

02, февраль 2016

УДК 621.512.5

Прототип роторно-поршневого компрессора с гидравлическим поршнем

Васильев М.К., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Холодильная, криогенная техника. Системы кондиционирования и
жизнеобеспечения»*

Верховный А.И., студент

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,
кафедра «Холодильная, криогенная техника. Системы кондиционирования и
жизнеобеспечения»*

*Научный руководитель: **Колосов М.А.**, к.т.н., доцент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана
кафедра «Холодильная, криогенная техника. Системы кондиционирования и
жизнеобеспечения»*

kolosov@power.bmstu.ru

1. Введение

В 2013 году была предложена конструкция роторно-поршневого компрессора с гидравлическим поршнем. Одна из реализаций такого компрессора приведена на рис. 1. [1]

Принцип работы ротационного компрессора состоит в сжатии газа жидкостью. Наружное кольцо цилиндров с жидкостью, вращается вокруг неподвижного центра, а внутренние полые поршни, в которых сжимается газ, вращаются с некоторым эксцентриситетом, в следствие чего, поршни друг за другом погружаются в соответствующий им цилиндр нагнетая газ во внутреннюю полость. После, поршень выходит из жидкости и всасывают новую порцию газа без каких-либо клапанов.

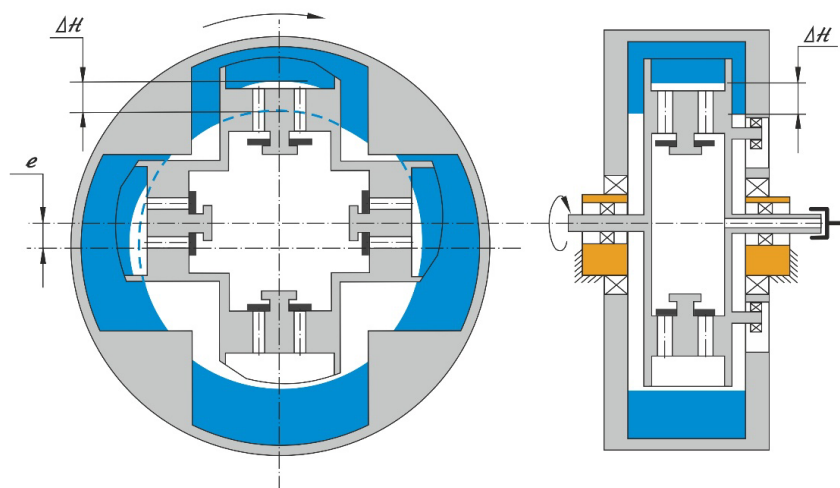


Рис. 1. Безмасляный ротационный компрессор.

Технические характеристики этого компрессора, сделанного Куликовым Л.Б. для испытания и демонстрации возможностей в 2012 году, приведены в таблице 1[2].

Таблица 1

Технические характеристики

Параметр	Значение
Мощность двигателя, кВт	1
Частота вращения блока цилиндров, об/мин	2000
Развиваемое давление, бар	2.5
Объемная подача, л/мин	300
Вес конструкции, кг	30

Автором идеи выступает Куликов Л.Б., запатентовавший это техническое решение в 2013 году [3]

Так же у изобретателя изложены более подробные принципы его функционирования и еще два типа компрессоров со схожим принципом работы: безмасляный поршневой и безмасляный ротативный, в которых также используется жидкость для ограничения рабочего объема. Схематично они изображены на рис. 2.

