

УДК 622.276.53

А.А. Исаев, ведущий инженер отдела инноваций и экспертизы, ООО УК «Шешмаойл», e-mail: isaeff-oil@yandex.ru;
К.И. Архипов, к.т.н., доцент, профессор кафедры нефтегазового оборудования, Альметьевский государственный нефтяной институт, e-mail: ngo@agni-rt.ru

Разработка и испытание штанговых лопаток винтовых насосных установок для добычи нефти

С целью увеличения напора штангового винтового насоса разработаны штанговые лопатки, которые вращаются вместе со штангами. Получены положительные данные по результатам стендовых и промысловых испытаний.

Ключевые слова: штанговый винтовой насос, штанговая лопатка, напор, стендовые исследования, опытные коэффициенты.

Эксплуатация установок скважинных винтовых насосов в осложненных условиях показывает снижение подачи насосов при увеличении давления нагнетания жидкости. В частности, это характерно при добыче высоковязких нефтей или при добыче пескосодержащих жидкостей из-за износа эластомера

статора штангового винтового насоса (ШВН).

Для сохранения подачи насосов в интервале максимальных значений давлений разработаны так называемые лопатки, закрепленные на штангах, которые, вращаясь вместе со штангами, увеличивают напор, создаваемый установкой ШВН, частично снижая гидродинамическую нагрузку на насос и уменьшая тем самым утечки в винтовой паре [1–3].

Лопатки, благодаря своей форме, подобной лопаткам осевого насоса, создают некоторый напор, используя вращение штанговой колонны.

Разработаны различные варианты штанговых лопаток.

Металлическая штанговая лопатка (МШЛ) содержит вал 1 (рис. 1) с соединительными на концах резьбами 2 и 3, лопатки 4, выполненные в виде сегментов шнека, соединенных с валом 1 неразъемно, например, сваркой, клепкой, термопрессованием, пайкой, формовкой и др. Колонна насосных штанг 5 (рис. 2) соединяется с валом 1 резьбами 2 и 3. Лопатка 4 является частью специального винта – шнекового транспортера, причем шаг P_1 винтовой линии лопатки 4 меньше шага P_2 винтовой линии шнекового транспортера.

Линейными размерами лопатки 4 являются стороны a , b и c . Диаметры цилин-

рических поверхностей d_1 и d_2 выполнены в соответствии с $d_1 = d_2 + 2a$. Сторона b лопатки 4 соприкасается с контурной образующей поверхности вала 1 диаметра d_2 . От расчетных характеристик зависит компоновка (количество) МШЛ в колонне насосных штанг 5 и количество лопаток 4 на валу 1. В зависимости

