

*Ильичев В. Ю., к.т.н., доцент кафедры «Тепловые двигатели и гидромашины»
Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский
университет), г. Калуга, Россия*

*Антипов В. С., магистрант кафедры «Тепловые двигатели и гидромашины»
Калужский филиал ФГОУ ВО «Московский государственный технический
университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский
университет), г. Калуга, Россия*

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК СЕГНЕРОВА КОЛЕСА, ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ ПРИВОДА АНТИПОМПАЖНЫХ КЛАПАНОВ

Аннотация: В статье описывается исследование нового типа привода антипомпажных и прочих клапанов на магистральных трубопроводах для транспортировки природного газа (в частности, в России в ПАО «Газпром»). Двигатель привода представляет из себя реверсное сегнерово колесо, позволяющее через систему передачи мощности быстро открывать и закрывать клапан, с использованием только источников энергии, имеющихся на газоперекачивающей станции. Разработана программа на языке Python для расчёта характеристик двигателя; на основе рассчитанных зависимостей даются рекомендации по подбору наилучших характеристик, а также по проведению дальнейших исследований, необходимых для практического внедрения данной системы привода.

Ключевые слова: газоперекачивающая станция, компримирование газа, антипомпажный клапан, сегнерово колесо, язык Python, библиотека CoolProp.

Annotation: The article describes a study of a new type of drive of anti-surge and other valves on main pipelines for transporting natural gas (in particular, in Russia

to PJSC Gazprom). The drive propulsor is a reverse segner wheel, which allows valve to be opened and closed quickly through the power transmission system, using only the energy sources available at the gas pumping station. A Python program has been developed to calculate the characteristics of the propeller; based on the calculated dependencies, recommendations are made for the selection of the best characteristics, as well as for further research necessary for the practical implementation of this drive system.

Keywords: gas pumping station, gas compression, anti-surge valve, segner wheel, Python language, CoolProp library.

Введение

Газоперекачивающие (компрессорные) станции предназначены для повышения давления природного газа при его перекачивании по магистральным трубопроводам (в России данные процессы осуществляются в-основном в крупнейшей динамично развивающейся энергетической компании ПАО «Газпром») [1].

Авторами уже проведены исследования по оптимизации логистики транспорта газа [7; 8], описываемая работа посвящена более частной задаче совершенствования работы компрессорных станций с целью повышения их надёжности и энергоэффективности.

Основными энергоустановками компрессорной станции являются газоперекачивающие агрегаты, состоящие из газотурбинной установки и нагнетателя. Одной из основных проблем, решаемых при их проектировании для обеспечения надёжной эксплуатации, является применение антипомпажных систем компрессоров и нагнетателей [6]. Исполнительным элементом этих систем является клапан больших габаритов, предназначенный либо для открытия сброса воздуха в атмосферу, либо для перепуска природного газа с выхода нагнетателя на его вход (с целью исключения потерь).

Так как на компрессорной станции всегда есть источники сжатого воздуха (компрессоры) или природного газа (нагнетатели), то сами компримированные

рабочие тела могут давать энергию для перемещения клапанов.

Целью работы является выбор механизма осуществления такого преобразования энергии и предварительной разработки методики проектирования устройства для перемещения противопомпажного клапана (открытия и закрытия).

Материал и методы исследования

В-основном, для привода клапанов применяются системы на основе поршневых пневматических движителей. Однако, для смазывания их штоков и обеспечения герметичности необходимо использование дополнительного рабочего тела – масла, что ухудшает их эксплуатационные свойства из-за необходимости периодической замены масла, его утечки, застывания. В уплотнениях такого движителя возникают силы трения, приводящие к их быстрому изнашиванию [11].

Гораздо более перспективным представляется в качестве движителя привода антипомпажного клапана использовать устройство, по принципу действия подобное [2], изображённое в упрощённом виде на рис. 1.

