УДК 622.24

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОГО ТИПА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЗАБОЙНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ БУРЕНИЯ НА ОСНОВЕ АКТУАЛИЗАЦИИ БАЗЫ ДАННЫХ

CHOOSING A RATIONAL TYPE OF HYDRAULIC DOWNHOLE MOTOR FOR DRILLING BASED ON UPDATING THE DATABASE

Симонянц Сергей Липаритович
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры бурения нефтяных и газовых скважин,
Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина
ssturbo@mail.ru

Гуринович Алёна Владимировна
аспирант кафедры бурения нефтяных и газовых скважин,
Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина
for_alena@yahoo.com

Аннотация. Рассматривается задача выбора рационального типа гидравлического забойного двигателядля заданных условий бурения. Характеристики забойного двигателя выбираются на основе анализа технических и энергетических параметров, заданных в каталогах компаний-производителей и представленных в виде актуализированной базы данных.

Ключевые слова: гидравлический забойный двигатель, бурение, база данных.

Simonyants Sergey Liparitovich
Doctor of Technical Science, Professor, Professor of Drilling Oil and Gas Wells Department,
National University of Oil and Gas «Gubkin University»
ssturbo@mail.ru

Gurinovich Alena Vladimirovna
Postgraduate Student of Drilling Oil and Gas Wells Department,
National University of Oil and Gas «Gubkin University»
for_alena@yahoo.com

Annotation. The problem of choosing a rational type of hydraulic downhole motor for given drilling conditions is considered. The characteristics of the downhole motor are selected based on the analysis of technical and energy parameters specified in the catalogs of manufacturing companies and presented in the form of an updated database.

Keywords: hydraulic downhole motor, drilling, database.

В работе [1] рассматриваются технологические требования, которые должны лежать в основе выбора рациональной конструкции и энергетической характеристики гидравлического забойного двигателя (ГЗД), предназначенного для реализации эффективной программы бурения нефтегазовой скважины. Для решения этой задачи может быть использована актуальная база данных (БД), содержащая сведения о технических характеристиках ГЗД, применяемых в промышленности.

База данных ГЗД представляет собой совокупность данных (показателей, параметров) выпускаемых российскими и зарубежными компаниями-производителями турбобуров и винтовых забойных двигателей, организованных в соответствии с концептуальной структурой, описывающей характеристики этих данных и взаимоотношения между ними, для рационального выбора и применения при бурении скважин в соответствии с назначением ГЗД.

База данных предназначена для хранения долгосрочных данных, описывающих рассматриваемую область, и правил, которые используются для оперирования данными – описывают их целесообразные преобразования. Данные (показатели) характеризуют исследуемые объекты и явления, которые для рассматриваемой предметной области являются постоянными, содержат всю необходимую информацию. Правила представляют собой типовые алгоритмы обработки данных.

Выбор рационального типа гидравлического забойного двигателя для бурения производится на стадии проектирования строительства скважины. При этом используется техническая и технологическая информация о характеристиках ГЗД, долот, буровых насосов, составе компоновки низа бурильной колонны (КНБК), а также статистические данные отработки долот и ГЗД в идентичных горно-геологических условиях. Решение о выборе конкретной конструкции забойного двигателя принимается проектировщиком на основе анализа указанной информации с учетом стоимостных факторов. Обоснованность выбора существенно зависит от полноты информации и правильности используемого алгоритма, который должен учитывать различные конструктивные и энергетические параметры существующих ГЗД, технические и технологические характеристики долот, буровых насосов и другого оборудования.

База данных ГЗД заполняется по возможности наиболее полной и актуальной информацией о выпускаемых гидравлических забойных двигателях из каталогов и технических материалов компаний-

производителей. Информация из каталогов организуется таким образом, чтобы было проще производить её машинную обработку (поиск, обращение к конкретному числовому значению в ячейке, расчет формул). Так, данные, указанные в каталоге в виде интервала значений (*диаметр применяемых долот, расход рабочей жидкости* и пр.) вносятся в отдельные столбцы (*диаметр применяемых долот (min), диаметр применяемых долот (max); расход рабочей жидкости (min), расход рабочей жидкости (max)* и пр.). Забойные двигатели модифицированные, относящиеся в каталоге производителя к одной модели, но имеющие различные варианты исполнения, например, с разными величинами длины и, соответственно, разными энергетическими характеристиками или используемые с долотами разного диаметра в различных интервалах, вносятся в базу данных как отдельные единицы для более корректного поиска и учета.

При создании и обработке БД использовалась программа MicrosoftExcel для работы с электронными таблицами, которая позволяет производить любые математические вычисления и применять комплексные формулы. Пример такой общей таблицы собранных данных, содержащих исходную информацию для выбора рациональной модели ГЗД (данные по винтовым забойным двигателям – ВЗД), показан на рисунке 1.

