

УДК 542.455

*И.Р. Байков, д.т.н, профессор; Р.А. Молчанова, к.т.н, доцент, e-mail: raisamolchanova@yandex.ru;**О.В. Кулагина, аспирант, e-mail: kylaginaolga@mail.ru, ГОУ ВПО «Уфимский государственный нефтяной технический университет»*

## Целесообразность использования в энергохолодильных комплексах на базе детандергенераторных установок промежуточного хладоносителя

**Весьма перспективной с точки зрения энергосбережения на сегодня является использование избыточной энергии давления газа при его редуцировании в системах газораспределения и потребления. Области использования энергии избыточного давления газа на ГРС для производства холода мало изучены и разработаны. В статье рассматривается эффективность энергохолодильного комплекса с промежуточным хладоносителем на распределительных ГРС.**

**Ключевые слова:** энергосбережение, энергоэффективность, вторичные энергетические ресурсы (ВЭР), энергия избыточного давления газа, газораспределительная станция (ГРС), энергохолодильный комплекс (ЭХК).

При поступлении природного газа из магистральных трубопроводов в распределительную систему газопроводов городов и крупных промышленных предприятий осуществляется понижение его давления на газораспределительных станциях (ГРС). Снижение давления газа происходит в редуционных клапанах и является прямой потерей потенциальной энергии потока.

Эта энергия была затрачена на сжатие газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов. При ее использовании на конечных пунктах распределения газа часть энергии может быть возвращена поставщику газа в виде электрической энергии или коммерческой прибыли за счет реализации холода.

Идея использования указанного перепада давления общеизвестна. Имеются отдельные примеры ее успешной реализации путем установки крупных турбодетандерных агрегатов для выработки электроэнергии (ТЭЦ-22, Москва).

При использовании турбодетандеров в результате адиабатного расширения потока газа с отдачей работы значительно понижается температура газа.

При понижении давления газа с 1,2 до 0,3 МПа температура его снижается на 50–60 °С (в зависимости от состава газа и эффективности детандера). При увеличении степени понижения давления до 6 (от 1,8 до 0,3 МПа) снижение температур может достигать до 70–80 °С. Если принять, что температура газа на входе в машину равна 20 °С, то температура потока после расширения может составить минус 30–40 °С в первом и минус 50–60 °С – во втором случае.

Таким образом, в результате использования избыточной энергии давления природного газа может вырабатываться не только электрическая энергия, но и значительные количества холода (от 60 до 80 кДж/нм<sup>3</sup>).

С учетом большой доли газификации территории нашей страны и наличия большого количества ГРС возле городов и населенных пунктов представляется целесообразным строительство при ГРС промышленных холодильников, особенно в сельскохозяйственных регионах для сохранения урожая. Целесообразность строительства таких комплексов на крупных ГРС не вызывает сомнения. В то же время в распределительной си-

стеме газоснабжения страны имеется огромное количество небольших ГРС и крупных ГРП, где снижение давления газа до среднего и низкого давлений происходит только редуцированием в дросселирующих устройствах (например, с 1,2 до 0,3 МПа), т.е. технологический процесс происходит также с потерей потенциальной энергии. Среднегодовой расход газа на небольших ГРС представлен на рисунке 1.

Практически все известные проекты использования избыточной энергии давления газа при его редуцировании в системах газораспределения и потребления направлены на производство электрической энергии. Но области использования энергии избыточного давления газа на ГРС для производства холода изучены и разработаны в меньшей степени.

Возможно несколько вариантов дальнейшего использования холодного потока природного газа в промышленных холодильниках:

- с непосредственным использованием охлажденного газа в качестве хлад-агента;
- с использованием промежуточного

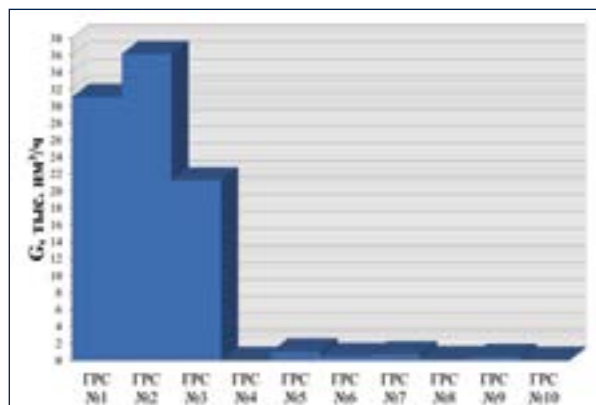


Рис. 1. Среднегодовой расход газа на небольших ГПС

хладоносителя для транспортировки холода к месту использования.

Принципиальная схема таких энергохолодильных комплексов представлена на рисунке 2.

Эффективность холодильного цикла снижается при использовании газообразной среды в качестве хладагента в случае использования цикла с непосредственным использованием охлажденного газа в качестве хладагента, т.к. коэффициент теплоотдачи газообразной среды на несколько порядков ниже коэффициента теплоотдачи жидкой среды. Но преимущества теплофизических свойств хладоносителя могут быть сведены на нет из-за потерь холода при его транспортировке к месту использования.

