Новое поколение винтовых многофазных насосов. Использование новейшей конструктивной концепции для получения превосходных рабочих характеристик и сжатия жирного газа.

Мирза Камран
Seepex, Inc.

The Next Generation of Progressive Cavity Multiphase Pumps: Using Novel Design Concepts for Superior Performance and Wet Gas Compression.

Kamran Mirza
Seepex, Inc.

КРАТКОЕ ИЗЛОЖЕНИЕ

Интенсивные испытания и разработки, осуществляемые за последние два года, привели к созданию новой концепции, успешно продемонстрировавшей, что семейство винтовых многофазных насосов пополнилось и появилась возможность перекачивать не только смеси с большим содержанием газовой фракции, но и большие объемы газа, в то же время, увеличивая срок службы этих многофазных насосов. В данной концепции используется статор с равной толщиной стенки (в дальнейшем – равнопрофильный статор). В отличие от обычных статоров, имеющих овальное сечение полости с обрезиненной секцией переменной толщины, равнопрофильный статор оснащен резиновым покрытием, имеющим одинаковую толщину по всей полости. Это обеспечивает уникальные преимущества, а результаты превзошли ожидания. Эксплуатационные характеристики многофазного винтового насоса с новым равнопрофильным статором таковы, что этот насос нашел успешное применение в новых областях и с таким и требованиями, выполнение которых с помощью обычной конструкции было бы невозможно.

В данном документе подробно описывается новый подход в использовании равнопрофильного резинового статора в многофазном винтовом насосе. Испытания показали, что соблюдение прецизионных

SUMMARY

In the last two years, extensive testing and development has led to a new concept that has successfully demonstrated that the operating envelope of the progressive cavity multiphase pump can be expanded to handle not only higher gas volume fractions, but also much larger volumes of gas, and at the same time increasing the service life of these multiphase pumps. This new concept utilizes an equal wall stator. Unlike conventional stators that have an oval shaped cross-sectional cavity with a rubber section of variable thickness, the equal wall stator has a uniform thickness of rubber all around the cavity. This provides unique advantages and results have exceeded expectations. The performance of a progressive cavity multiphase pump with this new equal wall stator has led to the successful application of such a multiphase pump in new areas and more demanding applications than was possible with the conventional design.

This paper describes in detail the novel approach of using an equal wall rubber stator in a progressive cavity multiphase pump. Tests have shown that precise dimensional control of such a stator allows higher pressures per stage, and the thermal gradients along the length of the stator dissipate the heat more efficiently thereby permitting the stator to operate much cooler than a comparable conventional stator. The lowering of the operating temperature of the rubber is shown to have a

размеров статора позволяет повысить давление на каждой ступени насоса, а температурные градиенты вдоль статора распределяются таким образом, что тепло рассеивается более эффективно, тем самым значительно снижая рабочую температуру такого статора, по сравнению с обычным. Снижение рабочей температуры резины напрямую влияет на увеличение срока службы насоса, снижая, тем самым, эксплуатационные расходы. Дальнейшие испытания показали, что конструкция с равнопрофильным статором позволяет многофазному винтовому насосу работать при более высокой степени сжатия и перекачивать значительно больший объем газа, что особенно удобно при использовании насоса в качестве компрессора жирного (неотбензиненного) газа.

ПРЕДЫСТОРИЯ

Принцип «перемещающихся» полостей (Progressive Cavity) был изобретен в 1930 г французским математиком. Первой попыткой применения этой технологии была разработка турбонагнетателя для поршневых авиационных двигателей. Она была неудачной на тот момент, но последующее применение устройства в качестве насоса было весьма успешным, а остальные области применения канули в историю. Тем не менее, свойства сжатия

direct relationship to the longer service life of the pump thus reducing maintenance costs.

Further testing has proven that the equal wall stator allows the progressive cavity multiphase pump to handle significantly higher compression ratios, and enhances its ability to handle much higher volumes of gas, thereby making it particularly suitable as a wet gas compressor.

BACKGROUND

The Progressive Cavity principle was developed in the 1930's by a French mathematician. The first attempt to apply this technology was in the development of a turbo-charger for reciprocating aircraft engines. This was not successful at the time, but subsequent applications as a pump were met with great success, and the rest is history. However, the compressor feature of this technology was always inherent in the Progressive Cavity principle, and it was not until the 1990's that it evolved from a pump to a hybrid version that incorporated the combined features of the pump and compressor for multiphase applications. The Progressive Cavity pump always enjoyed unique design advantages that made it suitable for pumping liquids and solids. Now with the advent of the multiphase concept, it became even more appropriate for use

Рис 1: Монтаж равнопрофильного многофазного насоса на площадке. Модель 240-12V.

Figure 1: Field installation of an equal wall multiphase pump Model 240-12V.

(компрессии) всегда были присущи принципу «перемещающихся полостей». Однако эти свойства были использованы лишь в 1990 г, когда насос превратился в гибридную конструкцию, сочетающую в себе свойства насоса и компрессора, пригодную для перекачивания многофазных смесей. Винтовому насосу всегда присущи уникальные конструкционные преимущества, позволяющие ему осуществлять перекачку жидкости и твердой фазы. В настоящее время, с появлением многофазной концепции, это становится еще более приемлемым для использования такой конструкции при перекачивании смесей, состоящих из твердой фазы, жидкости и газов.

Таким образом, насос становится идеальным для использования в нефтегазовой промышленности, где встречаются все три фазы флюида. Возможность увеличения давления и транспортировки не сепарированной многофазной смеси по одному трубопроводу делает винтовой насос конкурентоспособной альтернативой обычным методам с предварительной сепарацией перед транспортировкой. Значительное снижение давления на устье скважины с соответствующим увеличением дебита является ключевым преимуществом многофазного винтового насоса.

