

АНАЛИЗ УСЛОВИЙ РАБОТЫ ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ ВИНТОВЫХ ПОГРУЖНЫХ НАСОСОВ

ANALYSIS OF THE OPERATING CONDITIONS OF THE TRIBO CONNECTORS OF SUBMERSIBLE SCREW PUMPS

М. М. Ахмедпашаев

Murad M. Ahmedpashaev

Дагестанский государственный
технический университет,
г. Махачкала,
Российская Федерация

Daghestan State Technical University,
Makhachkala, Russian Federation

На показатели надежности основных узлов винтовой насосной установки оказывают влияние эксплуатационные факторы, поэтому в работе проведен анализ условий работы рабочих деталей погружных насосов. Главные преимущества одновинтовых насосов заключены в широком диапазоне их применения по параметрам перекачиваемой жидкости. В процессе испытания погружного насоса имели место следующие поломки и отказы: обрыв насосно-компрессорных труб у устья скважины по основанию конусной резьбы; обрыв винта от подпятника; отрыв стопорного устройства со сливным клапаном.

Рабочий процесс насоса определяется взаимодействием его рабочих органов — винта и обоймы — в их относительном движении. Для анализа рабочего процесса рассмотрен наиболее распространенный вариант: неподвижная обойма и планетарно движущийся винт.

Кинематическая пара «винт — обойма» в каждом поперечном сечении может быть представлена в виде двух начальных окружностей, одна из которых обкатывается внутри другой без скольжения с постоянной угловой скоростью. Для непрерывного контакта пары «винт — обойма» и, следовательно, для обеспечения работы погружного насоса требуется соблюдение условий обкатки начальных окружностей и выполнение необходимых профилей винтовых поверхностей.

Рассмотрено поперечное сечение рабочих органов насоса с точки зрения их кинематики. Центр сечения винта совершает гармонические колебания по большой оси поперечного сечения обоймы. Возникающие крутящие моменты и осевые силы действуют только на выпуклых частях винта, создавая ему вибрирующее колебание, уменьшающее его усталостную прочность.

The reliability indicators of the main units of the screw pumping unit are influenced by operational factors, therefore, the analysis of the operating conditions of the working parts of submersible pumps is carried out in the work. The main advantages of single-screw pumps lie in a wide range of their application in terms of the pumped liquid parameters. During testing of the submersible pump, the following breakdowns and failures took place: breakage of tubing at the wellhead at the base of the tapered thread; breakage of the screw from the thrust bearing; detachment of the locking device with a drain valve.

The working process of the pump is determined by the interaction of its working bodies — the screw and the cage — in their relative motion. To analyze the workflow, the most common option is considered: a fixed cage and a planetary propeller.

The kinematic pair «screw — cartridge clip» in each cross section can be represented in the form of two initial circles, one of which is rolled inside

Ключевые слова

погружной насос;
рабочие детали; винт — ротор;
обойма — статор; движение;
колебание;
усталостная прочность

Key words

submersible pump;
working details; screw — rotor;
clip — stator; motion;
fluctuation; fatigue strength

the other without sliding at a constant angular velocity. For continuous contact of a pair «screw — cage» and, consequently, to ensure the operation of the submersible pump, it is necessary to comply with the conditions for running in the initial circles and fulfill the necessary profiles of the helical surfaces.

The cross section of the pump working bodies is considered from the point of view of their kinematics. The center of the screw section performs harmonic oscillations along the major axis of the yoke cross-section. The resulting torques and axial forces act only on the convex parts of the propeller, creating a vibrating vibration for it, which reduces its fatigue strength.

Винтовые насосы с поверхностным приводом получают все большее распространение на нефтяных месторождениях России, так как они позволяют обеспечить возможность добычи пластовой жидкости повышенной вязкости с большим содержанием механических примесей и газа, а также снизить себестоимость добычи нефти за счет их низкой стоимости и высокой надежности. На показатели надежности основных узлов винтовой насосной установки (поверхностный привод, вращательная и лифтовая колонны, винтовой насос) оказывают влияние эксплуатационные факторы, поэтому анализ условий работы трибосопряжений винтовых погружных насосов весьма актуален.

Область применения любого типа насосов характеризуется большим количеством параметров: полем подач и напоров (давлений), характеристиками перекачиваемой жидкости (плотностью, температурой, вязкостью, химической агрессивностью, содержанием твердых частиц и т.п.), конструктивно эксплуатационными особенностями (насосы выносные, погружные, скважинные, передвижные и др.).

Главные преимущества винтовых насосов заключены в широком диапазоне их применения по параметрам перекачиваемой жидкости. Вязкость существенно влияет на течение жидкости как в трубопроводах, так и внутри насоса. Повышение вязкости влечет за собой пропорциональное повышение потерь на трение жидкости. Это приводит к тому, что в динамических насосах резко снижается напор, теряя прочность винта.