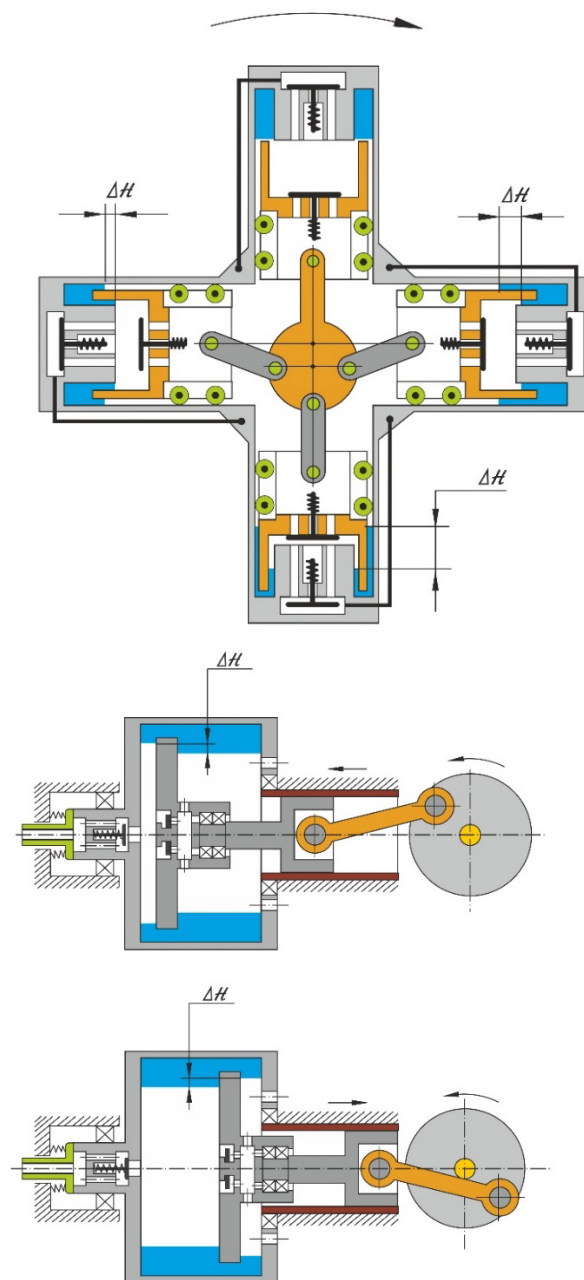


Рис. 2. Ротативный (слева) и поршневой (справа) безмасляный компрессор

Отличительной особенностью этих компрессоров является то, что роль уплотнения, смазки и охлаждения рабочей полости играет жидкость. Жидкость, хоть частично и растворяет газ, но обеспечивает, при высоких центробежных силах, хорошее уплотнение рабочей полости, что только повышает коэффициент подачи, исключает механическое трение и охлаждает газ. Вода служит для снятия тепла от сжатого газа в таком типе компрессоров и приближает процесс сжатия к изотермическому. Также вода, в отличие от масла, не ограничивает степень сжатия в одной ступени до 8 раз, из-за

вспышки паров масла, поэтому можно реализовать более высокие давления в одной ступени такого компрессора, что и будет продемонстрировано в расчетах ниже.

В представленном на рис.2 ротативном компрессоре в цилиндрах отсутствует трение скольжения, в отличие от классических поршневых компрессоров.

2. Принцип работы роторно-поршневого двухцилиндрового одноступенчатого компрессора с гидравлическим поршнем

Технические характеристики ниже изображенного компрессора, на рис. 1, выглядят следующим образом: давление всасывания 1 бар, давление нагнетания 9 бар, производительность его составляет $4 \frac{\text{м}^3}{\text{мин}}$, заправляется он водой, рабочий газ — воздух.

Компрессор, изображен на рис. 3, состоит из одного цилиндра (поз. 3) закрепленного на вращающемся валу (поз. 1), и составляют вместе вращающийся корпус, и двух поршней (поз. 4), оппозитно насаженных с гарантированным зазором на вращающийся цилиндр и образующих два рабочих объема. В поршнях сделана канавка для воды (поз. 6). Поршни, под действием центробежных сил, расходятся от центра вращения данной системы и роликами (поз. 5) упираются в направляющие корпуса (поз. 2).

