

А. Ф. Садыков, В. А. Максимов, А. А. Садыков,
Д. М. Калимуллин

СКВАЖИННЫЙ ДВУХВИНТОВОЙ НАСОС-КОМПРЕССОР

Ключевые слова: пластовая жидкость, двухвинтовой насос, скважина, характеристики насоса.

Приводится конструкция двухвинтового скважинного насос-компрессора для откачки пластовой жидкости (вода, газ, нефть), результаты стендовых и промысловых испытаний.

Keywords: formation fluid, a twin-screw pump, deep well, pump characteristics.

We present construction twin-screw downhole pump-compressor for pumping formation fluids (water, gas, oil), the results of bench and field tests.

Насосы для откачки пластовой жидкости из скважины подразделяются на скважинные центробежные, скважинные одновинтовые и штанговые.

Штанговые плунжерные насосы для своей работы требуют громоздкий станок-качалку и систему штанг для привода плунжера насоса. Во время работы возможны случаи обрыва штанг, приводящие к остановке и ремонту установки в целом.

Центробежные погружные насосы для создания высокого напора должны иметь большое количество ступеней (от 200 до 400), что приводит к большим габаритам по длине и ненадежной работе насосов при искривлении скважин.

Одновинтовые погружные насосы ограничены в применении из-за сложной технологии изготовления винтов и наличия резиновой обоймы статора, требующей подбора особого материала, ненабухающего в нефтегазовой среде.

Учитывая снижение дебита нефтедобывающих скважин в России, доля которых в общем объеме составляет до 50 %, растет интерес к новым высокотехнологичным насосам для малodeбитных скважин. Такой насос разработан в ОАО «ТатНИИнефтемаш» (г.Казань) [1]. Насос является двухроторным, по производительности занимает промежуточное положение между центробежными и штанговыми насосами при создании высокого (до 20 МПа) напора. Он технологичен в изготовлении, отличается небольшими габаритами по длине, долговечен и надежен в работе, так как отсутствует взаимное касание роторов, меньшей потребляемой мощностью при одинаковых подачах и напорах откачиваемой жидкости. Приводом насоса может служить электродвигатель, серийно освоенные в производстве центробежных погружных насосов. Насос по принципу действия относится к типу объемных машин и подача жидкости в нем производится вращающимися винтами, находящимися в зацеплении. Основными особенностями насоса являются:

- цельнометаллическая конструкция;
- износостойкие уплотнительные системы;
- может откачивать все три фазы пластовой жидкости (воду, газ, нефть);

- производительность можно регулировать, изменяя число оборотов электропривода насоса, при постоянном напоре.

Во избежание разрушительного воздействия абразивных частиц и песка ведущий и ведомый ротора, внутренняя поверхность расточек корпуса упрочнены специальным покрытием, твердость которого достигает 85-90 HRC.

Скважины, предназначенные для эксплуатации насоса, должны удовлетворять следующим условиям:

- минимальный внутренний диаметр эксплуатационной колонны не менее 123,7 мм;
- минимальный темп набора кривизны ствола скважины -2° на 10 метров, а в зоне работы установки – 3 минуты на 10 метров;
- отклонение ствола скважины от вертикали в зоне работы погружного насоса – не более 40°.

Характеристика пластовой жидкости:

- пластовая вода – смесь нефти, попутной воды и нефтяного газа;
- концентрация твердых частиц, г/л, не более 0,1;
- содержание свободного газа, % по объему, не более 55;
- температура откачиваемой жидкости, не более 90 °С;
- содержание попутной воды, % не более 99;
- водородный показатель попутной воды, pH 6,0-8,5;
- плотность жидкости, кг/м³, не более 1400;
- концентрация сероводорода, г/л, не более 1,25;

Габаритные размеры насоса:

- длина 1490 мм;
- диаметр корпуса 117 мм;

Масса 75 кг.

Насос используется в составе установки для откачки пластовой жидкости из нефтяных скважин, которая состоит из двигателя, компенсатора, протектора, предохраняющего электродвигатель от проникновения в него окружающей жидкости,

насоса, обратного клапана, спускного клапана, насосно-компрессорных труб, кабеля и трансформатора.

В случае, когда требуется обеспечить большой напор, насос может быть выполнен в виде нескольких последовательно соединенных модулей.

При работе установки вращательное движение электродвигателя передается через редуктор рабочим винтовым роторам 3 (рис. 1) насоса. Откачиваемая жидкость через прорези А поступает в камеру всасывания Б.

