

УДК 62-93

**АНАЛИЗ РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕССОРА,
ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ПЕРЕКАЧИВАНИЯ МЕТАНА
ИЗ РЕМОНТИРУЕМОГО УЧАСТКА ТРУБОПРОВОДА**

Синицин Никита Глебович

Бакулин Константин Александрович

студенты

Научный руководитель: **Бусаров Сергей Сергеевич**

к.т.н., доцент

ФГБОУ «Омский государственный технический университет»

Аннотация: В данной работе рассмотрена актуальная задача по опорожнению ремонтируемого участка трубопровода от перекачиваемого газа. Рассмотрены различные режимы работы компрессора и сделана попытка определения наиболее энергоэффективного режима на основании расчёта затрачиваемой мощности. Полученный результат по определению режима работы показал, что не менее 12% можно получить выигрыш по затрачиваемой мощности, если использовать режим с автоматизацией, суть которого заключается в последовательной работе компрессора в режиме одноступенчатого, двухступенчатого и четырехступенчатого сжатия.

Ключевые слова: мобильные компрессорные станции, поршневой компрессор, ремонт трубопровода, взрывоопасный газ, эффективность аппарата.

**ANALYSIS OF THE OPERATION OF A RECIPROCATING
COMPRESSOR DESIGNED FOR PUMPING METHANE FROM THE
REPAIRED SECTION OF THE PIPELINE**

Sinitsin Nikita Glebovich

Bakulin Konstantin Alexandrovich

Scientific adviser: **Busarov Sergey Sergeevich**

Abstract: In this paper, the actual task of emptying the repaired section of the pipeline from the pumped gas is considered. Various operating modes of the compressor are considered and an attempt is made to determine the most energy-

efficient mode based on the calculation of the consumed power. The result obtained by determining the operating mode showed that at least 12% can be gained in terms of power consumption if you use an automated mode, the essence of which is the sequential operation of the compressor in the mode of single-stage, two-stage and four-stage compression.

Key words: mobile compressor stations, reciprocating compressor, pipeline repair, explosive gas, efficiency of the apparatus.

Введение

В технологических процессах на нефте- и газоперерабатывающих заводах часто используются взрыво-пожароопасные газы. Одним из таких ценных и опасных газов является метан, который не только участвует в процессах на производстве, но также транспортируется на большие расстояния до потребителей.

Приведение в негодность элементов запорной арматуры и прочих элементов газопровода является частой проблемой на сегодняшний день, износ по линейной части магистральных газопроводов составляет более 57% [1]. Поэтому развитие технологий по ремонту нерабочих участков имеет важное значение.

Как и с любым газом, после отсечения участка у подрядной бригады возникает проблема с наличием остатков метана, запертых в замкнутом объеме. Сжигание газа внутри трубы может привести к дополнительным повреждениям изнутри, которые будет сложнее исправить, а стравливание в атмосферу налагается штрафом [2]. Для этого были разработаны мобильные компрессорные станции перекачивающие газ из ремонтируемого участка. Каждая мобильная компрессорная станция должна удовлетворять ряду требований. В первую очередь назначение МКС – откачать газ из отсекаемого участка от начального давления до 0,3 МПа [3], обладать малым весом и габаритами и т. д.

Основная часть

Представленная в работе модель рассчитана на работу компримирования и транспортировки газа от давления 10 МПа до 0,3 МПа. Выбор такого низкого давления объясняется нормативными документами, которые указывают на предельно-допустимую концентрацию (ПДК) определенного газа в атмосфере [4].

Помимо диапазона давлений, каждая компрессорная станция должна обеспечить быструю работу по перекачке газа из ремонтируемого участка. По нормативным документам, требуется обеспечение выполнения перекачивания

газа из участка газопровода наружным диаметром $D_N = 1400$ мм, и длиной $l = 28$ км до понижения давления 1 МПа не более, чем за 150 часов [3].

