

РАДИОЧАСТОТНЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ
ВОДОНАСЫЩЕННОСТИ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

В. А. БАННЫЙ
УО «ГОМЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
Гомель, Беларусь

Оценка содержания воды в твердых телах имеет важное практическое значение. В петрофизике количественное содержание воды в образцах керна дает информацию об эффективной пористости и емкости пустот. Не существует абсолютно сплошных и непроницаемых пород. Вода, наряду с другими подвижными компонентами (углеводородные флюиды, газы), проникает в горные породы благодаря наличию в них всевозможных трещин, пустот, каналов и т.п. Следует отметить, что вода может находиться в связанной и свободной формах. Свободная вода перемещается по системе каналов и трещин горной породы под действием силы тяжести или напора и обладает обычными для воды физическими свойствами. Связанная вода находится и удерживается в мелких порах и трещинах и испытывает со стороны поверхности твердой фазы минералов «связывающее» влияние различной природы и интенсивности, изменяющие ее структуру и придающие ей аномальные свойства [1].

Свойства горных пород варьируются в зависимости от наличия в них связанной воды. Метастабильность воды позволяет ей откликаться на внешнее воздействие любой природы [2]. Существует ряд способов количественного определения содержания воды в твердых телах, основанных на различных физических воздействиях на исследуемые образцы. В петрофизике, при оценке остаточной водонасыщенности, классическим считается метод сушки образцов керна с последующим определением их массы и центрифугированием; интенсивно развиваются электронный и протонный магнитные резонансные методы [3]; также структуру молекул и кластеров водных систем определяет вид ИК-спектра [4]. Спектр поглощения воды ИК-области представлен основными полосами валентных колебаний ($\sim 3000\text{--}3600\text{ см}^{-1}$), обусловленных изменениями длин связей в молекуле воды, деформационных колебаний (узкая полоса вблизи $\sim 1650\text{ см}^{-1}$, соответствующая изменениям углов валентных связей) и суммой деформационных и либрационных колебаний молекул ($\sim 2130\text{--}2150\text{ см}^{-1}$), либрационные колебания ($\sim 700\text{ см}^{-1}$).

Перспективным направлением в решении задачи определения связанной воды в твердых телах является радиочастотный способ, основанный на взаимодействии электромагнитного излучения (ЭМИ) СВЧ-диапазона с

тестируемыми образцами. Техничко-методическое обоснование возможности оценки связанной воды в цилиндрических образцах керна методами СВЧ приведены в работе [3]. Прототипом данной разработки является радиочастотный способ влагометрии неводных жидкостей [5–8].

Цель работы – усовершенствование радиочастотного способа оценки водонасыщенности твердых тел; установление и объяснение зависимостей между ослаблением энергии ЭМИ СВЧ-диапазона, проходящего через исследуемые образцы горной породы и количественным содержанием в них воды.

Объектами исследования служили образцы горной породы с различными значениями коэффициента эффективной пористости и емкости пустот, а, следовательно, с различным содержанием воды. Для определения количества воды в образцах использовали измеритель коэффициента стоячей волны и ослабления Р2-61, собранный по схеме измерения ослабления с рабочей частотой от 8 до 12 ГГц и удельной мощностью генератора 10 мВт/см².

Идея состоит в том, чтобы в качестве основного регистрируемого параметра использовать ослабление энергии ЭМИ при его прохождении через водосодержащий образец горной породы. Радиочастотный способ оценки водонасыщенности твердых тел основан на различии диэлектрических свойств скелета породы и воды (водных растворов).

Способность исследуемого объекта поглощать ЭМИ зависит от его электрических и магнитных свойств. Наиболее информативными характеристиками реакции среды на воздействие внешнего электромагнитного поля, являются частотные дисперсии комплексных величин диэлектрической и магнитной проницаемостей, а также тангенсов углов диэлектрических и магнитных потерь. Вода является диэлектриком и, соответственно, диэлектрические потери наиболее выражены при взаимодействии ЭМИ с водой. Диэлектрические потери обусловлены инерционностью поляризации компонентов вещества. Они имеют релаксационную природу. Наличие разностей фаз (δ и δ_m) приводит к диэлектрическим ($tg\delta$) потерям и, в итоге, к поглощению энергии ЭМИ [9].

