

**Казанский Федеральный Университет**  
**Кафедра высоковязких нефтей и природных битумов**  
**Kazan Federal University,**  
**Department of high-viscosity oils and natural bitumen**  
**Применения турбодетандера для повышение энергетических**  
**характеристик газораспределительной станции**  
**Turboexpander applications for increasing the energy characteristics of**  
**the gas distribution station**

Аль-хамадани Мохаммед Салех, Al-Hamadani Mohammed Saleh<sup>a</sup>,

Гимаева Алина Рашитовна, Gimaeva Alina Rashitovna<sup>b</sup>

Валиев Динар Зиннурович, Valiev Dinar Zinnurovich<sup>c</sup>

Кемалов Руслан Алимович, Kemalov Ruslan Alimovich<sup>d</sup>

магистрант группы 03-018<sup>a</sup>

кандидат технических наук, доцент кафедры высоковязких нефтей и природных битумов<sup>b</sup>

старший преподаватель<sup>c</sup>

кандидат технических наук, доцент кафедры высоковязких нефтей и природных битумов, Член Экспертного совета РГО, и.о. руководителя группы

«Водородная и альтернативная энергетика»<sup>d</sup>

E-mail: [mohammedmsn749@gmail.com](mailto:mohammedmsn749@gmail.com)<sup>a</sup>, [argimaeva@yandex.ru](mailto:argimaeva@yandex.ru)<sup>d</sup>

[valievdz@bk.ru](mailto:valievdz@bk.ru)<sup>b</sup>, [kemalov@mail.ru](mailto:kemalov@mail.ru)<sup>c</sup>

**Аннотации:** В работе рассматриваются варианты применения турбодетандерных установок на газораспределительных станциях (ГРС) с целью преобразования и использования энергии, заложенной в магистральные газопроводы. Предложен способ реализации подобного рода проектов за счет применения предлагаемых в работе схем подключения оборудования. Приведены оптимальные способы применения получаемой полезной мощности на валу турбодетандера, обеспечивающие максимальный положительный эффект от реализации проекта. Произведена оценка значимости реализации предлагаемых мероприятий.

**Ключевые слова:** турбодетандеры, газораспределительная станция, природный газ, электроэнергия, мощность, сжиженный природный газ (СПГ).

**Abstract:** In this work, we consider options of the use of turbo-expander units at gas distribution stations (GDS) for converting and using the energy in the gas trunk lines. A method for implementation of such projects is proposed with the use of equipment connection schemes proposed in the work. The optimal ways of usage of the obtained useful power on the turbo-expander shaft are presented; they provide the maximum positive effect from the project implementation. The evaluation of the implementation significance of the proposed activities is made.

**Keywords:** turbo-expanders, gas distribution station, natural gas, electricity, power, liquefied natural gas (LNG).

### **Введение (Introduction)**

В стандартной постановке задачи газораспределительные станции (ГРС) используются для снижения давления магистрального потока газа и его последующего распределения с целью дальнейшей поставки конечному потребителю по газораспределительной сети. При такой, наиболее простой схеме, избыточная энергия магистрального потока газа расходуется на преодоление сопротивления дроссельных клапанов, что приводит к снижению давления газа до требуемой величины, но также приводит и к пустому растрачиванию значительного количества энергии потока газа.

На сегодняшний день уже существует достаточно простое, но в то же время эффективное и успешное доказать свою надежность решение проблемы извлечения избыточной энергии магистрального потока - введение в эксплуатацию ГРС турбодетандеров. Рациональным вариантом для использования на ГРС при больших расходах газа являются турбодетандеры с односторонними, полуоткрытыми, радиально-осевыми рабочими колесами (рис. 1). [1, С.50]

