

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

«Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова»

(ФГБОУ ВО «ИжГТУ имени М.Т. Калашникова»)

Факультет «Машиностроительный»

Кафедра «Тепловые двигатели и установки»

Работа защищена с оценкой

«\_\_\_\_\_»

Дата \_\_\_\_\_

Подпись \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_

Курсовая работа

по дисциплине «Техника и технология добычи нефти и газа»

на тему «Винтовые забойные двигатели»

Выполнил

Студент гр. Б19-661-1

Еговкин В.А.

Проверил

Доцент

Натаров А.Л.

Рецензия:

степень достижения поставленной цели работы \_\_\_\_\_

полнота разработки темы \_\_\_\_\_

уровень самостоятельности работы обучающегося \_\_\_\_\_

недостатки работы \_\_\_\_\_

**Оглавление**

Введение.....	3
1. Конструкция и принцип действия ВЗД.....	4
2. Шпиндельная секция.....	12
3. Регулятор угла.....	15
4. Расчет основных размеров ВЗД.....	24
5. Заключение.....	28
6. Список литературы.....	29

## **Введение**

Из мировой практики известно, что при разработке нефтяных и газовых месторождений, в продуктивных пластах остается огромное количество полезных ископаемых. При этом самым низким коэффициентом извлечения флюида характеризуются нефтегазовые месторождения, к концу XX началу XXI веков нефтеотдача таких месторождений колеблется в интервале от 30 до 40 %. Таким образом, большая часть нефти и газа остается в коллекторе. При разработке таких месторождений применяются различные методы воздействия на пласт: физико-химические методы, тепловые методы, внутриконтурное, законтурное заводнение пластов и другие, несмотря на это, более половины запасов остаются «похоронены».

В наши дни значительное большинство скважин на территории Российской Федерации и зарубежом, строятся наклонно-направленным методом, с целью увеличения дренирования продуктивного пласта и как следствие значительного прироста дебита, добываемого флюида. Данная технология является эффективной для формирования оптимальной системы разработки месторождений и восстановления продуктивности скважин на поздних стадиях эксплуатации. Горизонтальное бурение способствует увеличению площади фильтрации флюида, особенно эффективен данный метод для эксплуатации пластов с низкой продуктивностью и вертикальной трещиноватостью.

Период 1995 – 2003 годов является переломным для России с точки зрения технологии бурения наклонно-направленных скважин. Именно в этот период Всероссийский научно-исследовательский институт буровой техники создает и производит новый тип винтового забойного двигателя, в том числе для бурения горизонтальных скважин .

По сей день самым распространенным и востребованным оборудованием для строительства таких скважин являются винтовые забойные двигатели с регулятором угла перекоса. Данное оборудование имеет множество достоинств: возможность устанавливать требуемый угол перекоса на буровой установке за короткий интервал времени; меньшая длина в сравнении с турбобурами; возможность контроля работы двигателя в скважине по величине давления в

нагнетательной линии; совместимость с большинством типов современных долот и многое другое. Но, как и любое скважинное оборудование, винтовые забойные двигатели подвержены воздействию агрессивных нагрузок, агрессивных буровых растворов, ошибкам в эксплуатации со стороны персонала.

### Конструкция и принцип действия ВЗД

ВЗД – винтовой забойный двигатель, объемная (гидростатическая) машина, многозаходные рабочие органы которой представлены планетарно-роторным механизмом с внутренним косо зубым зацеплением. Симметричный роторный агрегат приводится в действие за счет гидравлической энергии от подачи бурового раствора и преобразуется в механическую энергию, необходимую для разрушения горной породы. Применение ВЗД позволяет осуществлять процесс бурения при реализации высокого момента силы и частоты вращения на выходном валу, мало изменяющихся при увеличении осевой нагрузки [5].

При использовании винтового забойного двигателя оптимальный режим бурения выбирается по перепаду давления на двигателе:

1. Загруженность двигателя (**Рз**) - это величина разности рабочего давления (**Рр**) и давления холостого хода (**Рх**):  $P_z = P_p - P_x$ . Для определения величины (**Рз**) необходимо создать заданную нагрузку на долото и снять показания (**Рр**);

2. Величину загруженности винтового забойного двигателя (**Рз**) необходимо поддерживать на протяжении всего времени работы ВЗД;

3. При зависании инструмента рабочее давление снижается до величины близкой к холостому давлению (**Рх**), в этом случае необходимо оторвать инструмент от забоя, определить (**Рх**) и плавно увеличивая нагрузку довести перепад давления до величины  $P_p = P_x + P_z$ .

При бурении, возможно, осуществлять контроль за работой двигателя по изменению давления на насосах, поскольку повышение перепада давления на двигателе пропорционально увеличению момента силы на его валу (рис.1).