Винтовые насосы по принципу действия и конструкции относятся к роторно-вращательным винтовым насосам [1, 2].

Согласно общей теории роторных насосов [2, 3], основные рабочие элементы насоса следующие: обойма (статор) — неподвижный рабочий орган, имеющий по концам приемную (всасывающую) и отдающую (напорную)

камеры; винт (ротор) — вращающийся вокруг неподвижной оси рабочий орган, связанный с приводным валом гидромашин; замыкатель — рабочий орган, герметично соприкасающийся со статором и ротором и разделяющий приемную и отдающую камеры. Несмотря на свою специфику, винт и обойма одновинтового насоса удовлетворяют основным условиям профилирования винтов, сформулированным еще А. В. Крыловым [2].

В одновинтовом насосе замыкатель остановлен и совмещен с обоймой, а подвижным элементом является винт, совершающий планетарное движение (рисунок 1). Поэтому при расчете рабочих органов можно применить те же условия работы, что и планетарные зубчатые передачи: соосности, симметричного размещения воображаемых двух сателлитов и условия соседства. Возникающие при этом на двух соседних выступах винта крутящие моменты действуют в противоположных направлениях, уменьшая его усталостную прочность. Для подтверждения указанных выше предположений нами было проведено испытание насосной одновинтовой установки типа УН1ВС, проведенное на скв. 19Т Избербашского НГДУ ОАО «ПК «Роснефть-Дагнефть», на глубине спуска 1000 м. Установка УН1ВС непрерывно проработала в скважине 50 сут, обеспечивая устойчивую подачу жидкости в количестве 8,1 м³/сут при потребляемой мощности 5,45 кВт.

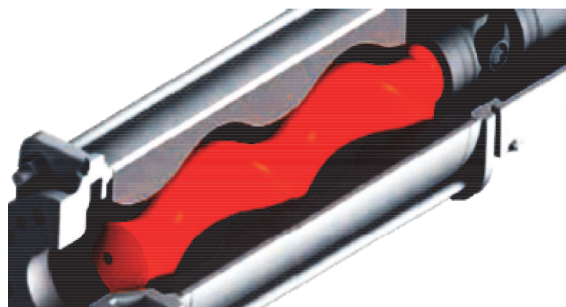


Рисунок 1. Трибосопряжение «винт — обойма»

В процессе испытания имели место следующие поломки и отказы: обрыв насосно-компрессорных труб у устья скважины по основанию конусной резьбы; обрыв винта от подпятника; отрыв стопорного устройства со сливным клапаном, связанным прямо или косвенно с винтом. Поэтому дальнейшее исследование было направлено на более подробное исследование слабого звена трибосопряжения.

Для создания в одновинтовом насосе рабочего объема в виде шлюзов, герметично отделенных от всасывающей и напорной камер, необходимо и достаточно выполнения следующих условий [2]:

- 1) винтовые поверхности должны соприкасаться по линии, непрерывно отделяющей область нагнетания от области всасывания;
- 2) нормаль в точке соприкосновения винта и обоймы должна проходить через полюс;
- 3) число зубьев (заходность) обоймы z_2 должно быть на единицу больше числа зубьев (заходности) винта z_1 :

$$z_2 = z_1 + 1; \tag{1}$$

4) отношение ходов обоймы T и винта t должно быть пропорционально отношению числа зубьев:

$$T/t = z_2/z_1. \tag{2}$$

Рабочий процесс насоса определяется взаимодействием его рабочих органов — винта и обоймы — в их относительном движении [3–5]. Для анализа рабочего процесса рассмотрим наиболее распространенный вариант: неподвижная обойма и планетарно движущийся винт. Кинематическая пара «винт — обойма» в каждом поперечном сечении может быть представлена в виде двух начальных окружностей, одна из которых (связанная с винтом) обкатывается внутри другой (связанной с обоймой) без скольжения с постоянной угловой скоростью. Теоретически можно создать одновинтовой насос с рабочим органом, сконструированным с любым кинематическим отношением, т.е. $i = z_2/z_1$ (рисунок 2).

