

Серия конференций IOP: Материаловедение и инженерия

БУМАГА • ОТКРЫТЫЙ ДОСТУП

Сравнение энергоэффективности и размеров портативных безмасляных винтовых и спиральных компрессоров

Для цитирования этой статьи: Олли Дмитриев и Ян Макдональд Арбон, 2017 IOP Conf. Сер.: Матер. науч. англ. 232 012057

Посмотреть [статью онлайн](#) для обновлений и улучшений.

Вам также может понравиться

- [Экспериментальная методика моделирования и измерения утечек в двухвинтовом компрессоре](#)

Хитеш Х. Патель и Викас Дж. Лакхера

- [Численное и экспериментальное исследование потерь давления на всасывании двухвинтового компрессора](#) М. Арженех, А. Ковачевич, С. Ране и др.

- [Определение фактических зазоров профиля и положения ротора винтового компрессора в зависимости от условий работы](#) Мустафин Т.Н., Якупов Р.Р., Хамидуллин М.С.



The Electrochemical Society
Advancing solid state & electrochemical science & technology

242nd ECS Meeting

Oct 9 – 13, 2022 • Atlanta, GA, US

Early hotel & registration pricing
ends September 12

Presenting more than 2,400
technical abstracts in 50 symposia

The meeting for industry & researchers in

BATTERIES
ENERGY TECHNOLOGY
SENSORS AND MORE!



Register now!



**ECS Plenary Lecture featuring
M. Stanley Whittingham,**
Binghamton University
Nobel Laureate –
2019 Nobel Prize in Chemistry



Сравнение энергоэффективности и размеров портативных безмасляных винтовых и спиральных компрессоров

Олли Дмитриев, проф. Ян Макдональд Арбон

Vert Rotors UK Ltd, Эдинбург, Великобритания

olly@vertrotors.com

Абстрактный. В этом документе представлены данные испытаний и оценивается, могут ли конические винтовые компрессоры стать предпочтительной альтернативой спиральным компрессорам при малой безмасляной нагрузке от 0,04 до 15 кВт. Конический винтовой компрессор является новой модификацией обычного винтового компрессора. Конический компрессор с впрыском воды мощностью 2 кВт продемонстрировал на 34% лучшую энергоэффективность, чем спиральный компрессор аналогичной мощности. При нагрузке 8 бар (изб.) коническая машина потребляла на 13 % больше энергии и производила на 42 % больше потока. Размер конического винтового пакета составляет 46% от спирального пакета. Миниатюрный конический винтовой блок при номинальной мощности 40 Вт достиг давления 8 бар (изб.) в режиме впрыска воды. Можно сделать вывод, что конический винтовой компрессор был бы привлекательной альтернативой для микро- и малых безмасляных установок.

1. Введение

Снижение энергопотребления безмасляных компрессоров имеет решающее значение, поскольку потребление электроэнергии обычно составляет до 80% от общей стоимости жизненного цикла компрессора. Кроме того, потери при передаче можно уменьшить, заменив большую компрессорную установку компрессорами меньшего размера ближе к конечным потребителям. Однако эти небольшие компрессоры должны демонстрировать высокую энергоэффективность.

Высокая энергоэффективность в безмасляном воздухе достигается за счет впрыска воды. От других производителей компрессоров известно, что сжатие с впрыском воды обеспечивает около 20% экономии энергии по сравнению с сухим или адиабатическим сжатием.

Впрыск воды стал стандартной опцией в компрессорах для медицинской и пищевой промышленности с более крупными винтовыми машинами мощностью от 15 до 110 кВт. Примеры включают одновинтовые компрессоры CompAir (серия DH, от 15 до 110 кВт) и двухвинтовые компрессоры от Atlas Copco (AQ 15-55 VSD, от 15 до 55 кВт). Однако в меньших типоразмерах как двухвинтовые, так и одновинтовые машины не смогли достичь требуемой эффективности из-за больших утечек через зазор в «дутьевом отверстии», что является конструктивной особенностью таких компрессоров [1]. Как правило, эту утечку уменьшают введением масла в камеры сжатия. Поскольку кинематическая вязкость воды на два порядка ниже, чем у типичного компрессорного масла, вода не обеспечивает уровень уплотнения, необходимый для двухвинтовых и одновинтовых компрессоров¹.

