

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВЫХ ОХЛАЖДАЮЩИХ УСТРОЙСТВ

*Абдуллаев Бахтишод Менглиқул ўғли*

Старший преподаватель, Нефтегазовое дело и технология переработки нефти и газа, Каршинский государственный технический университет, Республика Узбекистан, г. Карши

*Бегматов Абдурасул Исмат ўғли*

Студент, Нефтегазовое дело и технология переработки нефти и газа, Каршинский государственный технический университет, Республика Узбекистан, г. Карши

**Аннотация:** Нефтяной газ – смесь лёгких углеводородов, сопутствующих нефти как в свободном состоянии в виде пузырьков, так и в растворённом виде. Состоит из предельных углеводородов – метана, этана, пропана, бутана, изобутана. По предварительным оценкам, на действующих месторождениях компании «Узнефтегаздобыча» НКК «Узбекнефтегаз» сжигается около 1,2 – 1,5 млрд. м<sup>3</sup> попутного газа в год. Применение метода сжижения нефтянных газов в нефтянных месторождениях условиях предполагаем применение новых технологий.

**Ключевые слова:** нефтяной газа, попутного газа, промысла, снижении давления, жидкого топлива, патрубков горячего, газоредуцирующих, дросселированные, вихревых труб.

## INVESTIGATION OF RANQUE–HILSCH VORTEX COOLING DEVICES

**Abdullaev Bakhtishod M.**

Senior Lecturer, Department of Oil and Gas Engineering and Oil & Gas Processing Technology, Karshi State Technical University, Karshi, Republic of Uzbekistan

**Begmatov Abdurasul I.**

Student, Department of Oil and Gas Engineering and Oil & Gas Processing Technology, Karshi State Technical University, Karshi, Republic of Uzbekistan

**Abstract:** Petroleum gas is a mixture of light hydrocarbons associated with crude oil, occurring both in a free state as gas bubbles and in a dissolved state. It consists mainly of saturated hydrocarbons such as methane, ethane, propane, butane, and isobutane. According to preliminary estimates, approximately 1.2–1.5 billion m<sup>3</sup> of associated petroleum gas is flared annually at the operating oil fields of

“Uzneftgazdobycha”, a subsidiary of JSC “Uzbekneftegaz”. The application of petroleum gas liquefaction methods under oilfield conditions requires the introduction of new and energy-efficient technologies.

**Keywords:** petroleum gas, associated petroleum gas, oil field, pressure reduction, liquid fuel, hot gas outlet nozzle, gas pressure-reducing systems, throttled flow, vortex tubes.

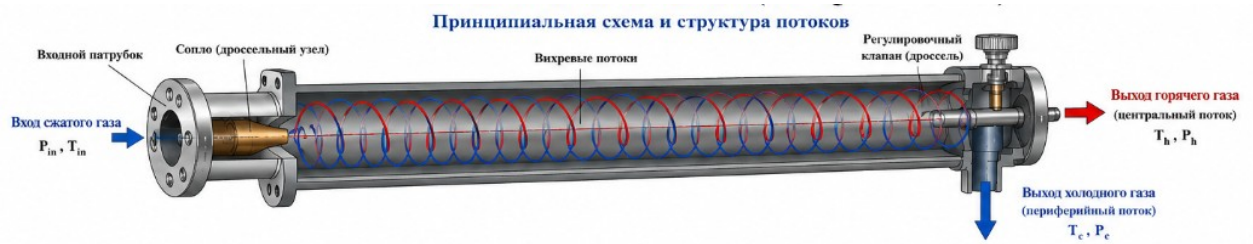
При добыче нефти растворенный в нефти газ (так называемый попутный) выделяется из нее при снижении давления. Из одной тонны нефти в промышленных газоотделях получают до 350 м<sup>3</sup> и более нефтяной газа, состоящего из метана, этана, пропана, бутана и др. В начале попутного газа выпускали в атмосферу и сжигали на факелах, и лишь его небольшая часть использовалась в качестве топлива. В последние годы сектор СПГ в мире получает активное развитие.[1]