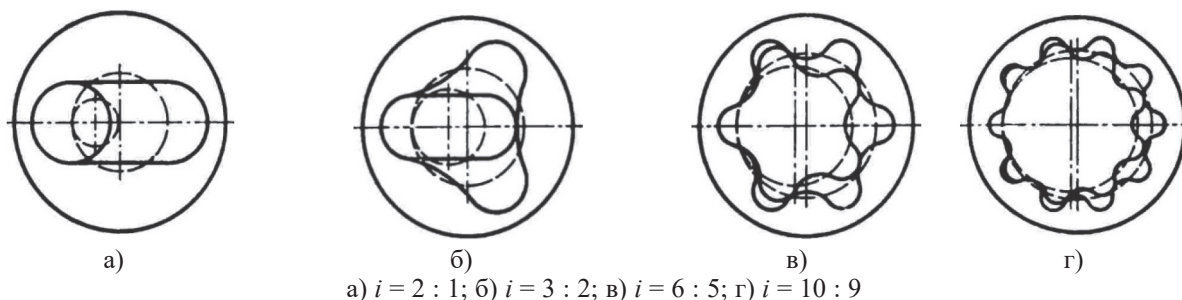


Рисунок 2. Кинематические схемы одновинтовых насосов

Кроме осевой силы [6], на винт высоконапорного погружного насоса действует крутящий момент, возникающий в местах контакта на расстоянии шага винта трибосопряжений, определяемый по известной формуле [7]:

$$M_в/M_{эл} = \omega_{эл}/\omega_в = u_{ред}, \tag{3}$$

$$\text{отсюда } M_в = M_{эл} \cdot \omega_{эл}/\omega_в, \tag{4}$$

где $\omega_{эл} = 9554P/n$, $\omega_в$ — угловые скорости электродвигателя и винта соответственно;

P — мощность электродвигателя, кВт;

n — частота вращения электродвигателя, мин⁻¹;

$u_{ред}$ — передаточное число редуктора.

Возникающие крутящие моменты и осевые силы действуют только на выпуклых частях винта, создавая ему вибрирующее колебание, уменьшающее усталостную прочность.

Для непрерывного контакта пары «винт — обойма» и, следовательно, для обеспечения

работы погружного насоса требуется соблюдение условий обкатки начальных окружностей и выполнения необходимых профилей винтовых поверхностей.

На рисунке 3 показано произвольное сечение рабочих органов насоса с плоскостью, перпендикулярной продольной оси обоймы. Штриховыми линиями показаны начальные окружности винтов и соответствующей им обоймы. Наружная окружность неподвижна. Так как оси винта совпадают с центрами внутренних окружностей, совершающих планетарное движение, то и ось винта будет совершать такое же движение.

Точка качения, находящаяся на внутренней окружности, которая катится по неподвижной наружной окружности, будет перемещаться по гипоциклоиде. В общем случае контур исходной винтовой поверхности обоймы образуется как эквидистанта гипоциклоиды, он

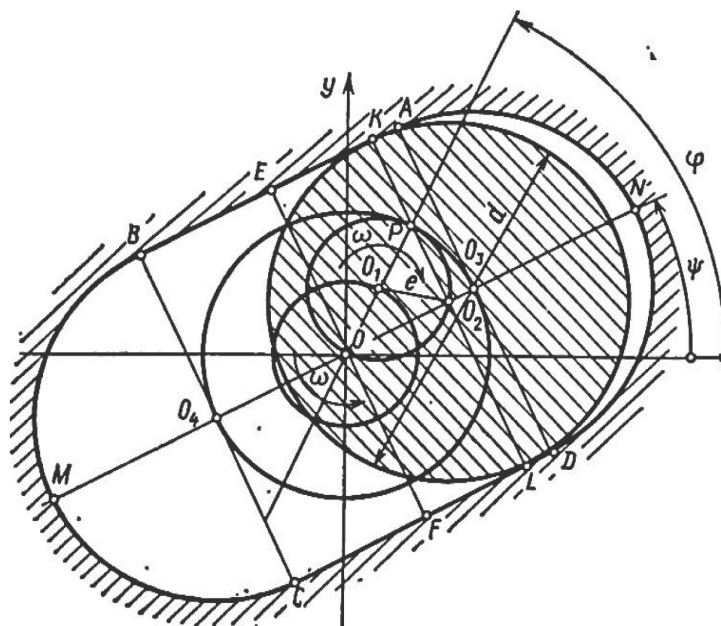


Рисунок 3. Сечение рабочих органов одновинтового насоса плоскостью, перпендикулярной к продольной оси обоймы

состоит из долей окружности, соединенных гипоциклоидальными кривыми.

Профиль сопряженной поверхности винта образуется как огибающий исходного профиля при качении начальных окружностей. Центр сечения обоймы совпадает с центром наружной окружности обоймы, а центр сечения винта — с центром внутренней окружности винта.

Геометрические размеры рабочей части винта и обоймы целиком определяются следующими величинами: диаметром винта d , эксцентриситетом e , шагом t , длиной обоймы l .

Рассмотрим винтовую пару с кинематическим отношением $i = 2 : 1$. Ход винтовой поверхности двухзаходной обоймы $T = 2t$.