¹ При 40 °C вода имеет кинематическую вязкость 0,658 мм²/с, типичные масла для винтовых компрессоров имеют кинематическую вязкость в диапазоне 32-64 мм²/с [2,3]



Из-за этого ограничения рынок портативных безмасляных воздушных компрессоров мощностью менее 15 кВт не обслуживается винтовыми компрессорами. Вместо этого этот рынок обычно обслуживают сухие (адиабатические) спиральные или поршневые компрессоры, которые, как известно, менее эффективны.

Как подробно обсуждалось Дмитриевым и Арбоном в [4], конический винтовой компрессор не имеет «выдувного отверстия» и, следовательно, может обеспечить эффективное уплотнение между камерами сжатия даже с водой.

В данной статье представлены результаты самой последней работы: модель конического компрессора мощностью 2 кВт (кодовое название VERT.80) с впрыском воды продемонстрировала на 34% лучшую энергоэффективность, чем спиральный компрессор аналогичной мощности. Конический винтовой блок потреблял на 13 % больше энергии от сети и давал на 42 % больший расход. Размер конического винтового пакета составляет 46% от размера спирального пакета.

Эта новая машина может быть многообещающим решением, особенно когда она служит локальным источником безмасляного воздуха.

2. О коническом винтовом компрессоре

Конический винтовой компрессор представляет собой модификацию винтового компрессора, которая отличается от известного двухвинтового типа. В двухвинтовом компрессоре винтовые роторы движутся по параллельным осям, заключенным в корпус; Н. Стошич пишет, что два таких ротора эффективно образуют косозубую передачу [5]. В коническом винтовом компрессоре охватываемый ротор заключен в охватывающий винтовой ротор, они вращаются на эксцентриковых осях и образуют циклоидальную шестерню [4], см. рис.1.

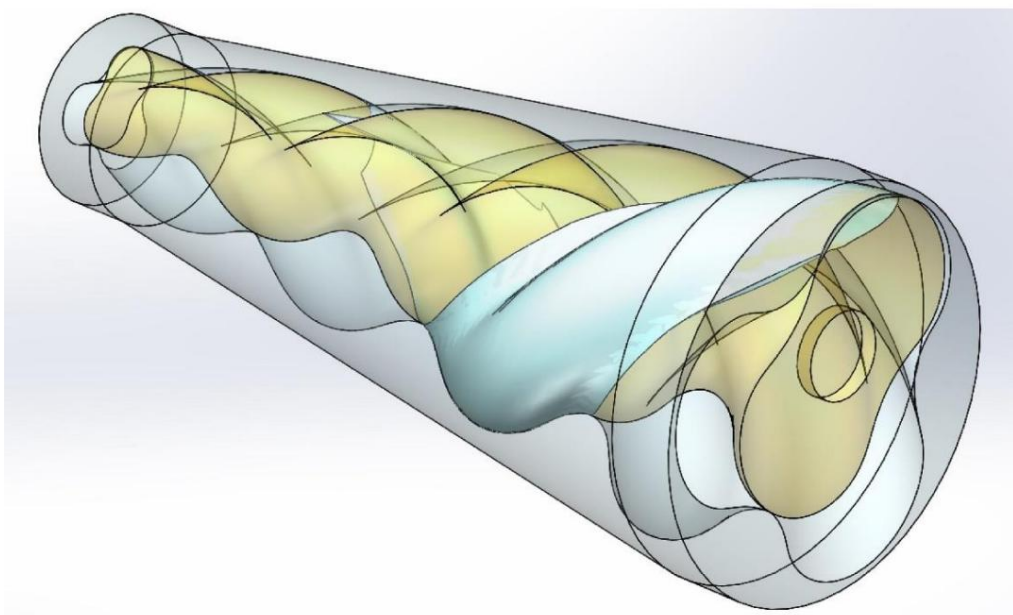


Рисунок 1. Охватываемый эпициклоидальный (желтый) и охватывающий гипоциклоидальный (светло-серый) конические винты. Компрессионная камера выделена голубым цветом.