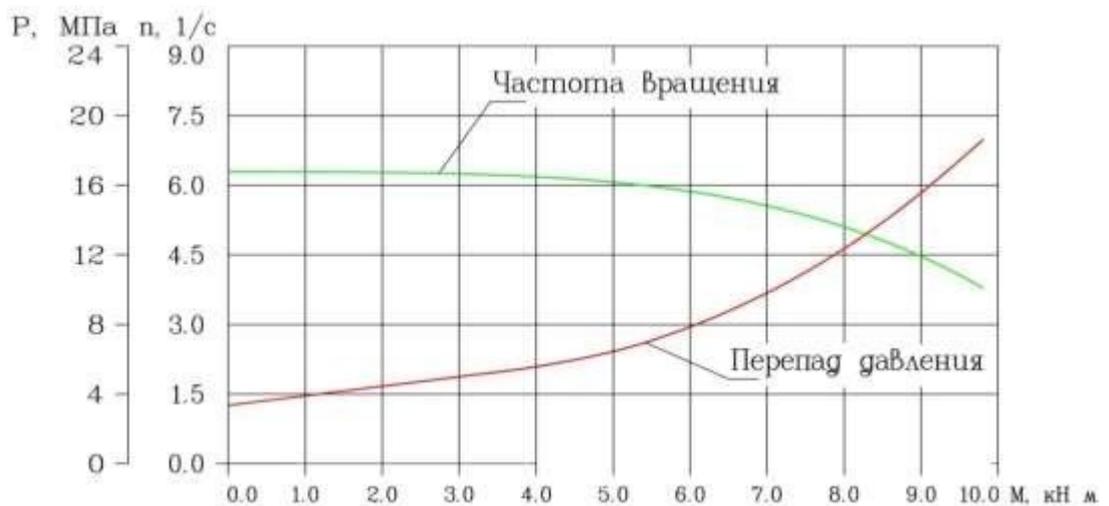
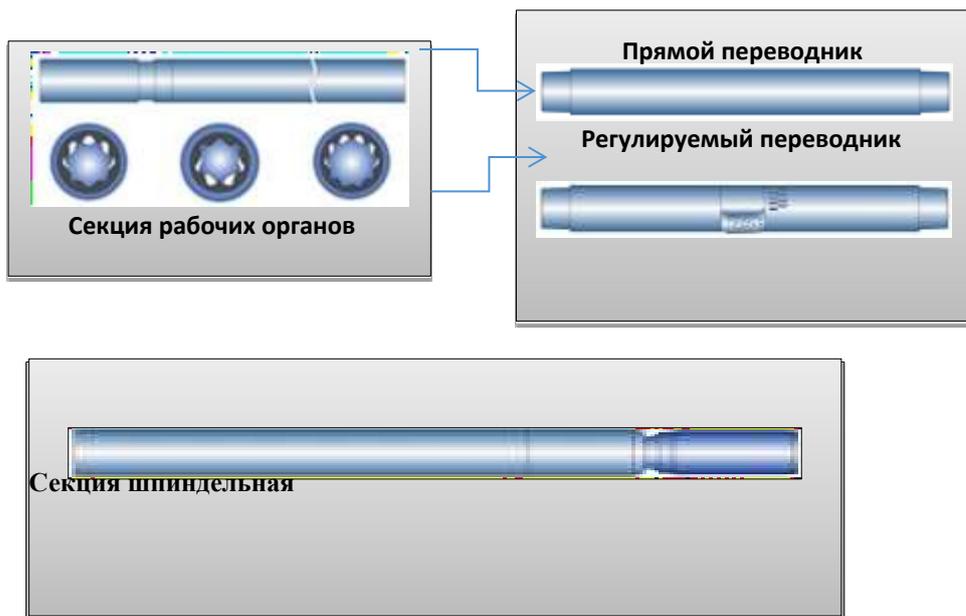


Рисунок 1 – Зависимость момента силы на валу ВЗД от перепада давления  
Рассмотрим конструкцию ВЗД.



Выше представлены основные узлы винтового забойного двигателя. В случае если забойный двигатель комплектуется прямым переводником, то данная конструкция применима для высокооборотного роторного бурения, либо для ремонтных операций на скважине. При использовании регулируемого переводника подразумевается эксплуатация ВЗД для наклонно-направленного

бурения, например, для строительства скважин, имеющих сложный профиль, либо для зарезки нового ствола из ранее пробуренной скважины.

Все типы ВЗД можно разделить на три основных конструктивных сегмента: *двигательная секция, шпindelная секция, регулятор угла.*



Рисунок 2– Разрезы рабочей пары ротор – статор.

Конструкция ротора ВЗД остается неизменной уже не один десяток лет. Ротор изготовлен из легированной стали. Покрытие поверхности ротора износостойкое и коррозионностойкое. Ротор в зависимости от условий эксплуатации поставляется с различным покрытием (рис.3.1-3.4):



Рисунок 3.1 – Ротор с хромовым покрытием



Рисунок 3.2 – Ротор с вольфрамовым покрытием



Рисунок 3.3 – Ротор с никелевым покрытием



Рисунок – 3.4 – Ротор с керамическим покрытием

Покрытие ротора двигателя подбирается исходя из условий эксплуатации: геологического разреза скважины и типа бурового раствора, применяемого в процессе эксплуатации.

На данный известны две конструктивные особенности и разновидности статора: стандартный статор и профилированный (рис.4):

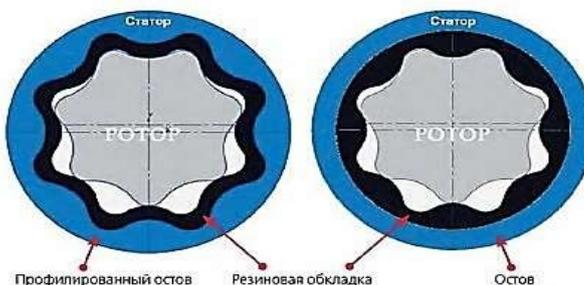


Рисунок 4 – Профилированная рабочая секция (слева), стандартная рабочая секция(справа)

Профилированные рабочие секции ВЗД – это новая конструктивная разработка отечественных производителей. Статор такой рабочей пары имеет винтовую (профилированную) внутреннюю металлическую поверхность с эластомерной обкладкой равного сечения.

