УДК 622.24

ВСЁ О ВЗД

ALL ABOUT PDM

Балденко Д.Ф.
д-р техн. наук
dbaldenko@mail.ru

Балденко Ф.Д.
канд. техн. наук
fbaldenko@mail.ru

Аннотация. Учитывая растущий интерес к вопросам техники и технологии бурения скважин, издательство предложило авторам в рамках Булатовских чтений презентовать их последние монографии, посвящённые винтовым забойным двигателям (ВЗД), которые нашли повсеместное применение в качестве забойного привода буровых долот. В презентации книг, изданных в России и за рубежом, систематизирован широкий круг вопросов теории и практики ВЗД применительно к современным технологиям бурения и машиностроительным достижениям, а также обозначены пути совершенствования конструкций двигателей и развития областей их применения. Отмечены ранее не изученные разделы теории ВЗД, имеющие важное значение для дальнейшего развития винтовых гидравлических машин и технологических процессов с их использованием.

Ключевые слова: винтовой забойный двигатель, героторный механизм, крутящий момент, ротор, статор, характеристика, циклоидальном зацепление.

Baldenko D.F.
Ph.D. in Technical Sciences
dbaldenko@mail.ru

Baldenko F.D.
Candidate of Technical Sciences
fbaldenko@mail.ru

Annotation. Taking into account the growing interest in the issues of equipment and technology of drilling wells, the publishing house invited the authors to present their latest monographs on downhole drilling motors (PDM), which are widely used as a downhole drive of drilling bits, as part of the Bulatov Readings.The presentation of books published in Russia and abroad systematized a wide range of issues of the theory and practice of PDM in relation to modern drilling technologies and machine-building achievements, and also outlined ways to improve motor designs and develop their areas of application. Previously unstudied sections of the PDM theory, which are important for the further development of screw hydraulic machines and technological processes with their use, are noted.

Keywords: positive displacement motor, gerotormechanism, torque, rotor, stator, characteristic, cycloidal gearing.

Винтовые забойные двигатели (ВЗД) в настоящее время проектируются и изготавливаются многими известными машиностроительными и сервисными компаниями:

– в России – НПО «Буровая техника»; ВНИИБТ-Буровой инструмент, Пермнефтемашремонт, Радиус-Сервис, Гидробур-Сервис, Сокол и др.;

– за рубежом – NationalOilwellVarco, Halliburton, Dyna-Drill, Schlumberger, Weatherford, Lilin и др.

Применительно к различному назначению и условиям эксплуатации изготовители выпускают гамму ВЗД с диаметральным габаритом от 43 до 324 мм и кинематическим отношением от 2:3 до 10:11 с различной частотой вращения, крутящим моментом и перепадом давления.

Область применения ВЗД с каждым годом расширяется, в бурении они превратились в один из основных видов привода породоразрушающего и керноотборного инструмента. Помимо традиционных технологий бурения вертикальных и наклонных скважин ВЗД завоевали прочные позиции в новейших технологических процессах, в частности, при строительстве скважин с горизонтальным окончанием, бурении на депрессии.

ВЗД по-прежнему являются практически единственным техническим средством выполнения буровых работ в капитальном ремонте скважин и проводке тоннелей для инженерных сооружений.

Рабочие органы ВЗД с различным диаметральным размером и кинематическим отношением могут использоваться в специализированных буровых машинах и механизмах: турбовинтовых забойных двигателях, моторизованных роторно-управляемых системах, башмаках обсадных колонн, гидравлических осцилляторах и нагружателях, промывочных насосах буровой установки.

Параллельно с опытно-конструкторским работами специалисты перечисленных выше организаций провели интенсивные инженерные и научные исследования, направленные на изучение особенностей рабочего процесса ВЗД, технологии их производства и практического применения в процессе бурения скважин, результаты которых были опубликованы в ряде книг и справочных пособий, а также в печатных и электронных изданиях.

В последнее время в нашей стране и за рубежом изданы две монографии, посвящённые ВЗД (рис. 1):

– *Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Селиванов С.М. Теория и практика применения винтовых забойных двигателей. – М. : ЦентЛитНефтеГаз, 2020. – 460 с..

– * Samuel R., Baldenko D.F., Baldenko F.D. Mud Motor (PDM) and Well Engineering. – USA, Houston : Sigmaguadrant, 2020. – 378 p.