Прототипом создания МКС для сжатия метана и перекачки его из ремонтируемого трубопровода послужил 4-цилиндровый V-образный компрессор. Так как газ представляет собой опасность, как для обслуживающего персонала, так и для окружающей среды, и имеет возможность самовоспламенения при концентрации в воздухе от 4,4 до 17,0% [5], необходимо обеспечить герметичность компрессора. В соответствии с чем выбрана схема крейцкопфного компрессора со ступенями двойного действия.

Принцип действия компрессора заключается в следующем: при низкой разнице давлений на всасывании и нагнетании оборудование работает в режиме «одноступенчатый» - все четыре цилиндра компримируют газ и выталкивают его в нагнетательный патрубок. При достижении большой разницы средством автоматизации компрессор переходит в режим «двухступенчатый» - газ из первого цилиндра поступает во второй, откуда переходит в нагнетание. Таким же принципом работают третий и четвертый цилиндры. При последующем увеличении разницы давления между патрубками система автоматизации включает режим «четырёхступенчатый» - газ, сжимаясь, проходит каждый цилиндр последовательно.

Согласно теории, наилучшими характеристиками обладает компрессор с небольшим относительным повышением давления. В данной модели было предпринято определение переходов компрессора на другие режимы таким образом, чтобы максимальное относительное повышение давления было одинаково во всех режимах работы. При уменьшении показателя для одного режима – сокращения диапазона работы, повышается для других режимов, что приводит к снижению КПД в связи с падением коэффициента подачи. Данный коэффициент рассчитывается на основании пяти его составляющих: объемный коэффициент, коэффициент подогрева, коэффициент плотностей, коэффициент влажности и коэффициент дросселирования. Последние три показателя принимались по рекомендациям[6]:

$$\lambda_{пл} = 0,96 \div 0,98 \quad (1)$$

$$\lambda_{др} = 0,95 \div 0,98 \quad (2)$$

$$\lambda_{вл 1} = 0,99, \lambda_{вл i} = 1 \quad (3)$$

Объемный коэффициент были рассчитаны по формулам, проанализировав которые, видно, что данные величины сильно зависят от относительного повышения давления: чем сильнее ступень сжимает газ, тем

ниже коэффициенты, а, следовательно, и ниже эффективность работы компрессора.

Выбор параметров режимов работы основан на рациональном использовании ресурса оборудования. В каждый момент времени все цилиндро-поршневые группы работают над компримированием и транспортировкой газа.

Для определения эффективности работы данной модели 4-х ступенчатого компрессора были рассмотрены случаи работы аппарата без переключения на другие режимы.

Мощность, требуемая для сжатия газа, играет важную роль в компоновке всего компрессорного оборудования. Правильный выбор работы компрессора позволит подобрать электродвигатель с меньшими габаритами, массой и меньшей установленной мощностью.

На рис. 1 представлены три режима работы: «четырёхступенчатый», «двухступенчатый», «одноступенчатый». Пик максимальной мощности в каждом из рассмотренных случаев достигается в 3-4 МПа. Согласно результатам подсчета, наименьшие затраты по мощностям приходится на режим работы «четырёхступенчатый», поэтому далее будет идти сравнительная оценка «автоматизации» с ним.

