

А. М. МЕЛИК-ШАХНАЗАРОВ

(Баку)

ОСНОВНЫЕ ЗАДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ ГЛУБИННЫХ ПАРАМЕТРОВ СКВАЖИН

Освещается современное состояние методов измерения глубинных параметров скважин; обсуждаются некоторые пути их улучшения; обобщаются соответствующие задачи, стоящие перед приборостроителями.

В последние годы электрические измерения глубинных параметров получают все большее развитие, так как все увеличивающиеся глубины скважин требуют применения таких методов измерения, которые позволяют получить наиболее полную и достоверную информацию о глубинных параметрах скважин и оборудования и передать эту информацию на поверхность при минимальном времени измерения. Электрические методы измерения, отличающиеся своей универсальностью и возможностью передачи показаний на расстояние, оказываются наиболее удобными для решения задач глубинных измерений. Обычно измерению подлежат следующие глубинные параметры:

а) геофизические параметры скважины — электрические, магнитные, радиоактивные, акустические и другие свойства пород, по которым в дальнейшем путем интерпретации определяется геологический разрез скважины;

б) геометрические параметры скважины — кривизна, направление искривления по азимуту, диаметр;

в) технологические параметры скважины и глубинного оборудования — температура в скважине, давление бурового инструмента на забой, механический момент вращения, направление отклонителя бурового инструмента (при бурении наклонных скважин), вибрация и др.

Измерение геофизических и геометрических параметров скважины может производиться как непосредственно в процессе бурения, так и после подъема бурового инструмента. Технологические параметры глубинного оборудования измеряются в процессе бурения.

Наиболее сложной и важной задачей является определение геофизических данных о пластах в скважинах. Для измерения геофизических параметров применяются самые различные методы электрических измерений — неэлектрических величин.

Наиболее широко применяются методы измерения удельного электрического сопротивления пластов. Величина удельного электрического сопротивления в сочетании с другими характеристиками пластов позволяет, в частности, отличить нефтеносные пласты от водоносных.

Значение удельного электрического сопротивления определяется косвенным путем — по результатам измерения напряжения вдоль оси.

скважины на участке исследуемого пласта и тока, создающего электрическое поле в окружающей среде.

Поскольку измерение производится в трехмерном проводнике и распространение тока зависит как от порядка чередования пластов с различными электрическими характеристиками, так и от удельного электрического сопротивления раствора, заполняющего скважину, то измеренное удельное электрическое сопротивление пласта существенно отличается от истинного и называется кажущимся удельным электрическим сопротивлением.

Наибольшая погрешность возникает при применении простейших схем измерения (2-токовых и 2-потенциальных электродов).

Более высокая точность достигается при использовании результатов измерения удельного сопротивления пластов при комплексах электродных установок (зондов), отличающихся расстояниями между электродами. В этом случае, внося поправки, учитывающие удельное сопротивление бурового раствора, диаметр скважины и другие факторы, и, пользуясь расчетными графиками (метод бокового каротажного зондирования), удастся определить более точное значение удельного электрического сопротивления пласта.

Другим путем повышения точности измерения удельного сопротивления пласта является применение методов, позволяющих осуществить фокусировку тока, выходящего из токового электрода. При этом ток направляется непосредственно в исследуемый пласт, вследствие чего исключается шунтирующее действие бурового раствора на результат измерения. Фокусировка тока достигается благодаря применению в глубинном снаряде автоматических компенсационных устройств переменного тока, осуществляющих пространственную компенсацию токов. Этот метод (метод бокового каротажа) позволяет во многих случаях получить результат измерения, близкий к истинному значению удельного электрического сопротивления.

Влияние шунтирующего действия бурового раствора в скважине можно исключить и с помощью индукционных методов измерения сопротивления.

При расположении в глубинном снаряде системы высокочастотных катушек оказывается возможным, измеряя э. д. с., наведенную в катушке вторичным полем, определить удельное электрическое сопротивление среды (метод индукционного каротажа).

Важным для определения характеристик пластов является простой метод измерения поляризации скважины — явления, заключающегося в самопроизвольном образовании в скважине и вблизи нее поля электрических токов. Поляризация скважины связана с диффузионными и фильтрационными явлениями на границе пласта и скважины и указывает на проницаемость пласта.