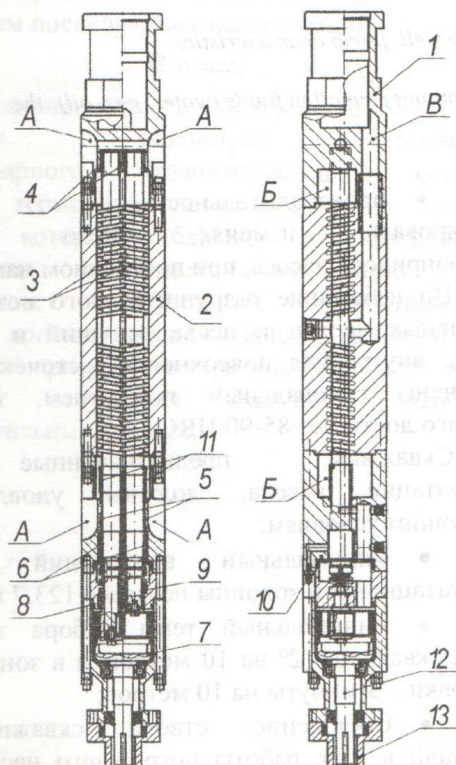


Рис. 1 - Конструкция двухвинтового насос-компрессора

Жидкость захватывается винтами роторов 3 из камеры всасывания Б и подается в камеру нагнетания В.

Пройдя через нагнетательный патрубок насоса, обратный 5 и спускной 6 клапаны (рис. 2), по насосно-компрессорным трубам 7 пластовая жидкость поступает на переработку.

Подвод электроэнергии от наземного оборудования к электродвигателю обеспечивается по кабельной линии 8 при помощи муфты кабельного ввода 10.

Наземное электрооборудование - комплектная трансформаторная подстанция или станция управления с трансформатором 9, которая преобразует напряжение промышленной сети до величины, обеспечивающей оптимальное напряжение на входе в электродвигатель с учетом потерь напряжения в кабеле, обеспечивает управление работой установки в целом.

Нагнетательный патрубок 1 (рис. 1) с ловильной головкой предназначен для вывода из насоса откачиваемой жидкости в насосно-

компрессорные трубы и захвата насоса перед подъемом его на поверхность.

Узел винтовых роторов состоит из стального корпуса 2 (рис. 1), в котором выполнены две параллельные расточки для размещения в них роторов. Две пары винтов имеют шевронный тип нарезки с циклоидальным, математически плотным профилем. Роторы вращаются в подшипниках скольжения 4 и 5, снабжены шестернями связи 6, обеспечивающими вращение винтов без взаимного контакта. Благодаря шевронной нарезке винтов осевые усилия на них взаимно уравниваются.

Подшипники скольжения 4 расположены в корпусе нагнетательного патрубка, изготовлены из материала на основе оксида алюминия, воспринимают радиальные усилия и смазываются пластовой жидкостью.

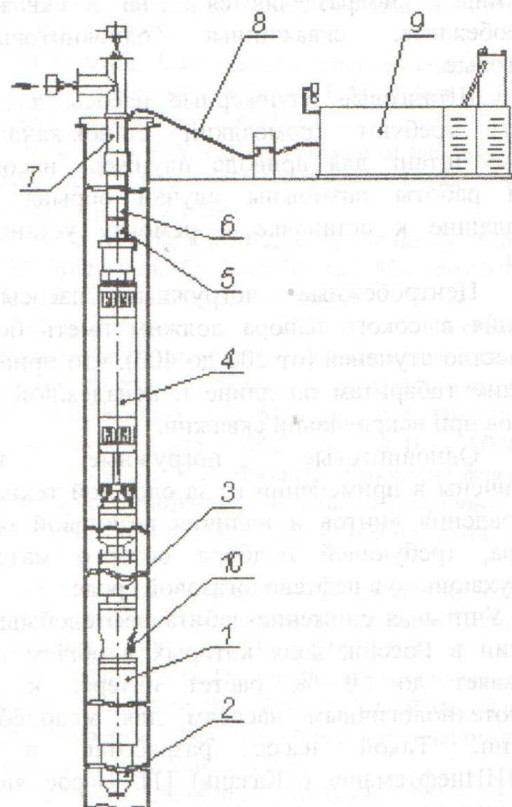


Рис. 2 - Установка насос-компрессора в скважине

Подшипники скольжения 5 расположены в корпусе редуктора, изготовлены из бронзы и смазываются трансформаторным маслом.

Радиальные нагрузки, возникающие в передаче с внутренним зацеплением, воспринимаются радиальным роликовым подшипником 8.

Восприятие осевых нагрузок и фиксация в осевом положении роторов осуществляется при помощи регулировочных шайб и упорных шарикоподшипников 9.