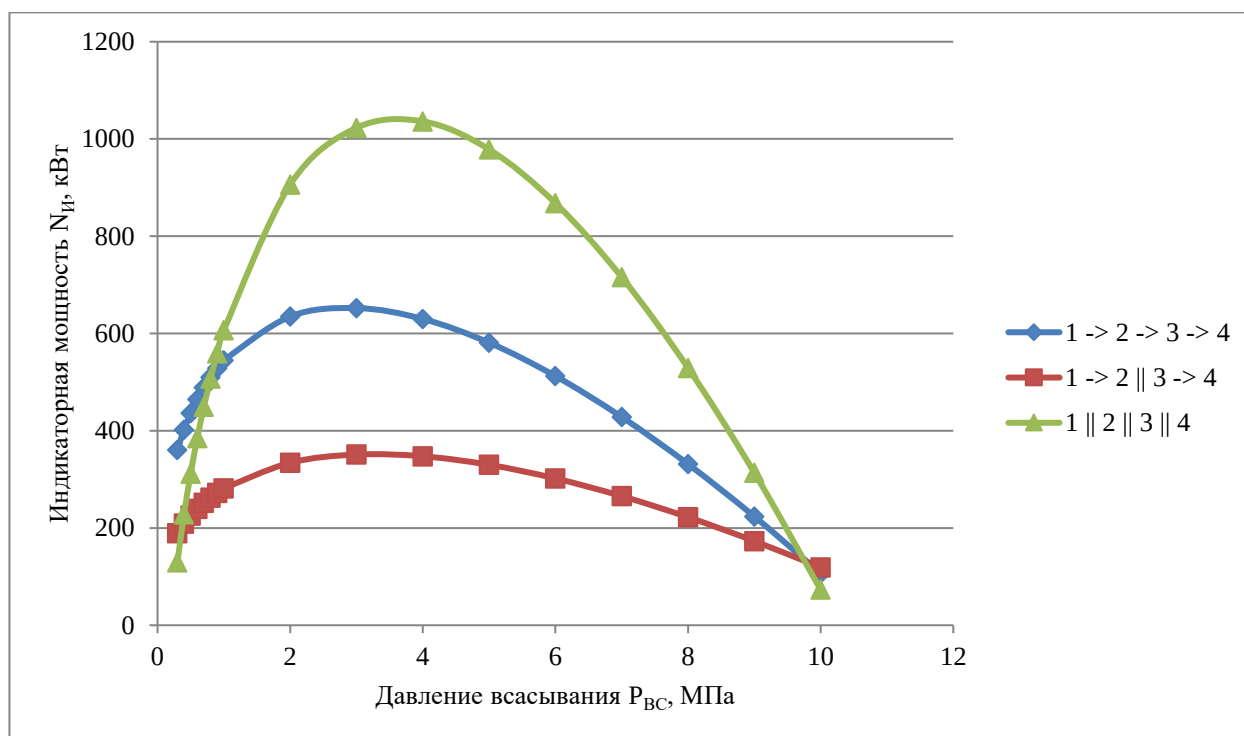


Рис. 1. Зависимость индикаторной мощности от давления всасывания трех теоретических моделей компрессоров