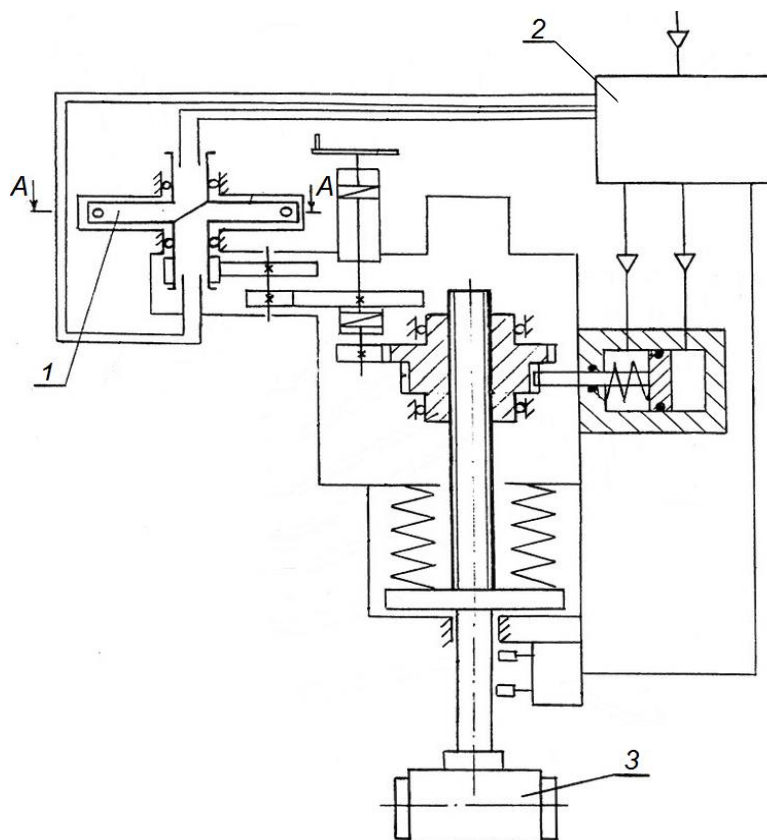


Рис. 1. Схема системы, обеспечивающей открытие и закрытие противопомпажного клапана

В данной системе применяется простая реактивная турбина типа сегнера колесо (1), вращающаяся под действием давления сжатого воздуха или природного газа. Подача газа в данную турбину осуществляется с помощью заслонки при формировании соответствующего управляющего воздействия от системы автоматического регулирования (2). Создаваемый турбиной крутящий момент передаётся через систему шестерённых передач и в случае необходимости преобразуется в возвратно-поступательное движение с помощью реечной передачи, что в результате приводит к перемещению антипомпажного клапана (3) в нужном направлении.

Турбину целесообразно выполнять реверсивной, то есть способной вращаться как по часовой, так и против часовой стрелки (в зависимости от того, какую операцию над клапаном нужно осуществить – открыть или закрыть). Такой реверс достигается с помощью организации симметричной системы каналов сегнера колеса. При достижении необходимого положения клапана подача сжатого газа в турбину может перекрываться – например, при срабатывании концевых выключателей. Конструктивная схема и расчётные размеры турбинного колеса (условное сечение А-А с рис. 1) приведены на рис. 2.

