БУРОВЫЕ РАБОТЫ

УДК 622.248.63

М.Т. Кобылянский

ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ КРИТЕРИЕВ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО УРОВНЯ МАГНИТНЫХ ЛОВИТЕЛЕЙ БУРОВОГО ИНСТРУМЕНТА

Главным условием работоспособности магнитного ловителя является развиваемая на полюсах высокая сила притяжения, необходимая для извлечения улавливаемых предметов. Подъемная сила ловителя должна значительно превосходить вес извлекаемых предметов, так как последние могут заклиниваться на забое скважины. Вследствие того, что диаметр скважины ограничивает размеры полюсов ловителя (их площадь), то согласно уравнению Максвелла сила притяжения ловителя равна:

$$P = \frac{dW_\delta}{d\delta} = \frac{d\left(\frac{BH}{2}V\right)}{d\delta} = B_\delta^2 S_n, \quad (1)$$

где B_δ - индукция магнитного поля в рабочем зазоре;

S_n - площадь полюсов ловителя.

Так как величина площади рабочего зазора (площадь полюсов) ограничена размерами скважины, то очевидно, что увеличить силу притяжения ловителя P можно единственно возможным путем – созданием максимально возможной индукции поля B на полюсах магнитной системы. Из анализа уравнения (1) можно заключить, что предел силы притяжения определяется практически достижимой величиной $B_н$ - индукцией насыщения.

Буровые скважины, как правило, засорены шламом и скрапом, оставшимися на забое при авариях и в процессе бурения. Возможно попадание шлама между полюсами ловителя и притягиваемыми металлическими предметами. Поэтому форма тяговой характеристики ловителя $P=f(\delta)$ должна обеспечивать достаточную силу притяжения предмета и его извлечение из скважины при неплотном прилегании к полюсам.

Наличие стальных обсадных труб, а также возможность работы ловителя в скважинах, пробуренных в магнитопроводящих породах, например, в железной руде, требует, чтобы магнитная система не имела потоков рассеивания на внешней поверхности, т.е. не было шунтирования магнитной системы стенками скважины и обсадными трубами. Мощное магнитное поле должно быть сосредоточено преимущественно в рабочей зоне ловителя.

На работоспособность магнитных ловителей существенное влияние оказывает такой эксплуатационный фактор, как применение промывочных жидкостей, утяжеленных баритом, гематитом или железистым концентратом, используемых для предотвращения прихвата инструмента и очистки ствола скважины. Такие растворы обладают ферромагнитными свойствами и, попадая в зазоры, могут шунтировать различные участки магнитной цепи.

Условия работы ловителя в различных агрессивных средах, при повышенных температурах до 520К и давлениях до 100 МПа не должны влиять на работоспособность ловителя.

Конструкция магнитного ловителя должна обладать большой механической прочностью и стойкостью к статическим и динамическим нагрузкам, так как сила притяжения ловителя к забою скважины может достигать десятка и более тонн.

Таким образом, в результате проведенного анализа основных скважинных факторов, характеризующих условия работы магнитного ловильного инструмента, сформулированы основные технические требования, которым должны удовлетворять создаваемые конструкции магнитных ловителей (рис. 1).

Разработка магнитных ловителей бурового инструмента, как и любых других устройств или механизмов, предполагает принятие научно обоснованных решений, технически осуществимых и экономически целесообразных [1].

Конструкция магнитного ловителя должна удовлетворять критериям оптимальности. При этом формулируется и решается задача создания оптимальной системы с определенной целевой функцией (совокупностью технико-экономических критериев качества). Магнитный ловитель должен удовлетворять как общим требованиям, предъявляемым к силовым магнитным устройствам, так и требованиям, налагаемым условиями работы в буровой скважине. Выбор критериев оптимальности в основном определяется назначением магнитного ловителя – надежным захватом и извлечением из скважины металлического предмета.

Функция компромисса, или обобщенный технико-экономический показатель (целевая функция), определяющий эффективность магнитного ловителя, выражается в общем виде как

$$Э(z) = Э[П_K(z)], \quad (2)$$

где $П_к$ - ряд показателей качест-

ва;

Z - совокупность из v варьируемых параметров.