Кроме этого малотоннажное производство СПГ представляет значительный интерес при освоении малоресурсных месторождений природного газа, поскольку около 80% месторождений природного газа в мире относятся к малоресурсным месторождениям. Для освоения малоресурсных месторождений мировой экономике и энергетике необходимы новые более эффективные малотоннажные процессы сжижения природного газа. Особенно важно внедрение принципиально новых технологий сжижения углеводородных газов для современного Узбекистана. Создание таких технологий может позволить на местном уровне решить проблему энергоснабжения богатых газом регионов, куда ежегодно завозится большое количество нефтяного жидкого топлива, повысить энергетическую безопасность как отдельных регионов, так и страны в целом. Малотоннажное производство сжиженного природного газа позволяет снабжать энергоносителем не только район расположения мини-завода СПГ, но и другие регионы, вплоть до поставок СПГ на экспорт.[2,3,4]

Характеристики малотоннажных заводов СПГ

№	Заказчик	Мощность сжижения	Объем хранения, м <sup>3</sup>	Процесс сжижения	Пуск в Эксплуатацию, год
1	Компания Naturgass Vest, Берген (Норвегия)	300 кмоль/ч (6700нм <sup>3</sup> /ч)	2000	Закрытый цикл охлаждения, реализуемый на МРТ	2003
2	Компания Bayerwerk AG, Габлен (Германия)	45 кмоль/ч (6700нм <sup>3</sup> /ч)	60	Конденсация CH <sub>4</sub> жидким N <sub>2</sub>	1998
3	Компания AGA, Тьелдбергодлен (Норвегия)	58 кмоль/ч (6700нм <sup>3</sup> /ч)	200	Конденсация CH <sub>4</sub> жидким N <sub>2</sub>	1997
4	Компания EnergyEquity Corp. Ltd. Али Спринге (Австралия)	58 кмоль/ч (6700нм <sup>3</sup> /ч)	200	Азотный цикл с турбодетандером	1989
5	Компания InlusrtuandandCommereeGroup Co. Ltd месторождение Туха, Чан Чан, Хин-Янг (Китай)	58 кмоль/ч (6700нм <sup>3</sup> /ч)	30000	Закрытый цикл охлаждения, реализуемый на МРТ	2004

В промышленности применяют два способа сжижения природного газа [5]. Первый способ (изобарический процесс): газ охлаждают внешним источником до температуры начала конденсации, затем конденсируют, отбирая тепло с помощью того же внешнего источника. При втором способе охлаждение получают за счет процесса, проходящего в самом газе: изоэнтальпического (дросселирование) или изоэнтропического (расширение в детандере). В вихревых трубах реализуется изо-энтальпический процесс. По сравнению с детандерами вихревые трубы имеют ряд преимуществ простоту конструкции, отсутствие движущихся деталей, более высокую надежность и долговечность, а также меньшую себестоимость [6]. Схематически вихревая труба представлена на рис. 1.