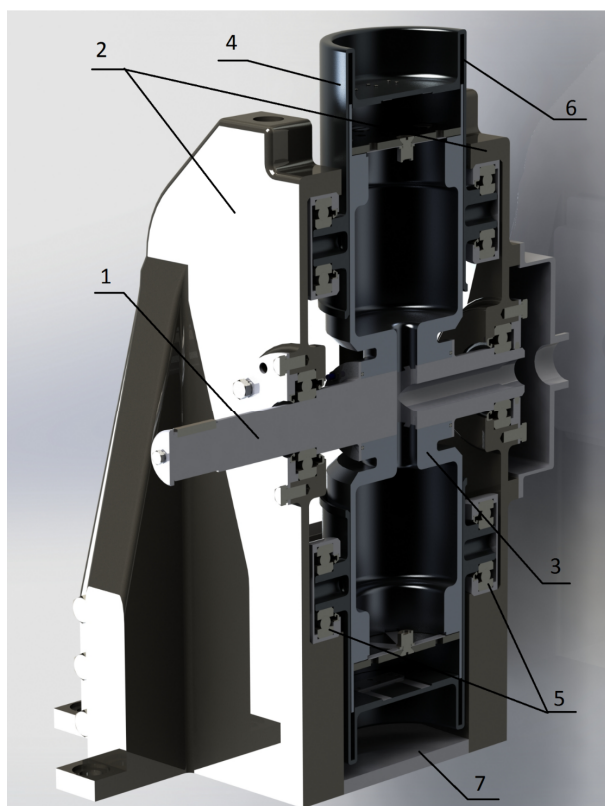


Рис. 3. Компрессор ротативный безмасляный двухцилиндровый

Поршень, цилиндр и рабочая жидкость образуют рабочий объем воздуха. В нижней мертвой точке (НМТ) вся жидкость скапливается в глубокой проточке поршня под действием центробежных сил. При сближении поршней вода начинает вытесняться стенками цилиндра и образует разность давлений в рабочем объеме и давление извне (атмосферой). Поршень и цилиндр спроектированы так, что столб жидкости вне цилиндра и атмосферное давление будут сдавливать рабочий объем, обеспечивая требуемое давление нагнетания. В верхней мертвой точке (ВМТ) поршень подходит вплотную к клапанной доске, нагнетая воздух во внутрь цилиндра, причем вода будет способствовать нагнетанию, поднимая свой уровень внутри цилиндра, из-за разности давлений. После, поршни проходят ВМТ и при всасывании вода опускается в глубокую проточку поршня под действием центробежных сил, а новая порция газа заполняет первоначальный объем и цикл работы компрессора повторяется.

Потери воды постоянно компенсируются подачей свежей воды к центру вращения цилиндра, через конструктивные отверстия в корпусе, возобновляясь тем самым в поршнях. Излишки поступающей жидкости стекают в поддон (поз. 7), откуда могут быть снова использованы.

Вал изготовлен так, чтобы нести на себе цилиндр и поршни, а также служить воздухопроводом. Цилиндр и поршни изготавливаются из легких и прочных материалов, для уменьшения сил инерции.

Смазка данного компрессора требуется лишь в подшипниках и роликах, а во всех остальных образованных парах трения скольжения используются антифрикционные покрытия или вкладыши хорошо работающие в воде.

На рис. 4 приводится поперечное сечение компрессора в ВМТ.