Концепция конического винтового компрессора была впервые описана Chang of Robbins & Myers, Inc., США в 1956 г. [6]. Производство этого компрессора требовало математического моделирования, автоматизированного проектирования (САПР) и методов производства, которые в то время были недоступны. Такие методы были разработаны Дмитриевым и Таботой в компании Vert Rotors UK Ltd, Великобритания, а в 2014 году первая рабочая модель конического винтового компрессора была представлена на 12-м Европейском конгрессе Fluid Machinery в 2014 году [7]. Конический компрессор получил дальнейшее развитие, и его миниатюрная модификация была представлена О.Дмитриевым, Таботой и Арбоном на 9-й конференции по компрессорам и их системам в 2015 г. [8]. Представленная в 2014 г. модель работала с впрыском масла. В 2016 году на 13-м Европейском конгрессе Fluid Machinery Дмитриев и Арбон представили конический винтовой компрессор с впрыском воды мощностью 2 кВт [4].



Рисунок 2. Конический винтовой компрессор с открытым валом BEPT.80

Конический компрессор состоит из двух конических винтовых роторов. Охватываемый эпициклоидальный ротор расположен внутри охватывающего гипоциклоидального ротора. В каждом плоском поперечном сечении они создают циклоидальную шестерню. Роторы вращаются на фиксированных смещенных осях.

При всасывании воздух поступает в камеру сжатия на большом конце конуса. Когда роторы вращаются, камера изолируется, и воздух захватывается внутри замкнутого объема. Вслед за вращением роторов этот замкнутый объем движется к узкому концу конуса. Диаметр компрессионной камеры постепенно уменьшается, объем уменьшается, а давление увеличивается.

Газ под высоким давлением выходит из малого конца конуса.

Авторы работали над оценкой эффективности безмасляной работы конического шнека. компрессор с впрыском воды, по сравнению с другими безмасляными компрессорами.

3. Испытание конического винтового компрессора мощностью 2 кВт.

3.1. Испытательная установка

Конический винтовой компрессорный агрегат состоит из компрессорного элемента с открытым валом, как показано на рис. 3 ниже.

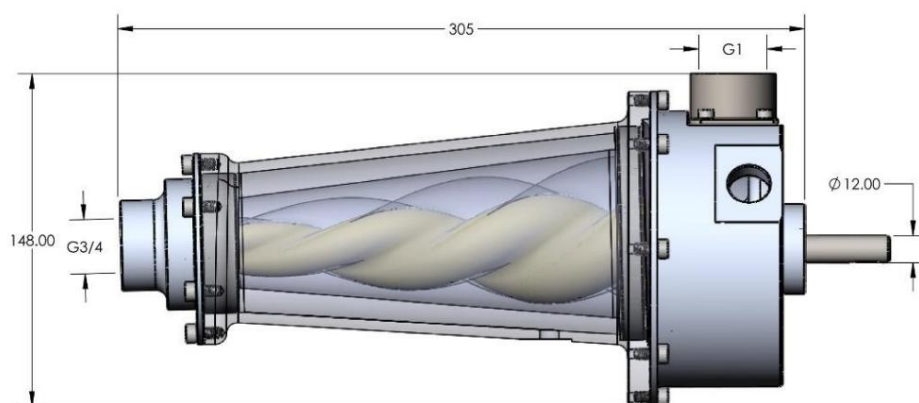


Рис. 3. Габаритный чертеж конического винтового компрессора со свободным валом BEPT.80

Сравнивались два безмасляных напольных компрессорных агрегата одинаковой производительности: конический винтовой компрессор с водяным впрыском мощностью 2 кВт, VERT.80, и спиральный компрессор Atlas Copco SF 1 мощностью 1,5 кВт, см. рис. 4.



Рисунок 4. Спиральный компрессор Atlas Copco SF 1 (слева) и конический винтовой компрессор VERT.80 (справа)

Давление нагнетания обоих компрессоров регулировалось предохранительным клапаном Norgren V74G 4GK-NMN, подсоединенным к нагнетательному отверстию агрегата. Когда предохранительный клапан, подключенный к спиральному компрессору, был нагружен до 8 бар (изб.), компрессор автоматически отключился. Из-за этого спиральный компрессор был рассчитан на нагрузку 7,5 бар (изб.).