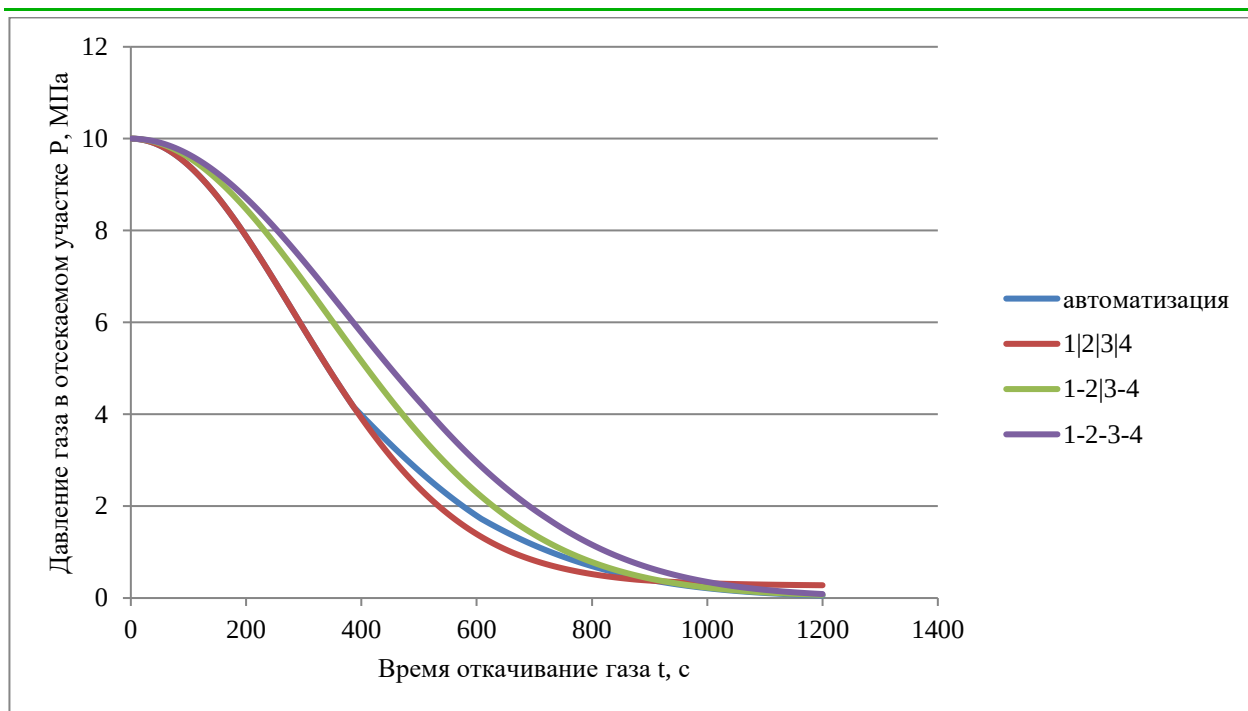


Рис. 2. Откачивание газа из отсекаемого участка трубопровода рассматриваемыми моделями компрессора

На рис. 2 представлен график работы модели компрессора при различных режимах. Как можно увидеть, режим работы «одноступенчатый» быстрее остальных откачивает газ, однако при низком давлении проигрывает остальным режимам. Режим «автоматизация» в конечном счете, первым по времени опустошает ремонтируемый участок до давления 0,3 МПа.

Объем, который откачивали данные модели, составляет 20000 м³. Самым менее энергозатратным режимом был «четырёхступенчатый». Проанализировав график и сравнив полученные данные можно прийти к заключению, что эффективность компрессора с автоматизацией выше «четырёхступенчатого» на 12% по сравнению с другими рассмотренными режимами.

Вывод

Проведённые исследования позволили определить наиболее рациональный алгоритм работы компрессора при переменной степени повышения давления. Полученный результат по определению режима работы показал, что не менее 12% можно получить выигрыш по затрачиваемой мощности, если использовать режим с автоматизацией, суть которого заключается в последовательной работе компрессора в режиме одноступенчатого, двухступенчатого и четырехступенчатого сжатия. При этом степень повышения давления на каждом режиме одинакова.

Список литературы

1. С.В. Савонин, А.В. Москаленко, А.В. Тюндер, С.Е. Князев, З.А. Арсентьева Анализ основных причин аварий, произошедших на магистральных газопроводах. «Нефть и Газ Сибири» №4(21) 2015.
2. Кодекс Российской Федерации об административных правонарушениях от 30.12.2001 (ред. от 01.07.2021) // Собрание законодательства РФ. – 30.12.2001. – №195-ФЗ. – Ст. 8.21.
3. ГОСТ 34070-2017. Системы газоснабжения. Магистральная трубопроводная транспортировка газа. Мобильная компрессорная станция. Технические требования, 2017.10.07 – 2017. – 27 с.
4. Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания", Гигиенический норматив ГН 2.1.6.3492 — 17 с изменениями, 01.03.2021. — 2021. — 469 с.
5. ГОСТ 5542-2012. Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия, 2015.07.01 – 2015. – 12 с.
6. Пластинин, П.И. Поршневые компрессоры. Том 1. Теория и расчет /2-е изд., перераб. и доп./ П.И. Пластинин – М.: Колос, 2000. – 456 с.: ил.