**Рисунок 1. Вихревых труб. А) «Улитка» Б) Корпус вихреб**

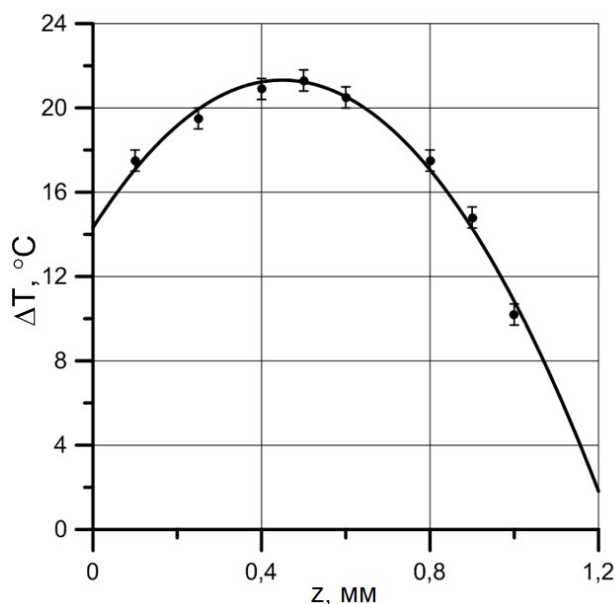
На входе газ по касательной к цилиндрической поверхности втекает в вихревую камеру, откуда закрученный поток выходит в трубу, дальний конец которой имеет узкое кольцевое отверстие вдоль ее цилиндрической стенки. В трубе газ, движущийся вдоль цилиндрических стенок, сжимается и нагревается, Нагретый газ выходит через кольцевое отверстие. Другая часть газа, движущаяся вблизи оси трубы, после взаимодействия со стенкой контрольного клапана (см. рис. 1), расширяется, охлаждается и возвращается в вихревую камеру, а затем покидает ее через центральное отверстие.

### **Тестирование методики**

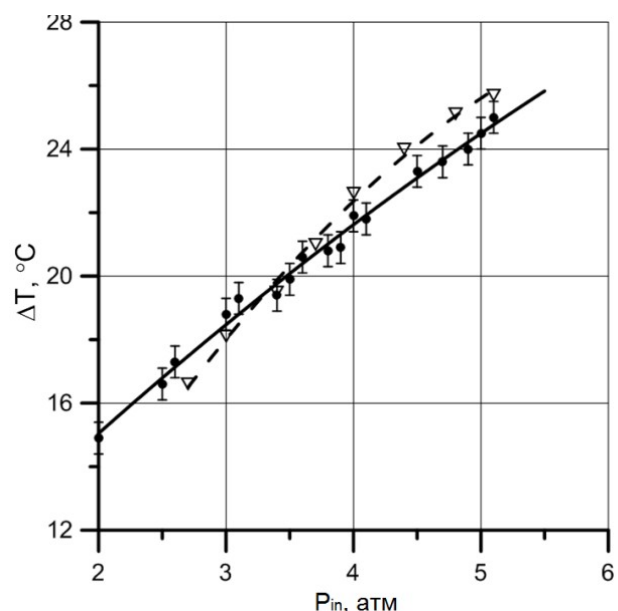
Поскольку в настоящее время нет доступных экспериментальных данных по применению вихревых труб для охлаждения природного газа, тестировали предложенную методику на экспериментальных данных, полученных при охлаждении воздуха и взятых из [7, 8].

### **Проведение эксперимента**

Испытания проводили в два этапа. На первом этапе при заданном расходе воздуха  $Q = 1040$  г/сут и температуре входного потока  $T_{in} = 18.9^\circ\text{C}$  меняли положение контрольного клапана так, что ширина зазора  $z$  варьировалась в интервале 0.1–1 мм, и измеряли величину охлаждения  $\Delta T = T_{in} - T_c$ . Целью испытания был поиск такого  $z$ , при котором эффект охлаждения достигал максимума. Результаты приведены на рис. 2, откуда видно, что максимум  $\Delta T$  был при  $z \sim 0.5$  мм.



