

ПРЕГЛЕД НА СЪВРЕМЕННИТЕ ПОДХОДИ ЗА ЛАБОРАТОРНО ОПРЕДЕЛЯНЕ НА РЕЗЕРВОАРНИТЕ СВОЙСТВА НА ПЛЪТНИ СКАЛИ-КОЛЕКТОРИ

Ефросима Занева-Добранова, Лъчезар Георгиев

Минно-геоложки университет „Св. Ив. Рилски“, 1700 София, edobranova@abv.bg, lucho_sdng1@mail.bg

РЕЗЮМЕ. Предлаганият материал касае въпроси, свързани с преглед на съвременните подходи за лабораторно определяне на резервоарните свойства на плътни скали-колектори. Интересът към тези образувания е изключително голям, с оглед на това, че в световен мащаб са установени формации с подкондиционни стойности на проницаемостта, които съдържат значителни количества от въглеводороди. За целите на определянето на техните ресурси/запаси и прогнозиране на изходните технологични показатели на тяхната разработка е важно определянето на количествени стойности на вместимостно-филтрационните параметри върху конкретни, реални образци. Изучаването на резервоарните им свойства е предизвикателство пред изследователите, тъй като класическите лабораторни методики и методи не дават удовлетворителни резултати и са неприложими. В тази връзка се полагат значителни изследователски и финансови усилия за разработване на иновационни методи. Водещи центрове са Gas Research Institute Inc. и Агроси ООО, благодарение на които са създадени съвременни апарати, които позволяват определяне, с голяма степен на достоверност на основните петрофизични показатели на плътните скали. Анализът на предлаганите методологии и методи показва тяхната приложимост в по-широк мащаб, включително и за условията на България, където са установени интересни и перспективни в нефтогазоносно отношение формации.

Ключови думи: плътни скали-колектори, лабораторна оценка

REVIEW OF THE MODERN APPROACHES FOR LABORATORY ASSESSMENT OF THE RESERVOIR PROPERTIES OF SOLID ROCKS-COLLECTORS

Efrosima Zaneva-Dobranova, Lachezar Georgiev

University of Mining and Geology "St. Ivan Rilski", 1700 Sofia, Student city, edobranova@abv.bg, lucho_sdng1@mail.bg

ABSTRACT. The suggested article concerns issues related to the review of modern approaches to laboratory determination of the reservoir properties of dense rock-collectors. The interest in these formations is extremely high, in view of the fact that globally established formations with very low permeability values contain significant amounts of hydrocarbons. For purposes of determination of their resources / reserves and forecasting of technological parameters output of their development as quantitative values capacity-filtration parameters on concrete, real samples, is important. The study of their physical properties is a challenge to researchers as traditional laboratory methods and methods do not yield satisfactory results and are not applicable. Regarding to this significant research and financial efforts to develop innovative methods are made. Leading centers as Gas Research Institute Inc. and Agros Ltd., create modern devices that allow determination with a high degree of credibility of the solid rocks main petrophysical parameters. The analysis of proposed methodologies and methods indicates their applicability in a wide scale, including the conditions of Bulgaria, where they found interesting and promising oil and gas formations.

Keywords: solid rocks-collectors, laboratory assessment

Въведение

При реализирането на проекти за търсене, проучване, разработване, изготвяне на технико-икономически анализ и оценяването на ресурсите/запасите на въглеводородните суровини в различни категории, а така също и за определянето на изходните технологични показатели на разработката им, основни задачи са изучаването на резервоарните свойства на продуктивните хоризонти. Това важи в по-голяма степен за условията на колектори, изградени от плътни скали с ниски стойности на проницаемостта.

По мнение на редица изследователи (Naik, 2010; Abdelaziz et al., 2011; Григорьев и др., 2013 и др.), добив на въглеводороди от плътни (слабо проницаеми) наслаги, днес и в близко бъдеще, ще има изключително важно значение.

Необходимостта от прилагането на специфични методологии и методи за определянето на резервоарните свойства на скалите, които са насочени към плътните колектори, е предизвикана от: тенденцията за намаляващите добиви на природен газ и нефт от резервоарни скали с „добри“ резервоарни параметри; все още високата зависимост на пазара от въглеводородни енергийни суровини; бурното развитие на техниката и технологиите, които стават в по-голяма степен екологодящи и започват да придобиват първостепенно значение; отсъствието на значителни по мащаб и много по-скъпи възобновяеми енергийни източници и др.