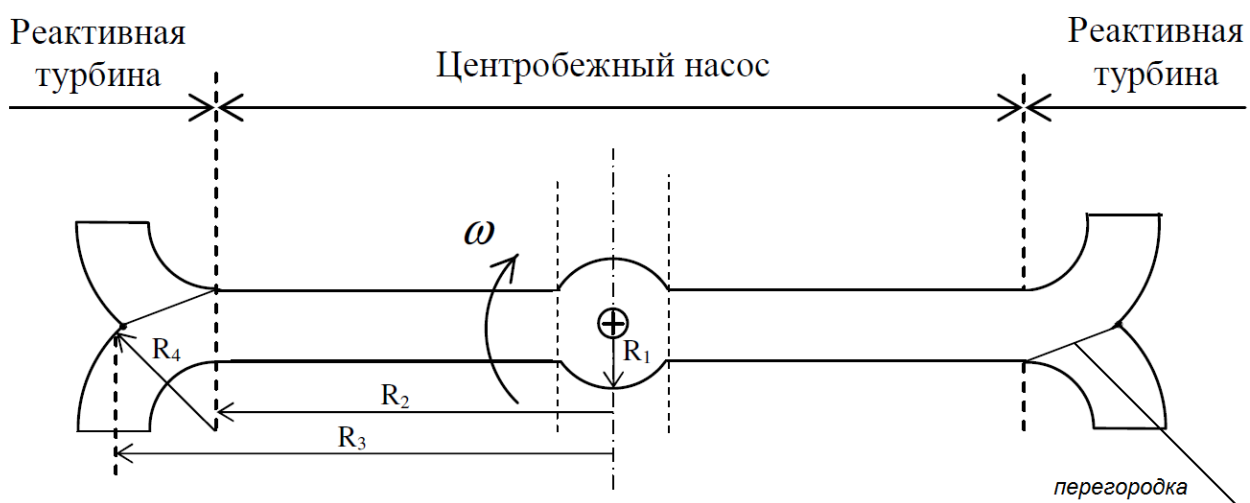


Рис. 2. Расчётная схема турбины – реверсивного сегнера колеса

Переставляя перегородки, можно изменять направление вращения колеса турбины. Как видно из рис. 1, передача силовых воздействий к клапану осуществляется посредством большого количества промежуточных передач – таким образом, мощность, вырабатываемая турбиной, существенно снижается. Из-за этого, потребную мощность турбины можно узнать только по результатам модельных испытаний. Также при вращении колеса турбины, на него действует сила сопротивления среды, которую точно определить также невозможно. Поэтому, в данном исследовании будут рассматриваться только основные физические процессы, действующие в турбине, а расчёт мощности турбины будет производиться в широком диапазоне. Таким образом, будет рассмотрено качественное влияние условий работы турбины на вырабатываемую ею мощность.

На основе зависимостей из статьи [3] составлена программа на универсальном свободно распространяемом языке Python [10], на котором в данное время осуществляются расчёты практически во всех отраслях науки. Расчёт производился с организацией циклов с целью заполнения массивов аргументов и функций и дальнейшего вывода данных массивов в качественном графическом виде с использованием модуля Matplotlib [4].

Большим преимуществом именно языка Python в данном случае является то, что для него существует бесплатная библиотека теплофизических свойств веществ CoolProp [9], с использованием функций которой авторы запрограммировали автоматизированное определение свойств природного газа и воздуха, необходимых для расчётов турбины.

В статье [3] сделано заключение, что прямолинейный участок подвода рабочего тела (труба) работает при вращении колеса как центробежный насос за счёт действия центробежных сил (рис. 2). Криволинейный участок выхода рабочего тела из колеса можно рассматривать как реактивную турбину. При этом часть мощности, вырабатываемой реактивной турбиной, уходит на создание напора в центробежном насосе.

Вначале была получена зависимость перераспределения мощностей

турбины и насоса (разностью которых является полезная мощность турбины $N_{п}$, идущая на перемещение клапана и преодоление потерь) в зависимости от числа оборотов турбины (рис. 3) для следующих геометрических размеров турбины: $R_1=0.05$ м, $R_2=0.2$ м, $R_4=0.1$ м, радиуса выходного отверстия 0.025 м и избыточного давления подаваемого воздуха 5 атм.