Многофазный насос, показанный на **рис. 1**, эксплуатировался более года. Расход составляет 6500 куб м в сутки при частоте вращения 300 об/мин и дифференциальном давлении 24 бар. Объем газовой фракции варьируется от 70% до 92%, а содержание песка составляет менее 2% (объема). Такое применение весьма подходит для многофазного насоса с равнопрофильным статором, поскольку при дифференциальном давлении 24 бар для обычного насоса потребовался бы статор почти вдвое большей длины.

Многофазный винтовой насос с обычным статором в течение многих лет успешно использовался для перекачки многофазных флюидов. Он применялся в широком диапазоне рабочих условий, как в качестве одиночного агрегата, так и в схемах с параллельной работой нескольких насосных агрегатов, с особым успехом для увеличения отдачи на старых месторождениях. В настоящее время следующее поколение многофазных винтовых насосов – с равнопрофильным статором – нацелено на расширение сферы использования для перекачки большего объема газовых фракций и сжатого жирного газа, при которых требуется более высокая степень сжатия.

По сравнению с большинством типов насосов, винтовой насос представляет собой простую конструкцию. Типовая конструкция многофазного насоса с обычным статором показана на **рис. 2**.

in pumping mixtures consisting of solids, liquids and gases. Thus, it was ideal for applications in the oil and gas industry where all three phases are encountered. The ability to boost pressure and transport un-separated multiphase fluids through a single pipeline make the Progressive Cavity pump a viable alternative to conventional methods of separation and transportation. The efficient reduction of well-head pressures to increase fluid production is a key benefit of the Progressive Cavity multiphase pump.

The multiphase pump shown above in **Figure 1** has been in operation for more than a year. The flow rate is 6500 cubic metres per day at 300 rpm and a differential pressure of 24 Bars. Gas Volume Fraction varies between 70% and 92%, and the sand content is less than 2% by volume. This application was very suitable for an Equal Wall Stator multiphase pump because the 24 bar differential pressure would have required a Conventional Stator almost twice as long as the equal Wall Stator.

The Progressive Cavity multiphase pump with a Conventional Stator has been successfully applied in multiphase applications for many years. It has been widely used in a large spectrum of operating conditions, both as a single unit and a system consisting of multi-units in parallel, but its greatest success has been in enhancing production in older fields. Now the next generation of Progressive Cavity multiphase pump, with the Equal Wall stator is poised to extend its application into higher Gas Volume Fractions and Wet Gas Compression that requires high compression ratios.

Compared to most types of pumps, a Progressive Cavity pump is a simple device. A typical version of such a multiphase pump with a Conventional Stator is shown in **Figure 2**.

Рис. 2: Типовой многофазный винтовой насос
Figure 2: A basic Progressive Cavity Multiphase Pump

The rotor and stator set, suction housing, gear reducer and motor are modular units and can be mixed and matched to suit the operating conditions. As shown in

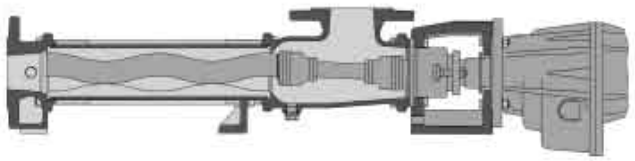

Рис. 3: Схема внутреннего строения винтового насоса
Figure 3: Internal schematic of a Progressive Cavity Pump

19th World Petroleum Congress Madrid

Conference & Exhibitions

A World in Transition: Delivering Energy for Sustainable Growth

June 29th - July 3rd 2008 - Register online: www.19wpc.com

19TH WORLD PETROLEUM CONGRESS

Host Sponsors

REPSOL YPF

CEPSA

Gold Sponsors

bp

Chevron

ExxonMobil

gasNatural

BR PETROBRAS

ارامكو السعودية Saudi Aramco

TOTAL

Silver Sponsors & Official Partners

ABENGOA BIOENERGIA

BNP PARIBAS
Official bank

CLH

Deloitte.
Official auditor and business consultant

Eni

IBM

MOL

nexen

PETROLEUM ECONOMIST
Official Publication

PRICEWATERHOUSECOOPERS

StatoilHydro

THE WALL STREET JOURNAL. EUROPE PRINT & ONLINE
Official International Business Newspaper

Bronze Sponsors

accenture
High performance. Delivered.

ACS

AENOR

BUREAU VERITAS

enagas

GRACE
Grace Davison Refining Technologies

KPMG

Schlumberger

TEEKAY

Узел ротора-статора, всасывающий корпус, редуктор и электродвигатель являются модульными узлами и могут взаимно заменяться, для обеспечения соответствия различным рабочим условиям. Как показано на **рис. 3**, «сердцем» насоса является уникальная конструкция ротора и статора.

Одинарный винтовой металлический ротор вращается внутри статора, имеющего форму двойного винта, образуя замкнутые полости, которые перемещаются от входа насоса к его выходу, заключая в себе транспортируемые многофазные флюиды. Ключевым фактором успешной работы многофазного винтового насоса является конструктивная геометрия ротора и статора.

ГЕОМЕТРИЯ ОБЫЧНОГО СТАТОРА

Конструкция обычного статора представляет собой двойную винтовую спираль, образуемую формованной резиной, прикрепляемой к внутренней поверхности круглой трубы. Поперечные сечения в любой точке вдоль оси представляют собой овалы различной формы вследствие неодинаковой толщины слоя резины.

Резина плохо проводит тепло, поэтому в более тонком слое тепло рассеивается по поверхности более эффективно, а в толстом слое резины тепло аккумулируется, вызывая ее отвердение вследствие эффекта вулканизации, что, в конечном счете, приводит к «гистерезисному» отказу (различная упругость резины в разных точках).
В нормальном режиме работы по перекачке флюида (однофазный режим) имеется два источника генерирования тепла: трение между поверхностями ротора и статора и изгибание резины при вращении ротора внутри статора. При работе по перекачке многофазного флюида, особенно при большом объеме газовой фракции, появляется дополнительный источник тепла при адиабатическом сжимании газа. Очевидно, что чем больше объем сжимаемого газа и чем больше степень сжатия, тем больше выделяется тепла.

