РОЛИКОВЫЙ ВИНТОВОЙ ПРИВОД СКВАЖИННОГО ШТАНГОВОГО НАСОСА

THE ROLLER SCREW DRIVE OF THE DOWNHOLE SUCKER ROD PUMP

А. А. Козлов

Aleksey A. Kozlov

АО «ТатНИИнефтемаш»,
г. Казань, Российская Федерация

TatNIIneftemash JSC,
Kazan, Russian Federation

В. П. Жулаев

Valeriy P. Zhulaev

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

К. Р. Уразаков

Kamil R. Urazakov

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

В настоящее время большую часть нефтяных скважин составляют малодебитные, эксплуатируемые погружными штанговыми насосами, приводом которых являются станки-качалки. Для увеличения дебита скважин нефтяных месторождений на поздней стадии их разработки проводятся различные геолого-технические мероприятия. При этом станки-качалки не обеспечивают требуемые параметры режима работы глубинного насоса. Как альтернатива станкам-качалкам выступают установки с цепным и гидравлическим приводом, а также длинноходовые. Однако в силу определенных недостатков эти установки не позволяют заменить станки-качалки.

Работы по конструированию привода скважинного штангового насоса ведутся как в направлении совершенствования двигателей, так и преобразующего механизма. Рядом преимуществ обладает привод скважинного штангового насоса с зубчато-реечным преобразующим механизмом. Однако и он не лишен недостатков. В статье приводится описание разработанного привода скважинного штангового насоса, в котором в качестве преобразующего механизма используется ролик-винтовая передача. Для проведения лабораторных испытаний были изготовлены образцы ролик-винтового привода с длиной хода 600 и 2600 мм. Испытания проводились с тяговым усилием величиной 0,8 кН. Проведенные лабораторные испытания показали работоспособность привода, а также необходимость увеличения его несущей способности и износостойкости ролик-винтовой пары.

Currently, most of the oil wells are low-capacity, operated by submersible rod pumps driven by rocking machines. Various geological and technical measures are carried out to increase the production rate of oil field wells at the late stage of their development. In this case, the rocking machines do not provide the required parameters of the deep pump operation mode. As an alternative to rolling mills, there are installations with chain and hydraulic drive, as well as long-stroke ones. However, due to certain disadvantages, these installations do not allow to replace the rocking machines.

Work on the design of the downhole rod pump drive is being carried out both in the direction of improving the engines and the converting mechanism. The drive of a downhole sucker rod pump with a rack and pinion converting mechanism has a number of advantages. However, it is not without drawbacks. The article provides a description of the proposed drive the downhole sucker rod pump in which the conversion mechanism uses a roller screw transmission. For laboratory testing, samples of a roller screw drive with a stroke length of 600 and 2600 mm were produced. The tests were performed with a tractive effort of 0.8 kN. Laboratory tests have shown the operability of the drive, as well as the need to increase its bearing capacity and wear resistance of the roller-screw.

Ключевые слова

винт; длина хода; испытание;
насос; преобразующий механизм;
привод; ролик;
скважина; станок-качалка

Key words

screw; stroke length; test;
pump; converting mechanism;
drive; roller; well;
rocking machine

Одним из распространенных видов оборудования для добычи нефти являются скважинные штанговые насосы (СШН). В качестве привода СШН чаще всего используют балансирные станки-качалки (СК), преобразующие вращательное движение вала электродвигателя в возвратно-поступательное движение колонны насосных штанг. Такое положение определяется как простотой их конструкции, так и высокой надежностью в процессе эксплуатации. Однако для СК характерны и недостатки, обусловленные высокой металлоемкостью и, как следствие, массой, существенными затратами на регулирование параметров работы, неоптимальной скоростью движения балансира, недостаточной безопасностью при обслуживании вследствие большого количества открытых движущихся элементов.

Инженерами и учеными постоянно ведутся работы как по совершенствованию конструкции СК, так и созданию приводов штанговых скважинных насосов (ПШСН) иного типа. В работе [1] обозначены два основных направления совершенствования ПШСН. Первое касается приводных двигателей. Так, кроме асинхронных электродвигателей стали применять вентильные и линейные двигатели, электродвигатели с частотными преобразователями, а также с преобразователями переменного тока в постоянный. Находят применение двигатели внутреннего сгорания, использующие энергию попутного газа. Другое направление относится к совершенствованию преобразующего механизма.

Уменьшить массу и металлоемкость, снизить динамическую составляющую нагрузок в процессе эксплуатации позволяют безбалансирные приводы. Эти приводы позволяют также уменьшить число качаний и существенно увеличить длину хода плунжера насоса. Известны безбалансирные СК с кривошипно-шкивным преобразующим механизмом и гибким тяговым элементом в виде стального каната. Шкивы и канат используют также для дополнительного уравнивания балансирных СК с целью уменьшения нагрузок на их элементы [2, 3].