Диэлектрические потери возрастают с увеличением концентрации в веществе компонентов с высокой диэлектрической проницаемостью (ϵ), в частности, воды и водных растворов солей. Растворы электролитов, по сравнению с чистой водой, характеризуются повышенными значениями вязкости, диэлектрической проницаемости, электропроводности. Диэлектрическая проницаемость полярных жидкостей, подверженных ориентационной поляризации, сравнительно велика. Так, для воды $\epsilon = 81$ при частоте электромагнитных волн $\nu = 50$ Гц; $\epsilon = 65$ при $\nu = 10$ ГГц. [10], а диэлектрическая проницаемость скелета породы находится в диапазоне 3–6 [3]. Минерализация воды инициирует появление ионов проводимости и дополни-

тельно «запускает» другой механизм потерь энергии ЭМИ – на электропроводность за счет возникновения вихревых токов в электролите.

Основной характеристикой взаимодействия ЭМИ с водосодержащими объектами является величина ослабления электромагнитной энергии, зависящая от количества и свойств поглощающего наполнителя, в частности воды или водных растворов. Сравнивая величины ослабления ЭМИ разными образцами, можно анализировать их водосодержание.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Королев, В. А.** Связанная вода в горных породах: новые факты и проблемы / В. А. Королев // Соросовский образовательный журнал. – 1996. – № 9. – С. 79–85.
2. **Классен, В. И.** Омагничивание водных систем / В. И. Классен. – М. : Химия, 1973. – 239 с.
3. **Табарин, В. А.** Определение содержания связанной воды в кернах на СВЧ / В. А. Табарин, С. Д. Демьянцева // Нефтегазовое дело. – 2009. – № 1. – С. 1–28.
4. Структура и свойства воды, облученной СВЧ-излучением / В. Ф. Мышкин [и др.] // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 81. – С. 1–12.
5. **Пат. 10139 Респ. Беларусь, МПК⁸ G 01 N 22/00.** Способ радиочастотной влагометрии нефтепродуктов и устройство для его осуществления / В. А. Банный, Пинчук Л. С.; заявитель и патентообладатель ГНУ «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси». – а20050431 ; заявл. 02.05.05 ; опубл. 28.02.07 // Афіцыйны бюлетэнь / Нац. Цэнтр інтэлектуал. Уласнасці. – 2007. – № 3.
6. **Пат. 14865 Респ. Беларусь, МПК⁸ G 01 22/04.** Устройство для радиочастотной влагометрии нефтепродуктов / Л. С. Пинчук, В. А. Гольдаде, В. А. Банный, О. Ч. Василевская, О. В. Холодилов; заявитель и патентообладатель ГНУ «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси». – а20090988; заявл. 06.07.09; опубл. 28.02.11// Афіцыйны бюлетэнь / Нац. Цэнтр інтэлектуал. Уласнасці. – 2011. – № 2.
7. Радиочастотный способ влагометрии жидкостей / В. А. Банный [и др.] // Журнал прикладной химии. – 2002. – Т. 75, вып. 8. – С. 1389–1390.
8. **Василевская, О. Ч.** Способ радиочастотной влагометрии нефтепродуктов / О. Ч. Василевская, В. А. Банный, О. В. Холодилов // Вестн. БелГУТа. – 2009. – № 2. – С. 86–88.
9. **Банний, В. А.** Взаимодействие СВЧ-излучения с полимерным композитным электромагнитным экраном: физические модели и эксперимент / В. А. Банний, В. А. Гольдаде, Л. С. Пинчук // Материалы, технологии, инструменты. – 2008. – № 2. – С. 45–51.
10. **Грудинская, Г. П.** Распространение радиоволн / Г. П. Грудинская. – М. : Высш. шк., 1967. – 244 с.

E-mail: bannyi@tut.by