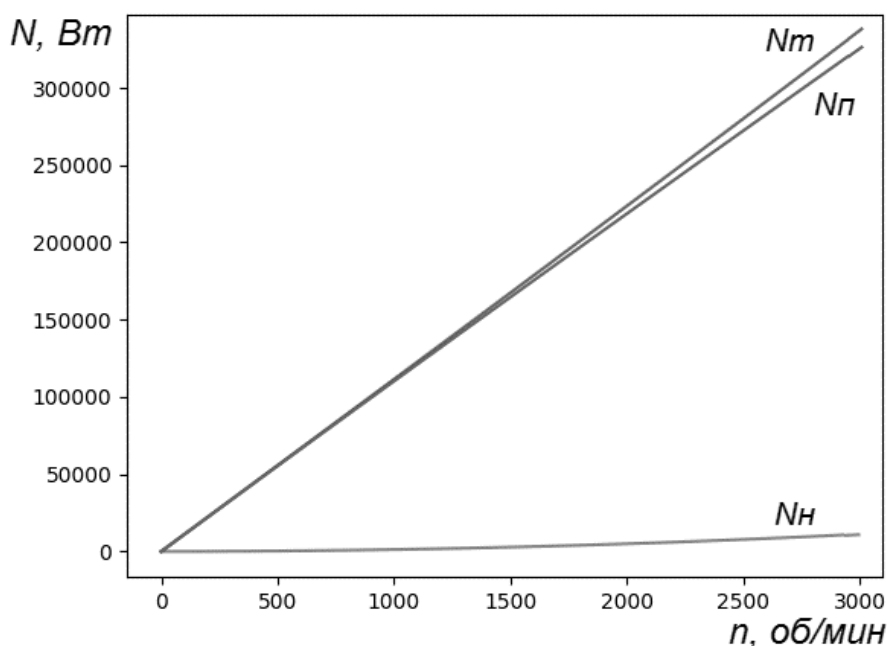


Рис. 3. Зависимости мощностей турбинной и насосной части, а также полезной мощности от числа оборотов турбины

Как видно из рисунка, лишь малая часть мощности, вырабатываемой реактивной турбиной $N_{т}$, теряется на проталкивание воздуха через подводящие каналы $N_{н}$. Подобные расчёты, проведённые с помощью программы для сегнерова колеса, работающего на воде, показало, что в этом случае, наоборот, основная часть реактивной тяги уходит на работу насосной части. Это объясняется большим различием плотностей газов и воды.

Далее исследовались зависимости мощности рассматриваемой турбины от избыточного давления на входе, со сравнением применения сжатого воздуха или природного газа в качестве источника энергии для чисел оборотов турбины 1500 и 3000 об/мин. На рис. 4 приведена лишь одна зависимость, т.к. оказалось, что вырабатываемая полезная мощность не зависит сколь-либо заметно от вида газа,

а зависит лишь от числа оборотов.