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ СТАТОРА

С целью решения проблемы рассеивания тепла была применена новая конструкция статора, в котором толщина слоя резины одинакова во всех сечениях, то есть вместо формованного статора в круглой трубе используется равнопрофильный статор. Как показано на **рис. 4**, в таком статоре используется труба специальной формы, наружная поверхность которой повторяет форму внутренней винтовой спирали полости статора.

Такая конструкция имеет несколько преимуществ. Равная толщина стенки резины позволяет более эффективно и равномерно удалять тепло, при этом в слое резины не образуется участков перегрева,

Figure 3, the heart of the pump is the unique design of the rotor and stator.

The single helix metal rotor turns inside a double helix stator forming sealed cavities that move from the suction end to the discharge end transporting the multiphase fluids. The design of the rotor and stator geometries is a key factor in the operational success of the Progressive Cavity multiphase pump.

CONVENTIONAL STATOR GEOMETRY

The traditional stator design involved a double helix cavity formed by moulding rubber inside a round metal tube and bonded to the inner wall of the tube. At any given cross-section along its entire length, the oval cavity creates a non-uniform rubber shape of varying thickness. Rubber is not a good conductor of heat, so the thinner sections are able to conduct the heat to the surface and dissipate it efficiently, but the thicker sections of rubber are less efficient and the heat accumulates in the rubber hardening it through additional curing and ultimately leading to “hysteresis” failure.

In a normal fluid pumping application, the heat is generated from two sources, friction between the rotor and stator surface, and the flexing of the rubber as the rotor turns inside the stator. In multiphase applications, especially in high gas fractions, there is an additional source of heat from the adiabatic compression of the gas. Obviously, there will be more heat generated when larger volumes of gas are subjected to higher compression ratios.

NEW STATOR CONCEPT

In order to alleviate the heat removal issue, a new stator concept was utilized which involves a stator with a uniform equal thickness of rubber. Instead of a moulded stator in a round tube, an equal wall stator is used. As shown in **Figure 4**, this type of stator uses a special tube that is formed with the outer wall shaped in the same spiral configuration as the inside spiral of the stator cavity.

Рис. 4: Равнопрофильный статор в разрезе.
Figure 4: Cutaway section of an equal wall stator.

This concept has several advantages. The equal wall thickness of the rubber removes the heat more efficiently and uniformly so there are no hot spots formed within the rubber section thus reducing and practically eliminating the possibility of hysteresis failure within the rubber. The rubber sections can be maintained to much thinner levels which allow the heat transfer efficiency to increase and the rubber stays cooler during operation thus leading to a significant increase in the service life of the stator.

Это должно работать.
И оно будет работать.

Турбины Solar для нефтегазовой отрасли.

Доверие. Это то, что составляет основу нашего бизнеса. Когда Вы инвестируете в Solar Turbines, Вы доверяете нам и мы поставляем Вам гораздо большее, чем просто надежное оборудование. Вы рассчитываете на то, что мы полностью выполним взятые на себя обязательства. Вы полагаетесь на нашу репутацию надежного партнера. Вы ожидаете от нас постоянной сервисной поддержки. И мы Вас не подведем.

Мы установили газовые турбины в 93 странах. Тридцать восемь наших сервисных центров с обслуживающим персоналом, прошедшим обучение на заводе, имеющие склады запасных частей, работающие 24 часа в сутки, обслуживают заказчиков. Мы предлагаем готовые решения для электрогенерирования и компримирования газа, включая услуги строительства «под ключ», финансирование, эксплуатацию и обслуживание. Поэтому наши заказчики получают необходимую рентабельность и оптимальные характеристики. Это тот путь, которому Вы можете доверять.

За дополнительной информацией обращайтесь на интернет сайт www.solarturbines.com или по телефону +7 (495) 755-8153

©2009 Solar Turbines Incorporated

Solar® Turbines
A Caterpillar Company

тем самым, снижая (а, практически, исключая) возможность «гистерезисного» повреждения резины. Толщина слоя резины может быть значительно снижена, позволяя более эффективно передавать тепло и снижая рабочую температуру резины, что приводит к значительному увеличению срока службы статора.

Поскольку коэффициент теплового расширения у резины значительно больше, чем у стали, тонкий слой резины не меняет свой размер при изготовлении и эксплуатации, т.е. контроль размера становится очень точным. Такая точность обеспечивает создание четко контролируемого зазора между ротором и статором, позволяя многофазному насосу достигать более высокого давления на каждую ступень и более высокой степени сжатия.

Для обычного статора дифференциальное давление составляет 6 бар на ступень. За одну ступень принимается шаг винта на статоре. Это эквивалентно удвоенной расчетной длине ротора, поскольку винт ротора является однозаходным, а винт статора – двухзаходным. Для сравнения: равнопрофильный статор обеспечивает давление 12 бар на ступень.

ИСПЫТАНИЯ В КОЛЬЦЕВОМ КОНТУРЕ ПОТОКА

Для подтверждения преимуществ применения равнопрофильного статора в многофазной перекачке, были проведены обширные испытания. Первой задачей программы испытаний было сравнение рабочих характеристик многофазного винтового насоса с новым равнопрофильным статором и с обычным статором. Второй задачей являлось определение предельных рабочих параметров и подтверждение дополнительных преимуществ многофазного насоса с равнопрофильным статором.

Рис. 5: Многофазный кольцевой контур, используемый для испытания равнопрофильного статора.

