

## ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ МЕХАНИЗМА ДВИЖЕНИЯ ОППОЗИТНОГО КОМПРЕССОРА

Гаязов И.М.<sup>1</sup>, Шарафеев Р.Ф.<sup>2</sup>, Егоров А.Г.<sup>2</sup>, Сагбиев И.Р.<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Инженерно-технический центр ООО «Газпром трансгаз Казань»

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет»

<sup>3</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский (Приволжский) федеральный университет»,

**Аннотация.** Предложена методика динамического расчета поршневого оппозитного компрессора с помощью препроцессора Inspire пакета программа HyperWorks компании Altair Engineering. Проведено сопоставление результатов численного моделирования с традиционным аналитическим расчетом.

**Abstract.** The article proposes a method for dynamic calculation of opposed compressor using the CAE Inspire HyperWorks developed by Altair Engineering Inc. The results of numerical modeling were compared with the traditional analytical method.

**Ключевые слова:** оппозитный поршневой компрессор, численное моделирование, HyperWorks.

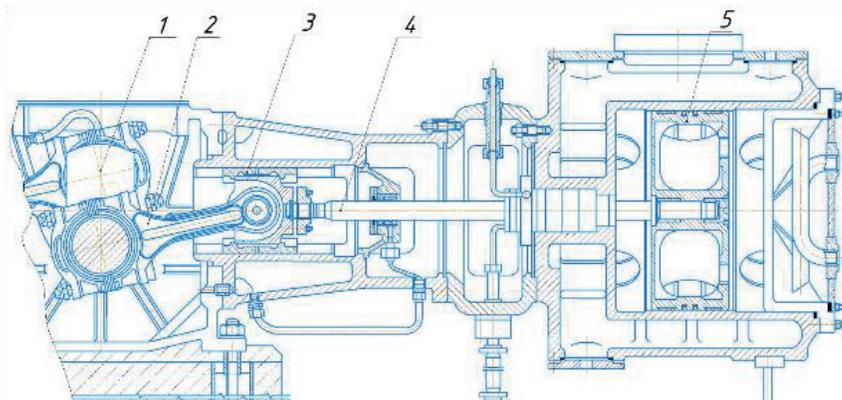
В качестве объекта исследования выбран двухрядный оппозитный поршневой компрессор базы M100, представленный на рисунке 1, со следующими характеристиками:

1) Технические характеристики:

- давление всасывания – 0,11 МПа;
- давление нагнетания – 1 МПа;
- частота вращения – 10 Гц;
- производительность – 0,5 м<sup>3</sup>/с;

2) Геометрические характеристики:

- диаметр поршня 1-й ступени – 630 мм;
- диаметр поршня 2-й ступени – 370 мм;
- диаметр штока – 60 мм;
- ход поршня – 220 мм;
- число рядов – 2.



*1 – коленчатый вал, 2 – шатун, 3 – крейцкопф, 4 – шток, 5 – поршень  
Рисунок 1 – Первая ступень оппозитного компрессора*

Механизм движения состоит из поршней первой и второй ступеней, двух штоков, двух крейцкопфов, двух шатунов и коленчатого вала. С целью определения действующих сил на механизм движения создана его полная трехмерная модель.

Необходимые исходные данные для выполнения расчета взяты из термогазодинамического расчета: количество рядов, ход поршня, частота вращения коленчатого вала, механический КПД, число ступеней в ряду, угол опережения ряда, давление всасывания и нагнетания ступеней с учетом потерь, площади поршней в ступенях, относительное мертвое пространство для ступени, показатели политропы расширения и сжатия. По сборочному чертежу определено отношение радиуса кривошипа к длине шатуна. Массы определены на основании геометрии и известной плотности материалов.

Многотельная конструкция построена в САД программе КОМПАС-3D и импортирована в препроцессор Inspire компании Altair Engineering [1]. Эта субплатформа входит в пакет программ HyperWorks, который позволяет проводить инженерных анализ, в том числе сборочных изделий [2], а также оптимизацию геометрии с учетом различных нагрузок [3].