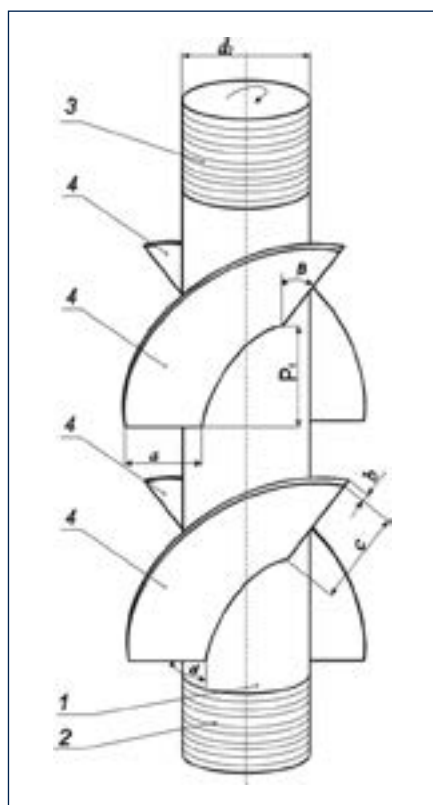


Рис. 1. Штанговая лопатка

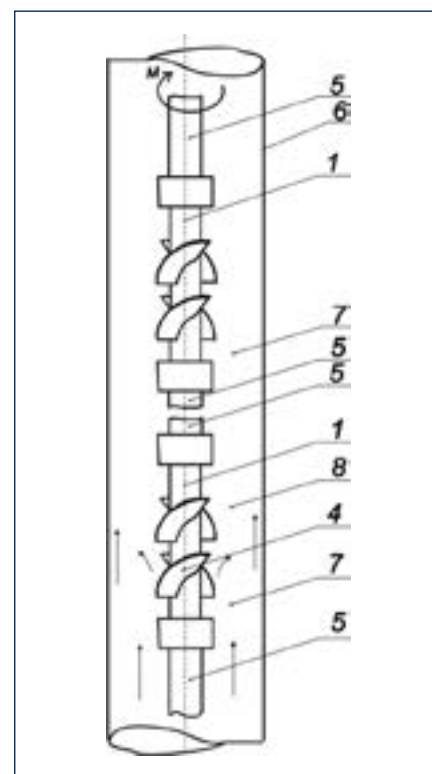


Рис. 2. Компоновка колонны штанг со штанговыми лопатками в НКТ

Таблица 1. Опытные значения коэффициентов А и В

Кoeffициент \ Тип штанговой лопатки	2-НМШЛспец	3-МШЛ	1-НМШЛспец	1-МШЛ	2-НМШЛ	1-НМШЛ
А	4,14	4,45	4,82	5,03	5,03	8,372
В	0,83	1,107	1,064	1,545	1,545	1,628

от условий эксплуатации выбираются углы α и β .

При включении электродвигателя наземного привода вращается полированный шток, колонна насосных штанг и ротор ШВН. При вращении колонны штанг жидкость поднимается в НКТ 6 по кольцевому зазору 7 в аксиальном направлении вдоль МШЛ и далее перемещается из лопатки 4 в радиально-аксиальном направлении 8 (от центра к периферии под действием центробежных сил). В колонне НКТ появляется дополнительный перепад давления, имеющий одинаковый знак с гидродинамическим перепадом давления, создаваемым винтовым насосом.

Вращение штанговых лопаток и закручивание потока жидкости создает условия предупреждения оседания твердых взвешенных частиц (ТВЧ). Кварцевый песок и другие ТВЧ, пройдя через винтовую пару, будут выноситься из подъемника и препятствовать накоплению песчаных пробок в нижней части НКТ [4].

Одновременно с металлическими лопатками разработаны варианты неметаллических конструкций, наплавляемых на штанги (рис. 3).

КОНСТРУКЦИИ ВЫПОЛНЕНЫ В ВИДЕ:

- прямой призмы (рис. 3а);
 - треугольной призмы (рис. 3б);
 - специального профиля (рис. 3в, 3г).
- Профили штанговых лопаток, представленных на рисунках 3а–3в, благодаря увеличенной толщине периферийных частей выполняют дополнительно функции центраторов. Увеличенная площадь контакта с внутренней поверхностью НКТ в режиме полусухого трения позволяет значительно уменьшить износ лопаток. Лопатки, представленные на рисунке 3г, в основном выполняют функции нагнетателей жидкости благодаря малой толщине лопаток, однако как центраторы обладают низкой надежностью.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ НАПОР ЛОПАТКИ ПО [5] РАССЧИТЫВАЕТСЯ:

$$H_T = u_2(1 - q_3), \tag{1}$$

где

$$q_3 = \frac{2\pi \cdot Q}{S \cdot F_z}, \tag{2}$$

S – шаг решетки лопатки;

ω – угловая скорость штанги;

$$F_z = \frac{\pi(d_{л}^2 - d_{вТ}^2)}{4} \cdot \left(1 - \frac{z \cdot \delta_{ср}}{S}\right) \tag{3}$$

$\delta_{ср}$ – толщина лопатки на среднем диаметре $d_{ср}$;

$$d_{ср} = \frac{d_{л} - d_{вТ}}{2},$$

z – количество лопаток в решетке.