Кольцевой контур потока показан на **рис. 5**. Диаметр трубной обвязки увеличен до 10 см для обеспечения возможности испытания насосов производительностью до 4800 м3/сут. Также увеличены размеры и мощность электродвигателя привода и КИП для проведения в будущем испытаний более крупных насосов.

Для испытаний был выбран многофазный насос компании «Seepex», модель NS 70-12V. В его состав входят следующие компоненты: комплектный (картриджный) узел торцевых уплотнений двойного действия компании Burgmann Cartex, статор из гидрогенизированного нитрила, ротор со специальным покрытием и устройство защиты от работы в «сухом» режиме. В систему входит частотно-регулируемый привод, не показанный на

Since the coefficient of thermal expansion of the rubber is much greater than steel, the thin section of rubber does not change size during manufacturing or operation and the dimensional control is very precise. This accuracy provides a very controlled interference between the rotor and stator allowing the multiphase pump to achieve higher pressure per stage and higher compression ratios.
A Conventional Stator typically handles a differential pressure of 6 Bars per stage. The lead of the spiral on the stator is considered as one stage. This equates to two pitch lengths of the rotor since the rotor has a single helix and the stator has two helices. By comparison, the Equal Wall Stator handles 12 Bars per stage.

FLOW LOOP TESTING

In order to validate the advantages of the Equal Wall stator in multiphase applications, extensive testing was performed. The first objective of the test program was to compare the performance of the Progressive Cavity multiphase pump using the new Equal Wall stator versus the Conventional Stator. A second objective was to establish the operational limits and confirm the additional advantages of the Equal Wall stator multiphase pump.

Рис. 5: Многофазный кольцевой контур, используемый для испытания равнопрофильного статора.
Figure 5: Multiphase Flow Loop used for validation tests of Equal Wall stator.

The flow loop is shown in **Figure 5**. It was designed with 10 centimetre diameter piping so that pumps with larger capacity up to 4800 Cubic Metres Per Day could be tested. Similarly, the electric motor and the controls were oversized to permit future tests of larger pumps.
The pump selected for testing was a seepex multiphase pump Model NS 70-12V. It consisted of a Burgmann Cartex double-acting cartridge unit mechanical seal, hydrogenated nitrile stator, a rotor with a special coating, and a dry running protection device. The system included a Variable Frequency Drive not shown in the picture. Pressure transducers and thermocouples were used to monitor and record the data. A separator and secondary

рисунке. Для мониторинга и регистрации данных использовались датчики давления и термопары. Для изменения объема газовой фракции использовались сепаратор и вторичный насос.

Данный насос имеет номинальную производительность 1600 м3/сут при 300 об/мин и дифференциальном давлении 24 бар. Данный агрегат был выбран в качестве контрольного потому, что его рабочие параметры подходят для перекачки многофазных сред, встречающихся на старых месторождениях со снижающимся объемом добычи, где технология «перемещающихся полостей» показала себя наиболее эффективной для увеличения добычи и продления срока эксплуатации месторождения.

Агрегат испытывался при изменении входного давления от 2 до 10 бар, и объема газовой фракции от 70 до 99 %. Температура на входе менялась в диапазоне 25 ÷ 40°C. Скорость потока газа при испытаниях достигала 30 м/с, скорость потока жидкости – 5 м/с с тем, чтобы создать все режимы потока: расслоенный поток, глобулярный поток и кольцевой поток.

В данном документе рассмотрены два варианта рабочих условий: работа при 80% и 95% (объемн.) газовой фракции. Температура на входе принята стандартной, равной 40°C, входное давление принято равным 6 бар.

pump unit was used to vary the Gas Volume Fraction. This particular pump was rated for 1600 Cubic Metres Per Day at 300 rpm and differential pressures of 24 Bars. It was selected as a benchmark because its operating range was suitable for multiphase applications encountered in older fields with declining production where the Progressive Cavity multiphase has proven most successful in increasing production and extending the useful life of the field.

The test conditions ranged from suction pressures of 2 to 10 Bars, and Gas Volume Fractions from 70 to 99 %. The inlet temperature ranged from 25 to 40 degrees C. The tests were conducted with gas velocities up to 30 metres/sec and liquid velocities up to 5 metres/sec in order to cover the full range of flow regimes from Stratified Flow to Slug Flow to Annular Flow.

The two sets of conditions selected for the purpose of this paper were at 80% Gas Volume Fraction and 95% Gas Volume Fraction. The inlet temperature was standardized at 40 degrees C, and the inlet pressure at 6 Bars.

SIGNIFICANT RESULTS AND TRENDS

One of the most notable performance improvements in the Equal Wall stator multiphase pump was the increase in the total flow rate. It is a fact that due to the compressibility of the gas, the total flow rate of a Progressive Cavity multiphase pump is higher than its designed flow rate for liquids. However, the magnitude of the increase exceeded expectations.