В работе рассматривается эффективность энергохолодильного комплекса с промежуточным хладоносителем на распределительных ГПС (рис. 2б).

Такой энергохолодильный комплекс должен включать:

- энергоблок на базе детандер-генераторных агрегатов, предназначенный для выработки электроэнергии и холода за счет использования энергии избыточного газа, поступающего от ГПС;
- блок отбора холода от газа, охлажденного за счет расширения его в турбинах детандера;
- систему для охлаждения промежуточного жидкого хладагента газом, транспортировки его в холодильник для передачи холода воздуху холодильных камер с помощью воздухоохладителей. Исходные данные для расчетов (расчеты производятся для действующей ГПС в средней полосе России):
- расход газа – 120 тыс. км<sup>3</sup>/ч;

- при проходе через турбодетандерную установку газ охлаждается до  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- после турбодетандерной установки газ поступает на газоредуцирующую станцию (ГРС), температура на входе которой должна поддерживаться от 0 до  $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Необходимо рассмотреть возможность подогрева газа до  $0-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  при температурах хранения в холодильнике  $0$  и  $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Поддержание заданного температурного и влажностного режима в камерах холодильника достигается работой всей холодильной установки, т.е. холодильной машины и местных камерных приборов охлаждения, установленных в охлаждаемых помещениях. В соответствии с выбранным вариантом схемы энергохолодильного комплекса с промежуточным хладоносителем:

- 1) газ отдает холод промежуточному хладоносителю в теплообменных аппаратах (конденсаторах);
- 2) сам газ в этом теплообменном аппарате нагревается;
- 3) при допустимой температуре газ отводится в трубопровод его подачи потребителям;

- 4) охлажденный хладагент подается в воздухоохладители холодильника, где он нагревается;
- 5) нагретый хладоноситель принудительно возвращается в теплообменный аппарат для охлаждения.

Распределение температур по длине теплообменников представлено на рисунке 3. Изменения температур показаны в таблице.

Температура хладоносителя на выходе из теплообменника принимается по минимально возможному перепаду температур. При этом учтем потери температуры по длине трубопровода от теплообменника до воздухоохладителя равные  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . [1]. Для воздухоохладителя принимаем расчетную разность температур на входе и выходе равной  $3-4\text{ }^{\circ}\text{C}$  [2]. Таким образом, по рисунку 3 и таблице видно, что получить более низкую температуру воздуха в камерах холодильника при данных температурах газа затруднительно.

Рассмотрим проблему с точки зрения максимально возможного количества холода, переданного от газа.

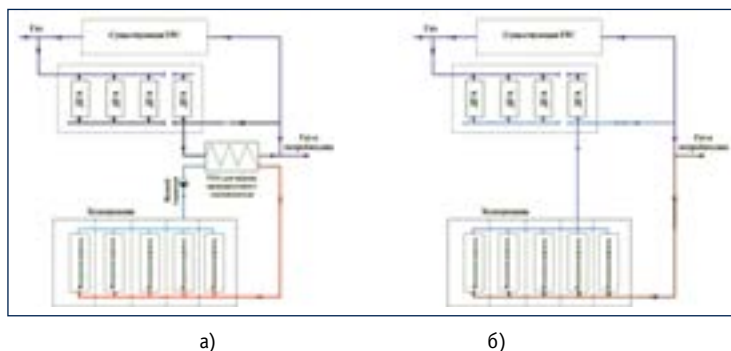


Рис. 2. Принципиальная схема энергохолодильного комплекса:

а) схема с промежуточным хладоносителем; б) схема с непосредственным использованием холода

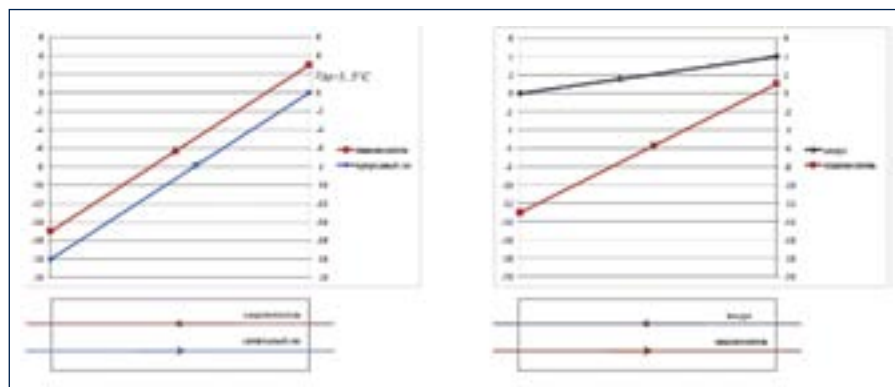


Рис. 3. Распределение температур в теплообменниках холодильного комплекса

Таблица. Изменение температур в теплообменных аппаратах холодильного комплекса

Теплоноситель	Теплообменник 1		Теплообменник 2 (воздухоохладитель)	
	$t_{вх}, ^\circ\text{C}$	$t_{вых}, ^\circ\text{C}$	$t_{вх}, ^\circ\text{C}$	$t_{вых}, ^\circ\text{C}$
Природный газ	-18	0	-	-
Хладоноситель	3	-15	-13	1
Воздух	-	-	4	0

