС и ГРП, на которых имеется доступ к низкопотенциальному теплу – техническая вода после охлаждения различных машин и механизмов, циркуляционная вода тепловых электрических станций, обратная или прямая сетевая вода. Следует отметить, что при повышении качества очистки природного газа, эффективность рассмотренной схемы повышается за счет снижения минимально допустимой температуры газа на выходе из турбодетандера. Так, снижение допустимой температуры до 0^0С увеличивает полезную мощность установки до 0,97МВт.

Список литературы:

1. Материалы 65–й научно – технической конференции студентов и аспирантов БНТУ, Минск 2013.
2. В.А.Загорученко, А.М.Журавлев «Теплофизические свойства газообразного и жидкого метана», Москва 1969.