Полость редуктора заполнена трансформаторным маслом и сообщается с полостью компенсатора. Циркуляция масла осуществляется при помощи шестерен связи 6, которые выполняют роль шестеренчатого насоса, через штуцер 10 и трубопровод в компенсатор.

Подшипники и шестерни редуктора защищены от проникновения пластовой жидкости торцевыми уплотнениями 11.

В процессе эксплуатации скважин насосами необходимо контролировать следующие параметры:

- количество откачиваемой жидкости;
- содержание попутной воды в откачиваемой жидкости и её водородный показатель;
- вязкость откачиваемой жидкости;
- концентрацию твердых частиц и сероводорода;
- микротвердость частиц по Моосу;
- температуру откачиваемой жидкости на выходе из насоса;
- динамический уровень;
- буферное давление;
- сопротивление изоляции системы «кабель-двигатель»;
- величину тока электропривода насоса.

Наработка насоса на отказ не менее 14400 часов. Критерием отказа считается снижение производительности насоса более чем на 50%, а также останов насоса или выход из строя наземного электрооборудования.

Материальное исполнение:

- корпус насоса – сталь 40Х по ГОСТ 4543-71;
- роторов – сталь 25Х13Н2 ГОСТ 5632-72;
- шестерен – сталь 25ХГМ по ГОСТ 4543-71.

Конструкция насоса отвечает требованиям «Правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности», «Правил устройств электроустановок».

Конструкция насоса обеспечивает удобство ремонта и не оказывает вредного воздействия на окружающую среду. Как уже отмечалось, двухроторные погружные нефтяные насосы-компрессоры были разработаны для откачки пластовой жидкости (нефть, вода, газ) из малодебитных скважин.

Подача перекачиваемой жидкости обеспечивается вращающимися винтами, находящимися в зацеплении. С целью обеспечения требуемой подачи при заданном напоре опытный образец насоса был изготовлен с минимальными зазорами в проточной части насоса (рис. 1) : $\delta_1=0,05$ мм, $\delta_2=0,068$ мм, $\delta_3=\delta_4=0,03$ мм.

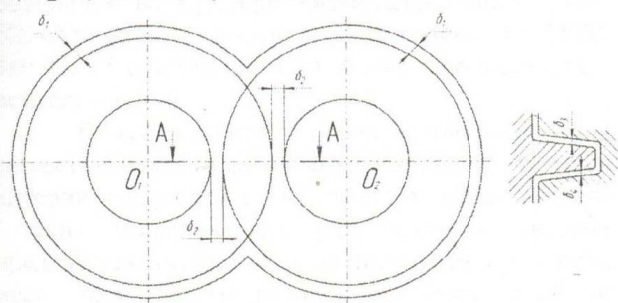


Рис. 3 - Схема зазоров в двухроторном насосе

Проведенные стендовые испытания опытного образца насоса показали [2], что насос способен

обеспечивать требуемую подачу при заданном напоре.

Однако, при проведении пробных промысловых испытаний был выявлен преждевременный (наработка насоса составила менее четырех суток) абразивный износ рабочих поверхностей винтов и расточек корпуса насоса из-за их недостаточной твердости и малых значений зазоров. В результате, как показали стендовые испытания насоса, проведенные после его демонтажа из скважины, создаваемый насосом напор снизился вдвое.

Для снижения абразивного износа рабочие поверхности винтов и расточек корпуса насоса были упрочнены специальным покрытием твердостью 85-90 HRC [3], а зазоры увеличены до следующих значений:

$$\delta_1=0,128 \text{ мм}; \delta_2=\delta_3=\delta_4=0,07 \text{ мм}.$$

Испытания доработанного насоса проводились на стенде ООО «РИНПО» (г.Альметьевск).

Стенд представляет собой скважину, в которую опускается насос в сборе с погружным электродвигателем марки ПЭД 22-117/4В и колонной насосно-компрессорных труб.

В качестве перекачиваемой жидкости использовалось масло трансформаторное ГОСТ 10121-76, подаваемое в скважину из маслобака.

Перекачиваемое насосом масло через трехходовой кран поступает в тарированную мерную емкость, откуда через сливной трубопровод сливается в маслобак. Требуемый перепад давления на насосе устанавливается с помощью вентиля регулирующего, находящегося на выходе из насоса. Давление на выходе из насоса определялось по манометру, а температура масла замерялась термометром.

Избыточное давление на входе в насос определялось из выражения $P_1=H_1\rho g$, где ρ - плотность масла, g - ускорение свободного падения, H_1 - высота уровня масла над входом в насос.