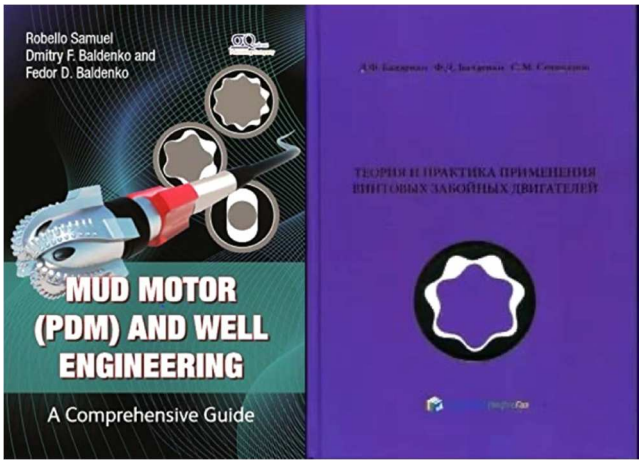

Рисунок 1 – Обложки книг

Содержание данных книг отражает современный этап развития ВЗД, отличающийся их применением в инновационных технологиях наклонно направленного и горизонтального бурения нефтяных и газовых скважин с использованием прогрессивных типов породоразрушающего инструмента и бурового оборудования.

В настоящей презентации широкий круг вопросов теории и практики ВЗД, связанный с рассмотрением различных геометрических, гидравлических и механических факторов, систематизирован и сгруппирован в виде 10 основных тем:

1. История создания ВЗД и их место в семействе гидравлических машин для бурения скважин (рис. 2, 3).
2. Геометрия винтовых рабочих органов с циклоидальным зацеплением зубьев (рис. 4).
3. Конструкции двигателей, классификация их компоновок и узлов.
4. Теория рабочего процесса ВЗД.
5. Характеристики ВЗД (рис. 5).
6. Забойные компоновки ВЗД для бурения наклонно направленных скважин (рис. 6).
7. Методики расчета ВЗД и их забойных компоновок, оптимизация геометрических и режимных параметров.
8. Эксплуатация и техническое обслуживание ВЗД.
9. Практика применения двигателей в различных технологиях бурения и ремонта скважин, управление режимом работы ВЗД.
10. Пути дальнейшего совершенствования ВЗД и развития областей их применения (рис. 7).

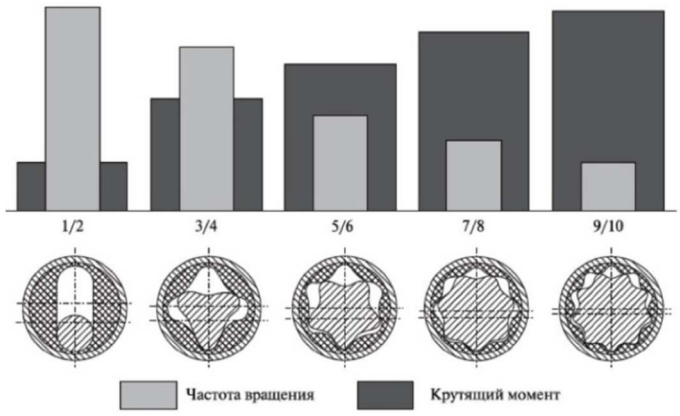

Рисунок 2 – Влияние кинематического отношения рабочих органов на выходные характеристики ВЗД (ВНИИБТ, 1972)

Рисунок 3 – Руководители проекта отечественного ВЗД (слева направо: Д.Ф. Балденко, А.М. Кочнев, М.Т. Гусман, С.С.Никомаров, начало 1980-х)