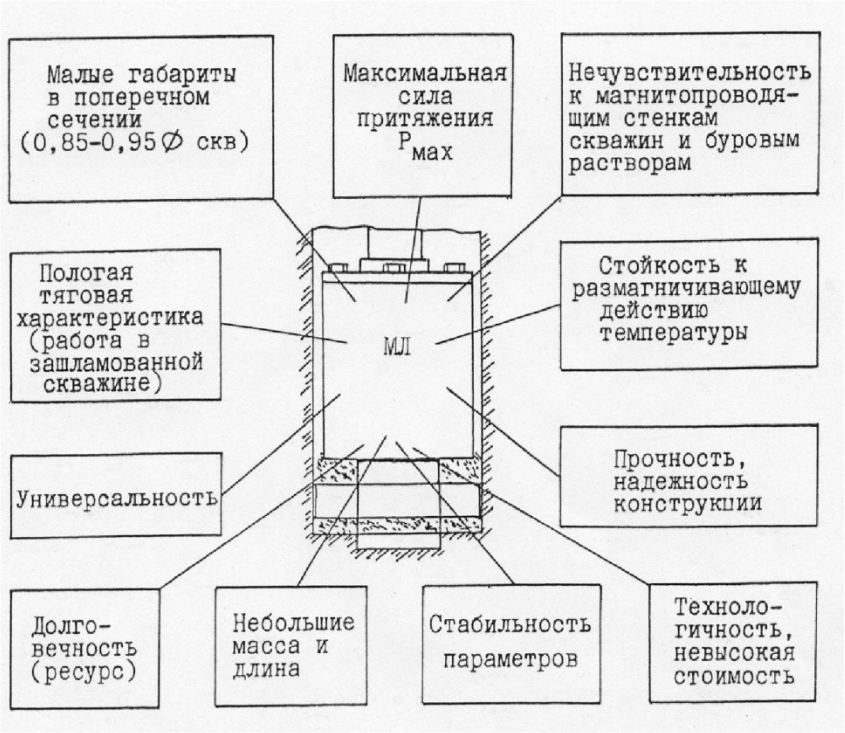

Рис.1. Требования, предъявляемые к магнитным ловителям

С целью определения совершенства конструкции, пригодности ее выполнять свою функцию вводится понятие качества.

Качество горной техники слагается из различных конструктивных и технологических параметров, формирующихся при проектировании, закладывающихся в процессе изготовления и реализующихся в процессе эксплуатации устройства.

С технико-экономической позиции качество оценивается в границах устойчивой определенности и выбирается из бесконечного множества такой свойств, который характеризует степень приспособленности объекта к выполнению определенных функций в условиях, для которых объект предназначен.

Уровень качества является величиной относительной и в известной мере условной.

Рассмотрим основные показатели качества (критерии эффективности) магнитного ловителя бурового инструмента. Наиболее важный среди них – максимальная сила притяжения на полюсах МСП. Притягивающее усилие устройства является тем основным критерием, по которому определяются его эксплуатационные возможности и проверяются результаты расчетов. Как следует из уравнения (1), сила притяжения магнитного устройства P пропорциональна квадрату индукции и площади поперечного сечения рабочего зазора, через который магнитный поток проходит в притягиваемый предмет. Так как полюса занимают только часть площади опорной поверхности ловителя (неизбежны немагнитные промежутки между ними), то необходимо стремиться получить возможно больший коэффициент использования площади

$$\psi = S_n / S_o , \qquad (3)$$

где S_o - площадь опорной поверхности ловителя.

Удельная сила притяжения на единицу площади полюсов $P_{уд} = P/S_n$ также находится в числе основных силовых характеристик ловителя. Следует отметить, что в настоящее время ни у нас в стране, ни за рубежом нет четкого и единого толкования силовых и магнитных параметров магнитного ловителя. Очевидно, что силовую характеристику магнитного ловителя необходимо представлять в виде нескольких показателей.

Так, наряду с такими параметрами ловителей, как МСП и $P_{УД}$ необходимо учитывать минимальную силу притяжения к конкретному элементу бурового инструмента или другого предмета. Как показал анализ аварий в скважинах, металлический предмет (например, буровая коронка) может занимать на забое различное положение. Из этого следует, что сила притяжения ловителя к одному и тому же предмету может быть различной (при одинаковом зазоре), так как она зависит от площади контакта полюсов с улавливаемым предметом. Очевидно, что самым невыгодным является вариант притяжения при минимальной площади соприкосновения ловителя с предметом ("точечный контакт"), например, в случае, когда буровая коронка обращена к ловителю пластинами твердого сплава. Поэтому для эффективной работы магнитного ловителя необходимо, чтобы его минимальная сила притяжения превышала вес извлекаемого из скважины бурового инструмента $P_{min} > P_{пр}$.