В длинноходовых насосных установках (ДХНУ) в качестве тягового элемента предлагается использовать металлическую ленту, периодически наматываемую и сматываемую с барабана наземного привода. Переключение направления вращения барабана обеспечивается реверсивным двигателем [4].

Известны также ДХНУ с тяговыми элементами в виде стального каната и круглозвенной цепи [5]. Главным недостатком таких установок считается весьма низкая надежность тяговых элементов, обусловленная действием циклических нагрузок при их наматывании и сматывании, что приводит к частым обрывам.

Из длинноходовых приводов в настоящее время промышленно выпускаются цепные приводы ROTAFLEX американского и китайского производства, а также отечественные цепные приводы типа ПЦ, разработанные в ПАО «Татнефть» [6]. В цепных приводах преобразователем вращательного движения в возвратно-поступательное выступает цепной реверсирующий механизм, связанный с подвижной устьевой штока, перекинутым через направляющий шкив большого диаметра стальным канатом. В этих приводах надежность работы тяговых элементов существенно выше по сравнению с ленточными и канатными. Однако громоздкость конструкции, высокая металлоемкость, существенные затраты на техническое обслуживание и монтаж, невозможность регулирования длины хода плунжера насоса не дают этому типу привода широкого применения на нефтяных промыслах.

Увеличить длину хода колонны штанг без существенного увеличения габаритов установки позволяет использование гидравлического привода. Преимуществом гидроприводных штанговых насосных установок считается их небольшая масса, что не требует сооружения специального фундамента и позволяет выполнить их монтаж на устье скважины за короткий промежуток времени. В этих установках имеет место бесступенчатое регулирование режима работы, а плавный ход нагружения способствует уменьшению нагрузок в штанговой колонне [7]. В настоящее время разработаны гидроприводные насосные установки ГЕЙЗЕР, ГЕРОН, АВЕГА и др.

Для любого гидравлического привода характерен ряд недостатков. Одним из них является зависимость вязкости рабочей жидкости от температуры, что усложняет его эксплуатацию в условиях отрицательных температур. Многие элементы гидропривода имеют сложную конструкцию, что увеличивает затраты на их изготовление и обслуживание. Применяемые в гидроприводах под высоким давлением минеральные масла повышают пожаро- и взрывоопасность объектов нефтедобычи.

На современном этапе эксплуатации скважин (особенно малодебитных) с целью увеличения их продуктивности проводится большое количество различных геолого-технических мероприятий, что предъявляет дополнительные требования к насосному оборудованию. Таковыми, в частности, являются высокая мобильность, возможность регулирования режима работы в широком диапазоне, способность поддерживать оптимальные параметры эксплуатации при уменьшении притока жидкости в скважину.

Компанией UNICO для СШН предлагается привод LRP, устанавливаемый на фонтанной арматуре скважины с помощью планшайбы, что не требует затрат для подготовки специальной площадки. Движение плунжера насоса обеспечивается реверсивным асинхронным электродвигателем через редуктор, реечную зубчатую передачу и колонну насосных штанг. Станция управления электродвигателем поддерживает оптимальное изменение скорости перемещения устьевого штока, что позволяет уменьшить инерционные нагрузки. Первые испытания привода LRP проводились в ОАО «Оренбургнефть», ООО «РН-Краснодарнефтегаз», ОАО «РН-Нижневартовск». Испытания показали высокую мобильность привода. В качестве преимуществ отмечается повышенный уровень безопасности (все движущиеся элементы выполнены закрытыми), а также простота в обслуживании (сводится к замене масла).

Основным недостатком привода признается малая длина хода полированного штока — не более 1,5 м. В этом случае для достижения требуемой производительности СШН необходимо увеличивать число ходов плунжера, что приводит к увеличению нагрузки на полированный шток установки. Отсутствие уравновешивающего устройства в конструкции привода увеличивает нагрузку на редуктор, а следовательно, и электропотребление. Также известным недостатком зубчатой передачи считается ее жесткость, не позволяющая компенсировать возможные увеличения нагрузки, что приведет к частым остановкам привода при срабатывании защитного устройства [8, 9].

В АО «ТатНИИнефтемаш» (г. Казань) разработан оригинальный вариант привода СШН, в основе которого заложено применение относительно новой кинематической схемы преобразующего механизма — роликовой винтовой передачи. Данная передача яв-

ляется одной из разновидностей передачи винт — гайка. Применение роликов в качестве промежуточных тел качения увеличивает возможность передачи больших усилий при небольших потерях на трение.