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Наименование	Производитель	Наружный диаметр корпуса	Заходность, Zp/ZcT	Длина, мм	Виды применяемых долот	Диаметр долот (min)	Диаметр долот (max)	Расход, л/с (min)	Расход, л/с (max)	Частота вращения на холостом ходу, об/мин (min)	Частота вращения на холостом ходу, об/мин (max)	Момент силы в режиме макс. мощности, кН*м (min)	Момент силы в режиме макс. мощности, кН*м (max)	Дифф. перепад давления в режиме макс. мощности, МПа
2	Д2- 85	ВНИИБТ	88	5/6	3600	Шарошечные открытые; Шарошечные герметизированные; PDC.	98,4	120,6	5,0	7,0	300	420	0,7	0,9	6,0-6,5
3	ДР- 88.5/6.51	ВНИИБТ	89	5/6	4180	Шарошечные открытые; Шарошечные герметизированные; PDC.	98,4	120,6	5,0	7,0	288	408	1,1	1,3	8,0-9,5
4	ДР3- 95М.5/6.50	ВНИИБТ	95	5/6	5345	Шарошечные открытые; Шарошечные герметизированные; PDC.	112	120,6	5,0	10,0	162	324	1,4	2,2	9,0
5	ДР3- 95М.6/7.28	ВНИИБТ	95	6/7	5345	Шарошечные открытые; Шарошечные герметизированные; PDC.	112	120,6	5,0	10,0	84	168	1,5	2,3	4,9
6	ДР4- 95С.5/6.50	ВНИИБТ	95/106	5/6	5395	Шарошечные открытые; Шарошечные герметизированные; PDC.	120,6	127	5,0	10,0	162	324	1,4	2,2	9,0
7	ДР4- 95С.6/7.28	ВНИИБТ	95/106	6/7	5395	Шарошечные открытые; Шарошечные герметизированные; PDC.	120,6	127	5,0	10,0	84	168	1,5	2,3	4,9
8	ДР4- 95С.7/8.50	ВНИИБТ	95/106	7/8	6395	Шарошечные открытые; Шарошечные герметизированные; PDC.	120,6	142,9	5,0	10,0	108	216	2,4	3,3	12,0
9	ДР4- 95С.4/5.65	ВНИИБТ	95/106	4/5	7395	Шарошечные открытые; Шарошечные герметизированные; PDC.	120,6	142,9	5,0	10,0	162	324	2,0	3,0	11,5
10	ДР5- 95С.5/6.50	ВНИИБТ	95/106	5/6	5460	Шарошечные открытые; Шарошечные герметизированные; PDC.	120,6	127	5,0	10,0	162	324	1,4	2,2	9,0
11	ДР5- 95С.6/7.28	ВНИИБТ	95/106	6/7	5460	Шарошечные открытые; Шарошечные герметизированные; PDC.	120,6	127	5,0	10,0	84	168	1,5	2,3	4,9
						Шарошечные открытые; Шарошечные									

Рисунок 1 – Характеристики винтовых забойных двигателей (ВЗД)

Сам подбор осуществляется в несколько этапов. Первый этап – это применение фильтров по физическим параметрам: диаметр долота, тип долота, длина двигателя. Пользователь вносит запрашиваемые данные о диаметре долота и ограничении по длине ГЗД (необязательный параметр), из выпадающего списка выбирает тип долота: алмазные, PDC, шарошечные открытые, шарошечные герметизированные. После внесения этих данных запускается макрос (нажатием на кнопку ActiveX на листе документа), отбирающий из исходной таблицы подходящие двигатели, если такие есть.

Второй этап – это создание сравнительной таблицы с наглядной информацией о характеристиках отобранных двигателей. Каталожные параметры двигателей пересчитываются с учетом проектных (вносимых пользователем) данных: расхода Q и плотности бурового раствора ρ, значения осевой нагрузки на долото G. Помимо этого, рассчитываются и отображаются в данной таблице дополнительные параметры. Расчёты проводятся по известной методике [2].

Формула момента силы в режиме максимальной мощности (пересчет на основе справочных данных) $M_э = M_{э\,спр}\frac{\rho Q}{\rho_{спр}Q_{спр}}$, Н · м, формула частоты вращения в холостом режиме $n_x = n_{x\,спр}\frac{Q}{Q_{спр}}$, где Q, ρ – соответственно расход и плотность бурового раствора.

Однако в каталоге производителя значения $M_{э\,спр}$, $Q_{спр}$, $n_{x\,спр}$, как правило, представлены в виде интервалов значений. Для решения этой проблемы было предложено использовать метод аппроксимации.