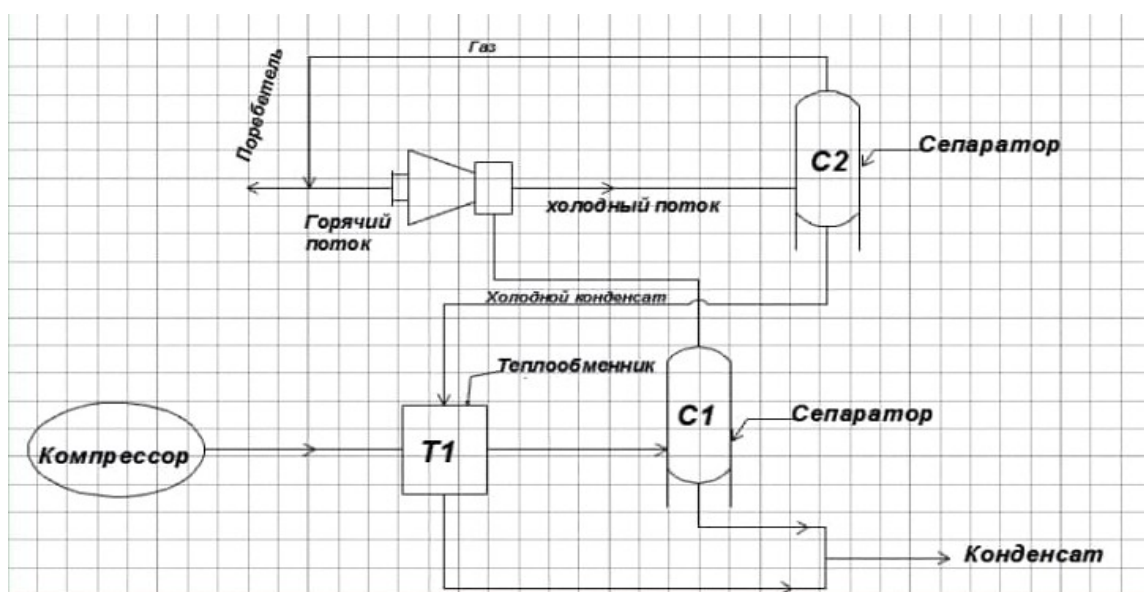
**Рис. 2.** Влияние ширины кольцевого зазора  $z$  на величину охлаждения  $\Delta T$



**Рис. 3.** Зависимость величины охлаждения  $\Delta T$  от входного давления  $P_{in}$  при  $z=0.5$  мм, сплошная линия – эксперимент, пунктирная – расчет

По результатам проведенных исследований предложена технология охлаждения и сжижения нефтяных попутного газов в меторождениях, то есть технология использования вихревых трубы рис.4.

Мы сравнили некоторые преимущества аппаратного турбодетандера, используемого в настоящее время для охлаждения.



**Рисунок 4.** Предлагаемая технологическая схема

В качестве ожижительная установки вместо детандера может применяться вихревая труба. Вихревая труба представляет собой короткий отрезок конусной металлической трубы с одним входным и двумя выходными патрубками. Между этими патрубками расположена так называемая «улитка»-газовая направляющая, выполнения по спирали Архимеда.

При подаче потока газа на такую спираль он, раскручиваясь вокруг геометрической оси трубы, под действием центробежных сил уплотняется и формирует периферийный вихрь, продвигаясь в своем вращении по внутренней стенке конуса в сторону горячего конца. Достигнув торца трубы, часть потока выходит через дроссель, а другая часть, отразившись от задней стенки (отражателя), формирует обратный осевой поток. Во время вращения газовый поток подвергается очень интенсивным центробежным ускорениям, достигающим нескольких тысяч  $g$  ( $g=9,81$  м/сек<sup>2</sup> – ускорение земного притяжения), приводящим к появлению мощных сил инерции, которые инициируют возникновение интенсивного (но пока непонятного для исследователей) процесса энергообмена между встречно движущимися потоками. В результате периферийный поток подогревается и в горячем состоянии выходит через патрубок горячего конца, а осевой поток выхолаживается и в холодного конца.

При подаче во входной патрубок сжатого газа с температурой  $+20^{\circ}\text{C}$  из холодного патрубка выходит газ с температурой  $-35^{\circ}\text{C}$ , (на рис. 2 видно, как патрубок интенсивно обмерзает), а из горячего — с температурой  $+50^{\circ}\text{C}$ .

Хотя вихревые трубы известны с 1931 года, но они пока не получили широкого применения в качестве холодильных устройств.

Но время идет, и появляются новые типы вихревых труб, обладающие повышенным КПД.