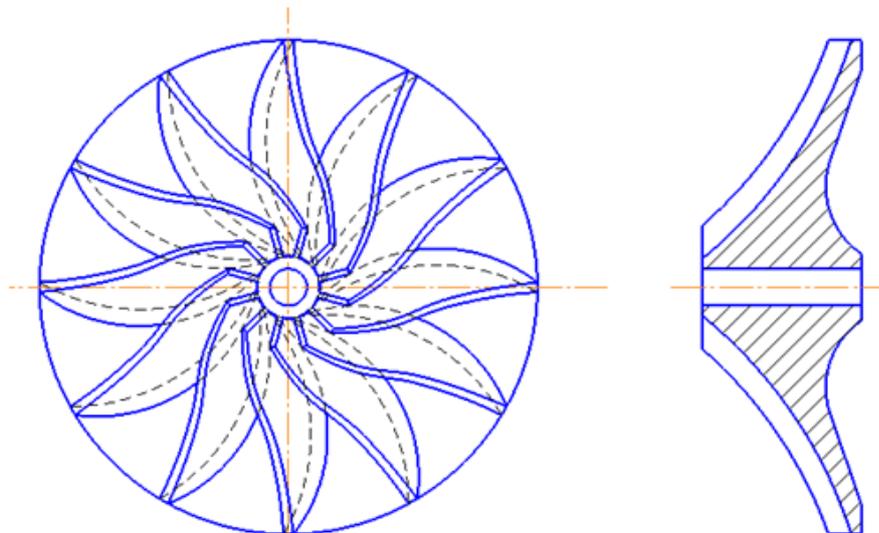


Рисунок 1. Рабочее колесо турбодетандера

Наиболее простая и надежная схема подключения турбодетандера к существующим коммуникациям ГРС, опробованная на практике, представлена на схеме (рис. 2). [2, С. 62] Красным цветом (рис. 2) выделены линии, необходимые для внедрения турбодетандера. Подключение турбодетандера параллельно узлу редуцирования станции позволяет минимизировать затраты на строительно-монтажные работы, а также при высокой степени надежности обеспечить широкий диапазон регулирования расхода газа через турбодетандерный агрегат.

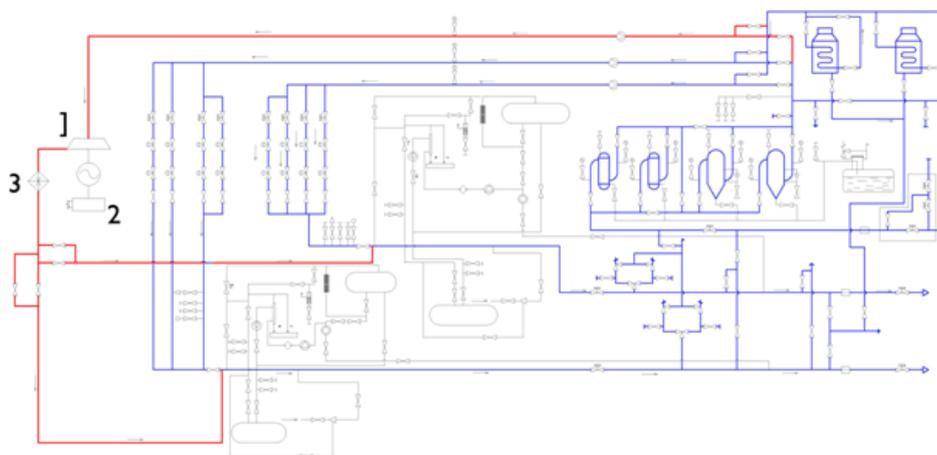


Рисунок 2. Технологическая схема ГРС с подключенным турбодетандером: 1 турбодетандер; 2 - электрический генератор; 3 - установка подогрева газа

Использование полезной мощности турбодетандерной установки при ее внедрении в эксплуатацию таких производственных объектов как газораспределительные станции (ГРС) является одним из ключевых вопросов как с экономической, так и с технологической точек зрения.

К числу наиболее перспективных направлений реализации потенциала полезной мощности на валу турбодетандера относится получение сжиженного природного газа (СПГ) в условиях ГРС. Реализации таких проектов способствует не только большой объем накопленного опыта по использованию подобного рода установок для решения схожих задач, но и низкие температуры потока газа на выходе из турбодетандера (около 200К).