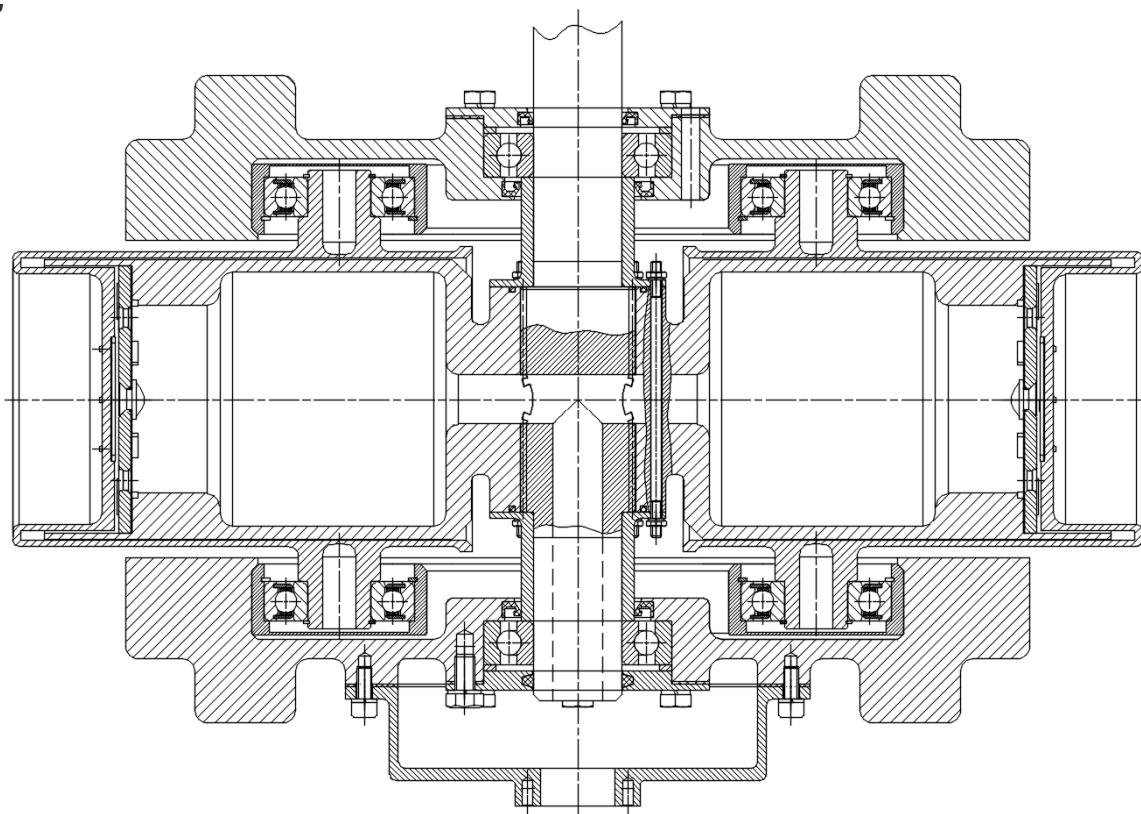


Рис. 4. Сечение компрессора в нижней мертвой точке

3. Тепловой расчет компрессора

По техническому заданию, был спроектирован одноступенчатый компрессор для сжатия атмосферного воздуха с давления всасывания 1 бар, до давления нагнетания 9 бар. Степень сжатия такого компрессора с учетом потерь на всасывание составляет примерно 10. Производительность компрессора должна была составлять $4\text{ м}^3/\text{мин}$. Изначально также задаемся типом жидкости, подаваемой в компрессор, и количеством оборотов электродвигателя.

За прототип такого компрессора был взят роторно-поршневой безмасляный компрессор с жидким затвором и двумя оппозитными поршнями.

Следуя из соблюдения технического задания и основополагающих законов физики была получена система уравнений, в которую входят все геометрические характеристики поршня, цилиндра и воды, следуя из которых получается требуемый описанный объем и давление нагнетания.

При тепловом расчете [4] зная подробно все размеры рабочих деталей можно найти производительность компрессора и требуемую мощность на валу двигателя. Итоги этого расчета приведены в таблице 2.