Принципиальная схема роликового винтового привода (РВП) представлена на рисунке 1. Привод состоит из стойки 1, выполненной в виде П-образной рамной конструкции и закрепленной на основании 2. Винт 3 закрепляется в верхней и нижней частях стойки концевыми подшипниковыми опорами (на схеме не показаны). Ходовая гайка 4 устанавливается на винте с возможностью возвратно-поступательного перемещения по его длине. На наружной поверхности винта 3 нарезаются винтовые канавки 5. Сечение винта 3 и ходовой гайки 4 показано на рисунке 2. В углублениях ходовой гайки в плоскости, перпендикулярной основанию, на осях устанавливаются обкатные ролики, форма поперечного сечения которых соответствует форме канавок 5. Ходовая гайка 4 оснащена двумя вставками с возможностью изменения направления перемещения. Винт 3 приводится во вращение от мотор-редуктора 6 через клиноременную передачу 7.

Ходовая гайка 4 связана с кареткой 8, оснащенной катками 9. Каретка вместе с гайкой 4 совершает возвратно-поступательное движение по высоте стойки 1. На верхнем основании стойки закреплены с возможностью вращения направляющие шкивы 10. Траверса 11 посредством каната 12 и катков 9 связана с кареткой 8. Уравновешивающий груз 13 закрепляется на каретке. РВП работает при одностороннем вращении мотор-редуктора без его реверсирования.

На первом этапе был изготовлен рабочий макет РВП с длиной хода 600 мм с вращающейся гайкой и ходовым винтом, совершающим возвратно-поступательное движение в вертикальном направлении. Вторым вариантом был привод с вращающимся винтом и возвратно-поступательно перемещающейся гайкой, показанный на рисунке 3.

Вторым этапом было изготовление опытного образца РВП с длиной хода 2600 мм и тяговым усилием 0,8 кН для вертикального ствола скважины (рисунок 4). Привод испытывался в лабораторных условиях. В качестве электродвигателя был использован мотор-редуктор мощностью 5 кВт. В ходе испытаний удалось добиться стабильной работы РВП с числом ходов 3,5 мин⁻¹.

1 — стойка; 2 — основание; 3 — винт; 4 — ходовая гайка; 5 — спиральная канавка; 6 — мотор-редуктор; 7 — клиноременная передача; 8 — каретка; 9 — каток; 10 — направляющий шкив; 11 — траверса; 12 — канат; 13 — уравнивающий груз

Рисунок 1. Принципиальная схема роликового винтового привода

Рисунок 2. Сечение винта и ходовой гайки

Рисунок 3. Роликовый винтовой привод с длиной хода 600 мм

Рисунок 4. Роликовый винтовой привод с длиной хода 2600 мм

Предлагаемый РВП позволяет исключить недостатки известных конструкций приводов СШН, что дает возможность его применения при эксплуатации малодебитных обводненных скважин. Лабораторные испытания показали работоспособность данного варианта РВП.

Вывод

Реализованы технические решения привода как с вращающейся гайкой, так и с вращающимся винтом. Для проведения промышленных испытаний РВП необходимо повысить его несущую способность, а также увеличить износостойкость роликово-винтовой пары.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Ивановский В.Н. Повышение интереса к штанговым насосным установкам — в чем причина? // Территория «Нефтегаз». 2013. № 8. С. 46–47.
2. Уразаков К.Р., Жулаев В.П., Булюкова Ф.З., Молчанова В.А. Насосные установки для малodeбитных скважин. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2014. 236 с.
3. Бахтизин Р.Н., Уразаков К.Р., Исмагилов С.Ф., Топольников А.С., Давлетшин Ф.Ф. Динамическая модель штанговой насосной установки для скважин с направленным профилем ствола // Научные труды НИПИ Нефтегаз ГНКАР. 2017. № 4. С. 74–82. DOI: 10.5510/OGP20170400333.
4. Храмов Р.А. Длинноходовые насосные установки для добычи нефти. М.: Недра, 1996. 207 с.
5. Тахаутдинов Р.Ш., Ахунув Р.М., Кочубей М.В., Денисов Ю.К. Опыт эксплуатации длинноходовой глубинно-насосной установки для добычи трудноизвлекаемых запасов нефти // Экспозиция Нефть Газ. 2018. № 6 (66). С. 37–41.
6. Валовский К.В., Шамсутдинов И.Г., Федосеенко Н.В., Валовский В.М. Опыт создания цепного привода ПЦ 35–3,5–0,5/2,5, монтируемого над устьем скважины // Экспозиция Нефть Газ. 2019. № 1 (68). С. 38–41.
7. Молчанов А.Г. Пути дальнейшего совершенствования штанговых скважинных насосных установок // Бурение и нефть. 2014. № 2. С. 3–8.
8. Якимов С.Б., Клусов А.А., Баринов А.А. Линейный привод ШГН. Первый опыт применения в России // Территория «Нефтегаз». 2013. № 8. С. 48–54.
9. Клусов А.А. Приводы ШГН, применяемые на месторождениях ОАО «НК «Роснефть». Первый опыт применения линейных приводов компании UNICO // Инженерная практика. 2014. № 5. С. 54–59.