Целта на настоящето изследване е преглед на съвременните методични подходи за лабораторното определяне на резервоарните параметри на плътни скали-колектори и анализ на възможностите за тяхното приложение в страната.

Състояние и актуалност на проблема

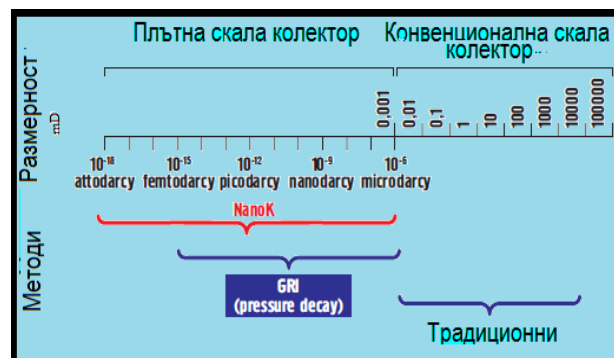
Общи закономерности, характеризиращи плътните (слабо проницаеми) скали

В съответствие с общоизвестните представи за плътни скали-колектори, редица изследователи (Haines, 2006; Perry, and Lee, 2007; DGMK German Society ..., 2010; Naik, 2010, Занева-Добранова и др., 2012; Занева-Добранова, 2014 и др.) се обединяват около гранични стойности на: вместимостта под 10% и на проницаемостта под 0,1 mD, високо съдържание на циментиращо вещество, размери на порните канали непревишаващи 0,1 μm ; високо съдържание на остатъчна водонаситеност и с повишена механична устойчивост. При такива типове колектори коефициентът на извличане е нисък (както за въглеводородите, така и за водата), дебитите на сондажите са ниски, а запасите се усвояват по специално разработени схеми. Едновременно с това съществуват достатъчно красноречиви примери, които посочват, че в теригени и по-рядко в глинесто-карбонатни наслаги, скалите, класифицирани като „неколектори“, са потенциални и промишлени обекти, от които се получават значителни притоци от газ и нефт (басейн Сан Хуан, Piceance - САЩ, Ордоса – Китай, Баженовска, Абалакская свита - Русия и др.). Посочените примери подсказват, че към групата на плътните скали-колектори, притежаващи значителен нефтогазоносен потенциал, могат да бъдат причислени разнотипни литоложки разновидности, и че всеки геоложки обект следва да бъде изучаван детайлно и в зависимост от конкретните дадености и целесъобразност.

Приложимост на стандартните методи

В специализираната литература и практика за присъствието на природен газ и нефт в обширни геоложки пространства с разпространение на плътни скали-колектори, се правят изследвания и проучвания от втората половина на миналия век. Едновременно с това се полагат значителни аналитични и финансови усилия за усъвършенстване на общоприетите и внедряване на нови методи на изследване. Анализът показва, че традиционните лабораторни методи за определяне на резервоарните свойства на плътните (слабо проницаеми) скали имат ограничено приложение (фиг. 1). Това най-вече се отнася за изучаването на някои водещи количествени характеристики, каквито са проницаемостта, наситеността, характерът на средата, свойствата на флуидите и др. При проектирането на разработването на плътни скали-колектори, изследването на филтрационните свойства придобива изключително значение. Понастоящем използването на традиционните методи не дава удовлетворителни резултати. Така например при съществуващите стандартни лабораторни оборудвания и процедури за измерване, диапазонът на газопроницаемостта (показател, който се приема за определящ) за традиционните колектори най-често се ограничава до 0,1 mD и в по-редки случаи до 0,01 mD. Посочените стойности се приемат като гранични за класифицирането на скалите като колектор/ неколектор. Скали с проницаемост под 0,01 mD се причисляват към труднопроницаемите и неперспективни в нефтогазоносно отношение. Една от причините е възможностите на стандартното оборудване и общоприетата методика за лабораторно изследване. Ето защо, за лабораторното изучаване и определяне на количествените показатели на

плътните скали се налага прилагането на нови методични подходи и иновационно оборудване.