В ходе испытания измерялась фактическая электрическая мощность, потребляемая компрессором из сети, а не номинальная мощность на валу. Мощность измерялась цифровым измерителем мощности ABB C13 LCD.

Расход измеряли расходомером воздуха SMC PFMB7501-F04-E (номинальный расход от 1 до 500 л/мин).



Рисунок 5. Габаритные размеры винтового конического компрессора VERT.80

Таблица 1. Оцененные компрессорные агрегаты

Компрессор Упаковка Обозначение	Рабочий элемент	Габаритные размеры	Вес Тип операции	Мотор скорость об/мин	Рейтинг двигатель сила
СФ 1	Прокрутить	590x600x850 мм 120 кг	Сухой ход	2885	1,5 кВт
VERT.80	Конический винт	855x402x408 мм 90 кг	Впрыск воды	2920	2кВт

3.2. Результаты теста

Конический винтовой компрессор был нагружен до 8 бар (изб.) и работал при удельной мощности 13 кВт/м³/мин.

Спиральный компрессор был загружен до 7,5 бар (изб.) (поскольку при 8 бар (изб.) он автоматически выключается) и работал с удельной мощностью 19,7 кВт/м³/мин. В этом сравнении конический компрессор продемонстрировал на 34% лучшую энергоэффективность.

Размер конического винтового компрессорного агрегата (как показано на рисунке 5) составляет 855 x 402 x 408 мм (объем 0,14 м³), а вес 90 кг. Размер спирального компрессорного агрегата составлял 590 x 600 x 850 мм (объем 0,3 м³), а вес – 120 кг². Это сравнение показывает, что объем, занимаемый коническим винтовым компрессорным агрегатом, составляет 46 % от объема спирального агрегата, а вес конического винтового агрегата на 25 % меньше, чем у спирального агрегата.

В качестве третьего сравнения были проанализированы расход и мощность обоих компрессоров. Согласно брошюре для спирального компрессора, скорость потока составляла 2,9 л/с или 174 л/мин, установленная мощность двигателя составляла 1,5 кВт, а максимальное давление составляло либо 8 бар (изб.), либо 10 бар (изб.). Спиральный компрессор был нагружен до 7,5 бар (изб.) путем установки предохранительного клапана, и измерения показали следующее:

(А) скорость потока при 7,5 бар (изб.) составляла 127 л/мин. Наблюдаемый расход был ниже, чем указано в брошюре, и было понятно, что в брошюре содержится информация для ненагруженного компрессора.

(В) мощность, потребляемая от сети, составляла 2,5 кВт. Было понятно, что мощность 1,5 кВт, описанная в брошюре, предназначена для ненагруженного компрессора, возможно, без учета потребления электроэнергии другими компонентами установки.

Конический винтовой компрессор был нагружен до 8 бар (изб.) путем установки предохранительного клапана и были сделаны следующие наблюдения:

(А) расход воздуха 220 л/мин;

(В) фактическая мощность, потребляемая от сети, составляла 2,86 кВт.

Следует отметить, что расход воды (в замкнутой системе) составлял 13-15 л/мин.

Из третьего теста можно сделать вывод, что конический винтовой компрессор потреблял на 13% больше энергии, чем спиральный. Потребляемая мощность обоих компрессорных агрегатов достаточно близка друг к другу. Производительность конической шнековой машины была на 42% больше, чем у спиральной машины.

Сводка данных испытаний показана в Таблице 2 ниже.

Таблица 2. Результаты испытаний

Компрессорный пакет	Нагрузка от давления	Скорость потока	Удельная мощность	
			Потребляемая мощность	
СФ 1	7,5 бар (изб.)	127 л/мин	2,5 кВт	19,7 кВт/м ³ /мин
ВЕРТ.80	(изб.)	220 л/мин	2,86 кВт	13 кВт/м ³ /мин

3.3. Выводы испытаний Можно

сделать вывод, что испытания компрессора с водяным впрыском VERT.80 следуют теоретическому предположению о том, что компрессоры с впрыском воды более энергоэффективны, чем адиабатические компрессоры.

² Размеры были измерены, вес взят с atlascopco.com

Испытания показали, что конические винтовые компрессоры способны удовлетворить рыночные требования к портативным безмасляным компрессорам мощностью менее 15 кВт.