При проведении испытаний температура масла находилась в пределах $t=24-26^\circ\text{C}$. Коэффициенты динамической вязкости при этих значениях температуры были равны : $\mu_{24}=0,02$ Па·с, $\mu_{26}=0,0185$ Па·с. Плотность масла была принята равной $\rho=860$ кг/м³. Высота столба жидкости была равна $H_1=7$ м. Перепад давления на насосе $\Delta p=p_2-p_1$, где p_2 - избыточное давление на выходе из насоса.

Значения замеренных параметров при различных режимах работы насоса приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

P_1 , МПа	0,059								
P_2 , МПа	0,059	0,49	0,98	1,47	1,96	2,45	2,94	3,43	3,92
Δp , МПа	0	0,431	0,921	1,411	1,901	2,391	2,881	3,371	3,861
Q_3 , м ³ /сутки	51,9	45,71	42,7	34,83	29,64	22,94	17,41	8,37	1,67
$t=24^\circ\text{C}; \mu_{24}=0,02$ Па·с									

Таблица 2

P_1 , МПа	0,059								
P_2 , МПа	0,0	0,4	0,9	1,4	1,9	2,4	2,9	3,4	3,9
Δp , МПа	59	9	8	7	6	5	4	3	2
Q , м ³ /сутки	0	0,4	0,9	1,4	1,9	2,3	2,8	3,3	3,8
утки	51,9	45,21	38,51	35,16	28,46	21,77	13,4	6,7	1,67

$t=26^\circ\text{C}$; $\mu_{26}=0,0185\text{ Па}\cdot\text{с}$

Расчетные данные, полученные с использованием методики расчета, изложенной в работе [2], приведены в таблице 3.

Таблица 3

μ , Па·с	Q , м ³ /сутки				
	Δp , МПа				
	0	1	2	3	4
0,02	56,82	34,79	22,16	11,2	1,15
0,0185	56,82	34,22	21,16	9,8	0

Сравнение опытных (табл. 1 и 2) и расчетных (табл. 3) данных по подаче насоса показало (рис. 4) удовлетворительное совпадение.

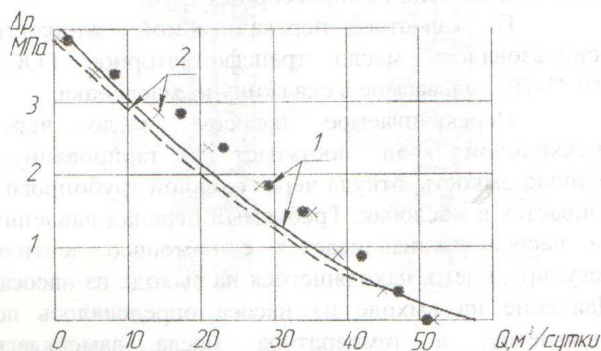


Рис. 4 - Характеристика насоса: 1- $t=24^\circ\text{C}$, $\mu=0,02\text{ Па}\cdot\text{с}$ — — — теория; 2- $t=26^\circ\text{C}$, $\mu=0,0185\text{ Па}\cdot\text{с}$ •, х- эксперимент

© А. Ф. Садыков - канд. техн. наук, ген. директор ОАО «ТатНИИнефтемаш», info@tatnii.ru; В. А. Максимов - д-р техн. наук, проф., зав. каф. компрессорных машин и установок КНИТУ, smu@inbox.ru; А. А. Садыков - инженер-конструктор 3 кат. ОАО «ТатНИИнефтемаш»; Д. М. Калимуллин - нач. лаб. №7 ОАО «ТатНИИнефтемаш».

Проведенные испытания показали, что даже при увеличенных зазорах насос способен обеспечивать требуемую подачу.

При перекачивании пластовой жидкости, вязкость которой значительно выше ($\mu>0,1\text{ Па}\cdot\text{с}$) вязкости масла трансформаторного, следует ожидать увеличения создаваемого насосом напора.

Литература

1. Пат. № 2431765. Погружная многофазная насосная установка/ А.Ф.Садыков [и др.]; заявитель и патентообладатель ОАО «ТатНИИнефтемаш».- № 2010115767/06; заявл. 20.04.2010; опубл. 20.10.2011, Бюл. №29.
2. Максимов, В.А. Двухвинтовые насос-компрессоры: расчет и проектирование/ В.А.Максимов, А.Ф. Садыков, И.В. Хамидуллин, Р.М. Назмутдинов. -Казань, ОАО «ТатНИИнефтемаш», 2004.- 236с.
3. Садыков, А.Ф. Двухроторный погружной нефтяной насос. Тезисы докладов. Восьмая международная научно-техническая конференция молодых специалистов «Исследование, конструирование и технология изготовления компрессорных машин»/А.Ф.Садыков, А.А. Садыков, Р.М. Назмутдинов, И.В. Хамидуллин.-Казань, Изд-во «Слово», 2009 -116с.