Так еще в советское время была разработана технология получения сжиженного природного газа на ГРС (при этом сжижается не весь природный газ, проходящий через ГРС, а только небольшая его доля; для сжижения фактически используется энергия расширения сжатого газа, поступающего на ГРС из магистрального газопровода). Однако уже на сегодняшний день существует несколько схем получения СПГ в малотоннажном объеме. Наиболее эффективными из них являются схемы с интегрированным детандером и флэш-циклом (Integrated methane expander and flash cycle). [3, P.30]

Предлагаемая схема получения СПГ в условиях ГРС полностью основана на выше обозначенном высокоэффективном методе (рис. 3).



Так компрессор 1, теплообменник 2 и детандер 3 представляют собой составные части теплообменника с хладагентом, в роли которого выступает метан ( $\text{CH}_4$ ).

Компрессор 4, теплообменник 5, flash-теплообменник 6, а также конденсаторы 7 и 8 - являются оборудованием, обеспечивающим 100% сжижение всего отведенного на установку потока газа.

Схема теплообменной установки 9 позволяет эффективно использовать не только мощности теплообменника с хладагентом, но и низкие температуры паровой фазы в конденсаторах.

К преимуществам установки следует отнести:

- Сравнительно низкое количество горючего хладагента по сравнению с иными схемами, использующими метан в качестве хладагента;
- Процесс имеет высокую эффективность и требует относительно небольшого оборудования и размеров трубопроводов;
- Доступность метана, как хладагента, в отличие от азота, что позволяет снизить затраты на сооружение систем хранения и транспортировки хладагента;
- Хладагент и технологический поток имеют одинаковый качественный состав, что исключает перекрестное загрязнение двух потоков и их влияние на эффективность процесса эксплуатации установки.

Подключение мини-завода, построенного по предлагаемой схеме, к ГРС потребует также строительства линии дополнительной очистки газа, которую предлагается установить перед турбодетандерной установкой (рис.4) в виду того, что дополнительная очистка газа перед его дросселированием позволит избежать выпадения гидратов в корпусе турбодетандера и позволит сэкономить на его периодическом обслуживании.

Технологическое оборудование и линии мини-завода подключаются после турбодетандера (рис.3), в точке разделения потока газа на две части: поток газа на сжижение (к мини-заводу) и поток газа к потребителю (к технологическому

оборудованию ГРС). Такой вариант подключения мини-завода позволяет наиболее полно использовать низкие температуры газа на выходе из турбодетандера.

Помимо основной технологической линии мини-завода по производству СПГ предполагается и строительство резервуарного парка (рис.4) для хранения готовой продукции (СПГ) и узла отпуска продукции в автоцистерны (рис.4).

Наличие дополнительных узлов очистки газа и резервуарного парка СПГ предполагает строительство факельной установки (рис.4), используемой для сжигания газа в случае продувки очистного оборудования или сброса газовой фазы из резервуаров СПГ в результате срабатывания предохранительных сбросовых клапанов.