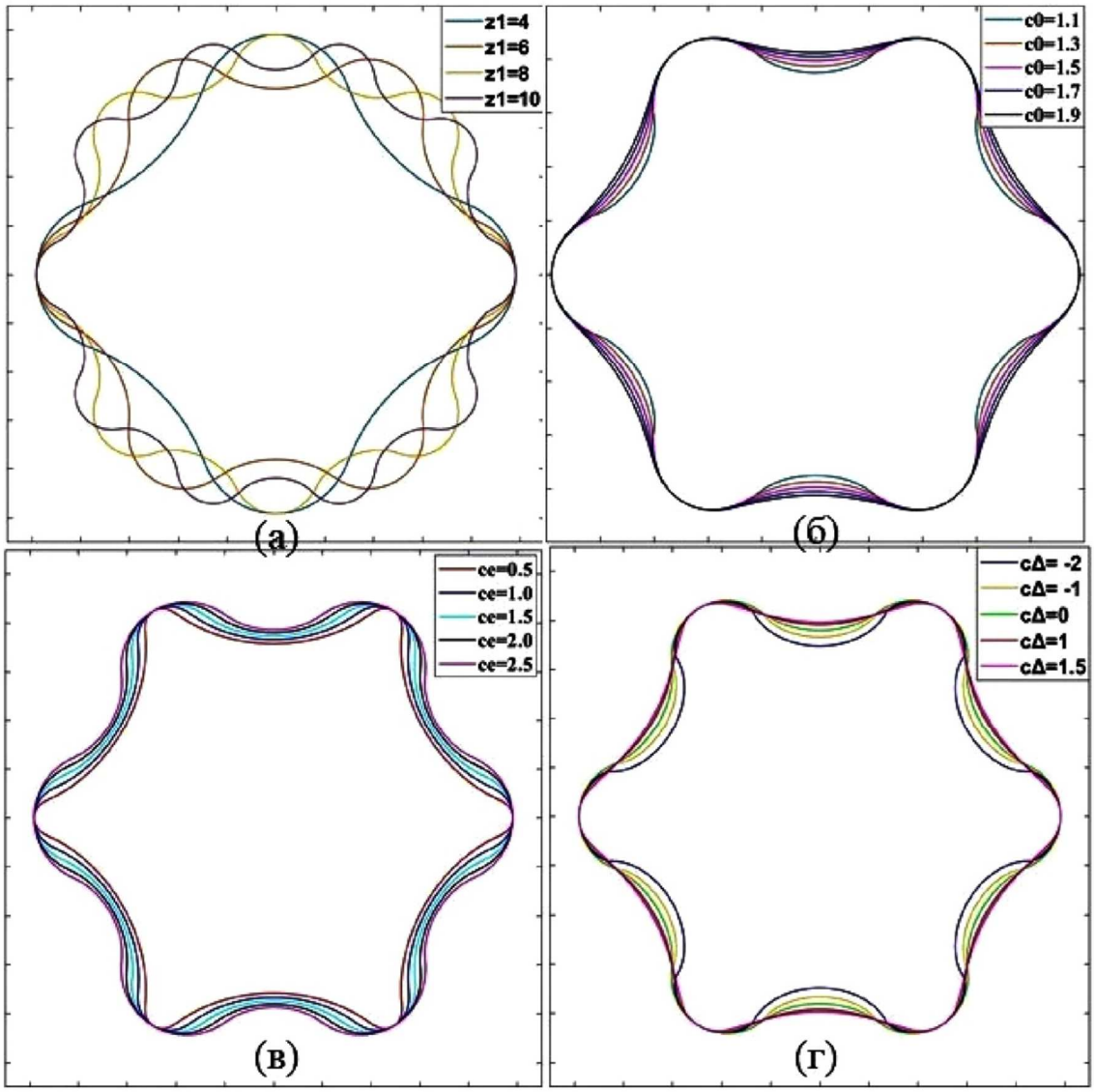

Рисунок 4 – Эволюция формы исходного циклоидального профиля при изменении безразмерных геометрических коэффициентов: а – числа зубьев z_1; б – внецентроидности c_0; в – формы зуба c_e; г – смещения c_Δ

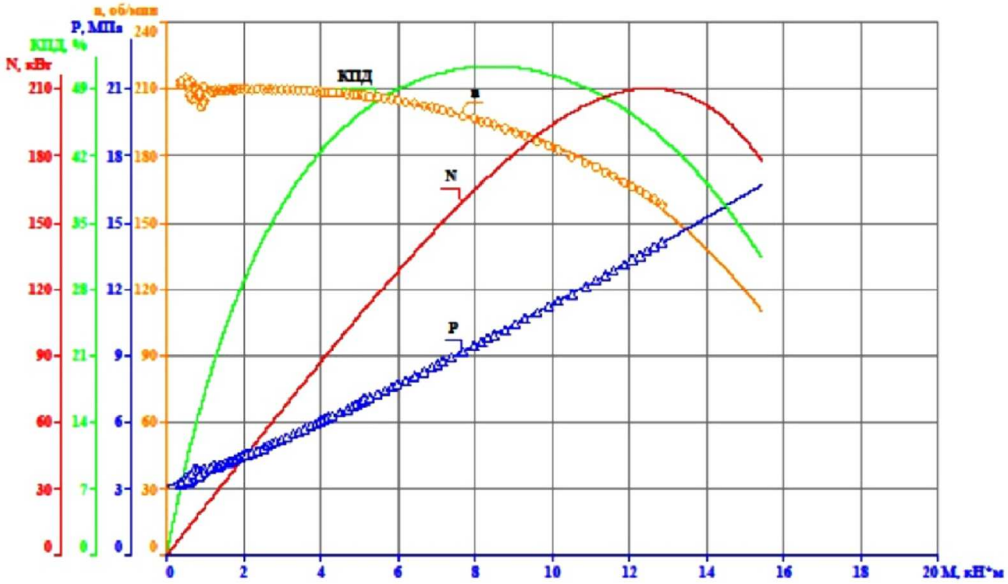

Рисунок 5 – Стендовая характеристика винтового двигателя Д-178.6/7.62 производства АО «Пермнефтемашремонт» при испытании на воде (Q = 34 л/с)