Программа Inspire позволяет задавать различные силы с учетом их изменения величины во времени, например, газовые силы, действующие на поршни. Значение газовой силы определено в соответствии с индикаторной диаграммой исследуемого режима работы поршневого компрессора. Задание граничного условия произведено стандартным инструментом «линейного привода» в табличной форме в течение времени одного полного оборота (рисунок 2, 3).

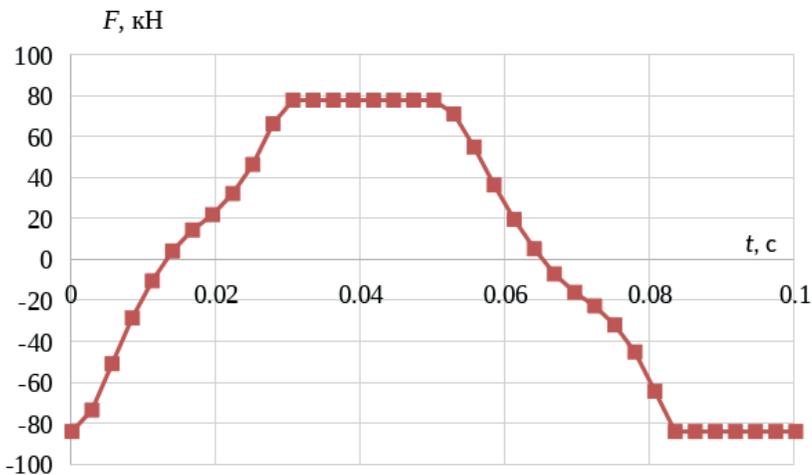


Рисунок 2 – Газовые силы, действующие на поршень

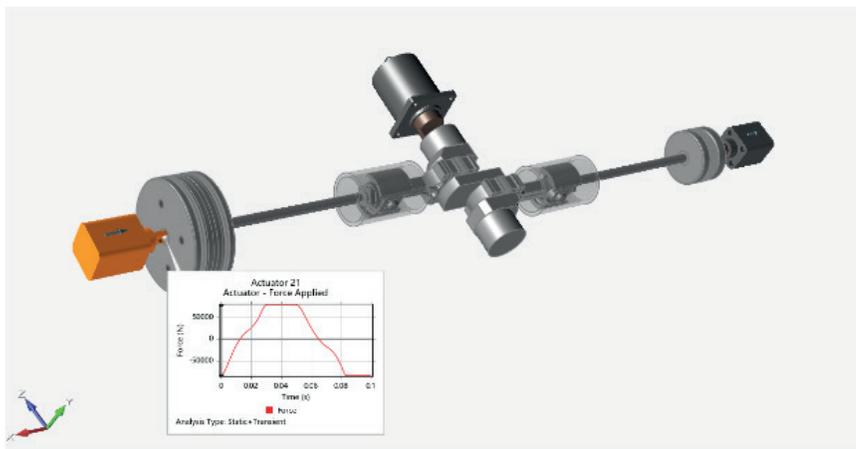
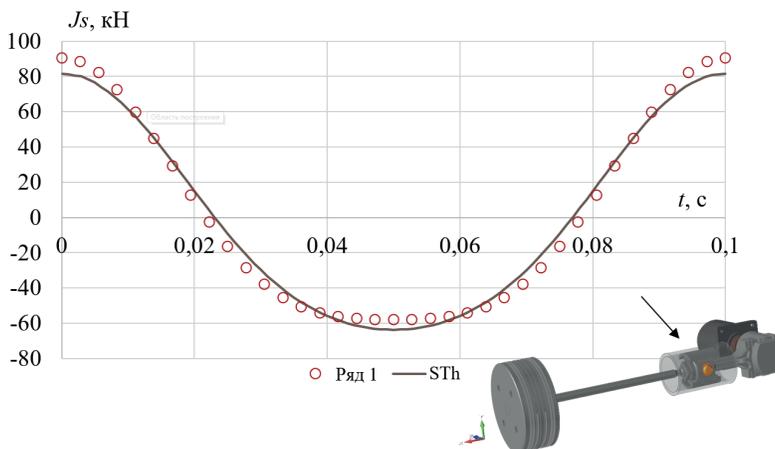