Таблица 2

Результат теплового расчета

Параметр	Значение
Мощность двигателя, кВт	31,4
Частота вращения, об/мин	950
Развиваемое давление, бар	9 бар
Производительность, м ³ /мин	4
Коэффициент подачи	~0,6
Габаритные размеры ШхВхГ, мм	1020x1020x775
Масса подвижной конструкции, кг	25

4. Динамический расчет

Динамический расчет ведется исходя из способа передачи движения с вала на поршни и их опору. Опора и ролики поршней представляют из себя кулачковую передачу и рассчитываются соответствующим образом

Мной был выбран синусоидальный закон изменения координаты поршня в долях, изображенный на рис. 5. Там же, другой линией, изображено изменение скорости.

$$s(\varphi) = \frac{1 - \cos(2\varphi)}{2}$$

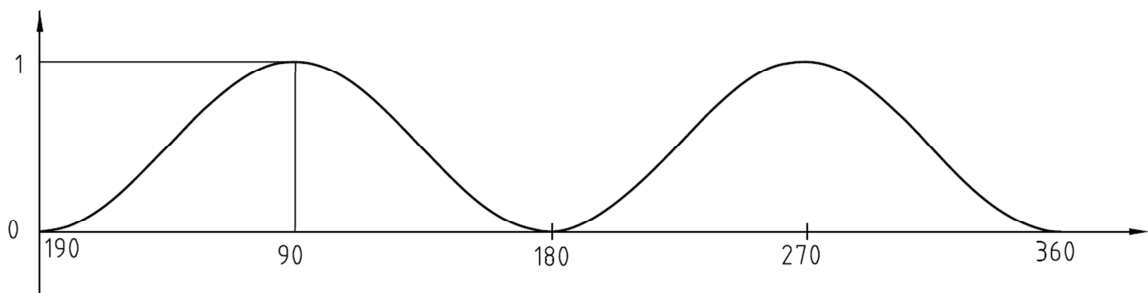


Рис. 5. Закон изменения относительного хода поршня

Задавшись законом, допустимым углом давления, минимальным радиусом и ходом поршня, можно построить математический профиль кулачка и его фазовый портрет, который выглядит весьма тривиально. На рис. 6 отображен профиль кулачка с внутренним катящимся роликом.

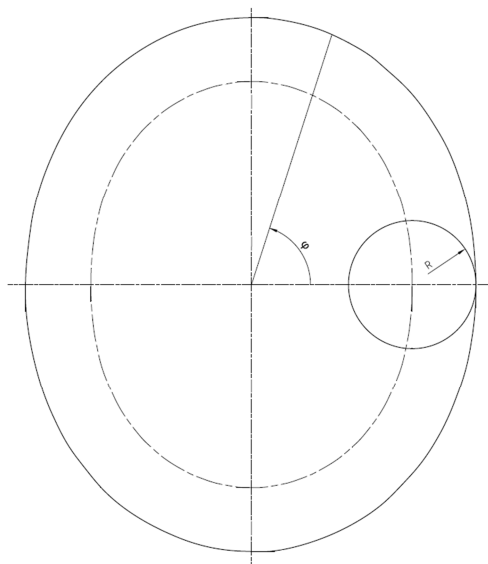


Рис. 6. Профиль кулачкового механизма

После этих расчетов идет определение всех действующих сил, за один оборот вала и последующее их суммирование. В этой операции участвуют газовые силы, силы инерции и силы трения. В итоге получается график изображенный на рис. 7, это и есть суммарная сила за один оборот.