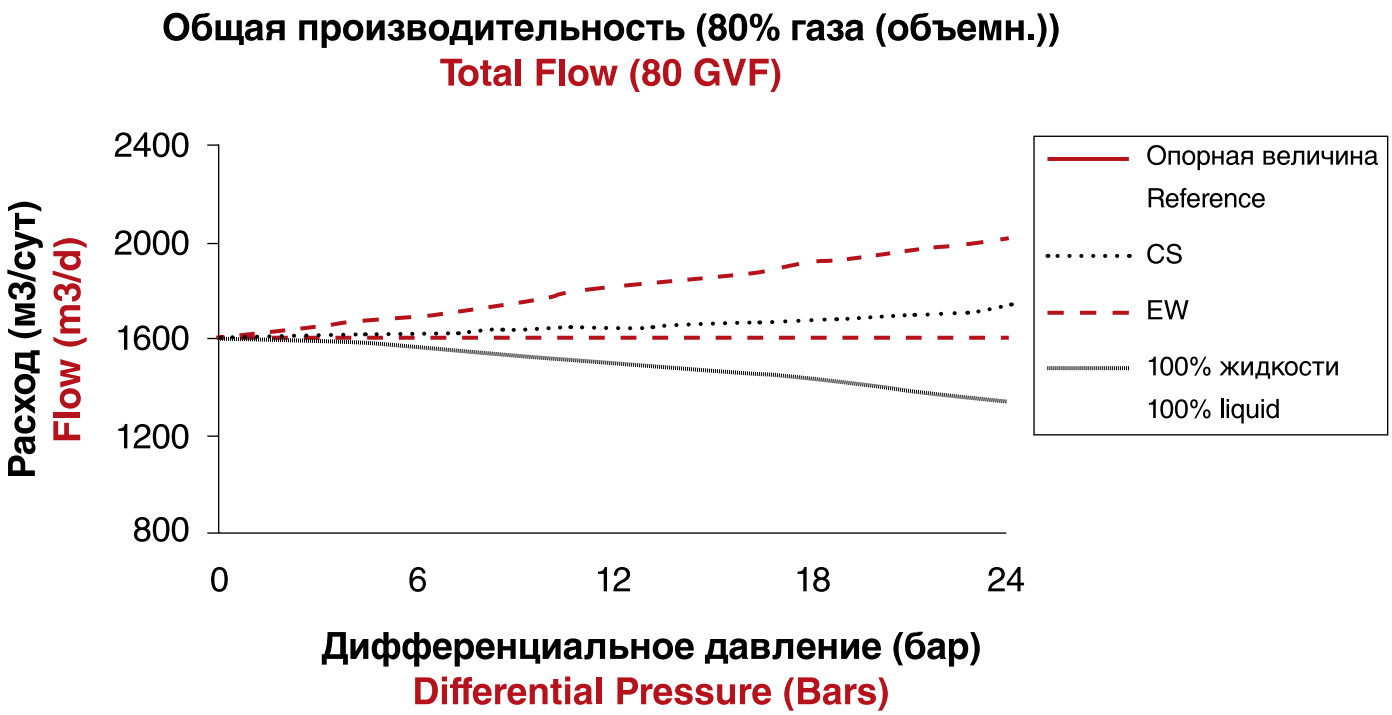

Рис. 6: Общая производительность при 80% (объемн.) газовой фракции

Figure 6: Total Flow Rate at 80% Gas Volume Fraction

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ТЕНДЕНЦИИ

Одним из значимых улучшений рабочих характеристик при работе многофазного насоса с равнопрофильным статором было общее увеличение производительности. Известно, что вследствие сжимаемости газа, общая производительность многофазного винтового насоса выше его расчетной производительности по жидкости. Тем не менее, величина повышения производительности превзошла ожидания.

Причиной является прецизионный зазор между ротором равнопрофильным статором. Благодаря этому основному эффекту больше газа засасывается в полости вследствие улучшенной степени сжатия.

На **рис. 6** суммированы результаты испытаний, проводимых при 80% (объемн.) газовой фракции. Сплошная горизонтальная линия, называемая опорной, показывает идеальные условия, когда отсутствует сдвиг между ротором и статором. Кривая «100% жидкости» показывает снижение производительности при однофазном режиме, когда поток представляет собой чистую жидкость без примеси газа. Для многофазного потока пунктирной линией показана производительность при использовании обычного статора (имеет обозначение CS). Обозначение EW относится к равнопрофильному статору, кривая его производительности выполнена штрихпунктирной линией. Для обоих случаев применения как обычного, так и равнопрофильного статора, многофазный поток

This can be attributed to the precise sealing between the rotor and the Equal Wall stator. This phenomenon was so dominant that more gas was being drawn into the cavities as a result of better compression.

Figure 6 summarizes the results of tests performed at a Gas Volume Fraction of 80%. The solid horizontal line referred to as Reference shows the ideal condition when there is no slip between the rotor and stator. The 100 liquid curve shows the slippage in flow rate for a single phase condition when the flow consists entirely of liquid and no gas is present. For the multiphase flow, the dotted line in the diagram denotes the flow rate of a Conventional Stator and is designated by CS. In the legend, EW refers to the multiphase flow rate of an Equal Wall Stator and is plotted as a curve consisting of a dashed line. For both, the Conventional Stator and the Equal Wall Stator, the multiphase flow rate had a Gas Volume Fraction of 80%. Data was recorded at Differential Pressures of 6, 12, 18 and 24 Bars.

In the 100% liquid scenario, the slippage is a direct function of differential pressure across the pump. Therefore, as the differential pressure is increased the slippage not only increases, but at higher differential pressures the rate of increase in slippage is also greater as a percentage of the total flow. The no-load flow rate was 1600 Cubic Metres Per day. At a differential pressure of 12 Bars the flow rate reduced to 1510 Cubic Metres Per Day, but at 24 Bars, the flow rate had dropped to 1350 Cubic Metres Per Day.