Качество магнитной системы на постоянных магнитах определяется также коэффициентом рассеивания. Коэффициент рассеивания равен отношению полного магнитного потока Φ_o к полезному магнитному потоку на рабочих полюсах Φ_δ:

$$\sigma = \frac{\Phi_o}{\Phi_\delta} = \frac{B_M S_M}{B_\delta S_\delta} \qquad (4)$$

где B_M ,B_δ - индукция в нейтральном сечении магнита и в рабочем зазоре; S_M ,S_δ - площадь поперечного сечения магнита и рабочего зазора.

В магнитных устройствах с большим воздушным зазором, к числу которых принадлежат магнитные ловители, потоки рассеивания могут быть в несколько раз (или даже в десятки раз) больше полезного тока.

При притяжении магнитным ловителем предмета рабочий зазор δ изменяется от бесконечности

до какого-то минимального значения (условно до нуля) [2]. Величина, равная интегралу силы притяжения P по величине рабочего зазора, определяется как

$$W_O = \int_{\infty}^{O} P(\delta)d\delta . \quad (5)$$

Величина W_O пропорциональна площади под кривой «сила-зазор» (тяговой характеристики ловителя).

Так как сила притяжения ловителем предметов с различной массой и формой поверхности неодинакова, то и W_O для разных предметов будет различной. Поэтому для объективного сравнения эффективности магнитных ловителей принимаем максимальное значение W_{Omax} в случае притяжения испытательной плиты – массивного стального предмета с плоской гладкой поверхностью (шероховатость не более ^{2,5}), изготовленного из стали Ст.3, и полностью перекрывающего всю площадь полюсов.

$$W_{O\,max} = \int_{\infty}^{O} P_{max}(\delta)d\delta . \quad (6)$$

Величину W_{Omax} принимаем в качестве одного из основных критериев эффективности магнитного ловителя и назовем ее тяговый показатель ловителя (ТПЛ). ТПЛ напрямую зависит от формы тяговой характеристики (ее наклона и кривизны), а, следовательно, от топографии и интенсивности магнитного поля в рабочем зазоре.

И, наконец, обобщающим критерием качества ловителей бурового инструмента на постоянных магнитах, учитывающим совершенство конструкции и расход магнитных материалов (а, следовательно, и стоимость), является «механическая эффективность» (МЭ) – относительная величина, выражающаяся частным от деления значения ТПЛ на массу устройства

$$\chi_M = W_{O\,max}/m . \quad (7)$$

Показателем качества ловителей является также ресурс работы, выраженный числом спусков инструмента в скважину.