Положение обоймы в этом сечении определяется углом $\psi = \pi \cdot z_2 / 2t$, а положение винта — углом поворота φ . Условия контакта поверхностей винта и обоймы в значительной степени определяют рабочий процесс погружного насоса.

Рассмотрим поперечное сечение рабочих органов насоса с точки зрения их кинематики. Здесь центр сечения винта совершает гармонические колебания по большой оси поперечного сечения обоймы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ивановский В.Н. Скважинные насосные установки для добычи нефти. М.: Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2002. 824 с.
2. Крылов А.В. Одновинтовые насосы. М.: Гостоптехиздат, 1962. 15 с.

Ускорение, действующее по линии O_1O_2 , является центростремительным оси O_1 винта в его движении вокруг оси O_2 обоймы.

Для работы насоса существенны также скорости точек касания винта и обоймы K и L , так как скольжение винта в обойме вызывает трение и износ рабочих органов.

Выводы

Рассмотрены условия работы трибосопряжений винтовых погружных насосов.

Возникающие крутящие моменты и осевые силы действуют только на выпуклых частях винта, создавая ему вибрирующее колебание, уменьшающее его усталостную прочность.

В результате проведенных исследований выявлено, что одной из причин выхода из строя погружного насоса являются вибрирующие колебания, возникающие вследствие крутящих моментов и осевых сил, действующих неравномерно по всему сечению винта.

Дальнейшие исследования будут направлены на поиск возможных путей повышения работоспособности слабого звена — винта погружного насоса.

3. Балденко Д.Ф., Бидман М.Г., Калишевский В.Л. Винтовые насосы. М.: Машиностроение, 1982. 227 с.
4. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д. Перспективы создания гидроприводных винтовых насосных установок для добычи нефти // Нефтяное хозяйство. 2002. № 3. С. 67–69.

5. Блинов Д.С. Планетарные роликовинтовые механизмы: конструкции, методы расчетов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. 221 с.

6. Рязанцев В.М., Плясов В.В. Осевая сила, действующая на винт одновинтового однопоточного высоконапорного погружного насоса // Вестник машиностроения. 2010. № 2. С. 7–10.

7. Дунаев И.Ф., Леликов О.П. Конструирование узлов деталей машин. М.: Издательский центр «Академия», 2007. 495 с.

REFERENCES

1. Ivanovskii V.N. *Skvazhinnye nasosnye ustanovki dlya dobychi nefi* [Downhole Pumping Units for Oil Production]. Moscow, «Nef' i gaz» RGU nefi i gaza im. I.M. Gubkina Publ., 2002. 824 p. [in Russian].

2. Krylov A.V. *Odnovintovye nasosy* [Single Screw Pumps]. Moscow, Gostoptekhizdat Publ., 1962. 15 p. [in Russian].

3. Baldenko D.F., Bidman M.G., Kalishevskii V.L. *Vintovye nasosy* [Screw Pumps]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1982. 227 p. [in Russian].

4. Baldenko D.F., Baldenko F.D. Perspektivy sozdaniya gidroprivodnykh vintovykh nasosnykh ustanovok dlya dobychi nefi [Prospects for the Creation of Hydraulic Screw Pumping Units for Oil Production]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2002, No. 3, pp. 67–69. [in Russian].

5. Blinov D.S. *Planetarnye rolikovintovye mekhanizmy: konstruksii, metody raschetov* [Planetary Roller Screws: Structures, Calculation Methods]. Moscow, MG TU im. N.E. Bauman Publ., 2006. 221 p. [in Russian].

6. Ryazantsev V.M., Plyasov V.V. Oseвая сила, deistvuyushchaya na vint odnovintovogo odnopotochnogo vysokonapornogo pogruzhnogo nasosa [Axial Force on the Screw of a Single-Flow High-Pressure Submersible Pump]. *Vestnik mashinostroeniya — Russian Engineering Research*, 2010, No. 2, pp. 7-10. [in Russian].

7. Dunaev I.F., Lelikov O.P. *Konstruirovaniye uzlov detalei mashin* [Design of Assemblies of Machine Parts]. Moscow, Izdatel'skii tsentr «Akademiya» Publ., 2007. 495 p. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

ABOUT THE AUTHOR

Ахмедпашаев Мурад Магомедпашаевич, аспирант кафедры «Основы конструирования машин и материаловедение», Дагестанский государственный технический университет, г. Махачкала, Российская Федерация

Murad M. Ahmedpashaev, Postgraduate Student of the Department «Fundamentals of Machine Design and Materials Science», Daghestan State Technical University, Makhachkala, Russian Federation

e-mail: ahmedpashaev@mail.ru