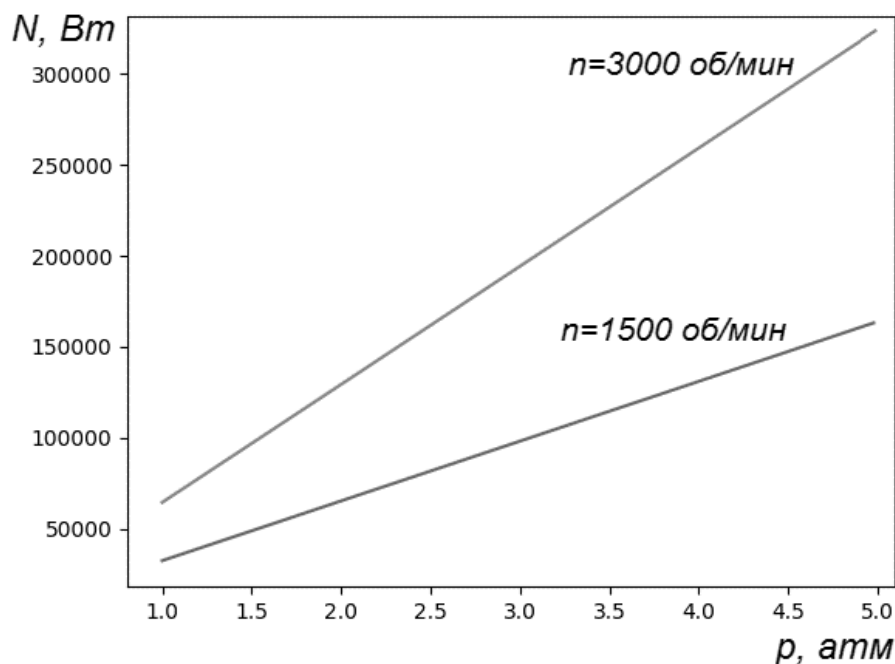


Рис. 4. Зависимость полезной мощности турбины от числа оборотов и давления подводимого газа

Из рис. 4 можно сделать вывод, что полезная мощность пропорциональна числу оборотов, и его следует выбирать исходя из необходимой мощности турбины и технико-экономического обоснования при проектировании приводного устройства клапана и расчёта турбины на прочность (от числа оборотов зависят, например, стоимость подшипников привода, потери на трение, толщина стенок трубок сегнерова колеса)

Далее важно исследовать влияние вида применяемого в турбине газа на его расход, так как от расхода зависят либо потери газа в случае его выброса в атмосферу (в случае воздуха), либо стоимость дополнительной установленной мощности компрессорного оборудования для возвращения его в цикл (в случае природного газа, т.к. его нельзя сбрасывать в окружающую среду). Результаты такого исследования при числе оборотов 3000 об/мин представлены на рис. 5.

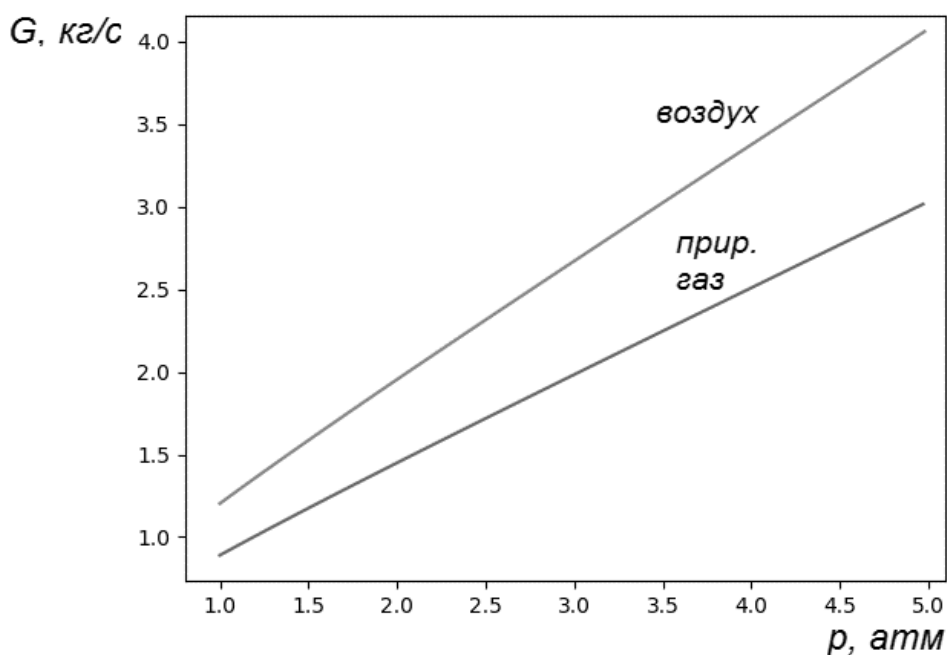


Рис. 5. Влияние вида рабочего тела и его давления на расход газа через турбину

Из рис. 5 видно, что расход природного газа (при одинаковой мощности турбины, как следует из выводов к рис. 4) ниже, чем воздуха. Однако, различие не настолько значительно, чтобы ради этого снижать безопасность персонала, повышать загрязнение окружающей среды (так как неизбежны утечки рабочего тела), поэтому авторы советуют в качестве источника энергии для приводной турбины использовать сжатый воздух, даже несмотря на некоторое увеличение стоимости изготовления системы привода.