Для определения характеристик горных пород необходимо знание их радиоактивности.

В настоящее время применяются различные методы определения радиоактивности — гамма-каротаж, нейтронный каротаж, нейтронный гамма-каротаж, импульсный нейтронный каротаж, гамма-гамма-каротаж и др., позволяющие выявлять наличие глинистого материала, водорода, хлора, плотность породы и др.

В последние годы получил широкое распространение и целый ряд других методов определения характеристик пластов. Остановимся на некоторых из них.

Измерительное устройство, основанное на принципе ядерного магнитного резонанса, позволяет выявлять вещества, содержащие водород,

различать жидкости неодинаковой вязкости, определять процентное содержание нефти и воды в пласте.

Измерительные устройства диэлектрического каротажа позволяют различать породы по их диэлектрической постоянной.

В аппаратуре акустического каротажа применяется принцип определения характеристик пород по прохождению и отражению ультразвуковых волн. Кроме того, используются и другие принципы определения характеристик пород (магнитный, сейсмический каротажи и др.).

В настоящее время перечисленные методы определения характеристик горных пород широко используются геофизическими организациями при исследовании пробуренных скважин. Измерения производятся, как правило, отдельно; комплексирование измерений только начинает развиваться. Задачей приборостроительных организаций является дальнейшее совершенствование измерительных устройств электрического, радиоактивного и других видов каротажа и разработка таких принципов построения аппаратуры передачи измерительных сигналов, которые позволили бы осуществлять одновременную передачу всего комплекса данных, характеризующих геофизические свойства пластов.

Как показали исследования, проведенные различными геофизическими организациями, определение истинных характеристик пластов в значительной степени затрудняется тем, что за интервал времени от момента завершения бурения до начала геофизических измерений буровой раствор проникает в пласты и существенно искажает их параметры. Для устранения этого явления необходимо по возможности приближать момент измерения параметров пласта к моменту вскрытия пласта буровым инструментом. Наиболее эффективно эта задача может быть решена при измерении параметров пласта непосредственно в процессе бурения. В этом случае измерительная аппаратура размещается в отдельном контейнере, расположенном над буровым инструментом. Получаемая информация либо передается по каналу связи на поверхность, либо фиксируется каким-либо запоминающим устройством, расположенным в контейнере.

В первом случае основная трудность заключается в передаче сигнала на поверхность. Эта задача до настоящего времени еще не решена полностью. Имеются лишь отдельные решения для некоторых видов бурения (передача высокочастотных сигналов по силовому кабелю — при электробурении) и определенных характеристик пластов (достаточно высокое электрическое сопротивление пластов при беспроводной передаче электрических сигналов).

Сравнительно легко может быть обеспечена передача гидравлических сигналов, однако в этом случае должны быть применены довольно сложные устройства для преобразования электрических сигналов в пропорциональные гидравлические импульсы. Одновременный контроль нескольких глубинных параметров в этом случае затруднителен из-за малой пропускной способности канала связи. Кроме того, мощные гидравлические импульсы вызывают сравнительно быстрый износ клапанного узла измерительного устройства.

Возможно также применение каналов связи в виде кусочно-проводных цепей. В этом случае отрезки кабеля либо монтируются в трубах, либо сбрасываются в трубы в период наращивания инструмента. Отрезки соединяются гальваническими или электромагнитными (трансформаторными) контактами.

В настоящее время все перечисленные каналы связи совершенствуются с целью увеличения дальности передачи сигналов и повышения надежности передачи.

Задачей приборостроительных организаций является разработка надежных многоканальных систем связи для различных диапазонов глубин и различных видов бурения.

В том случае, когда получаемая информация не передается на поверхность, а фиксируется в блоке памяти, расположенном в контейнере, возникает новая трудность в получении достоверной информации.

Получаемая информация должна быть дополнена точными данными о глубине расположения исследуемого пласта. Такая «привязка по глубине» при отсутствии связи глубинного прибора с поверхностью является весьма сложной проблемой, не получившей еще окончательного решения.

Задачей приборостроительных организаций в области создания автономных приборов является разработка емких компактных блоков памяти с повышенной вибро- и термостойкостью и систем автоматической регистрации глубины расположения измерительного прибора.

При разработке измерительных устройств для контроля геофизических параметров в процессе бурения число контролируемых параметров выбирается минимальным.