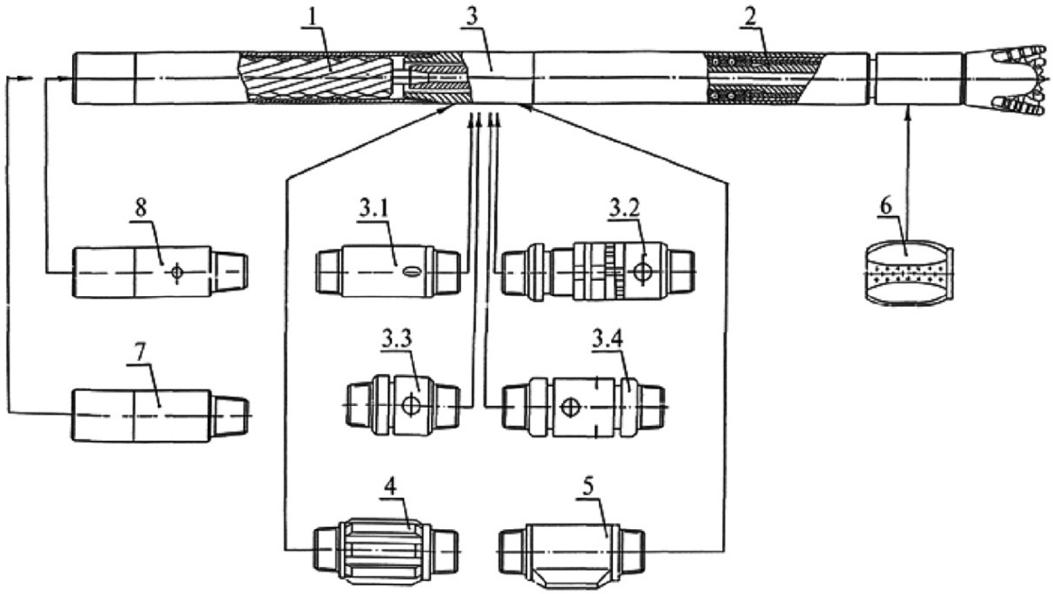

Рисунок 6 – Элементы компоновок ВЗД для бурения наклонно направленных и горизонтальных скважин: 1 – секция рабочих органов; 2 – шпиндель; 3 – механизм искривления (3.1 – нерегулируемый; 3.2 – регулируемый; 3.3 – шарнир с одной степенью свободы; 3.4 – шарнир с двумя степенями свободы); 4 – центратор; 5 – децентратор; 6 – калибратор; 7 – обратный клапан; 8 – переливной клапан

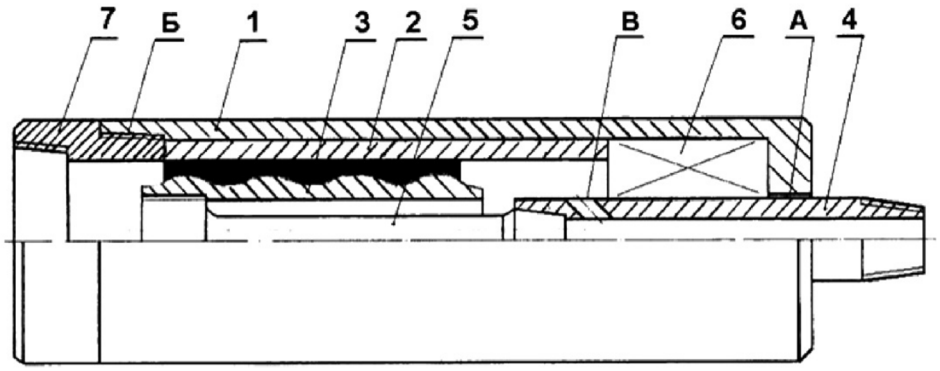

Рисунок 7– Двигатель в капсульном исполнении (полезная модель № 197188 от 12.08.2019)

В новых книгах представлены уточненные и дополненные разделы теории рабочего процесса и практики применения ВЗД:

– обобщение теории винтового героторного механизма с циклоидальным зацеплением;
– исследование циклоидального профиля в общем случае его образования от зубчатой рейки;
– модификация торцовых профилей рабочих органов ВЗД с целью снижения механических потерь в паре;
– особенности напряжённо-деформированного состояния рабочих органов ВЗД с учётом упругих свойств обкладки статора;
– систематизация характеристик гидравлических забойных двигателей;
– моделирование динамической системы ВЗД-бурильная колонна-долото с учётом волновых процессов в протяженных линиях и возможного вращения труб;
– исследование переходных характеристик динамической системы;
– принципы расчета забойных компоновок при бурении скважин по различным траекториям;
– современные подходы к разработке автоматизированных комплексов управления режимом бурения ВЗД.

Несомненный интерес для разработчиков и исследователей представляют помещенные списки основополагающих патентов и литературных источников (более 500 наименований монографий, статей и диссертаций) в этой области техники, в которых детально рассмотрены все вопросы создания и исследования ВЗД, а также опыт эксплуатации этих машин в нашей стране и за рубежом.