Для небольших (до 30°) углов атаки (угол входа жидкости в решетку) формула (1) преобразуется к виду:

$$\frac{H_T}{\omega^2} = A_0(1 - q_3), \tag{4}$$

где $A_0 = 0,25d_p^2$, где

$$d_p = \sqrt{\frac{d_{л}^2 - d_{вТ}^2}{2}}. \tag{5}$$

В (3) под диаметром втулки подразумевается диаметр штанги. Для нулевого расхода жидкости формула для расчета напора имеет вид [5]:

$$\frac{H_T}{\omega^2} = a \cdot d_p^2. \tag{6}$$

Величина a в (6) соответствует экспериментальному значению 0,23 в работе [5].

Для исследования напора штанговых лопаток и параметров ШВН был спроектирован и изготовлен стенд (рис. 4), состоящий из наземного привода 1 с электродвигателем 2, расположенного горизонтально и установленного на раме 3. Для изменения частоты вращения привода служит станция управления 4. К приводу 1 закреплен входной патрубков 5, внутри которого размещен полированный шток 6 с присоединительной муфтой 7. На выходном патрубке 5 установлен вентиль 8 и манометр с вентилем 9 для определения давления на выходе из штанговых лопаток. Из вентиль 8 жидкость поступает через трубопровод 10 в емкость 11, из которой через напорный трубопровод 13 поступает обратно в патрубков с ШЛ. На трубопроводе 13 установлены задвижки 12. Патрубков с установленными лопатками устанавливается в тиски 15 на тележку 14, у которой имеются полки 16 для инструментов и железные ролики 17 для передвижения тележки 14.

На стенде были проведены исследования с целью определения эффективности штанговых лопаток на различных

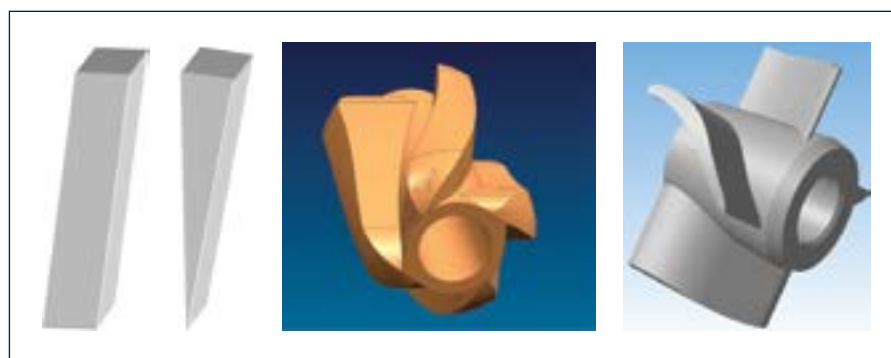


Рис. 3. Профили штанговых лопаток в виде: а – прямой призмы (НМШЛ); б – треугольной призмы; в, г – специального профиля (НМШЛспец)

Таблица 2. Основные данные скважин со штанговыми лопатками

№ п/п	№ скв.	Добывающая компания	Вязкость, мПа·с	Обводненность, %	Дата внедрения	Подача УШВН, м³/сут.
1	3308	ОАО «Шешмаойл»	582	74	15.01.2011	7,5
2	3503	ОАО «Шешмаойл»	15	90	22.01.2011	26,0
3	9720	ОАО «Шешмаойл»	637	13	12.03.2011	0,7
4	3602	ОАО «Шешмаойл»	157	13	15.02.2012	3,1
5	3416	ОАО «Шешмаойл»	48	32	21.02.2012	7,5
6	1436	ОАО «Иделойл»	9	15	20.10.2012	5,0
7	9336	ОАО «Шешмаойл»	13	30	05.11.2012	0,9