Размеры и объем конического винтового компрессорного агрегата были значительно меньше, чем у спирального компрессорного агрегата, что может быть выгодно для некоторых применений. Примеры таких применений включают системы подачи воздуха для дыхания на морских нефтегазовых платформах, где очень важен размер.

3.4. Обсуждение и дальнейшая работа

Тестируемый VERT.80 в настоящее время находится в стадии разработки и включает в себя несколько неоптимизированных частей. Из-за этого авторы работают над заменой неоптимальных компонентов, прежде чем сборка будет готова к серийному производству. Например, многие компоненты узла компрессора с открытым валом были изготовлены из нержавеющей стали 316. Корпус и первичный сепаратор были изготовлены из штампованного алюминия, а некоторые другие детали из латуни. Таким образом, эта комбинация материалов при контакте с водой вызывает гальваническую коррозию, при этом оксиды очень быстро забивают фильтры. Дальнейшие разработки будут включать анодирование алюминиевых деталей и замену латуни на нержавеющую сталь.

Кроме того, интеграция первичного сепаратора с фильтром для воды и сепаратором водяного тумана может помочь заменить трубы и фитинги и еще больше уменьшить размер установки.

4. Миниатюрный винтовой компрессор мощностью 40 Вт обеспечивает давление 8 бар (изб.)

4.1. Результаты производства и испытаний

Дальнейшая работа была предпринята для миниатюризации конического компрессора и определения практического предела технологии винтового компрессора. Был разработан и изготовлен новый компрессорный агрегат с коническими винтами длиной 40 мм с наружной и внутренней резьбой. Рабочий объем этого компрессора составлял 0,4 куб.см. Чертеж этого миниатюрного винтового компрессора под кодовым названием VERT.04 показан на рис.6 ниже.

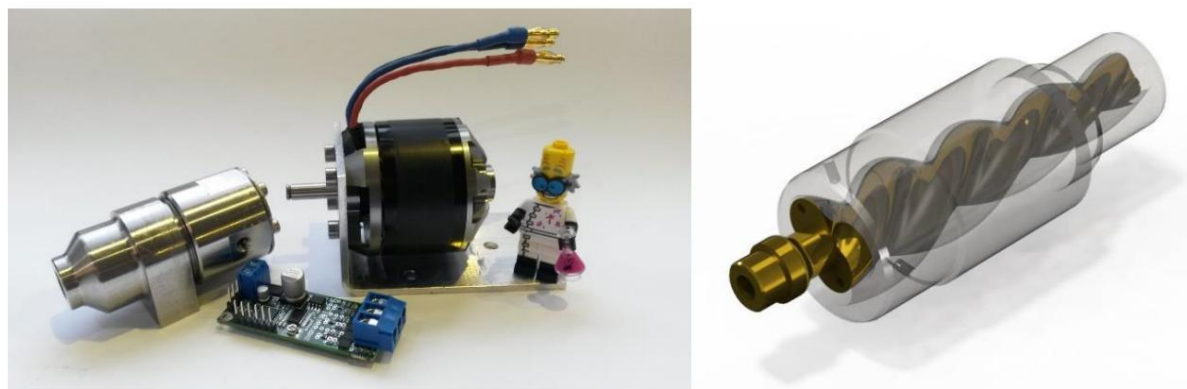


Рисунок 6. Миниатюрный конический винтовой компрессор VERT.04

Машина зафиксировала потребляемую мощность 36-40 Вт (бесколлекторный двигатель постоянного тока 24 В, ток 1,5 А).

Разработана водонагнетательная установка, включающая три модульных блока: (а) модуль с коническим винтовым компрессором с открытым валом и электродвигателем, (б) модуль с электрическими компонентами и теплообменником, (в) первичный водоотделитель, также работающий как сосуд высокого давления, см. рис.7