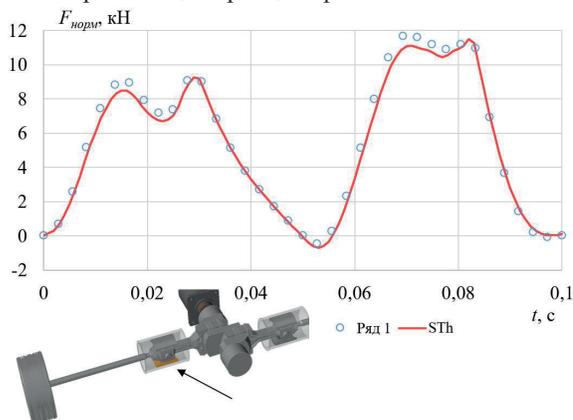
Рисунок 3 – Способ задания газовых сил за счет поступательного привода

Inspire дает возможность рассчитать возникающие силы в любой кинематической паре. На рисунке 4 демонстрируется сравнение значений сил инерций возвратно-поступательно движущихся масс, приведенные к оси крейцкопфного пальца, полученные расчетным путем по известным формулам [4] с результатами численного моделирования в Inspire.



«Ряд 1» – аналитическим метод, «STh» – численное моделирование  
Рисунок 4 – Изменение сил инерций первого ряда

На рисунке 5 показано сравнение нормальной силы, действующей на боковую поверхность направляющей крейцкопфа.



«Ряд 1» – аналитическим метод, «STh» – численное моделирование  
Рисунок 5 – Изменение нормальной силы первого ряда

#### Выводы:

1. Сравнение возникающих сил в парах трения, полученных расчетным путем по известным формулам, с результатами численного моделирования в программе Insrige показывает расхождение не более 10% в крайних положениях

поршня. Это связано с тем, что массы подвижных частей в аналитическом методе задаются с некоторыми общепринятыми допущениями.

2. Предложена методика трехмерного моделирования динамики поршневого компрессора, позволяющая уточнить традиционный аналитический подход.

3. Разработанная верифицированная модель трехмерного численного моделирования позволяет в последующем провести расчет на прочность,

а также топологическую оптимизацию деталей механизма движения с учетом динамических нагрузок.

### Литература

1. Altair Inspire. URL : <https://www.altair.com/inspire> .

2. Влияние деталей роторной части сухого газодинамического уплотнения на деформацию вращающегося кольца / Т.А. Аит, Ф.В. Кадыров, Р.Ф. Шарафеев, И.Р. Сагбиев // Экспериментальные и теоретические исследования в современной науке: проблемы, пути решения : Материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции: в 3-х частях, Ростов-на-Дону, 26 ноября 2018 года. Том Часть 2. – Ростов-на-Дону: Южный университет (ИУБиП), 2018. – С. 154-159.

3. Оптимизация конструкции мембранного диска муфты газоперекачивающего агрегата ГПА-Ц-16 в пакете программ HyperWorks / Р.Ф. Шарафеев, И.Р. Сагбиев // Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы - 2019 : материалы X Международной научно-технической конференции, Казань, 05–06 декабря 2019 года. Том Часть 1. – Казань: Без издательства, 2019. – С. 475-477.

4. Пластинин П.И. Поршневые компрессоры. Том 1. Теория и расчет / П.И. Пластинин // Учебники и учеб. пособия для студентов. высш. учеб. заведений – 3-е изд., доп. – Москва: КолосС, 2006. – 456 с.

## СЕПАРАЦИЯ ПИРОЛИЗНЫХ ГАЗОВ ПОСЛЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

**Загиров А.Н.**, магистрант второго курса ФГБОУ ВО Казанский национальный исследовательский технологический университет, г. Казань

**Аннотация.** Рассмотрен способ сепарации пиролизных газов, который осуществляется путем разделения газов на дистиллят и неконденсируемые газы. Следующим этапом является сжигание неконденсируемого газа в топке аппарата пиролиза шахтного типа, где из него образуется топочный газ, который двигаясь по рубашке передает часть своего тепла на процесс пиролиза. Пройдя аппарат пиролиза топочный газ поступает в сушильную камеру и участвует в процессе сушки древесины. Затем отработанный топочный газ после очистки жидкостью выбрасывается в атмосферу.