Данная разработка является заслугой отечественного производителя АО

«Пермнефтемашремонт», который стал первым и единственным предприятием в России, которое разработало такие двигательные секции и наладило серийный выпуск винтовых забойных двигателей, оснащённых профилированными двигательными секциями [6-8].

#### **Конструктивные особенности:**

- Цельнометаллическая толстостенная вставка с внутренним металлическим зубом, которая надёжно прикреплена к цельнометаллическому остову статора, изготовленному из качественной легированной стали
- Резиновая обкладка внутренней поверхности вставки, имеющая одинаковую толщину по всей длине профиля вставки
- Крепление остова статора и профилированной вставки, выполненное без применения сварки.

#### **Эксплуатационные преимущества:**

- Увеличение жёсткости зуба статора
- Исключение влияния перекашивающего момента в двигательной секции на параметры зацепления рабочих органов
- Снижение и равномерное распределение деформации размеров резиновой обкладки в результате воздействия температур и буровых растворов, уменьшение влияния температур и набухания резины на стабильность работы

двигательной секции

Снижение уровня вибрации, способствующее:

- Более Увеличению стойкости породоразрушающего инструмента
- Повышению стойкости резьбовых соединений бурильных труб
- Повышенная надёжность и более длительный межремонтный период [8,10,11].
- стабильной работе систем телеметрии

**По сравнению с обычными двигательными секциями профилированные двигательные секции позволяют:**

- На 30-100% увеличить энергетические характеристики винтового забойного двигателя и на 30-150% увеличить механическую скорость бурения
- Использовать более короткие двигательные секции при обеспечении энергетических характеристик и механической скорости бурения, соответствующих более длинным двигательным секциям
- Использовать более короткие винтовые забойные двигатели, что при наклонно- направленном бурении позволяет увеличить интенсивность и стабильность набора параметров кривизны, а также снизить аварийность, связанную с поломкой корпусных деталей винтового забойного двигателя
- Повысить качество измерений в процессе бурения за счёт более близкого расположения измерительных приборов к долоту
- Применять моментоёмкие долота PDC
- Эксплуатировать винтовые забойные двигатели с пониженным расходом рабочей жидкости в условиях поглощения бурового раствора и в условиях ограниченной производительности буровых насосов
- Использовать винтовые забойные двигатели с любыми керноотборными снарядами при выносе керна не менее 80%
- Эксплуатировать винтовой забойный двигатель в средах с повышенным содержанием нефти (до 18%) и повышенной забойной температуре (до 160 °С) [10-11].

Помимо выше представленных конструктивных особенностей, двигательная секция может выполняться в разных габаритах, как правило, от 43 до 240 мм, длиной до 6500 мм, заходностью от 2/3 до 9/10 (рис.5). Данные критерии обусловлены также условиями эксплуатации.

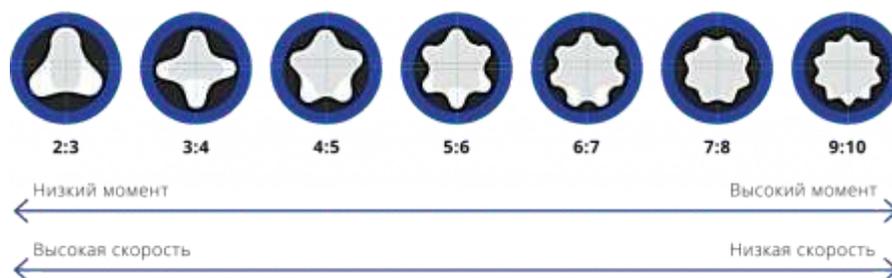


Рисунок 5 – Варианты заходности ВЗД

Заходность рабочей пары ВЗД представлена отношением лопастей ротора к рабочим камерам статора (например, заходность 5:6 подразумевает наличие 5 лопастной профилированный ротор, 6 рабочих каналов статора). Заходность рабочей пары выбирается исходя из требований для бурения, а именно наличие высокого или низкого момента на выходе ВЗД, либо частоты вращения. Чем меньше заходность, тем выше частота вращения и ниже момент и, наоборот [1,4,9].

**Принцип действия ротор-статор (рис.6.1-6.2):** Зубья ротора и статора, находясь в непрерывном контакте, образуют замыкающиеся на длине шага статора единичные рабочие камеры. Буровой раствор, может пройти к долоту только в том случае, если ротор двигателя проворачивается внутри обкладки статора, обкатываясь по его зубьям под действием неуравновешенных гидравлических сил. При этом геометрическая ось ротора вращается относительно оси статора против часовой стрелки (переносное движение), а сам ротор поворачивается по часовой стрелке (абсолютное движение) [12].