по вязкости жидкостей определением развиваемого давления на выходе из штанговых лопаток, а также определения минимальных оборотов, при которых штанговые лопатки не развивают давление. Температура воды и масла составляла 20 °С. По результатам исследований получены графики зависимостей давлений от частоты

вращения привода и типа штанговых лопаток при перекачке воды и масла, которые показаны на рисунках 5 и 6. Опыты показали, что ШЛ могут увеличить давление установки на 1–3 МПа, причем самыми эффективными являются лопатки НМШЛспец, показанные на рисунке 3в. Рост давления при перекачке масла примерно на 7% выше

в сравнении с водой. Таким образом, применение лопаток эффективно на жидкостях повышенной вязкости. Стендовые испытания позволили получить экспериментальные зависимости для давления, создаваемого лопатками (различных конструкций) при нулевых подачах. На рисунках 5 и 6 эти зависимости представлены в коэффициентах Р–п. Серии кривых на графиках описываются зависимостью:

$$P = \frac{(d_p \cdot \omega)^2}{A(d_p \cdot \omega)^2 + B} \quad (7)$$

где А и В – опытные коэффициенты, d_p рассчитывается по (5), $\omega = \pi n / 30$, n – число оборотов, мин⁻¹.

Для лопаток различных конструкций получены фактические зависимости коэффициентов А и В, представленные в таблице 1. Цифра перед типом лопаток обозначает количество лопаток на штанге.

Формулой (7) и таблицей 1 можно пользоваться в расчетах дополнительного перепада давления в НКТ от штанг с лопатками на каждой штанге. Полученный суммарный перепад давления следует вычитать из давления на торце ротора насоса в случае отсутствия штанговых лопаток.

Наплавленные штанговые лопатки с профилем прямой призмы внедрены на скважинах 3308, 3503 и 9720 ОАО «Шешмаойл», специального профиля (НМШЛспец) – на скважинах 3602, 9336 и 3416 ОАО «Шешмаойл», 1436 – ОАО «Иделойл» (табл. 2).

После запуска скважины 3308 произошел двойной отворот штанг – от ротора и 2-й штанги от насоса, при этом на скважине наблюдался выход скважинной жидкости на поверхность (в течение трех суток в желобную емкость,