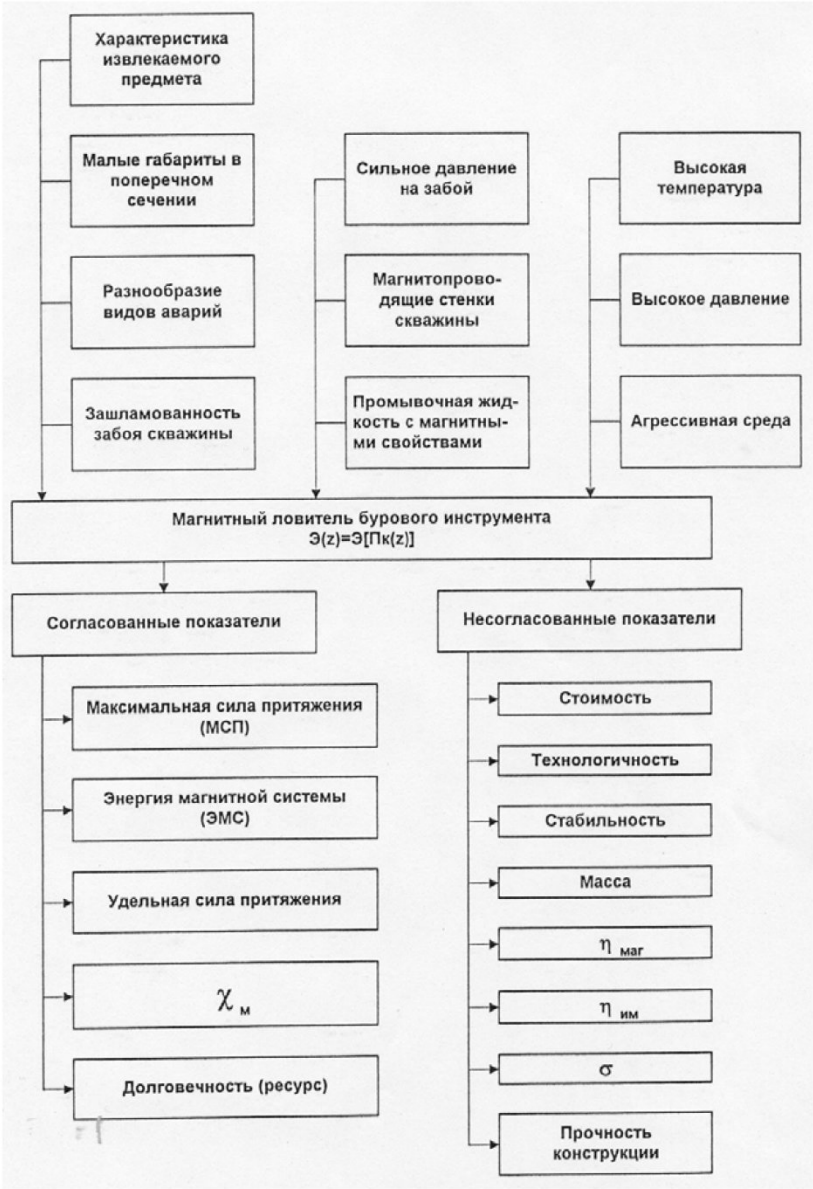

Рис.2. Граф-модель магнитного ловителя бурового инструмента как функционального преобразователя

Стоимость магнитных систем с постоянными магнитами в основном определяется стоимостью магнитов, так как они дороже стали в 150 - 3000 раз. Чем меньше расход постоянных магнитов в системе, тем она экономичнее и, следовательно, предпочтительнее других магнитных систем, обеспечивающих такие же эксплуатационные характеристики.

Таким образом, для оценки уровня качества магнитных ловителей необходимо иметь меру на основании которой можно количественно оценить качество выполнения ими заданных функций, т.е. нужно иметь функциональный критерий качества магнитного ловителя, отражающий в наиболее полной мере его основное функциональное назначение.

Следует отметить, что разработка оптимальной конструкции магнитного ловителя с учетом всех названных выше критериев эффективности представляет собой практически неразрешимую задачу. Для сокращения числа рассматриваемых параметров воспользуемся методами системотехники и решения многокритериальных задач [3]. В соответствии с принципами квалиметрии если рост (улучшение) одного параметра сопровождается ростом (улучшением) другого, то такие параметры являются согласованными. В этом случае для оптимизации системы достаточно использовать

один (или два) параметр, и многокритериальная задача значительно упрощается.

Необходимо уточнить, что выбранный на такой основе лучший вариант лишь в определенной степени будет приближаться к действительно оптимальному. Поэтому, говоря об оптимальности магнитной системы, в действительности приходится иметь дело с квазиоптимальным вариантом и с квазиоптимальным решением. Увеличение степени приближения квазиоптимального варианта к наилучшему является одной из основных задач исследования.

На рис. 2 представлена графмодель магнитного ловителя бурового инструмента как функционального преобразователя в системе «скважина-ловитель-притягиваемый предмет».

На входе системы – совокупность факторов, характеризующих условия буровой скважины, на выходе – показатели, соответствующие принятым технико-экономическим критериям качества.

Исходя их основной задачи – надежного извлечения из буровой скважины металлических предметов, а также принципов приоритетности и квалиметрии, из общего числа показателей в качестве основных функциональных критериев оценки технического уровня магнитного ловителя принимаем максимальную силу притяжения МСП, минимальную силу P_{min}, тяговый показатель ловителя ТПЛ и механическую эффективность МЭ [3].

Дополнительные показатели (стабильность, экономичность, технологичность, долговечность, масса и др.) не являются согласованными, но, тем не менее, учет их также необходим при разработке конструкции магнитного ловителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Галкин Г.Ф.* К вопросу определения научно-технического уровня технических объектов// Горный журнал. – 1993. - № 6. – С.62-63.

2. *Кобылянский М.Т.* Особенности применения магнитных систем в скважинах и критерии оценки их эффективности // Актуальные вопросы подземного и надземного строительства: Межвуз.сб. науч.тр /Кузбасс. гос.техн.ун-т. – Кемерово, 1997. –С.92-96.

3. *Николаев В.И., Брук В.М.* Системотехника: методы и приложения. – Л.: Машиностроение, Ленингр.отд-ние, 1985. – 199 с.

Автор статьи:

Кобылянский
Михаил Трофимович
- докт.техн.наук, профессор, зав.кафедрой начертательной геометрии и графики