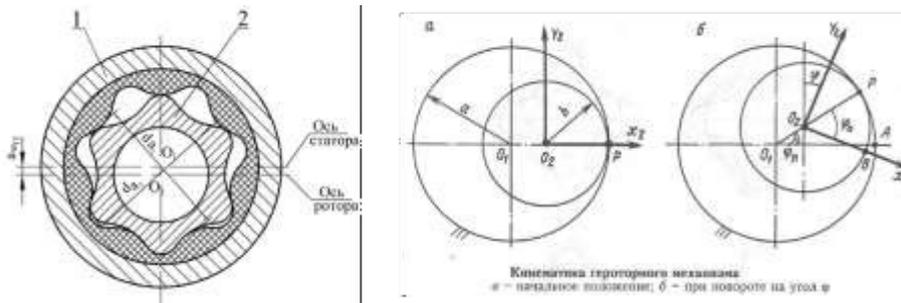
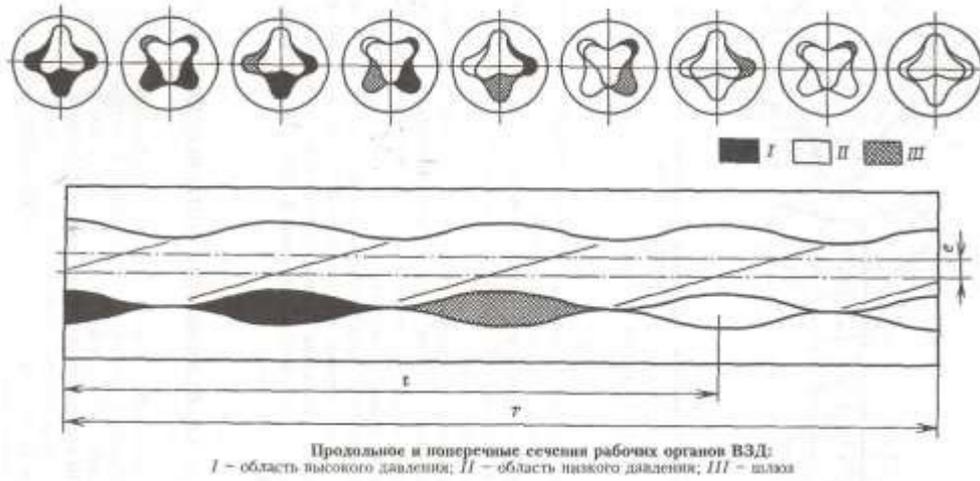


Рисунок 6.1 – Кинематика героторного механизма

Рисунок 6.2 – Продольное и поперечное сечение РО ВЗД, области распределения давлений  
(1 - область высокого давления, 2 – область низкого давления, 3 – шлюз)

## Шпиндельная секция

Под термином «шпиндель» подразумевается автономный узел двигателя с выходным валом с осевыми и радиальными подшипниками. Шпиндель является немаловажным узлом двигателя наряду с двигательной секцией. Именно шпиндельная секция служит для восприятия большинства нагрузок, действующих на двигатель в процессе бурения. Он передает крутящий момент и осевую нагрузку на долото, воспринимает реакцию забоя и гидравлическую осевую нагрузку, действующую в рабочей паре, а также радиальные нагрузки от долот и гибкого вала (гибкий вал применяется для соединения ротора ВЗД и вала шпинделя).

Шпиндель выполняется в виде монолитного полого вала, который соединяется посредством наддолотного переводника в нижней части с долотом, а с помощью муфты в верхней части — с гибким валом (рис.7). По конструкции шпинделя бывают открытые и маслonaполненные. В открытых (используются почти во всех серийных отечественных двигателях) узлы трения смазываются и охлаждаются буровым раствором, а в маслonaполненные узлы трения находятся в масляной ванне с избыточным давлением на 0,1-0,2 МПа, превышающим давление окружающей среды [1,5].

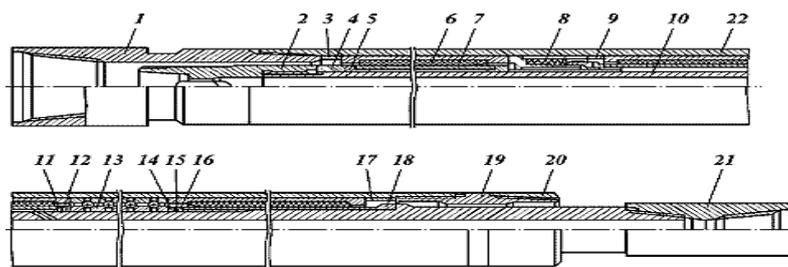


Рисунок 7 – Шпиндельная секция ВЗД

(1 — переводник нижний; 2 — муфта; 3, 17 — втулка регулировочная; 4 — кольцо регулировочное; 5, 11 — втулка подкладная; 6 — опора нижняя; 7 — втулка нижней опоры; 8 — сальник торцовый; 9, 12, 15 — кольцо; 10 — вал шпинделя; 13 — пакет подшипников упорных; 14, 18 — втулка упорная; 16 — втулка кольца уплотнительного; 19, 21 — переводник; 20 — гайка; 22 — корпус шпинделя) [21]

Как говорилось выше - шпиндельная секция передает крутящий момент и осевую нагрузку на породоразрушающий инструмент и воспринимает осевую и радиальную нагрузки. Таким образом, основными составными частями шпиндельной секции являются: карданный вал, вал шпинделя, подшипниковый узел. Все двигатели, имеющие секцию рабочих органов повышенной мощности, оснащаются маслonaполненным двухшарнирным

карданным соединением, что позволяет снизить нагрузки на секцию рабочих органов, что способствует увеличению долговечности двигателя в целом.



Рисунок 8 – Карданный вал с шарнирным соединением (в центре), вал шпинделя с наддолотным переводником (справа)

Для восприятия осевых и радиальных колебаний (нагрузок) шпиндельная секция комплектуется подшипниками. Для минимизации осевых колебаний используются шарикоподшипники (рис.9.1), расположение осевого подшипника представлено на рис. 9.2 [10-11].