Для природного газа с расходом 120 тыс.  $\text{м}^3/\text{ч}$ :

$$Q_r = G \cdot c \cdot \Delta t = \frac{120 \cdot 10^3}{3,6 \cdot 10^3} \cdot 0,717 \cdot 2,391 \cdot (0 - (-18)) = 1029 \text{ кВт.}$$

Необходимое количество холода для покрытия всех теплопритоков в камеры холодильника определяется после теплового расчета. Такой расчет охлаждаемых помещений проводят для определения суммы всех количеств теплоты, поступающих в эти помещения или возникающих в них от каждого из различных источников, оказывающих влияние на поддержание заданного температурного режима в объекте. Конечная цель теплового расчета – определение производительности камерного оборудования, достаточной для отвода всей теплоты, поступающей в объект, и поддержания в нем заданных параметров.

Из теплового баланса с учетом КПД теплообменника и воздухоохладителя получим, что количество холода, непосредственно переданное холодильным камерам, будет составлять около 830 кВт. По общепринятой классификации холодильники подразделяются по условной вместимости на малые, имеющие вместимость от 250 до 1000 усл. т, средние – от 1000 до 5000 усл. т и крупные – свыше 5000 усл. т. Предварительные проработки проектов энергохолодильного комплекса на базе ГРС показали, что рассчитанная хладопроизводительность окажется достаточной для обеспечения типового промышленного холодильника емкостью свыше 5000 т, т.е. так называемого крупного холодильника. Недостатками схем использования холодильников с промежуточным хладоносителем являются:

1) невозможность добиться холода более низких температур в самих камерах охлаждения. Холод получаемых температур можно использовать только для хранения продукции и невозможно использовать для замораживания и хранения продуктов глубокой заморозки;

2) использование в качестве хладоносителя химических веществ (аммиак, фреон и др.), неизбежные утечки которых негативно влияют на здоровье людей и ухудшают экологическую обстановку.

Поэтому схема с непосредственным использованием холодного природного газа в качестве хладагента является более предпочтительной, поскольку:

- система производства холода при этом очень упрощается, так как будут использоваться только теплообменные аппараты и вентиляторы;
- природный газ не является токсичным веществом, и его применение в качестве хладагента в сочетании с детандерными установками может позволить создать высокоэффективные экологически чистые, менее дорогостоящие холодильники с упрощенной структурой.

#### Литература:

1. Брайдерт Г.-Й. Проектирование холодильных установок. Расчеты, параметры, примеры. – М.: Техносфера, 2006. – 336 с.
2. Проектирование холодильных сооружений: Справочник / Под общ. ред. к.т.н. А.В. Быкова. – М.: Пищевая промышленность, 1978. – 256 с.
3. Репин А.Л., Репин Л.А. Возможности использования энергии давления природного газа на малых газораспределительных станциях // Энергосбережение. – 2004. – № 3.
4. Аксенов Д.Т., Герцен А.Н. Использование энергохолодильных комплексов в целях энергосбережения // Промышленная энергетика. – 2004. – № 2.

UDC 542.455

**Baykov I.R.**, Ph.D., Professor; **Molchanova R.A.**, Ph.D., Associate Professor, e-mail: raisamolchanova@yandex.ru; **Kulagina O.V.**, post-graduate student, e-mail: kylaginaolga@mail.ru, State Educational Institution of Higher Professional Education «Ufa State Petroleum Technological University»

### **Expediency of use in energy refrigerative systems based on expander-generator plants of intermediate refrigerant**

*The use of excess energy of gas pressure while its reduction in gas distribution and consumption systems is highly promising in terms of energy conservation for today. The field of gas overpressure use at gas regulating stations for cold production is poorly understood and developed. The article examines the effectiveness of the energy refrigerative system with intermediate refrigerant at gas regulating stations.*

**Keywords:** energy conservation, energy efficiency, secondary energy resources, excess energy of gas pressure, gas regulating station, energy refrigerative system.

#### References:

1. Breidert G.-J. Proektirovanie kholodil'nykh ustanovok. Raschety, parametry, primery (Cooling plants designing. Calculations, parameters, examples). – Moscow: Tekhnosfera, 2006. – 336 p.
2. Proektirovanie kholodil'nykh sooruzheniy (Cooling structures designing): Reference book / Under the general editorship of Candidate of Sciences (Engineering) A.V. Bykov. – Moscow: Food industry, 1978. – 256 p.
3. Repin A.L., Repin L.A. Vozmozhnosti ispol'zovaniya energii davlениya prirodnogo gaza na malykh gazoraspredeitel'nykh stantsiyakh (Possibilities of use of natural gas pressure energy at small gas distribution plants) // Energy saving. – 2004. – No. 3.
4. Aksenov D.T., Gertsen A.N. Ispol'zovanie energokholodil'nykh kompleksov v tselyakh energosberezheniya (Use of power cooling complexes for the power saving purposes) // Industrial power engineering. – 2004. – No. 2.