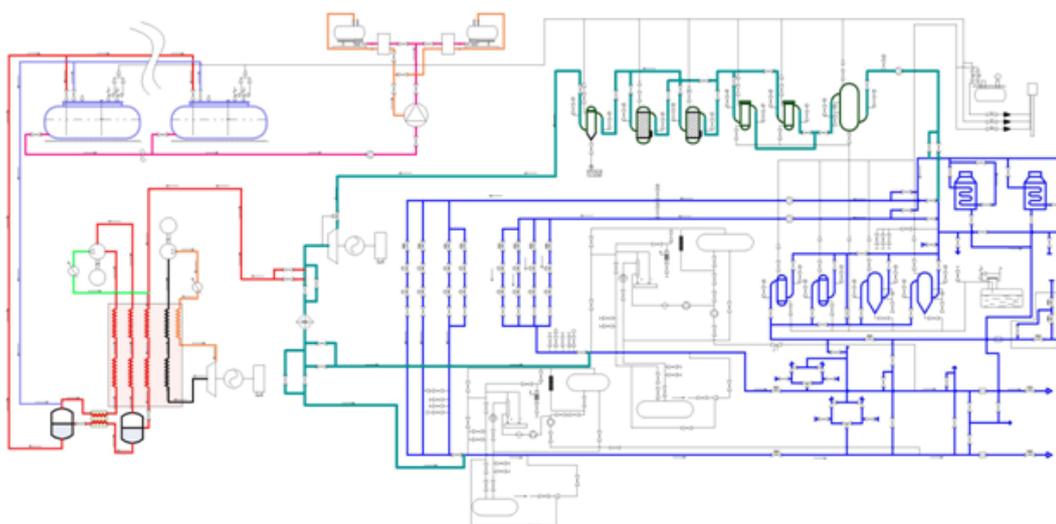


Рисунок 4. Принципиальная схема ГРС с подключенным турбодетандером и мини-заводом СПГ схемы “Integrated methane expander and flash cycle”

Представленная схема позволяет не только получать СПГ с средней производительностью 1,2 т/час в условиях ГРС “Сокол”, но и весьма эффективно использовать избыточную энергию магистрального потока. Так полезная мощность на валу турбодетандера на первом этапе преобразуется в электрическую энергию, что позволяет покрывать значительную часть

потребности в электроэнергии мини-завода СПГ. Если установить подобную систему и на турбодетандер 3 (рис.3), то затраты на получение готовой продукции могут быть снижены в еще большей степени, что позволяет снизить себестоимость СПГ и увеличить значение чистой прибыли.

Использование полезной мощности на валу турбодетандера именно для получения электроэнергии с последующим ее использованием на нужды мини-завода СПГ, а не внедрение детандер-компрессорного агрегата, обусловлено несколькими факторами:

- Вариативность системы (возможность реализации электро-энергии в сети общего потребления);
- Отсутствие взаимозависимости мини-завода и турбодетандерной установки;
- Возможность реализации полезной мощности на валу турбодетандера 3 (рис.2), установленного в рамках холодильного цикла мини-завода СПГ.

### **Заключение (Conclusions)**

Таким образом, представленная принципиальная схема сочетает в себе реализацию ресурсо - и энергосберегающих технологий, потенциал СПГ как топлива будущего, новейшие методы его получения, а также значительный экономический потенциал. Кроме того, подобные проекты обеспечивают научный и технический потенциал для будущих энергоэффективных проектов в сфере транспорта и хранения природного газа.

### **Благодарности (Acknowledgements)**

Авторы подтверждают, что представленные данные не содержат конфликта интересов.

### **Список литературы (References):**

1. Давыдов А.Б. Расчет и конструирование турбодетандеров / А.Б. Давыдов, А.Ш. Кобулашвили, А.Н. Шерстюк. - М.: Машиностроение, 1987. - 232 с.
2. Диких Б.А. Обзор современных конструкций турбодетандерных генераторов / Б.А. Диких, Б.М. Бояринов, А.А. Авлошенко. - СПб: ООО НТЦ МТТ, 2008. - 90 с.
3. Roberts M.J. Briton refrigeration cycles for small-scale LNG / Mark J. Roberts, Fei Chen, Öznur Saygi-Arslan // Gas Processing. - 2015. - 4 (1). - P.27-32
4. Газовые турбины двигателей летательных аппаратов / Г.С. Жирицкий, Д.В. Локай, М.К. МаксUTOва и др. М.: Машино-строение, 1971. 620 с.
5. Гура Л.А. Газоперекачивающие станции магистральных газопроводов / Л.А. Гура. - М.: НТУ "ХПИ", 2006. - 182 с.
6. Давыдов А.Б. К расчету характеристик радиальных турбодетандеров при больших степенях расширения / А.Б. Давыдов, А.Н. Шерстюк, Т.М. Розеноер // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1983. – № 3.– С. 27–29.
7. Дунаев В.Ф. Экономика предприятий нефтяной и газовой промышленности / Дунаев В.Ф. - М.: Нефть и газ». 2006. - 352 с.
8. Епифанова В.И. Компрессорные и расширительные турбомашины радиального типа / В.И. Епифанова. – М.: МВТУ им. Н. Баумана, 1998. – 376 с.