Рисунок 9.1 – Вид осевого подшипника ВЗД

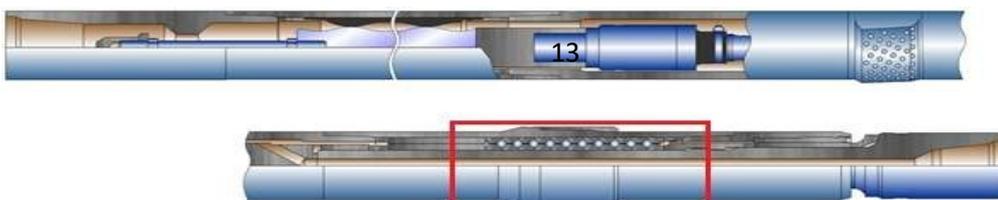


Рисунок 9.2 – Расположение осевых подшипников в конструкции двигателя  
Применение осевых подшипников позволило производить процесс бурения скважин с большими нагрузками.

Для восприятия радиальной колебаний в конструкции ВЗД предусмотрена твердосплавная радиальная опора (рис.9.3). Исполнение опоры может иметь сплошное или сегментное покрытие.



Рисунок 9.3 – твердосплавная радиальная опора ВЗД со сплошным покрытием (слева), сегментным (справа)  
Применение радиальных опор влияет на стабилизацию долота на забое скважины. Расположение представлено на рис. 9.4.

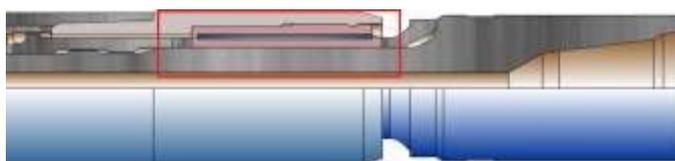


Рисунок 9.4 – Расположение радиальных опор в конструкции двигателя Нижняя радиальная опора, совмещенная с ниппелем, расположена максимально близко к долоту. Эта схема позволяет снизить радиальные нагрузки максимально эффективно [10-11].



Рисунок 9.5 – Разрез шпindelной секции ВЗД

### Регулятор угла

Предназначен для перекоса осей секций двигателя или самого двигателя относительно нижней части бурильной колонны. Устанавливается между силовой и шпindelной секцией или над самим ВЗД. Обычно состоит из двух переводников, сердечника и зубчатой муфты.



Рисунок 10 – Общий вид регулятора угла перекоса ВЗД

Конструктивное различие ВЗД с регулировочным узлом заключается в наличии зубчатой муфты (рис. 10. 1).

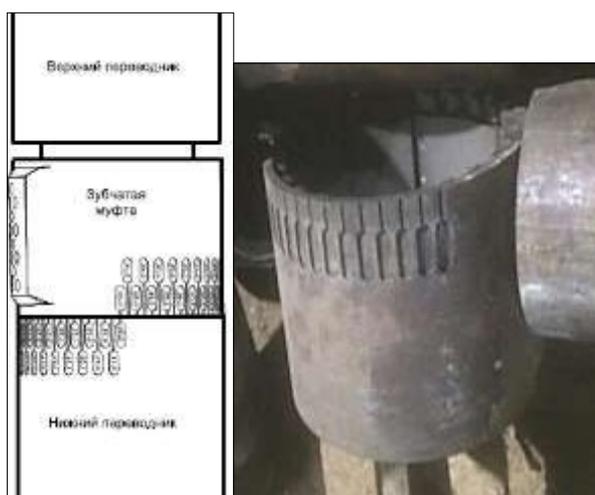


Рисунок 10.1 – Общий вид угла перекоса ВЗД (слева), нижняя регулировочная зубчатая муфта с градуировкой угла перекоса ВЗД (справа)



Рисунок 10.2 – Регулятор угла перекоса ВЗД в разрезе

Определение требуемого угла перекоса зависит от требуемой интенсивности искривления ствола скважины, измеряемая величиной **1 градус/ 10 метров** проходки. В свою очередь требуемая интенсивность искривления зависит от геологического разреза

скважины и секции, под которую осуществляется бурение. Например, при бурении в Восточной Сибири типовой конструкцией скважин является: направление 324 мм, кондуктор 245 мм, эксплуатационная колонна 168 мм, хвостовик 114 мм. Согласно прочностным характеристикам обсадных колонн данных типоразмеров устанавливается максимально допустимая интенсивность искривления скважины: ОК 324 мм и ОК 245 мм -  $1^\circ/10\text{м}$ ; ОК 168 мм -  $2^\circ/10\text{м}$ ; хвостовик 114мм -  $3^\circ/10\text{м}$ .

На рисунке 11 показан пример таблицы для типоразмера ВЗД 172 мм [13].

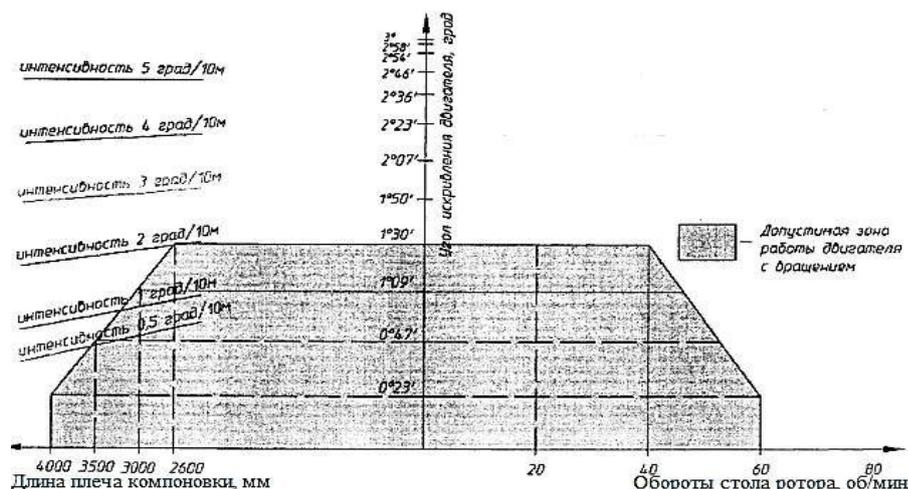


Рисунок 11 - Допустимые значения частоты вращения колонны бурильных труб и угол искривления винтового двигателя ДГР-172 в зависимости от длины нижнего плеча компоновки.

### Дополнительные узлы

В данный раздел можно отнести конструктивные особенности ВЗД, которые не влияют на работоспособность самого двигателя, но выполняют другие немаловажные функции в составе винтового забойного двигателя.

### Противоаварийные узлы

Винтовые забойные двигатели имеют достаточную прочность и надежность при эксплуатации в различных условиях, и удовлетворяют высоким требованиям Заказчика. Но для обеспечения безопасности работ, снижения аварийности и уменьшения потерь потребителя, возникающих при аварийных ситуациях, все модели винтового забойного двигателя оснащаются устройством безопасности, предотвращающим падение инструмента при обрыве.

Данное устройство используется для защиты от падения ВЗД в скважину при разрушении корпуса или развинчивании резьбовых соединений, а также для повышения давления в системе при возникновении аварии, при этом обеспечивается быстрое обнаружение аварии персоналом и своевременный подъем оборудования (рис. 12).



Рисунок 12 – Противоаварийный узел.

Конструктивно представляет втулку с гайкой вкрученной в ротор ВЗД, в рабочем состоянии двигателя гайка находится выше посадочного кольца, расположенного перед ротором ВЗД. В случае поломки двигателя по резьбовому соединению, либо корпусу, гайка садится в посадочное седло. Характерные признаки поломки ВЗД по корпусу и задействование резкий рост давления в нагнетательной линии при отрыве от забоя и падение давления при разгрузке на забое.

Переводник-предохранитель имеет два вида исполнения: сплошной (как показано на рис.12) и сквозной (с насадкой). Второй тип исполнения используется

в случае если есть необходимость интенсивной очистки забоя от шлама с повышенным расходом, не предусмотренным конструкцией ВЗД, то установив данную насадку, часть бурового раствора проходит не через зазоры статор-ротом, а внутри ротора и напрямую поступает к долоту, тем самым, не превышая допустимый расход промывочной жидкости на рабочую секцию ВЗД (ри.12.1). Данный компонент практически не используется в отечественном бурении [7,11].

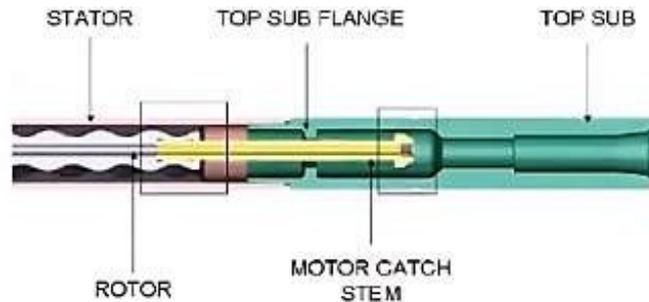


Рисунок 12.1 – Насадка предохранительного переводника на выходе из ротора (желтая) [7]

### **Клапан обратный; переливной (циркуляционный)**

Клапан обратный (рис.13) устанавливается выше гидравлического забойного двигателя и предназначен для исключения шламования двигателя при спуске бурильной колонны, а также для предотвращения нефтегазоводопроявлений (ГНВП) из скважины через бурильные трубы в процессе бурения нефтяных и газовых скважин



.Рисунок 13 – Самый распространенный тип обратных клапанов отечественных производителей.

Переливной клапан (рис.13.1) устанавливается выше винтового забойного двигателя (ВЗД) и предназначен для сообщения внутренней полости бурильных труб с затрубным пространством при спускоподъемных операциях. Применение клапана уменьшает гидродинамическое воздействие на забой при спуске и подъеме колонны, а так же предохраняет двигатель от холостого вращения и шламования. При подъеме, применение ВЗД совместно с клапаном исключает неконтролируемый розлив промывочной жидкости («сифон») [10-11].



Рисунок 13.1 – Переливной клапан ВЗ

## **Фильтр двигателя (шламоуловитель)**

Фильтры двигателя (рис.14) предназначены для защиты гидравлических забойных двигателей (ГЗД), телесистем (ТС) и элементов компоновки низа буровой колонны от попадания посторонних предметов и крупного шлама. Установка фильтров выполняется непосредственно над ГЗД или выше ТС. Эксплуатация производится на буровых растворах плотностью до 2000 кг/м<sup>3</sup> при забойной температуре до 150 °С. Содержание песка в буровом растворе не должно превышать 2% для фильтров и 8% для шламоуловителей. Очистка шламоуловителей может производиться непосредственно на буровой. Принцип действия: фильтры содержат сменный фильтрующий элемент щелевого типа, механически препятствующий прохождению крупной фракции. Перепад давления при максимальном расходе на воде при незасоренном фильтроэлементе не более 0,6 Мпа [10-11]



Рисунок 14 – Щелевой фильтр ВЗД

## **Центратор-стабилизатор шпиндельной секции**

Устанавливаются на шпиндельную секцию двигателя. Служат для симметричного расположения двигателя в процессе бурения. Влияют на поддержание зенитного угла при роторном режиме бурения с ВЗД. Центраторы имеют как сменное исполнение, так и встроенное в корпус ВЗД (рис.15) [10-11].

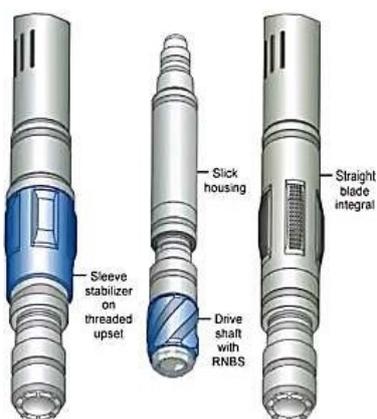


Рисунок 15 – Центраторы ВЗД  
(слева, в центре – сменный вид исполнения; справа –  
встроенный)

### Блок-схема конструкции ВЗД

Таким образом, винтовой забойный двигатель, можно  
представить в виде блок- схемы:



## Техническая характеристика винтового забойного двигателя ДР-190.6/7.56



### Шифр ДР-190.6/7.56

Типы выпускаемых двигателей в габаритах 42-240 мм:

- "Д" (ДП) - двигатели прямые;
- "ДР" - двигатели с регулируемым узлом искривления;
- "ДГР" - двигатели с укороченным шпинделем;
- "ДВ" - двигатели с повышенной частотой вращения.

190 – наружный диаметр

6/7 – заходность винтовой пары (количество зубьев ротора/статора)

56 - число шагов винтового зуба статора x 10 (5 целых 6 десятых)

Д1 – цифра обозначает номер модели двигателя.

## Расчет основных размеров винтового забойного двигателя

Заданными параметрами для расчета винтовых двигателей являются: диаметр скважины  $D_{ск}$ ; расход жидкости  $Q$ ; скорость вращения потока  $n$ ; перепад давления на двигателе  $P$ ; крутящий момент на валу  $M$ .

В данной курсовой работе использованы следующие числовые параметры:

Диаметр скважины  $D=195$  мм

Расход бурового раствора  $Q=26$  л/с

Частота вращения долота  $n= 1,5$  с<sup>-1</sup>

Перепад давления  $\Delta p = 5$  МПа

Крутящий момент на валу  $M=5000$  Н

Диаметр двигателя задают из условия обеспечения требуемого коэффициента просвета:

$$D = (0,8 - 0,92) \cdot D_{ск} = (0,8 - 0,92) \cdot 195 = 179 \text{ мм}$$

Контурный диаметр статора (по впадинам зубьев):

$$D_{ст} = D_p - 2 \cdot (\delta + \delta_r) = 179 - 2 \cdot (12,53 + 7,16) = 140 \text{ мм}$$

где  $\delta$  - толщина металлической стенки статора, принимая в пределах  $(0,07-0,1)D$ ;  $\delta_r$  - минимальная толщина резиновой обкладки статора должна быть не менее  $(0,04-0,07)D$ .

Для выбора кинематического отношения винтового героторного механизма руководствуются следующим:

В случае если по условиям эксплуатации требуется двигатель с малой скоростью вращения и большим крутящим моментом, целесообразно принять кинематическое отношение:

$$i = \frac{z_2}{z_1}$$

$$i = \frac{7}{8}; i = \frac{8}{9}; i = \frac{9}{10}$$

и более.

Принимаем  $i = \frac{8}{9}$ .

Из двух возможных зацеплений (гипоциклоидное и эпициклоидное) предпочтение отдается гипоциклоидному зацеплению.

Эксцентриситет гипоциклоидного зацепления:

$$e = \frac{D_1}{2[c_1(z_1 - 1) + 1 + c_2]} = \frac{140}{2[1,1(8-1) + 1 + 1,6]} = 6,8 \text{ мм}$$

где  $c_1$  - коэффициент внецентроидности, принимаемый исходя из условий обеспечения максимальной плавности профиля в пределах 1,1 – 1,5;  $c_2$  - коэффициент, способствующий обеспечению минимума контактного давления в паре ротор – статор, принимают 1,6-2,5.

Принимаем  $c_1 = 1,1$ ;  $c_2 = 1,6$

Ориентировочное значение площади живого сечения рабочей камеры:

$$S = \pi \cdot e \cdot (D_1 - 2 \cdot e) = 3,14 \cdot 6,8 \cdot (140 - 2 \cdot 6,8) = 2698 \text{ мм}^2$$

Шаг винтовой поверхности статора

$$T = \frac{Q}{s \cdot n \cdot z_1} = \frac{0,026 \cdot 10^6}{2698 \cdot 1,5 \cdot 8} = 900 \text{ мм}$$

где  $z_1$  - число заходов ротора.

Полученная по формуле 6 величина должна находиться в пределах:  $T = (4,5 - 6,5) \cdot D_1$  и не превышать 1000 мм (по условиям технологии изготовления). То есть в данном случае находиться в пределах  $630 < T < 910$ .

При выборе шага статора необходимо определить скорость движения жидкости в каналах:

$$V = T \cdot n \cdot z_1 = 0,8 \cdot 1,5 \cdot 8 = 9,6 \text{ м/с}$$

Скорость движения жидкости в каналах не должна быть больше 15 м/с.

Шаг винтовой поверхности ротора:

$$t = T \cdot \frac{z_1}{z_2} = 0,8 \cdot \frac{9}{8} = 0,9 \text{ мм}$$

Диаметр статора по выступам:

$$D_2 = D_1 - 4 \cdot e = 140 - 4 \cdot 6,8 = 112,8 \text{ мм}$$

Диаметр ротора по впадинам:

$$d_1 = D_2 - 2 \cdot e + \delta = 112,8 - 2 \cdot 6,8 + 0,006 \cdot 140 = 100,04 \text{ мм}$$

где  $\delta$  - диаметральный натяг, равный (0,005-0,007)  $D_1$ .

Длина рабочей поверхности обкладки статора:

$$L = T \cdot K_1$$

где  $K_1$  - число шагов статора, определяется по формуле:

$$K_1 = \frac{P}{|P|} = \frac{5}{2} = 2,5$$

где  $|P|$  - допустимый перепад давления на один шаг, принимаемый при твердости резины 75 – 80 усл. ед., равным 2 – 3 МПа. Меньшее значение допустимого давления принимают при применении абразивной жидкости, а большее – при использовании жидкости с небольшим содержанием механических примесей.

Тогда по зависимости 11:

$$L = 800 \cdot 2,5 = 2000 \text{ мм}$$

Величина рабочего объема двигателя:

$$V_0 = S \cdot T \cdot z_1 = 0,0187 \cdot 0,8 \cdot 8 = 0,12 \text{ м}^3$$

В данной зависимости  $S, \text{ м}^2$  – площадь сечения шлюза. Для винтовых двигателей с гипоциклоидным центроидным зацеплением площадь сечения шлюза:

$$S = 2\pi \cdot e^2 \cdot (z_1^2 - 1) + \delta \cdot e \cdot r = 2 \cdot 3,14 \cdot 6,8^2 \cdot (8^2 - 1) + 0,84 \cdot 6,8 \cdot 68,25 = 18684 \text{ мм}^2$$

Скорость вращения ротора:

$$n = n_0 \cdot \frac{Q \cdot \eta_{об} \cdot 60}{e \cdot T}$$

где  $\eta_{об}$  - объемный КПД, принимаемый  $\eta_{об} = (0,75-0,8)$ .

Здесь удельная скорость вращения ротора:

$$n_0 = \frac{1}{\left[ 2\pi \cdot (z_1^2 - 1) + \frac{8}{c_1} \right] z_1} = \frac{1}{\left[ 2 \cdot 3,14 \cdot (8^2 - 1) + \frac{8}{1,6} \right] 8} = 0,0026$$

Тогда по формуле 16:

$$n = 0,0026 \cdot \frac{0,026 \cdot 0,8 \cdot 60}{0,0068^2 \cdot 0,8} = 88 \text{ об/мин}$$

Момент винтового двигателя:

$$M = M_0 \cdot p \cdot D \cdot e \cdot t$$

Удельный момент винтового двигателя:

$$M_v = \frac{z_2 - 1}{2} + \frac{2}{\pi \cdot c_v} = \frac{8 - 1}{2} + \frac{2}{3,14 \cdot 1,6} = 4$$

Следовательно:

$$M = 4 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot 0,179 \cdot 0,0068 \cdot 0,9 = 219 \text{ кН м}$$

Для расчета осевой опоры двигателя вычисляют осевую гидравлическую нагрузку, действующую на ротор:

$$F_{ос} = \frac{\pi \cdot p \cdot (D_1 - 4e)^2}{4} + \frac{2 \cdot \pi \cdot M}{T} =$$
$$= \frac{3,14 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot (0,14 - 4 \cdot 0,0068)^2}{4} + \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 21900}{0,8} = 221,86 \text{ кН}$$

## **Заключение:**

По мере увеличения объема бурения совершенствовалась техника. За десятки лет существования отечественные винтовые забойные двигатели прошли эволюционный путь развития, превратившись в эффективное техническое средство для бурения и ремонта нефтяных и газовых скважин, обеспечивающее получение высоких показателей.

Постоянный рост удельного веса бурения винтовыми забойными двигателями объясняется как объективными благоприятными факторами (появление на буровом рынке нового поколения низкооборотных шарошечных долот и развитием новых технологий буровых работ), так и важными эксплуатационными преимуществами самих двигателей, среди которых в первую очередь следует отметить:

оптимальные энергетические характеристики - высокие крутящие моменты при низких частотах вращения, обеспечивающие эффективную отработку долот различного типа.

### Список литературы

1. Д.Ф. Балденко, Ф.Д. Балденко, А.Н. Гноевых. Винтовые забойные двигатели. – М.: Недра, 1999.
2. В.В. Лебедев. Бурение горизонтальных скважин. Учебник инженера по бурению горизонтальных скважин. 2013 г.
3. История создания винтовых забойных двигателей. Статья. Электронный ресурс: <http://vseobureнии.com/istoriya-sozdaniya-vintovyih-zaboynyih-dvigatelay>. Дата обращения: 25.03.2018г. 1999г.
4. А.И. Булатов, А.Г. Аветисов, Справочник инженера по бурению, т. 1 – М.: Недра,