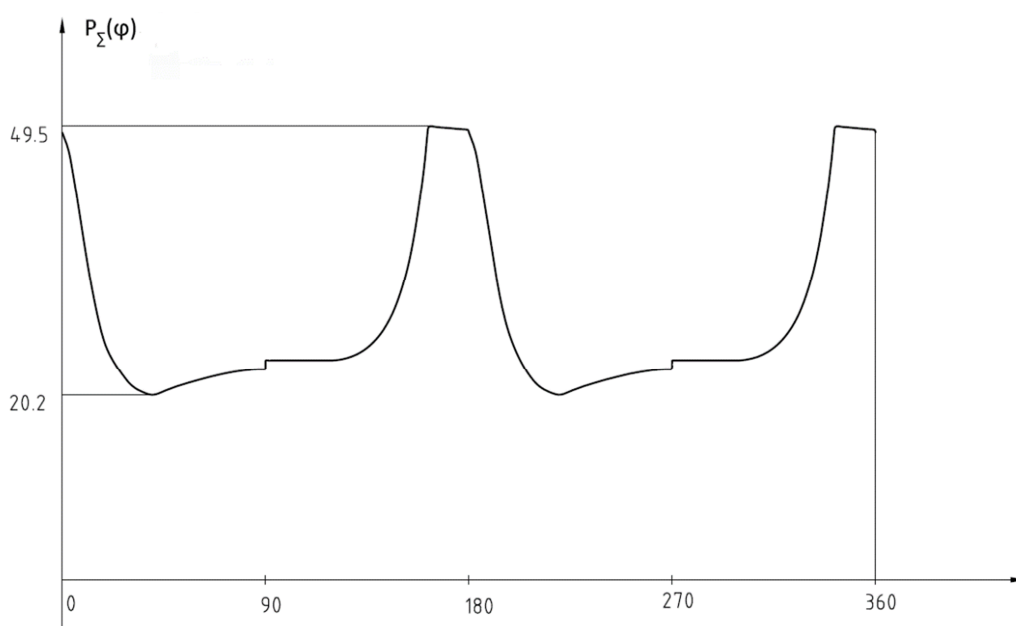


Рис. 7. Изменение сил за один оборот

Раскладывается суммарная сила на нормальную и тангенциальную составляющие. Зная закон изменения угла давления и сумму сил, действующих на оси вращения от

одного поршня можно найти закон изменения нормальной и тангенциальной сил в каждый момент времени, их изменение изображено на рис. 8.

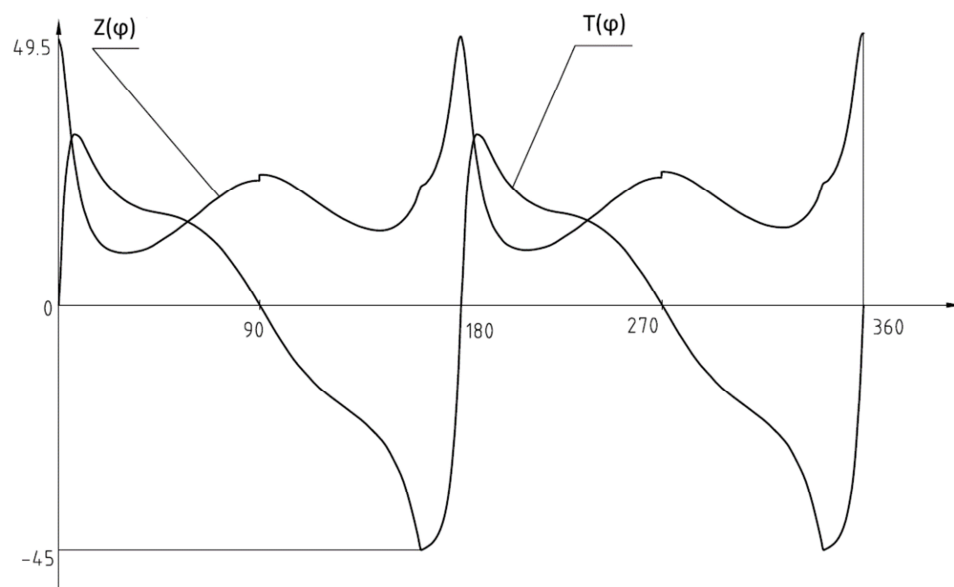


Рис. 8. Графики изменения тангенциальных и нормальных сил

На рис. 9, отображен график изменения момента сопротивления для данного механизма, с учетом двух рабочих объемов.