Покажем на примере. Произведем пересчет справочного параметра момента силы в режиме максимальной мощности $M_э$ для двигателя ДГР-172.5/6.61, имеющего следующие характеристики в соответствии с данными производителя:

$$Q_{спр\ min} = 19\ л/с;$$

$$Q_{спр\ max} = 38\ л/с;$$

$$M_{э\ спр\ min} = 7{,}5\ кН \cdot м;$$

$$M_{э\ спр\ max} = 11{,}5 кН \cdot м.$$

Проектные данные:

$$\rho = 1210\ кг/м^3;$$

$$Q = 32 \cdot 10^{-3}\ м^3/с.$$

Прежде убедимся, что проектное значение расхода входит в справочный интервал $Q \square Q_{спр}$:32 ∈ [19;38].

Уравнение прямой с угловым коэффициентом имеет вид:

$$y = kx + b,$$

где k – коэффициент угла наклона прямой;
b – свободный коэффициент, отвечающий за точку пересечения прямой с осью ординат.

Уравнение прямой с угловым коэффициентом по двум известным точкамможно найти следующим образом:

$$\frac{y-y_1}{y_2-y_1} = \frac{x-x_1}{x_2-x_1}.$$

В MSExcel определяем уравнение аппроксимирующей прямой путем нахождения углового и свободного коэффициентов. Чтобы найти указанные коэффициенты, составляют следующую систему уравнений для двух точек $(x_1; y_1;)$ и $(x_2;\ y_2)$ относительно k и b:

$$y_1 = kx_1 + b;$$

$$y_2 = kx_2 + b.$$

Решаем данную систему уравнений. Вычитаем первое из второго:

$$y_{2-}y_1 = kx_2 - kx_1 + b - b,$$

$$y_{2-}y_1 = k(x_2 - x_1).$$

Отсюда:

$$k = \frac{y_2-y_1}{x_2-x_1}.$$

В нашем случае точки $(x_1; y_1;)$ и $(x_2;\ y_2)$ это $(Q_{спр\ min};\ M_{э\ спр\ min})$ и $(Q_{спр\ max};\ M_{э\ спр\ max})$. Рассчитаем коэффициент k:

$$k = \frac{y_2-y_1}{x_2-x_1} = \frac{11{,}5-7{,}5}{38-19} = 0{,}21.$$

Коэффициент b можно найти как b = y – kx. Достаточно только подставить значения k, x_1, y_1 или k, x_2, y_2 в данное выражение.

$$b = y - kx = y_1 - kx_1 = 7{,}5 - 0{,}21 \cdot 19 = 3{,}5.$$

Итак, мы получили уравнение аппроксимирующей прямой y = 0,21x + 3,5 – на интервале [x = 19;38] = Q.

В эту формулу подставляемпроектное значение расхода Q.

$$M_{э\ спр} = 0{,}21 \cdot 32 + 3{,}5 = 10{,}22 кН \cdot м$$ – при справочной плотности ρ.

В каталоге приводятся данные для двигателя, испытанного на воде, таким образом, сначала мы рассчитываем значение параметра для воды, а потом уже корректируем его на плотность раствора.

$$M_э = M_{э\ спр} \frac{\rho Q}{\rho_{спр} Q_{спр}} = 10{,}22 \frac{1210 \cdot 32}{1000 \cdot 32} = 12{,}37\ кН \cdot м$$

Аналогично аппроксимируем другие параметры энергетической характеристики ВЗД: частоту вращения и перепад давления.

Далее рассчитывается величина крутящего момента на долоте, которая сравнивается с предельным значением момента гидравлического забойного двигателя. Эта величина определяет рабочий режим ГЗД. Частота вращения ГЗД на рабочем режиме рассчитывается по формулам для турбобура или винтового двигателя [2], причём с учётом одновременного вращения бурильной колонны верхним силовым приводом буровой установки, если такое вращение имеет место. Рабочая частота вращения сравнивается с диапазоном допустимых частот вращения заданного типа долота.

Перепад давления на ГЗД также рассчитывается по формулам для турбобура или винтового двигателя [2]. Для дальнейших расчётов рекомендуется забойный двигатель с минимальным перепадом давления.

Актуализация базы данных должна проводиться регулярно, не реже одного раза в год, путём сбора и анализа технических характеристик гидравлических забойных двигателей, выпускаемых отечественными производителями, а также зарубежными компаниями, представленными на российском рынке.

Литература:

1. Симонянц С.Л., Гуринович А.В. Экспертная система выбора рационального типа гидравлического забойного двигателя для бурения // Сборник статей III Международной научно-практической конференции «Булатовские чтения». – 2019. – Т. 3. – С. 106–110.

2. Симонянц С.Л. Бурение скважин гидравлическими забойными двигателями. Учебное пособие. – М. : РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, 2018. – 208 с.

References:

1. Simonyants S.L., Gurinovich A.V. The expert system for the selection of the efficient type of hydraulic downhole motor for drilling // Readings of A.I. Bulatov Materials of III International scientific and practical conference. – 2019. – Vol. 3. – P. 106–110.

2. Simonyants S.L. Drilling of wells with hydraulic downhole motors. Textbook. – M. : Gubkin University, 2018. – 208 p.