Как указывалось выше, непосредственно в процессе бурения должны контролироваться те параметры пласта, которые могут резко измениться при проникновении в пласт бурового раствора. Поскольку для эффективного бурения необходимо знать ряд геометрических параметров скважины и технологические параметры режима бурения, то целесообразно разработать комплексные измерительные приборы для одновременного измерения геофизических, геометрических и технологических параметров.

Разработка таких комплексных измерительных устройств в известной степени аналогична созданию измерительных устройств для исследования космического пространства. И в том и в другом случае измерительное устройство устанавливается в движущемся контейнере, оснащается системой связи с наземным приемным прибором и системой датчиков для измерения параметров окружающего пространства и параметров оборудования.

Расстояния, на которые должны передаваться сигналы, несоизмеримы, но трудные условия передачи сигналов из скважин, заполненных проводящим раствором, и работы измерительного устройства глубинного прибора при наличии сильных вибраций и высокой температуры (в настоящее время — до 150—250° С, а в перспективе — до 400—500° С) существенно осложняют построение таких комплексных измерительных устройств.

Разработанные в настоящее время опытные образцы комплексных приборов для электробурения, турбинного и роторного бурения находятся в стадии испытания.

Информация, получаемая от комплексных измерительных устройств, должна регистрироваться и одновременно преобразовываться в вид, удобный для ввода в вычислительные машины. В связи с этим наземное измерительное устройство должно быть снабжено многоканальными регистраторами (для геофизических параметров), указывающими и регистрирующими приборами (для геометрических и технологических параметров), а также системами преобразования полученной информации в цифровую форму и ее записи на магнитную ленту, перфоленту или перфокарты. В настоящее время наземные измерительные устройства такого типа для контроля комплекса геофизических параметров проходят экспериментальную проверку, а для контроля комплекса глубинных параметров в процессе бурения находятся в стадии разработки.

Задачей приборостроительных организаций в этой области является разработка быстродействующих многоканальных регистраторов с видимой записью, надежных и быстродействующих перфораторов (с быстродействием в несколько сот строк в секунду), многоканальных магнитных запоминающих устройств для записи параметров, изменяющихся в большом динамическом диапазоне.

Полученная информация о геофизических свойствах пластов, приведенная к виду, удобному для ввода в вычислительную машину, обрабатывается на цифровых вычислительных машинах в вычислительном центре по алгоритмам, позволяющим по комплексу полученных данных установить границы пластов и определить их основные геологические свойства. Вычислительный центр должен быть оснащен аналого-цифровыми преобразователями, предназначенными для ввода в машину дополнительных данных из имеющихся графических материалов, а также приборами обратного преобразования для проверки и визуальной оценки интересующих интерпретатора кривых.

В качестве выходного материала машина должна выдавать непосредственно график — геологический разрез скважины с необходимыми цифровыми данными основных параметров. Полученная информация о геометрических и технологических параметрах скважины и оборудовании, как правило, должна подвергаться простейшей обработке на скважине и подводиться к указывающим и регистрирующим приборам.

Приведенный выше перечень задач, решаемых при исследованиях глубинных параметров скважин, а также принципы, положенные в основу сбора и переработки информации, позволяют считать, что основное развитие глубинных измерений идет и должно далее развиваться по пути создания специфичных информационно-измерительных систем для исследований глубинных параметров скважин.

В настоящее время геофизические датчики (каротажные измерительные устройства), датчики технологических и геометрических параметров, каналы связи, системы цифровой переработки полученной информации разрабатываются различными геофизическими организациями, приборостроительными лабораториями институтов и вузов нефтяного профиля.

Цель настоящей статьи — привлечь внимание приборостроительных институтов и организаций широкого профиля к кругу вопросов, решаемых при создании информационно-измерительных систем для глубинных измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. М. Мелик-Шахназаров, Т. М. Алиев. Приборы и средства автоматического контроля в нефтяной и газовой промышленности. М., Изд-во «Недра», 1964.
2. Ю. В. Грачев, В. П. Варламов. Автоматический контроль в скважинах при бурении и эксплуатации. М., Гостоптехиздат, 1963.
3. Справочник геофизика, т. II. Под ред. С. Г. Комарова. М., Гостоптехиздат, 1961.

*Поступила в редакцию
22 марта 1965 г.*