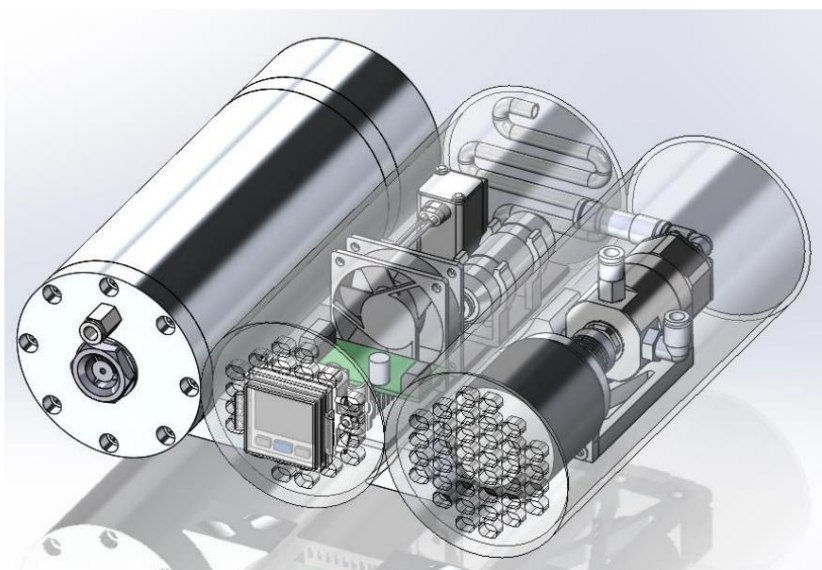


Рис. 7. CAD-вид конического винтового компрессора VERT.04:
Водоотделитель/сосуд высокого давления (слева), модуль с теплообменником и электроникой (в центре), модуль с компрессором (справа)

Миниатюрный компрессор VERT.04, работая с водой=впрыском, давал максимальный напор
давление 8 бар (изб.) (или 115 фунтов на кв. дюйм (изб.)).



Рис. 8. Результаты испытаний, показывающие 115,2 фунтов на кв. дюйм (изб.) / 8 бар (изб.)

4.2. Выводы и обсуждение

Миниатюрный VERT.04 является рабочим прототипом и будет дорабатываться до того, как будет готов к продаже.

Испытания показали, что конический винтовой компрессор является самым маленьким из известных роторных компрессоров, который может достигать давления, например, 8 бар (изб.), с очень низким уровнем вибрации и шума, что очень полезно для медицинских или лабораторных применений с чувствительным оборудованием.

Давление 8 бар (изб.), которое демонстрирует VERT.04, значительно превышает давление, создаваемое другими известными миниатюрными ротационными компрессорами (1-1,5 бар (изб.) для пластинчато-роторных машин). Хотя поршневые компрессоры с сухим ходом способны достигать давления 8 бар (изб.), они создают значительные вибрации. Кроме того, термодинамика адиабатического сжатия диктует, что

температура таких машин быстро растет. Преимущество достижения таких давлений, как 8 бар (изб.) с впрыском воды, заключается в низкой температуре упаковки, что поддерживает гораздо более длительные рабочие циклы.

Ссылки (в порядке появления):

- [1] Бакни Д., Ковачевич А., Стосич Н. (2011), Учет зазоров в конструкции роторов винтовых компрессоров, 7-я Международная конференция по компрессорам и их системам, Город Лондонский университет
- [2] Кестин Дж., Соколов М., Уэйкхэм В.А. (1978), Вязкость жидкой воды в диапазоне от -80°C до 150°C, J. Phys. хим. Ссылка Данные, Том. 7, № 3, 944
- [3] Информация о продукте, Klüber Summit SH 32, 46, 68, 100
- [4] О.Дмитриев, И.Арбон (2016), Компактный винтовой компрессор с водяным впрыском и высокой объемной эффективностью, 13-й Европейский конгресс по жидкостным машинам, Гаага, Нидерланды.
- [5] Н. Стошич (1998), О зубчатой передаче роторов винтовых компрессоров, Proc Instn Mech Engrs Vol 212 Часть С
- [6] SSLChang (1956), Компрессор конусного типа, патент США 2 733 854.
- [7] О.Дмитриев, Э.Табота (2014), Рабочий конический винтовой компрессор, 12-я Европейская конференция по гидродинамике. Machinery Congress, Эдинбург, Великобритания
- [8] Дмитриев О., Табота Э., Арбон И. М., Миниатюрный роторный компрессор со степенью сжатия 1:10, Конф. IOP 2015 г. Сер.: Матер. науч. англ. 90 012055