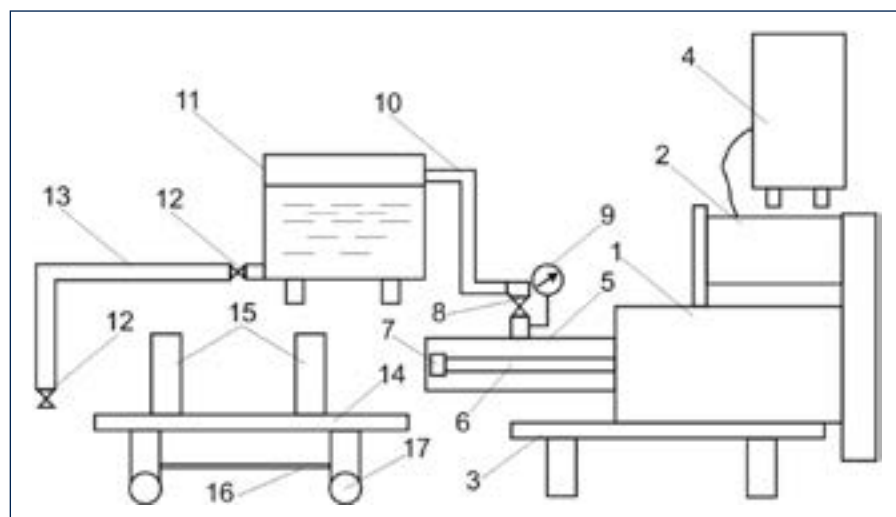


Рис. 4. Стенд по испытанию винтовых насосов

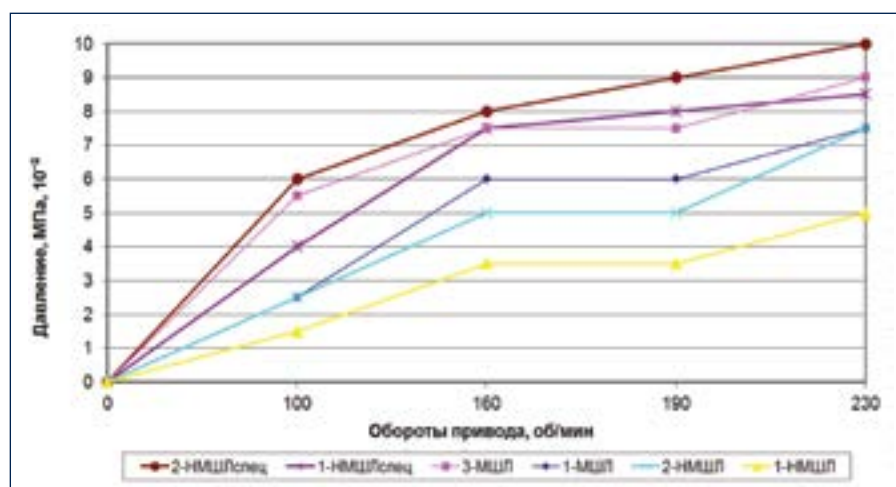


Рис. 5. Зависимость давления, развиваемого лопаткой от числа оборотов при откачке воды

без противодействия) вследствие напора, создаваемого штанговыми лопатками. Затем на скважине 3308 поставили бригаду ПРС для ликвидации отворотов штанг. На скважине 9720 при запуске скважины давление на устье поднималось до рабочего на 10 сек. быстрее (менее 30 сек.). На скважине 3416 наблюдалось увеличение дебита по жидкости с 3,8 до 6,3 м³/сут. (при внедрении все условия сохранялись неизменными, производили только замену штанг). Дополнительная нефть (по состоянию на 11.06.2014 г.) составила 1570 т. На остальных скважинах без изменений, сила тока на двигателях также не изменялась.

ВЫВОДЫ:

1. Разработаны различные типы и конструкции штанговых лопаток, устанавливаемых на вращающихся штангах для создания дополнительного напора в колонне НКТ и снижающих гидродинамическую нагрузку на винтовой насос при добыче вязкой нефти.

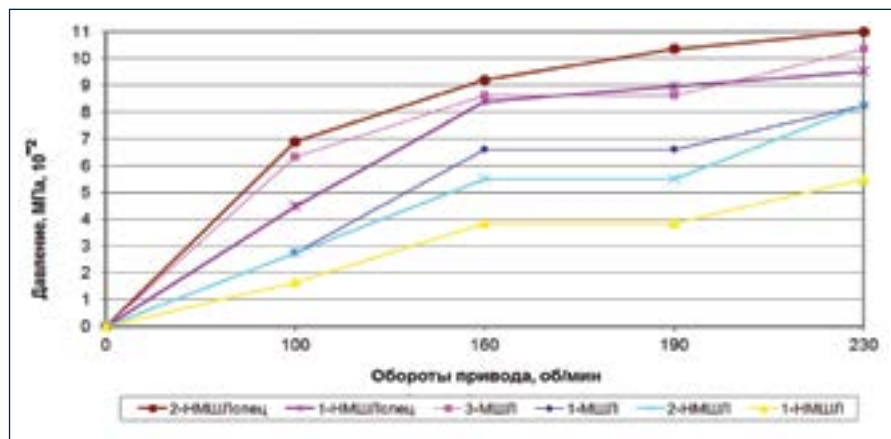


Рис. 6. Зависимость давления, развиваемого лопаткой от числа оборотов при откачке масла

2. Выполнена теоретическая оценка напора, развиваемого штанговой лопаткой.