Фиг. 1. Диапазон на лабораторните методи за определяне на резервоарните свойства на скали колектори (Експлуатация нетрадиционных залежей..., 2016, www.corelab.com/ru/ps/gri-analysis)

Преглед на някои иновационни методики и оборудване

Водещи лаборатории, които се явяват доставчици на услуги за анализиране на скален и флуиден материал за целите на петролната индустрия, са американската Core Laboratories, Inc. и руската ГК Аргоси ООО. В резултат на съвместната им дейност е разработено съвременно лабораторно оборудване, което предлага аналитични системи за изследване, с достатъчна прецизност, на скални образци от плътни скали и получаване на важни количествени параметри, определящи резервоарните им качества.

Интерес представляват системите GRI (Gas Research Institute - Crushed Shale Analysis) и NanoK. По същество методиките, заложи в тези системи, не се отличават съществено от класическите за изучаване на резервоарните свойства скалите и се основават на фундаментални постижения и закони на физиката на нефтения пласт, хидро- и термодинамиката и др. Различното, в конструктивен план, е в устройството на предлаганите апаратури, възможността за комплексно изследване на различни характеристики, автоматизирането на процеса и съкращаването на времетраенето на експеримента.

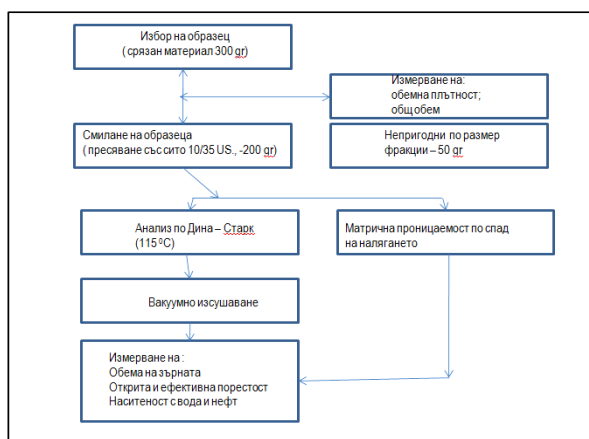
Представител на системата GRI е методът SMP (Shale Matrix Permeameter), който се осъществява с прибор SMP - 200 (фиг. 2). Характерно за метода е, че се изследва интегриран и дезинтегриран образец от изучаваната скала. Върху интегрирания образец се определя обемната плътност, непосредствено след изваждането на ядката. По-нататък, чрез раздробяване на пробата до размер на зърната от 0,853 до 0,5 mm, се извлича съдържащите се в порите флуиди чрез екстрахиране. Следва определяне плътността на зърната, вместимостта и наситеността на скалата.

За определяне на проницаемостта, пробата се поставя в камера за изпитание с хелий като реагент, създава се налягане (около 200 kPa) за определено време, след което се сменя крива на спадане на налягането. Получават се данни за ефективната и абсолютната проницаемост на матрицата с възможен диапазон от 10^{-6} до 10^{-15} D. В

основата на принципа на работа на пермеаметъра е законът на Бойл-Мариот. Принципната схема на последователността на изследването е показана на фигура 3.



Фиг. 2. Общ вид на пермеаметър SMP-200 (Експлуатация нетрадиционних залежей..., 2016, www.corelab.com/ru/ps/gri-analysis)



Фиг. 3. Последователност на изследването (Експлуатация нетрадиционних залежей..., 2016, www.corelab.com/ru/ps/gri-analysis)

Представител на системата NanoK е метод за определяне на свръхниска проникваемост чрез цифров нано-пермеаметър NanoK-100 (фиг. 4). Изследването се осъществява в стационарен режим на филтрация на газ (метан или азот), с отчитане на ефекта на Клинкенберг в три независими позиции. За осъществяване на експеримента се използват цилиндрични образци, предварително подготвени (екстрахирани и изсушени). Диапазонът на измерената проникваемост е $10^{-6} - 10^{-18}$ D. Параметрите на експеримента и на получените резултати са: налягане на входа и на изхода; ефективно налягане (до 66,7 MPa); три замера на налягането; абсолютна и ефективна проникваемост; коефициент на проникваемост, който се определя графично по зависимостта $K_{пр.газ} = f(1/P)$.

