

УДК 622.279:622.324:550.834:550.85

С. В. ГОШОВСКИЙ, д-р техн. наук, профессор, директор УкрГГРИ,
П. Т. СИРОТЕНКО, канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела инновационных технологий (УкрГГРИ)

НЕТРАДИЦИОННЫЕ УГЛЕВОДОРОДНЫЕ РЕСУРСЫ УКРАИНЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ИХ ОСВОЕНИЯ

(Матеріал друкується мовою оригіналу)

Рассмотрены нетрадиционные углеводородные ресурсы Украины, которые имеют низкую проницаемость и пористость и сложные в разработке. К таким ресурсам отнесены газ в плотных породах, угольный метан, сланцевый газ, сланцевая нефть, тяжелая нефть и гидраты метана. Проведена оценка роли современных геофизических технологий в поиске, разведке и освоении таких ресурсов, показана ведущая роль новейших технологий сейсморазведки в решении ресурсных проблем Украины. Проведен детальный анализ применяемых новейших технологий для разведки и добычи газа в плотных породах в мировой практике.

Considered unconventional hydrocarbon resources of Ukraine with low permeability and porosity are difficult for development. Tight gas, coal bed methane, shale gas, shale oil, heavy oil and methane hydrates are of such kind resources. An assessment of the role of modern technologies in geophysical prospecting, exploration, and development of these resources was fulfilled. The leading role of advanced seismic technologies in solving resource problems in Ukraine was presented. Detailed analysis of utilized innovation technologies for tight gas exploration and development in international practice has been conducted.

По мере истощения энергетических ресурсов становится все более актуальной задача поиска, разведки и добычи нетрадиционных энергетических ресурсов. Освоение нетрадиционных ресурсов достигло новой эры со значительным увеличением масштабов производства на всех континентах во многих странах.

Нетрадиционные ресурсы углеводородов при подготовке к освоению нуждаются в разработке новых подходов и методов выявления, разведки и добычи. В отличие от традиционных ресурсов они сосредоточены в сложных для освоения скоплениях либо рассеяны в геологической среде. К тому же они плохо подвижны или неподвижны в пластовых условиях недр, поэтому нуждаются в специальных технологиях извлечения из недр, что значительно повышает их себестоимость. Однако достигнутый в мире прогресс в технологиях добычи углеводородов делает возможным

освоение некоторых из них с себестоимостью, приближающейся к традиционным углеводородным ресурсам.

Как показывает опыт США, освоение нетрадиционных углеводородных ресурсов требует решения ряда актуальных задач, в частности, по следующим направлениям исследований и деятельности:

- проведение региональных тематических исследований;
- изучение характеристик нетрадиционных коллекторов;
- применение и интегрирование наземных и скважинных данных;
- достижение понимания возможностей используемой нефтегазовой системы;
- обеспечение оптимизации извлечения флюида из нетрадиционных коллекторов;
- достижение эффективной оптимизации капиталовложений;
- проведение мониторинга эксплуатационных характеристик месторождения;
- решение вопросов здоровья, безопасности и экологии (HSSE);

– проведение оценки и прогноза запасов углеводородов;

– обеспечение долгосрочной добычи на месторождении;

– проведение оценки перспективности месторождения.

Решение выше названных задач позволит достигнуть наиболее эффективно-го освоения нетрадиционных углеводородных ресурсов.

УГЛЕВОДОРОДНЫЕ РЕСУРСЫ В МИРЕ

Во многих странах мира сегодня пристально изучают не только традиционные углеводородные энергетиче-

ские ресурсы, а также нетрадиционные углеводородные ресурсы. Нетрадиционные ресурсы углеводородных коллекторов имеют низкую проницаемость и пористость, а поэтому являются трудноизвлекаемыми.

Вследствие этого к ним неприменимы уже отработанные технологии извлечения традиционных полезных ископаемых, но тем не менее их также возможно добывать при использовании интенсификации извлечения полезных ископаемых из горных пород путём применения гидроразрыва пласта или нагнетания пара [1, 2, 7, 9, 10]. Однако такая технология получения полезных ископаемых является более трудоёмкой и дорогой, вследствие этого к ней обращаются в случае истощения традиционных запасов углеводородов или когда в стране имеется слишком мало собственных энергетических ресурсов.