3. Проведены экспериментальные исследования напорных характеристик штанговых лопаток различных кон-

струкций, результаты которых представлены эмпирической формулой и таблицей в виде эмпирических коэффициентов для каждого типа лопаток. 4. Проведенные опытно-промышленные испытания УШВН со штанговыми лопатками показали эффективность разработанных устройств.

Литература:

1. Патент РФ на полезную модель № 92462, МПК E21B 43/00. Лопастное колесо / Заявитель и патентообладатель – А.А. Исаев. – № 2009140937, заявл. 05.11.2009; опубл. 20.03.2010. Бюл. № 8.
2. Патент РФ на полезную модель № 120699, МПК E21B 43/00, E21B 17/00. Штанговая лопатка / А.А. Исаев, Р.Ш. Тахаутдинов. – Заявитель и патентообладатель ООО НПО «Инновация». – № 2012112200, заявл. 29.03.2012; опубл. 27.09.2012. Бюл. № 27.
3. Исаев А.А., Архипов К.И. Разработка лопаток штанговых // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. – Т. VIII. – Альметьевск: Альметьевский государственный нефтяной институт, 2010. – С. 102–108.
4. Денгаев А.В., Вербицкий В.С., Дроздов А.Н., Петров Д.А., Здолник С.Е., Нишкевич Ю.А. Разработка принципов центробежной сепарации механических примесей на примере УЭЦН // Территория НЕФТЕГАЗ. – 2007. – № 10. – С. 26–28.
5. Высокооборотные лопаточные насосы / Под ред. Б.В. Овсянникова. – М.: Изд-во «Машиностроение», 1975. – 336 с.

UDC 622.276.53

A.A. Isaev, Leading Engineer of Division of Innovations and Examinations, Sheshmaoil Management Company LLC, e-mail: isaeff-oil@yandex.ru; **K.I. Arkhipov**, Cand.T.Sc., assistant professor, assistant professor of Department oil and gas equipment, Almeteyvsk State Petroleum Institute, e-mail: ngo@agni-rt.ru

Development and testing of rod blades of progressive cavity pumping units for oil production

Rod blades that rotate together with rods were developed in order to increase hydraulic head of progressive cavity pump. Positive data have been acquired upon completion of bench- and field tests.

Keywords: Progressive Cavity Pump, rod blade, hydraulic head, bench tests, head coefficient

References:

1. RF patent for utility model No. 92462, International Patent Classification E21B 43/00. Vane rotor / Applicant and patent holder - A.A. Isayev. – No. 2009140937, applied on 05.11.2009; published on 20.03.2010. Bulletin No. 8.
2. RF patent for utility model No. 120699, International Patent Classification E21B 43/00, E21B 17/00. Rod vane / A.A. Isayev, R.Sh. Takhautdinov. – Applicant and patent holder of Innovatsiya Research, Development and Production Association LLC. – No. 2012112200, applied on 29.03.2012; published on 27.09.2012. Bulletin No. 27.
3. Isayev A.A., Arkhipov K.I. Razrabotka lopatok shtangovykh (Development of rod vanes) // Scientific papers of Almeteyvsk State Oil Institute. – V. VIII. – Almeteyvsk: Almeteyvsk State Oil Institute, 2010. – P. 102–108.
4. Dengaev A.V., Verbitskiy V.S., Drozdov A.N., Petrov D.A., Zdolnik S.Ye., Nishkevich Yu.A. Razrabotka printsipov tsentrobezhnoi separatsii mekhanicheskikh primesei na primere UENTs (Development of the principles for mechanical impurities centrifugal separation by the example of electric centrifugal plant) // NEFTEGAS Territory. – 2007. – No. 10. – P. 26–28.
5. Vysokooborotnye lopatochnye nasosy (High-speed vane pumps) // Edited by V.B. Ovsyannikova. – Moscow: Mashinostroyeniye Publishing House, 1975. – 336 p.