Вместе с тем приходит понимание того, что экономическая эффективность их применения не всегда сводится только к КПД, а если учитывать все технологические, эксплуатационные, экологические и др. аспекты, то зачастую такие очень простые холодильные устройства

оказываются наиболее приемлемыми для широкого применения, в том числе и для создания оригинальных ожижителей газа. Такие ожижители монтируются на газоредуцирующих станциях (ГРС) и для своей работы используют «бесплатный» перепад давления при раздаче газа потребителям.

Проведенные исследования показали, что ожижители с вихревой трубой вместо детандера обладают следующими основными преимуществами:

- меньшей чувствительностью к изменению состава газа;
- меньшей чувствительностью к появлению капельной жидкости (центробежный детандер от этого может потерпеть серьезную аварию);
- очень коротким временем запуска (вихревая труба малоинерционна и выхолит на рабочий режим в течение нескольких секунд);
- простотой конструкции и отсутствием требований к высококвалификации обслуживающего персонала — ожижитель способен работать длительное время в автономном режиме без квалифицированного обслуживания;
- отсутствием необходимости внешних нагрузочных устройств (эл. генератор и т.п.);
- высоким ресурсом работы за счет отсутствия движущихся деталей и определяемом только износостойкостью применяемых материалов и степенью очистки газа от абразивных частиц;
- возможностью более гибкого регулирования для непрерывного процесса оптимизации работы при изменяющемся входном давлении, изменении состава газа и т.п. То есть один и тот же ожижитель без существенной переделки способен работать на разных месторождениях;
- очень низкой стоимостью.

## Библиография

1. Рачевский Б.С. Сжиженные углеводородные газы. -М.: Изд-во «Нефть и газа», 2009.
2. Федорова Е. Б. Современное состояние и развитие мировой индустрии сжиженного природного газа: технологии и оборудование. М.: РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2011. 159 с.
3. Жидков М. А., Гусев А. П., Рябов А. П., Вшивцев С. П., Кошовец Н. В., Коляко Б. Г., Соболев Е. П., Староконев Г. С. Трехпоточная вихревая труба – эффективное газодинамическое устройство для подготовки природного газа к транспорту // Нефть, Газ & Энергетика. 2007. Вып. 6. С. 18–22.
4. Gao C. Experimental study on the Ranque–Hilsh vortex tube / PhD Dissertation in Mechanical Engineering. Eindhoven: Technische Universiteit, 2005. 151 p.
5. Bakhtishod, A., & Abdurasul, B. (2025). NATURAL GAS PURIFICATION FROM HIGH HYDROCARBONS IN A VORTEX TUBE. Universum: технические науки, 11(5 (134)), 29-32.
6. Abdullayev, K. O. A. I. (2023). Research of the catalytic properties of a catalyst selected for the production of high-molecular weight liquid synthetic hydrocarbons from synthesis gas. Химическая технология, 14(10), 115.
7. Abdullaev, B. M., & Sayfullaev, T. K. (2023). Analysis of the causes of accidents in gas pipelines transport, national economy and main pipelines. journal of multidisciplinary bulletin, 6(4), 123-126.
8. Xayrulla o'g'li, S. T. (2022). Yo'ldosh gazlarni qayta ishlash zavodlaridagi korroziya bilan bog'liq muammolarni yechishda ingibitorlardan foydalanish. Journal of new century innovations, 10(4), 20-22.
9. Rahmatovich, C. N., & Xayrulla o'g'li, S. T. (2022). Yo'ldosh gaz-kondensatlarini barqarorlashtirish qurilmalarida ingibitorlardan foydalanish. Journal of new century innovations, 10(4), 23-25.
10. Abdullaev, B. M., & Sayfullaev, T. K. (2024). Cobalt fischer–tropsch catalyst regeneration. journal of multidisciplinary bulletin, 7(1), 105-113.
11. Bakhtishod, A., & Temurbek, S. (2024). EFFECT OF INITIAL SOLVENT SLURRY INSIDE THE REACTOR FOR FISCHER-TROPSCH SYNTHESIS. Sanoatda raqamli texnologiyalar/Цифровые технологии в промышленности, 2(1), 171-180.