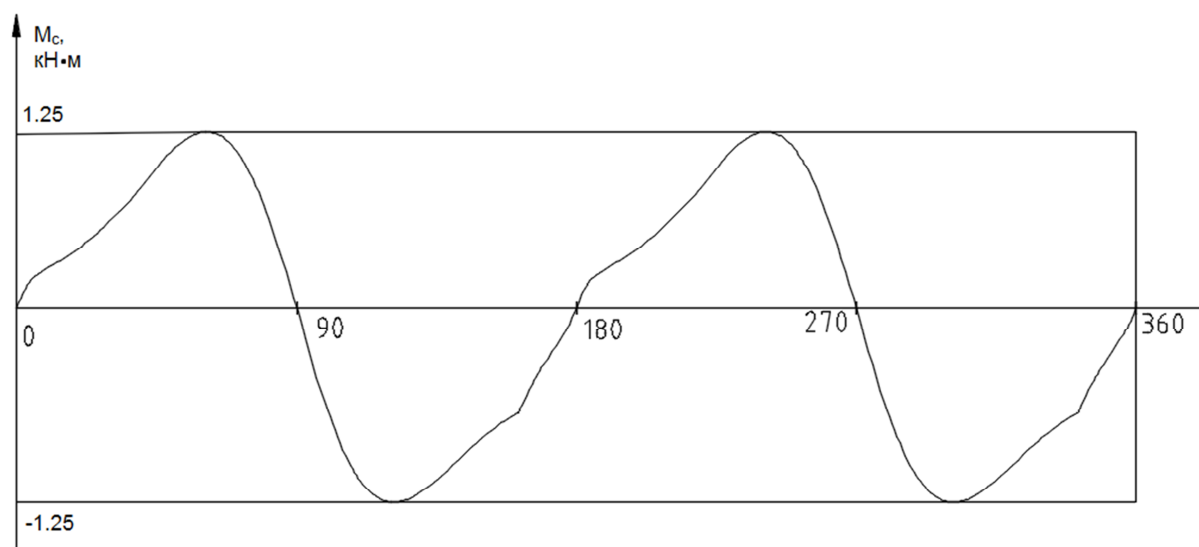


Рис. 9. Зависимость момента сопротивления от угла поворота

В итоге, представляется возможным посчитать требуемую мощность, для обеспечения работы компрессора:

$$N_e = -T_{\text{ср}} \cdot \omega \cdot r(\varphi)$$

В результате расчетов получилась требуемая мощность для работы этой машины $N_e = 31.9$ кВт, что отличается от итога теплового расчета лишь на 1.6%.

5. Заключение

В статье описана конструкция и приведены результаты теплового и динамического расчета роторно-поршневого компрессора с гидравлическим затвором. Идея именно такого типа компрессоров с жидкостным поршнем принадлежит Куликову Л.Б. Особенностью этого типа компрессоров является принцип использования жидкости: для уплотнения рабочего объема, газораспределения (касается только ротационного) и охлаждения. Приведена динамическая характеристика работы ротационного компрессора в зависимости от угла поворота. При работе над этим компрессором был спроектирован его прототип с двумя оппозитными цилиндрами. Компактность конструкции, энергетическая эффективность и хорошие динамические характеристики делают этот тип компрессоров перспективным для опытно-промышленного исследования.

Список литературы

- [1]. Компрессоры с жидкостным поршнем. Режим доступа: <http://compressor2013.ru/> (дата обращения 04.02.2015).
- [2]. Куликов Л.Б. Новый тип безмаслянных компрессоров с жидкостным поршнем // Компрессорная техника и пневматика. 2013. № 8. С. 20–22.
- [3]. Куликов Л.Б. Ротативный компрессор: пат. 130007 Российская Федерация. 2013. Бюл. № 18. 6 с.
- [4]. Пластилин П.И. поршневые компрессоры. В 2 т. Т. 1. Теория и расчет. / ред. Г.А. Гусева. М.: КолосС, 2006. 456 с.