По данным фирмы CGGVeritas [10], мировые запасы углеводородных ресурсов по энергетическому эквиваленту распределяются таким образом (рис. 1): обычная нефть 23 %, природный газ 8 %, тяжёлая нефть 19 %, сланцевый газ 16 %, битумы 15 %, метан угольных пластов 12 %, газ в плотных породах 7 %. Из этого следует, что жителям нашей планеты придётся рано или поздно обращаться к ресурсам нетрадиционных углеводородов для обеспечения своих энер-



Рис. 1. Углеводородные ресурсы мира [10]

гетических потребностей. Вопрос состоит только в том, насколько трудно извлекать необходимые энергетические ресурсы из недр Земли.

Необходимо отметить, что традиционные ресурсы мира составляют менее трети всех ресурсов Земли. К тому же, кроме объемов запасов нетрадиционных углеводородов, очень важной характеристикой является их трудоёмкость извлечения [2, 12]. Так, проведённое ранжирование по сложности добычи полезных ископаемых (рис. 2) показало, что, безусловно, наиболее сложно добывать газовый гидрат, а

предпочтительное положение по сравнению с ним занимают газ в плотных породах, метан угольных пластов и сланцевый газ. Считают, что их менее трудно добывать, чем газовые гидраты. Вследствие этого добыча природного газа имеет высокую рентабельность, тогда как извлечение нетрадиционного газа является сложной технологической проблемой. Сдерживающим фактором увеличения объёмов разведки и добычи нетрадиционных газовых ресурсов являются большие затраты, а также сложность технологии извлечения из-за существующей

их низкой проницаемости в природной среде, что требует применения усложнённых технологий для увеличения трещинообразования залежи и, соответственно, её проницаемости для флюидов. Анализ “Энергетической стратегии Украины” [7] и других работ [16] показывает, что сегодня наиболее предпочтительными нетрадиционными ресурсами для освоения являются три главных источника нетрадиционного газа, а именно газ плотных пород, сланцевый газ и газ угольных пластов. На рис. 3 схематически отображены геологические условия сохранения таких газов в геологической среде [16].

НЕТРАДИЦИОННЫЕ УГЛЕВОДОРОДНЫЕ РЕСУРСЫ УКРАИНЫ

В последнее время большое внимание уделяют изучению нетрадиционных углеводородных ресурсов Украины, этому способствовала подготовка соглашений о распределении продукции сланцевых месторождений Юзовской и Олевской площадей между правительством Украины и международными компаниями Shell и Chevron [1, 3, 8]. Если ранее оценка прогнозных запасов нетрадиционных энергетических ресурсов в

Украине проводилась государственными компаниями, то в последнее время такие оценки были сделаны как компаниями Украины, так и зарубежными организациями. Результаты таких исследований отображены в табл. 1. Анализ материалов, изложенных в таблице, показывает, что наиболее взвешенные прогнозные оценки нетрадиционных углеводородных энергетических ресурсов сделаны в проекте обновлённой “Энергетической стратегии Украины” [4, 7] и организациями США. При этом организации США дают только данные о потенциальных нетрадиционных углеводородных ресурсах Украины, а также, как и другие зарубежные компании, не проводили оценку прогнозной добычи полезных ископаемых Украины в будущем. Это вызвано тем, что на необходимых площадях не выполнялось разведочное бурение, а проведенное поисковое бурение, что было сделано в СССР, не преследовало цель обнаружения и оценивания нетрадиционных углеводородных ископаемых из-за достаточного наличия в то время традиционных ископаемых газа и нефти.

Поскольку в табл. 1 имеется существенное расхождение в оценке между результатами разных оценщиков нетрадиционных углеводородных ресурсов, то нам пришлось ввести в эту таблицу дополнительную колонку со средними показателями оценки запасов нетрадиционных углеводородов, что позволило повысить в некоторой мере достоверность прогнозных оценок нетрадиционных углеводородных запасов Украины. В проекте обновлённой “Энергетической стратегии Украины” приведены оценки прогнозной добычи нетрадиционных запасов углеводородов в 2030 году, которые, как мы считаем, близки к действительности.

Для более точного их определения необходимы



Рис. 2. Сложность извлечения полезных ископаемых [12]:

в верхней вершине треугольника отображаются обычные коллекторы, которые легко разрабатываются и имеют небольшие запасы; остальную площадь треугольника занимают нетрадиционные коллекторы, которые тяжело разрабатываются и имеют большие запасы

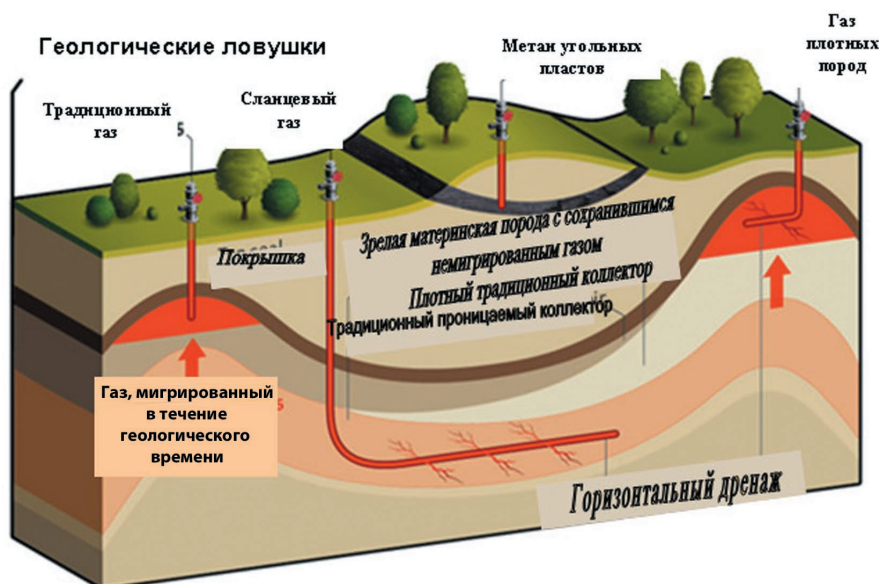


Рис. 3. Схематическое геологическое расположение основных нетрадиционных углеводородных ископаемых, применимое для Украины [16]

Таблиця 1. Потенціальні та прогнозні углеводородні ресурси України

Вид ресурса України	Тип углеводородного ресурса	Енергетична стратегія України до 2030 г. [7]	Управління енергетичною інформацією (США) [6]	МЭА (США) [6]	ІГН НАНУ [6]	ГП “Укрнаука-геоцентр” (заказчик Госгеонадра) [6]	IHS CERA (заказчик Госгеонадра) [6]	КНУ ім. Шевченка (заказчик НАК “Надра України”) [6]	Середній показатель
Потенціальні ресурси України	Газ плотних порід, трлн м ³	2–8	–	–	–	–	1,5–8,5	4–6	2,5–7,5
	Сланцевий газ, трлн м ³	5–8	5,578	1,2	–	9,4	11,5*	13–17	8,23
	Метан углистих пластів, трлн м ³	12–25	–	3	13	–	–	25,4	7,5–16,8
Прогнозна добыча в 2030 г.	Газ плотних порід, млрд м ³	7–9	–	–	–	–	300**	–	–
	Сланцевий газ, млрд м ³	6–11	–	–	–	–	–	–	–
	Метан углистих пластів, млрд м ³	2–4	–	–	–	–	–	–	–

* – спільні дані для сланцевого газу та метану углистих пластів (дані не враховані для середнього показателя);

** – технічно вилучувані запаси (приведені в млн м³)

перші результати видобути таких іскопаємих. Етому сприяє запущений в Україні спільно компаніями Shell та ДК “Укргазвидобування” НАК “Нафтогаз України” проєкт по видобутку нетрадиційного газу (газу в ущільнених породах) шляхом буріння скважини Белявська-400 [3], яка розташована недалеко від с. Веселе Первомайського району Харківської області. Це дозволяє надіятися, що в найближче час буде отримано дуже важливу геологічну інформацію про газ в ущільнених породах в Східному регіоні України.

РОЛЬ ГЕОФІЗИКИ В ОСВОЄННІ НЕТРАДИЦІОННИХ РЕСУРСІВ

В останнє час освоєння нетрадиційних ресурсів досягло нового рівня при значному збільшенні масштабів виробництва во багатьох країнах світу. Для ефективного пошуку, розвідки та виробництва нетрадиційних ресурсів потребують міждисциплінарні зусилля з новими технологіями та новим способом мислення.

Спочатку етапу освоєння нетрадиційних ресурсів геофізика грає важливу роль в оцінці нафтогазових комплексів порід, параметрів пластів, буріння, закінчення скважин та видобути угле-

водородів. Тем не менш ефективність використання геофізических технологій змінюється і по-прежнему стикається з багатьма проблемами, серед яких основними є: освоєння нових сучасних технологій для оцінки нафтогазових комплексів порід; визначення характеристик колекторів та “яскравого пляма”; буріння та закінчення скважин; розуміння та надання інформації про цілісність стовпа скважини, колекторів, а також про практику охорони навколишнього середовища (НСЕ).

Можливо зробити висновок, що геофізика – це засіб технічного бачення процесів в надрі з допомогою дослідження як характеристик параметрів гірських порід, так і виникаючих фізических та технологіческих процесів при ініціалізації та виробстві видобути іскопаємих, а також забезпечення безпечних умов вилучення іскопаємих. Головною задачею наукових досліджень в освоєнні нетрадиційних углеводородних ресурсів України є визначення сучасного стану технологій, оцінка потенціалу геолого-геофізическої інформації на основі аналізу загальних проблем та рішень для створення новітніх технологій розвідки та розробки традиційних углеводородних ресурсів.

Серед геофізических методів досліджень нетрадиційних ресурсів провідну роль займають петрофізическі та сейсміческі дослідження. Відомо, що нетрадиційні колектори переважно є гетерогенними, тож, на жаль, не завжди чітко зображують традиційної сейсмікою та потребують спеціальних методів для оцінки їх характеристик [10].

Наприклад, для системи формування тріщин навколо дуже продуктивної газової скважини в ущільнених газових породах колектори використовують метод **AVAZ (Amplitude Variation with Offset and Azimuth – аналіз амплітуди в залежності від віддалення та азимута)**. Для системи тріщиноутворення в газових колекторах щільних порід часто формують вертикальні накоплення при бурінні вертикальних скважин.

Метод AVO (Amplitude Versus Offset – залежність амплітуди від віддалення). Еластична анізотропія, широко відома як властивість, притаманне осадовим формаціям, надає сильне вплив на швидкості поширення сейсміческих хвиль та їх амплітуду. Наприклад, різниця між швидкістю сумарного та вертикального швидкості в анізотропному середовищі є

причиною невідповідності перетворень з тимчасової області в глибоку. Найбільш важливим етапом в поширенні методів обробки сейсміческих даних на анізотропні середовища є ідентифікація та отримання параметрів середовища, які відповідають за вимірювану сигнатуру відображеного сигналу. Цей метод може бути використаний для оцінки геомеханіческих властивостей, передбачення літології та характеристик колекторів. В сейсміческій інтерпретації або моделюванні метод дозволяє передбачувати типи гірських порід та флюїдів. Немає ніякого сумніву, що Р-хвилі “бачать” розриви та тріщини [13]. Вертикально поширюючіся Р-хвилі, як правило, не дуже чутливі до вертикальних тріщин. Однак якщо вивести, то природно індукований розрив може викликати анізотропію швидкості при азимутах джерела – приймача, паралельних до простягання тріщин, буде мати місце тенденція не бачити їх, в той час як при азимутах джерела – приймача, перпендикулярних до тріщин, вони можуть бути помітні завдяки уповільненню хвиль. Так тріщини впливають як на Р-хвилі, так і на S-хвилі, тому азимутальні варіації в AVO можуть бути

мощным инструментом для выявления трещин и определения содержания жидкости в них (рис. 4).