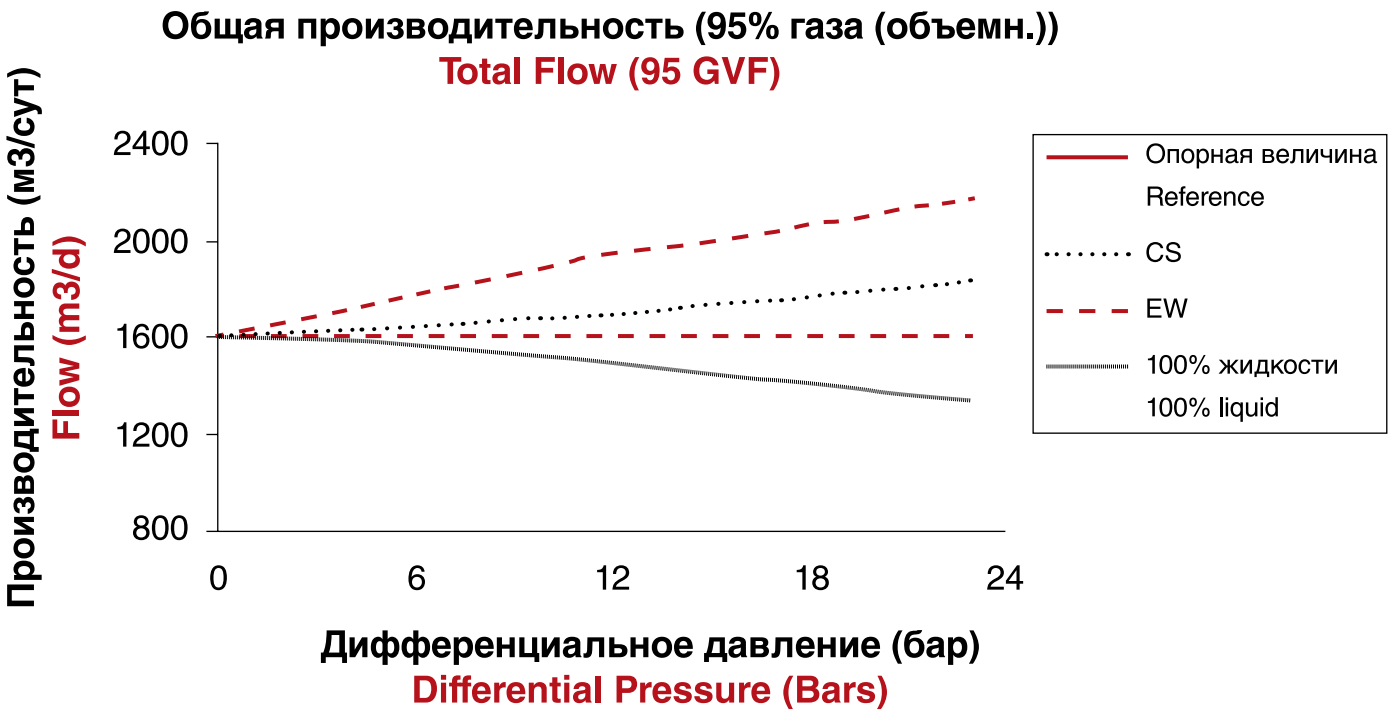

Рис. 7: Общая производительность при 95% (объемн.) газовой фракции

Figure 7: Total Flow Rate at 95% Gas Volume Fraction

содержал 80% (объемн.) газовой фракции. Данные регистрировались при дифференциальном давлении 6, 12, 18 и 24 бар.

В варианте со 100% потоком жидкости, снижение производительности пропорционально дифференциальному давлению насоса. Таким образом, при увеличении дифференциального давления имеет место не только снижение производительности, но и возрастает процентное значение этого снижения по отношению к общей производительности. Производительность при отсутствии нагрузки составляла 1600 куб. м/сут. При дифференциальном давлении 12 бар производительность снизилась до 1510 м3/сут, а при дифференциальном давлении 24 бар производительность упала до 1350 м3/сут. При использовании обычного статора при объеме газовой фракции 80%, увеличение производительности при перепаде 24 бар составило 8% или 127 м3/сут. При тех же условиях и использовании равнопрофильного статора, общая производительность увеличилась до 1825 куб. м/сут, т.е. почти на 15%.

When a Conventional Stator was used, at 80% GVF, the increase in flow recorded at 24 Bars was an additional 8% or 127 equivalent Cubic Metres Per Day. At the same conditions, when an Equal Wall Stator was used, the multiphase pump increased the Total Flow to 1825 Cubic Metres Per Day, an increase of almost 15%.

Figure 7 uses the same nomenclature as described above. The notation 100 liquid stands for the curve showing the flow rate for a 100% liquid condition. The curves for CS and EW represent the multiphase flow rate for the Conventional Stator and the Equal Wall Stator respectively. The Differential Pressure range tested was the same except that the Gas Volume Fraction was 95% instead of 80%.

At a Gas Fraction of 95%, the trend was similar but the increases in Total Flow rate were greater. This is understandable as more gas is available for compression, but it was also a result of the gas being compressed more effectively. With a Conventional Stator, at 24 Bars, the Total Flow increased to approximately 1780 Cubic Metres Per Day or an increase of about 12%. For the same conditions, the Equal Wall stator showed an increase of

С 1961 г.

Feam

RTR Ex Proof ATEX 99/9/CE

IEC IECEx

НАША ПРОДУКЦИЯ ОБЕСПЕЧИТ ВАМ БЕЗОПАСНУЮ РАБОТУ

EEx-d IIB / IIC
ЩИТЫ ПУСКАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОВОРОТНЫЕ И МНОГОПОЗИЦИОННЫЕ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛИ СЕРИЙ #EFSC.. И #EFDC

EEx-d IIB / IIC
СОЕДИНИТЕЛЬНЫЕ КОРОБКИ И ШКАФЫ СЕРИЙ #EJB.. И #GUB

EEx-d IIB / IIC
РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ ЩИТЫ ПИТАНИЯ И ЭЛЕКТРООСВЕЩЕНИЯ СТОЙКИ ПРИБОРНЫХ ЩИТКОВ

EEx-d IIB / IIC
ПРОЖЕКТОРЫ СЕРИЙ #SFD.. И #RCDE

EEx-d IIC
ОСВЕТИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА ДЛЯ ГАЗОРАЗРЯДНЫХ ЛАМП И ЛАМП НАКАЛИВАНИЯ СЕРИИ #EVAC