REFERENCES

1. Ivanovskii V.N. Povyshenie interesa k shtangovym nasosnym ustanovkam — v chem prichina? [Increased Interest in Sucker Rod Pumping Units — What is the Reason?]. *Territoriya «Neftegaz» — Oil and Gas Territory*, 2013, No. 8, pp. 46–47. [in Russian].
2. Urazakov K.R., Zhulaev V.P., Bulyukova F.Z., Molchanova V.A. *Nasosnye ustanovki dlya malodebitnykh*

skvazhin [Pumping Units for Marginal Wells]. Ufa, UGNTU Publ., 2014. 236 p. [in Russian].

3. Bakhtizin R.N., Urazakov K.R., Ismagilov S.F., Topolnikov A.S., Davletshin F.F. *Dinamicheskaya model' shtangovoi nasosnoi ustanovki dlya skvazhin s napravlenным profilem stvola* [Dynamic Model of a Rod Pump Installation for Inclined Wells]. *Nauchnye trudy NIPI Neftegaz GNKAR — SOCAR Proceedings*, 2017, No. 4, pp. 74–82. DOI: 10.5510/OGP20170400333. [in Russian].

4. Khramov R.A. *Dlinnokhodovye nasosnye ustanovki dlya dobychi nefiti* [Long Stroke Pumping Units for Oil Production]. Moscow, Nedra Publ., 1996. 207 p. [in Russian].

5. Takhautdinov R.Sh., Akhunov R.M., Kochubei M.V., Denisov Yu.K. *Opyt ekspluatatsii dlinnokhodovoi glubinno-nasosnoi ustanovki dlya dobychi trudnoizvlekaemykh zapasov nefiti* [Experience of a Long Stroke Deep Well Pumping Unit Operation for Hard to Recover Oil Reserves Production]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz — Exposition Oil Gas*, 2018, No. 6 (66), pp. 37–41. [in Russian].

6. Valovskii K.V., Shamsutdinov I.G., Fedoseenko N.V., Valovskii V.M. *Opyt sozdaniya tsepnogo privoda PTs 35–3,5–0,5/2,5, montiruемого nad ust'em skvazhiny* [Development Of PTs 35–3.5–0.5/2.5 Chain Drive Mounted above Wellhead]. *Ekspozitsiya Neft' Gaz — Exposition Oil Gas*, 2019, No. 1 (68), pp. 38–41. [in Russian].

7. Molchanov A.G. *Puti dal'neishego sovershenstvovaniya shtangovykh skvazhinnykh nasosnykh ustanovok* [Ways of Further Sophistication of Well Rod Pump Units]. *Burenie i nefit' — Drilling and Oil*, 2014, No. 2, pp. 3–8. [in Russian].

8. Yakimov S.B., Klusov A.A., Barinov A.A. *Lineinyi privod ShGN. Pervyi opyt primeneniya v Rossii* [Linear Drive Sucker Rod Pump. First Experience of Application in Russia]. *Territoriya «Neftegaz» — Oil and Gas Territory*, 2013, No. 8, pp. 48–54. [in Russian].

9. Klusov A.A. *Privody ShGN, primenyaemye na mestorozhdeniyakh ОАО «НК «Роснефть». Pervyi opyt primeneniya lineinykh privodov kompanii UNICO* [Sucker Rod Pumping Units Used in the Fields of OJSC NK Rosneft. First Experience with UNICO Linear Actuators]. *Inzhenernaya praktika — Engineering Practice*, 2014, No. 5, pp. 54–59. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ABOUT THE AUTHORS

Козлов Алексей Александрович, главный специалист по насосному оборудованию, АО «ТатНИИнефтемаш», г. Казань, Российская Федерация

Aleksey A. Kozlov, Chief Specialist for Pumping Equipment, TatNIIneftemash JSC, Kazan, Russian Federation
e-mail: kozlov52@list.ru

Жулаев Валерий Петрович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Valeriy P. Zhulaev, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Field Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation
e-mail: v.zhulaev@mail.ru

Уразаков Камил Рахматуллович, д-р техн. наук, профессор кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Kamil R. Urazakov, Doctor of Engineering Sciences, Professor of Oil and Gas Field Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation