© Р.В. Карапетов, С.Б. Бекетов, 2007

УДК 622.245+622.279.7

Р.В. Карапетов, С.Б. Бекетов

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ ВИНТОВЫХ ЗАБОЙНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ – ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА И РЕМОНТА СКВАЖИН

Существующие тенденции развития технологий, связанных с применением винтовых забойных двигателей (ВЗД) при бурении и капитальном ремонте скважин, направлены на разработку оптимальных режимов их использования, позволяющих обеспечить возможность оперативного контроля и регулирования технологических параметров – частоты вращения и крутящего момента применительно к заданным расходу и плотности промывочного агента, характеристикам бурового оборудования и условиям управления скважиной в процессе ее строительства или ремонта. Чаще всего ВЗД используется в качестве забойного привода в компоновках для наклонно – направленного и горизонтального бурения, а также для зарезки и проводки боковых стволов скважин, где альтернативы их использованию практически не существует [1-6].

В сравнении с другими видами забойного привода породоразрушающего инструмента использование ВЗД при бурении и капитальном ремонте скважин имеет значительные технико-экономические преимущества [1-4, 7-9]:

- низкая частота вращения при высоком крутящем моменте, что обеспечивает эффективную отработку различных типов долот;
- небольшой рабочий перепад давления, позволяющий использовать гидромониторные долота при существующем насосном парке;
- возможность контроля режимно-технологических параметров в процессе эксплуатации;
- широкий типоразмерный ряд, позволяющий использовать ВЗД в различных технологических операциях;
- возможность применения практически любого типа промывочного агента в качестве рабочего, с содержанием наполнителя до 10 %.

К недостаткам отечественных ВЗД можно отнести низкий моторесурс, ограничение температурного предела эксплуатации, невысокую стойкость к агрессивному воздействию скважинной среды, значительное изменение рабочей характеристики в процессе эксплуатации, высокую трудоемкость и стоимость ремонтно-профилакти-ческих работ.

Современные технологии вскрытия продуктивных пластов, особенно в наклонно-направленных скважинах и скважинах с горизонтальным окончанием ствола, предъявляют повышенные требования к надежности и долговечности забойного инструмента. Необходимо подчеркнуть, что моторесурс современных долот, выпускаемых отечественной промышленностью довольно высок, и составляет 600-900 часов в зависимости

от геологических характеристик вскрываемого разреза, в то время как паспортный ресурс ВЗД составляет около 200 часов при работе на воде [12]. Фактические данные по отработке ВЗД в различных регионах страны весьма противоречивы и колеблются от 20 до 370 часов. Вероятнее всего такая большая разница в показаниях износостойкости объясняется различиями инженерно-геологических условий бурения, технологических приемов проведения работ, применяемых типов и составов промывочных жидкостей на тех или иных буровых предприятиях [13].

В процессе эксплуатации двигателя, вследствие износа рабочей секции существенно меняется его энергетическая характеристика, что сопровождается снижением рабочего перепада давления и влечет за собой уменьшение крутящего момента, а значит снижение нагрузочной способности двигателя [8, 11, 14, 15]. Опыт эксплуатации винтовых забойных двигателей показал, что основной причиной выхода их из строя является износ рабочих органов (РО), представляющих собой пару трения резина – металл (статор – ротор), работающую в режиме циклического контактно – динамического нагружения в условиях смазки протекающей рабочей жидкостью. Главной конструктивной особенностью ВЗД является необходимость сохранения натяга в контакте поверхностей ротора и статора. Отрицательное влияние изнашивания, обусловленное трением и характеризующееся изменением геометрических размеров трущихся поверхностей приводит к снижению натяга в паре и потере работоспособности гидромашины. Наиболее интенсивное изнашивание имеет место в случаях, когда в качестве рабочей жидкости для ВЗД используется плохо очищенный (или утяжеленный) буровой раствор или перекачиваемый винтовым насосом скважинный флюид с высоким содержанием абразива.

Условием надежной эксплуатации отечественных ВЗД является необходимость использования промывочного агента с концентрацией абразивных частиц не более 1 % от объема. По результатам исследований, проведен-ных во ВНИИБТ, установлено, что увеличение содержания абразива в промывочном агенте на 50-70 % от рекомендуемого паспортного значения сокращает долговечность РО ВЗД в 2-3 раза [9, 13, 14]. Проблема заключается в том, что системы очистки промывочного агента, которыми комплектуются отечественные буровые установки, не могут обеспечить такое качество очистки. Это связано как с техническими возможностями оборудования, так и с рецептурами некоторых промывочных агентов. В таких случаях буровая должна оснащаться дополнительными, как правило, импортными средствами очистки промывочного агента. Стандартное оборудование очистки, используемое в настоящее время при бурении скважин не может обеспечить концентрацию абразивных частиц менее 3 %, а при бурении в пластах сложенных мелкофракционным песчаником эта величина достигает 8 - 10 %. При ремонте скважин очистка промывочного агента часто осуществляется в приямках и желобах, т.к. эффективные отечественные очистные системы для КРС сегодня не выпускаются в промышленных масштабах, а импортные дорогостоящие (в связи с этим ремонтные предприятия их не закупают).

Общий к.п.д. винтовых забойных

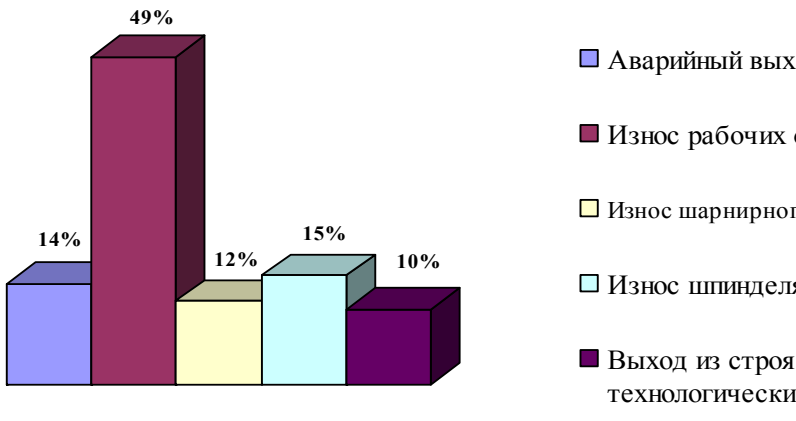

Рис. 1. Сравнительная диаграмма причин выхода из строя ВЗД

трением в рабочих органах, шарнирном соединении и опоре двигателя. Объемные потери характеризуются утечками рабочей жидкости в камерах рабочих органов. Гидравлические потери возникают при движении жидкости по винтовым каналам и другим проточным элементам двигателя [1, 2]. Объемные и механические потери в рабочих органах являются преобладающими – они составляют 80-86 % от подводимой мощности в режиме холостого хода, и от 15–20 % при повышении момента на валу.

Опыт использования ВЗД в бурении и капитальном ремонте скважин показывает, что двигатель теряет работоспособность ввиду следующих основных причин [1, 2, 13]:

- износ рабочих органов;
- износ шарнирного соединения;
- износ шпинделя;
- выход из строя по технологическим причинам (шламование рабочих органов, разъединение элементов роторной группы, разъединение корпусных резьб, неисправность переливного клапана и др.);
- аварийный выход из строя (отрыв резиновой обкладки статора от корпусной трубы, слом торсиона, карданного и выходного валов и т.п.).

Сравнительный статистический анализ причин выхода из строя винтовых забойных двигателей, проведенный на предприятии ООО «Кубаньбургаз» в период с 1998 по 2003 год, показал, что 49 % случаев потери работоспособности связано с износом рабочих органов (рис. 1). Средняя наработка на отказ на одну рабочую пару ротор-статор на этом предприятии не превышает 70 часов при этом, сумма затрат, связанных с ремонтом рабочих органов, составляет 55% в общем объеме затрат на ремонт ВЗД. [13].

В процессе эксплуатации рабочие органы ВЗД подвергаются различным видам изнашивания: усталостному, фрикционному, гидроабразивному по закрепленному и незакрепленному абразиву, а также эрозионному и коррозионно-механическому при воздействии повышенных давлений и температур (рис. 2) [1, 2, 14, 16, 17].

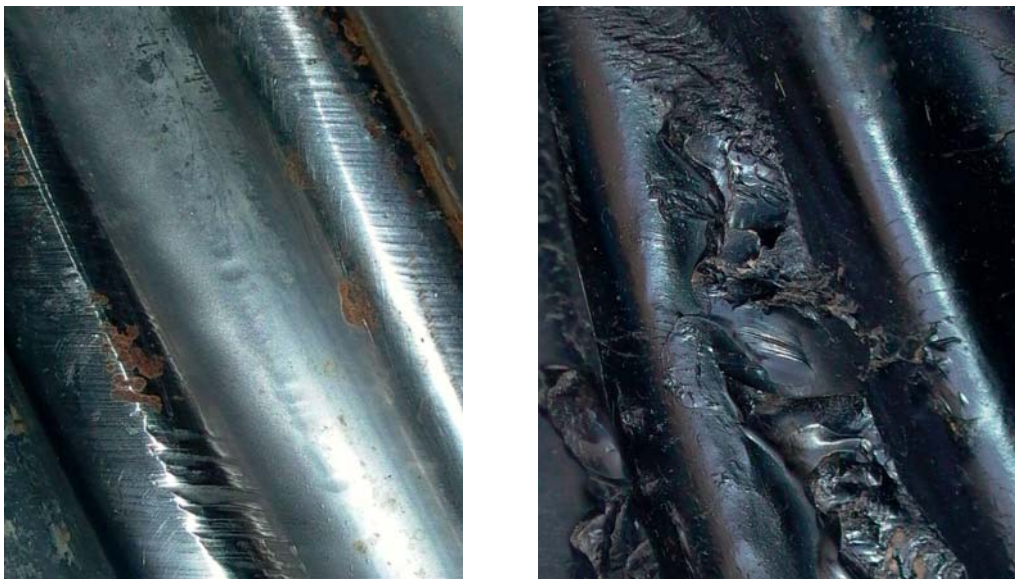

Рис. 2. Износ поверхностей ротора и статора винтового забойного двигателя Д 5 – 172: а – износ поверхности ротора; б – износ поверхности статора

Сложному характеру силового и контактного воздействия в рабочих органах ВЗД соответствует наиболее интенсивный износ и дальнейшее разрушение резинового элемента статора [13, 14, 16].

Анализ изношенной поверхностей эластичных элементов статоров ВЗД, вышедших из строя в ООО «Кубаньбургаз», показывает, что износ профиля выступов резинового элемента статора различен в зависимости от условий контактного взаимодействия в каждый момент цикла нагружения и определяется величиной касательных напряжений. В зоне максимальных касательных напряжений наблюдается наибольший износ, изменяющий профиль зубьев и снижающий натяг в рабочих органах ВЗД (рис. 3).

Известно, что износостойкость резинометаллических пар трения во многом определяется характером смазочной среды, обуславливающим режим контактного взаимодействия, поведение абразива в контакте, а также соответствием физико-механи-ческих свойств материалов сопряжения конкретным условиям эксплуатации.

Кроме того, снижение работоспособности рабочих органов ВЗД может быть обусловлено процессами релаксации напряжения и накопления остаточной деформации, вызывающими изменение геометрических размеров резинового элемента статора и, как следствие, снижение натяга [17, 18].

Существующие направления совершенствования, конструкции ВЗД связаны с повышением износостойкости узлов и деталей, нагрузочной способности и увеличением межремонтного периода эксплуатации.

Осваиваемые пути повышения износостойкости пары трения ротор-статор направлены на увеличение длины активной части рабочих органов, совершенствование технологии изготовления статоров с резиновой обкладкой равной

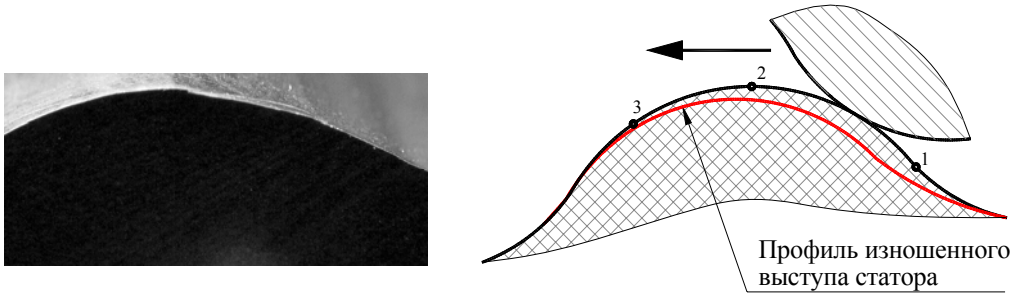

Рис. 3. Схема контактного взаимодействия выступов ротора и статора

толщины и секционированием [11,12]. Перечисленные мероприятия позволяют значительно повысить долговечность и технологичность ВЗД применительно к штатным технологиям, но не учитывают многих объективных факторов, что ограничивает область применения создаваемых конструкций винтовых двигателей.

Современные разрабатываемые технологии бурения и капитального ремонта скважин направлены на снижение себестоимости работ и повышение качества строительства и ремонта скважин. В этой связи, наиболее приемлемыми, считаются методы, позволяющие обеспечить повышение износостойкости узлов и деталей в процессе эксплуатации двигателя без вмешательства в его работу. Как правило, такие условия могут быть достигнуты при использовании необратимых и неравновесных процессов, например таких как трение в синергетическом взаимодействии [20].

Одним из таких направлений является разработка и реализация способа автокомпенсации износа в рабочих органах ВЗД. В основе предлагаемого способа лежит использование, активированного трением, диффузионного взаимодействия эластичного материала статора с рабочей жидкостью (буровым раствором, перекачиваемым флюидом и т.п.) с целью восстановления натяга в паре за счет изменения размера резинового элемента без вмешательства в работу гидромашины, т.е. автокомпенсации износа [19, 21].

Кинетическим условием реализации автокомпенсации износа в рабочих органах ВЗД и ВН является согласование величины интенсивности изнашивания в паре трения и скорости изменения размера резинового элемента за счет набухания. Технически это может быть реализовано только при использовании резинового элемента двухслойной конструкции. При этом комплекс физико–механи-ческих свойств внешнего контактного слоя должен обеспечивать как достаточную износостойкость в конкретных условиях эксплуатации, так и стойкость к набуханию при взаимодействии с рабочей жидкостью. Компенсация износа осуществляется за счет изменения размеров внутреннего слоя резинового элемента пары, вызванного взаимодействием с диффундирующими через контактный слой компонентами рабочей жидкости. Причем процесс диффузионного про-никновения инициируется трением и имеет место только на участках контактного взаимодействия

Таким образом, повышение износостойкости рабочих органов ВЗД за счет реализации эффекта автокомпенсации

износа – комплексная научно-практическая задача, решение которой требует исследований по следующим направлениям:

- анализ процесса изнашивания, видов разрушения и условий контактного взаимодействия в рабочих органах ВЗД;

- экспериментальное изучение закономерностей изнашивания эластичного материала статора в зависимости от влияния объективных

эксплуатационных факторов с учетом условий контактного взаимодействия;

- исследование реализации эффекта автокомпенсации в паре трения резина - металл за счет диффузионно-сорбционного взаимодействия с рабочей жидкостью в условиях контактно – динамического нагружения.

- разработка новых материалов и конструкции статора ВЗД, обеспечивающей реализацию предлагаемого способа автокомпенсации износа в рабочих органах ВЗД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Забойные* винтовые двигатели для бурения скважин / М.Т. Гусман, Д.Ф. Балденко, А.М. Кочнев и др. / М.: Недра, 1981. С. 232.

2. *Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д. Гноевых А.Н.* Винтовые забойные двигатели / М.: Недра. 1999. С. 374.

3. *Кочнев А.М., Голдобин В.Б.* Разработка гаммы винтовых забойных двигателей и результаты их применения при бурении и капитальном ремонте скважин / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. М.: ВНИИОЭНГ, 1992. № 6-7. С. 2-6.

4. *Балденко, Д.Ф.* Новая серия ВЗД для горизонтального бурения / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. М.: ВНИИОЭНГ. 1995. № 10-11. С. 23-25.

5. *Балденко, Д.Ф., Балденко Ф.Д., Шмидт А.П.* Винтовые забойные двигатели: Новые конструкции и способы управления / М.: Нефтяное хозяйство. 1997. № 1. С. 13-17.

6. *Новое* поколение винтовых забойных двигателей Пермского филиала ВНИИБТ / Ю.А. Коротаев, М.Г. Бобров, С.Г. Трапезников и др. // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. М.: ВНИИОЭНГ, 2003. № 9. С. 7-11.

7. *Балденко Д.Ф. Кочнев А.М.* Винтовые забойные двигатели. Разработка лаборатории конструирования технических средств для научных и стендовых испытаний / М.: Нефтяное хозяйство. 1993. № 1. С. 26-27.

8. *Кочнев, А.М., Кочнева Б.В.* Обзор информации по забойным двигателям / М.: Нефтяное хозяйство. 1979. № 8. С. 59-61.

9. *Бобров, М.Г.* Результаты внедрения новых винтовых забойных двигателей Пермского филиала ВНИИБТ / М.: Вестник ассоциации буровых подрядчиков. 2000. №1. С. 36-40.

10. *Балденко Д.Ф., Хабецкая В.А.* Новые малогабаритные винтовые забойные двигатели для проводки дополнительных стволов и капитального ремонта нефтяных и газовых скважин / Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. М.: ВНИИОЭНГ, 1999. № 4-5. С. 4-7.

11. *Балденко Д.Ф. Медведева Л.Н.* Усовершенствование конструкции рабочих органов забойных винтовых двигателей / М.: Машины и нефтяное оборудование. 1982. № 5. С. 9-10.

12. *Павлык, В.Н., Шулепов В.А.* Об эффективности применения винтовых забойных двигателей / М.: Вестник ассоциации буровых подрядчиков. 2002. №4. С. 24-25.

13. *Анализ* видов разрушения рабочих органов винтовых забойных двигателей по результатам их использования в ООО «Кубаньбургаз» / С.А. Акопов, Г.П. Шелудько, Р.В. Карапетов // Материалы XXXI науч.-техн. конференции по результатам работы за 2000 год: тез. докл. Ставрополь: СевКавГТУ. 2001. С. 85.

14. *Ганелина С.А.* Резинометаллические детали гидравлических забойных двигателей / М.: Недра, 1981. С. 118.

15. *Балденко, Д.Ф., Ганелина С.А., Гинзбург Э.С.* Исследование износа рабочих органов винтового забойного двигателя / М.: Машины и нефтяное оборудование. 1974. №10. С. 9-12.

16. *Budepudi, V.* Drilling fluid type affects elastomer selection /Budepudi, V Michael Wilson

J., Patel A. // Oil and Cas Jornual. 1998. № 5. P. 75-80.

17. Истирание резин / Г.И. Бродский В.Ф. Евстратов Н.Л. Сахновский и др. // М.: Химия, 1975. С. 238.

18. *Зуев Ю.С.* Разрушение эластомеров в условиях характерных для эксплуатации / М.: Химия. 1980. С. 288.

19. *Акопов С.А., Шелудько Р.В., Карапетов Р.В.* Новый способ автокомпенсации пары трения «ротор – статор» винтового забойного двигателя / Материалы XXIX научно-технической конференции по результатам НИР профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов СевКавГТУ за 1998 год. Тез. докл. науч.-тех. конф. / Ставрополь: СевКавГТУ, 1999. Т. 2. С. 97.

20. *Гаркунов, Д.Н. Триботехника* / Учеб. в 2-х томах. Том 2. Износ и безизносность. 4-е изд. перераб. и дополн. М.: МСХА, 2001 г. С. 616.

21. Пат. 2245981 RU, МПК^7 Е 21 В 4/02. Способ изготовления статора винтового забойного двигателя /Акопов С.А., Шелудько Г.П., Пенкин Н.С., Карапетов Р.В. и др. // Патент РФ № 2003132489/03. Приоритет от 05.11.03. ГИАБ

Коротко об авторах

Карапетов Р.В. – ОАО «СевКавНИПИгаз»
Бекетов С.Б. – доктор технических наук, профессор, СевКавГТУ.

Статья представлена Северо-Кавказским государственным техническим университетом.
Рецензент доцент *Ю.К. Димитриади.*

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ДЕРКАЕВА Алла Владимировна	Разработка технологии выемки выклинивающихся рудных тел с доставочно-выпускными рудоспусками (на примере рудников Горной Шории и Хакасии)	25.00.22	к.т.н.
РАЗУМОВА Лариса Викторовна	Разработка методики прогнозирования напряженно-деформированного состояния неоднородного угольного массива	25.00.20	к.т.н.