EEx-d IIC
ЛЮМИНЕСЦЕНТНАЯ ОСВЕТИТЕЛЬНАЯ АРМАТУРА ДЛЯ ЛАМП СО СТАНДАРТНЫМИ ИЛИ МАЛЕНЬКИМИ ЦОКОЛЯМИ С РЕЗЕРВНОЙ УСТАНОВКОЙ ИЛИ БЕЗ НЕЕ СЕРИИ #EVF

ГОТОВЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ЛЮБЫХ УСЛОВИЙ РАБОТЫ В ОПАСНЫХ ЗОНАХ

FEAM Srl - *via Mario Pagano 3 - 20090 Trezzano S/N - MILAN - ITALY*
Ph. +3902-484741 - Fx. +3902-4456189 - Web: www.feam-ex.com - info@feam-ex.com

Взрывобезопасные электротехнические узлы и детали

ISO 9001:2000

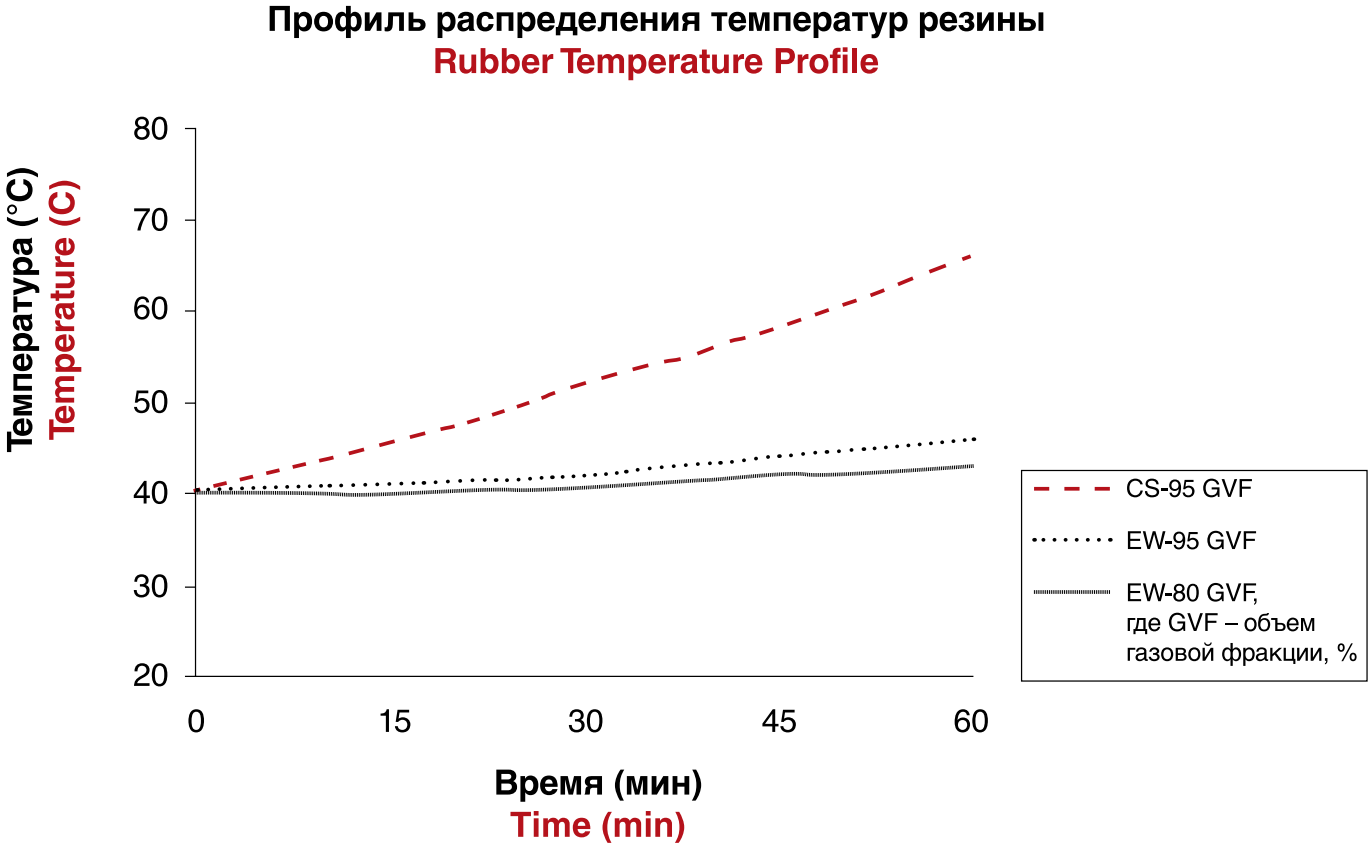

Рис. 8 / Figure 8: Rubber Temperature Profiles for Conventional and Equal Wall Stators

На **рис. 7** использованы те же условные обозначения, что и на рис 6. Обозначение «100% жидкости» использовано для кривой при работе со 100% потоком жидкости. Кривые, обозначенные CS и EW, означают производительность при работе с обычным и равнопрофильным статором соответственно. Дифференциальное давление было то же самое, но объем газовой фракции составлял не 80 а 95%. При объеме газовой фракции 95%, общая тенденция оставалась такой же, но увеличение производительности было еще большим. Это объясняется тем, что больше газа было доступно для сжатия, но это также является и результатом более эффективного сжатия газа. При использовании обычного статора и дифференциальном давлении 24 бар, общая производительность увеличилась до значения около 1780 м3/сут, т.е. на 12%. При равных условиях и использовании равнопрофильного статора, увеличение общей производительности составило 535 м3/сут, т.е. 34%.

Другой важной тенденцией является более низкая температура резины равнопрофильного статора, несмотря на большую степень сжатия. Проверки температуры, приведенные в данном документе, были выполнены при давлении на входе 6 бар и степени сжатия 4. Выбор именно такого значения степени сжатия при выполнении проверки обусловлен тем, что такое значение обычно является предельным для обычного статора. Однако насос с равнопрофильным

535 equivalent Cubic Metres Per Day resulting in a Total Flow increase of 34%.

The other significant trend that was recorded was the lower rubber temperature in the Equal Wall Stator in spite of the greater compression. The temperature tests referenced in this paper were conducted at a Suction Pressure of 6 Bars and a Compression ratio of 4. The choice of presenting a comparison at a Compression Ratio of 4 was based on the fact that this has historically been the limiting factor for the Conventional Stator. The pump with the Equal Wall Stator however, was tested at Compression Ratios as high as 10, and at a GVF of 95% the maximum rubber temperature recorded was 134 C. As a reference, the hydrogenated nitrile rubber generally used for multiphase applications is rated for a maximum temperature of 150 C.

The temperature changes recorded in the stator rubber were plotted as shown in Figure 8. The dashed line noted as EW-80 refers to the temperature of the rubber in the Equal Wall Stator when operating in a Gas Volume Fraction of 80%. The dotted line curve EW-95 represents the temperature change in the rubber of the Equal Wall stator with Gas Volume Fraction of 95%. The solid line CS-95 refers to the temperature changes in the rubber of the Conventional Stator also at 95% Gas Volume Fraction. The temperature of the fluid standardized for the purpose of the test was 40 degrees C. The fluid was circulated and the rubber temperature

статором был испытан при степени сжатия, равной 10, и объеме газовой фракции 95%, при этом максимальная температура резины составила 134°C. Для справки укажем, что максимальная рабочая температура гидрогенизированной нитрильной резины, используемой в перекачке многофазных сред, составляет 150°C.

Рис. 8: Изменения в профиле распределения температур резины для обычного и равнопрофильного статоров показан на графиках на рис. 8. Штрихпунктирной линией (EW-80) показана температура резины равнопрофильного статора при работе с объемом газовой фракции 80%. Пунктирной линией (EW-95) показана температура резины равнопрофильного статора при работе с объемом газовой фракции 95%. Сплошной линией (CS-95) показана температура резины обычного статора при работе с объемом газовой фракции 95%.

Температура флюида была стандартной и составляла 40°C. Флюид циркулировал в контуре, а температура резины регистрировалась через 15, 30, 45 и 60 мин. После часа работы при объеме газовой фракции 95%, температура резины обычного статора повысилась на 26 градусов. При том же объеме газовой фракции температура резины равнопрофильного статора повысилась на 6 градусов. При объеме газовой фракции 80% повышение температуры резины равнопрофильного статора было ничтожно малым.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При использовании равнопрофильного статора общая производительность многофазного винтового насоса увеличивается вследствие уменьшения зазоров в полостях. Увеличение производительности при использовании равнопрофильного статора составило 15% ÷ 34% по сравнению с соответствующим увеличением 8% ÷ 12% при использовании обычного статора.

Снижение температуры резины в равнопрофильным статоре вследствие более эффективного рассеивания тепла обеспечивает длительное сохранение реологических свойств резины и увеличивает срок службы статора. Обычные статоры с увеличением температуры в диапазоне 20÷40°C, при использовании в многофазной перекачке, имеют срок службы в среднем 2 года. Необходимо отметить, что температура сама по себе не является достаточным индикатором срока службы, который зависит от множества факторов, включая присутствие абразивных частиц, например, в виде песка. Однако, при прочих равных условиях меньшее увеличение температуры (менее 10°C) весьма благоприятно с точки зрения снижения отказов в результате теплового воздействия. В настоящее время насос идентичной конструкции смонтирован на месторождении Северная Альберта, Канада, и

was recorded at 15, 30, 45 and 60 minutes. After an hour of operation the rubber temperature in a Conventional Stator was 26 degrees higher at a GVF of 95%. At the same GVF the Equal Wall stator had a recorded temperature that was 6 degrees higher. At 80% GVF the Equal Wall stator showed a negligible increase in rubber temperature.

CONCLUSIONS

The Equal Wall stator design of the Progressive Cavity multiphase pump increases the Total Flow rate of the pump due to precise sealing of the cavities. Increases in Flow Rate ranging from 15% to 34% were recorded for the Equal Wall Stator versus 8% to 12% for the Conventional Stator.

The lower rubber temperatures in Equal Wall stators due to efficient dissipation of heat are able to retain the rheological properties of the rubber for longer durations and therefore it is expected that this will result in longer stator service life. Conventional Stators with temperature increases ranging from 20 C to 40 C have reported an average service life of 2 years in multiphase applications. It should be noted that temperature alone is not a sufficient indicator of the stator service life, which depends on many variables including the presence of abrasives like sand. However, all conditions being equal, the lower temperature increase of less than 10 C is favourable from the standpoint of reducing rubber failures due to heat. An identical pump has now been installed at a field in Northern Alberta, Canada, and is being monitored to further confirm this correlation.

The higher Compression Ratios greater than 4 and as high as 10 resulting from the Equal Wall stator multiphase pump now extend the usage of Progressive Cavity pumps into Wet Gas Compressor applications.

While Flow Loop tests are continuing, with the installation of these Equal Wall stator multiphase pumps in the field, new data is becoming available and the results so far have been very encouraging. These case studies will be reported in separate technical papers in the future.

ведется его мониторинг с целью подтверждения этой взаимосвязи. Более высокая степень сжатия (от 4 до 10), создаваемая многофазным насосом с равнопрофильным статором, делает возможным применение винтового насоса в качестве компрессора жирного газа. Пока продолжаются испытания насоса в кольцевом контуре, становятся доступными новые данные многофазного насоса с равнопрофильным статором, смонтированного на месторождении, которые пока являются весьма обнадеживающими. Результаты этих исследований будут представлены в технических отчетах в будущем.