Аналитичните системи от ново поколение GRI и NanoK имат реално приложение в практиката за изучаването на плътни скали-колектори. Като пример за това (Добрынин и др., 2004; Тонконогов и Мулер, 2013) са изследванията, проведени в находище Eagle Ford, Южен Тексас, Баженовската свита и др. Получените данни за резервоарните свойства на плътните скали се отличават с повишена достоверност и по-широк диапазон на измерените параметри. Основните ограничения се свеждат до невъзможност за отчитането на някои физико-механични характеристики (влиянието на напрежението в пласта, в това число и на свиваемостта на порния обем, влиянието на

напукаността и геометрията на поровото пространство) върху получените параметри. Поради тези причини тяхната приложимост е в достатъчна степен коректна за определяне на параметрите на матрицата.



Фиг. 4. Общ вид на цифров нано-пермеаметър NanoK-100 (Shale Oil/Gas Training..., 2016, www.corelab.com/cli/shale-oil-gas/nanok-permeameter)

Заклучение

Проблемът с лабораторното изучаване на вместимостните и филтрационните свойства на плътните скали-колектори е обект на изследователски институции в широк мащаб. Съществуващите традиционни лабораторни оборудвания са неприложими. Ето защо, в световната практика се полагат значителни усилия и се внедряват нови иновационни системи за повишаване на достоверността на определяните количествени параметри.

За условията на България, където са налице геоложки формации, изградени от трудно проникваеми скали, перспективни в нефтогазоносно отношение, е крайно необходимо въвеждането на световните образци за лабораторни изследвания. Те, както и други методи, могат да повишат достоверността на изследователския процес и да дадат отговор на редица въпроси, свързани с проблемите по определянето на изходните технологични показатели при разработката на остатъчни и установяването на нови ресурси/запаси.

Литература

- Григорьев, Б. А., Д. М. Орлов, Н. В. Савченко, А. Е. Рыжов. Исследование начальных градиентов давления при фильтрации через низкопроницаемые породы-коллекторы. - *Научно-технический сборник Вести газовой науки*, 1, 2013. - 119-125.
- Добрынин В. М., Б. Ю. Вендельштейн, Д. А. Кожевников, Петрофизика (физика горных пород). *Иновационные методы петрофизических исследований низкопроницаемых горных пород*. М., Нефть и газ, 2004. - 367с.
- Занева-Добранова, Е. Природен газ в слабопроницаеми теригени формации (Tight Gas). - *Год. МГУ, т.57, св. 1*, 2014. - 59-64.
- Занева-Добранова, Е., Щ. Льомов, А. Ангелов. *Неконвенционни източници на въглеродородни ресурси, техно-логии и екологични предизвикателства*. С., Изд. къща

- „Св. Ив. Рилски“, 2012. - 211с.
- Тонконогов, Ю. М., П. Б. Мулер. Иновационные методы петрофизических исследований низкопроницаемых горных пород. - *Нефтегазовая вертикаль*, 9, 2013. - 34-36.
- Эксплуатация нетрадиционных залежей. Анализ кернов методом GRI (анализ дробленых сланцев). 2016. www.corelab.com/ru/ps/gri-analysis
- Abdelaziz, K., H. Qutob, N. Barakat, H. Harhad, E. M. Yettou, A. Mazouzi. Taking up unconventional challenge is a game changer in Oil and Gas Industry, Corresponding, 2011. - Author: abdelaziz.khlaifat@me.weatherford.com
- DGMK German Society for Petroleum and Coal Science and Technology. Website: 2010. <http://www.dgmk.de/>, sited: July 25th
- Perry, K., J. Lee, Unconventional Gas Reservoirs—Tight Gas, Coal Seams, and Shales, 2007.
- Haines, L. Unlocking Tight-Gas Supplies, 2006.
- Naik G. C. *Tight Gas Reservoirs – An Unconventional Natural Energy Source for Future*, 2010. http://www.pinedaleonline.com/socioeconomic/pdfs/tight_gas.as.
- Shale Oil/Gas Training Equipment. NANOK Permeameter - NANOK-100. NEXT, Course Catalog*, 2016. – 358p. www.corelab.com/cli/shale-oil-gas/nanok-permeameter
- Статията е рецензирана от доц. д-р Мартин Бояджиев и препоръчана за публикуване от кат. „Сондиране, добив и транспорт на нефт и газ“.