Заключение

В ходе описанного исследования разработана схема исполнения движителя – турбины, выполненной по принципу реверсного сегнерова колеса, для перемещения антипомпажных (и прочих) клапанов на газоперекачивающей станции. Создана программа на современном языке Python, позволяющая оценить влияние различных факторов на характеристики движителя (в частности, на мощность и расход рабочего тела). На основе полученных зависимостей сделаны выводы о целесообразности выбора тех или иных факторов для достижения наибольшей эффективности и безопасности эксплуатации предлагаемого примера системы привода.

Разработанную методику оценки можно использовать для формирования

теоретических характеристик систем привода новых разрабатываемых клапанов, изучения физических основ их функционирования. Для получения реальных характеристик необходимо произвести ряд дополнительных исследований на виртуальных и натуральных моделях клапанов, на основе которых должны быть получены эмпирические поправочные коэффициенты.

Выполненная с использованием современных программных средств и библиотек работа показывает преимущество внедрения автоматизации в процесс проектирования. В рассмотренном случае сильно упростила расчёты библиотека теплофизических свойств веществ CoolProp [5], позволяющая избавиться от «традиционных» методов использования соответствующих табличных данных.

Библиографический список:

1. Абрамов Д.С. Основные тенденции развития ПАО «Газпром» согласно отчету группы Газпром о деятельности в области устойчивого развития. // Аллея науки. 2019. Т. 2. № 12 (39). С. 439-443.

2. Белоусов В.А., Демин В.М., Князев Ю.А., Коротков В.П., Саяпин В.В., Набиев Р.М., Муталлим-Заде Н.Ф., Рожков П.И. Пневматический привод для антипомпажного регулирующего клапана газопровода. Патент на изобретение RU 2171922 С1, 10.08.2001. Заявка № 2000131092/06 от 15.12.2000.

3. Громов Н.Н. Источники энергии на основе общеизвестных физических эффектов. [Электронный ресурс]. URL: <https://x-faq.ru/index.php?topic=1854.0>. (Дата обращения 11.04.2021).

4. Ильичев В.Ю., Гридчин Н.В. Визуализация масштабируемых 3D моделей с помощью модуля Matplotlib для Python. // Системный администратор. 2020. № 12 (217). С. 86-89.

5. Ильичев В.Ю. Разработка программных продуктов с использованием модуля Python Coolprop для исследования эффективности утилизации тепла продуктов сгорания газообразных топлив. // Системный администратор. 2020. № 11 (216). С. 80-83.

6. Ильичев В. Ю., Савин В. Ю. Динамическое моделирование системы

антипомпажного регулирования центробежного компрессора. //Компрессорная техника и пневматика. 2020. № 2. С. 34-38.

7. Ильичев В.Ю., Чухраев И.В., Чухраева А.И. Решение задачи перераспределения потоков газа на магистральных газопроводах методами линейного программирования. // Научные технологии. 2020. Т. 21. № 1. С. 11-17.

8. Ильичев В.Ю., Юрик Е.А., Антипов В.С. Оптимизация перераспределения потоков на магистральных газопроводах. // Научное обозрение. Технические науки. 2019. № 4. С. 22-26.

9. Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Разработка программы для исследования термодинамического цикла Ренкина. // Научное обозрение. Технические науки. 2020. № 2. С. 32-36.

10. Ильичев В.Ю., Юрик Е.А. Создание программы расчёта упорных подшипников скольжения на языке Python. // Научное обозрение. Технические науки. 2020. № 3. С. 14-18.

11. Набиев Р.М. Пневматический привод для регулирующей арматуры газопроводов. // Территория Нефтегаз. 2008. № 10. С. 72-73.