Fracture characterization – характеристики трещин. Трещины вызывают значительные изменения в 3D сейсмических данных, которые наблюдаются через изменения сейсмических амплитуд (AVAZ) и скоростей (VVAZ – velocity variations with angle and azimuth – изменение

скорости от угла и азимута). Данная характеристика отображает сейсмическую азимутальную анизотропию. Применение физических принципов горных пород важно при картировании физических свойств коллектора из сейсмических данных. Разломы и трещины [13]:

- уменьшают скорости P-и S-волн;
- увеличивают дисперсию скорости и поглощение волн;

- увеличивают зависимость скорости от давления;
- увеличивают анизотропию скорости и затухания;
- увеличивают потенциал анизотропии для индуцированного напряжения.

Стратегия для обнаружения трещин состоит в использовании многих различий сейсмических сигналов трещин. Сейсмические волны склонны “видеть” трещины, когда их направление распространения или их направление поляризации перпендикулярно или почти перпендикулярно к поверхностям трещин.

Известно, что поперечные волны расщепления играют очень важную роль в оценке анизотропии горных пород. Общие цели для бурения залежей имеют в местах расположения трещин с примерно вертикальными и субпараллельными трещинами. Вертикально распространяющиеся поперечные волны, которые поляризованы к плоскостям трещин, могут распространяться быстрее, чем поперечные волны, поляризованные перпендикулярно плоскостям трещин. Любая вертикально распространяющаяся попе-

речная волна с произвольной поляризацией, падающая на среду, может сразу расщепиться на две волны, называемые быстрой поперечной волной и медленной поперечной волной. Это расщепление поперечных волн называется ещё двухлучепреломлением. На рис. 5 приведены примеры расщепления поперечной волны различной поляризации. Различие времени распространения между быстрой и медленной волной прихода может быть индикатором уровня анизотропии (нижний левый) и плотности трещин (нижний правый) [13].

Orthorhombic PSTM (Orthorhombic Prestack Time Migration – орторомбическое временное миграционное преобразование до суммирования). Орторомбическое скоростное моделирование обеспечивает улучшенную временную миграцию до суммирования ниже трещиноватых покрывающих пород на основе использования AVO и AVAZ анализа.

Multicomponent – многокомпонентность. Многокомпонентное измерение может быть использовано для анализа напряжений, трещиноватости и предсказания литологии.

Pore Pressure Prediction – прогнозирование порового давления. Метод позволяет оценить поровое давление и градиенты трещинообразования, устанавливать литологию в зависимости от физической модели горных пород, выявлять потенциальные опасности бурению и улучшить позиционирование скважины.

Stress Estimation – оценка напряжённого состояния. Данная оценка показывает пространственное изменение напряжений горного массива, которое имеет важное значение при разработке месторождения, например, напряжения, которые вызывает смыкание трещин в породе, при этом такие явления наблюдаются на расстоянии более 1,5 км от горизонтальной скважины.

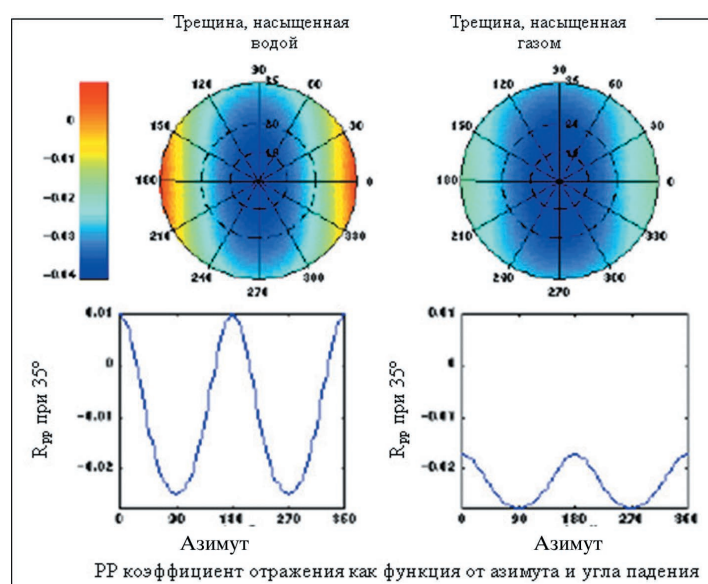


Рис. 4. Изображение результатов оценки насыщения водой и газом трещин с помощью отражения P-P-волн в зависимости от азимута и угла падения [13]

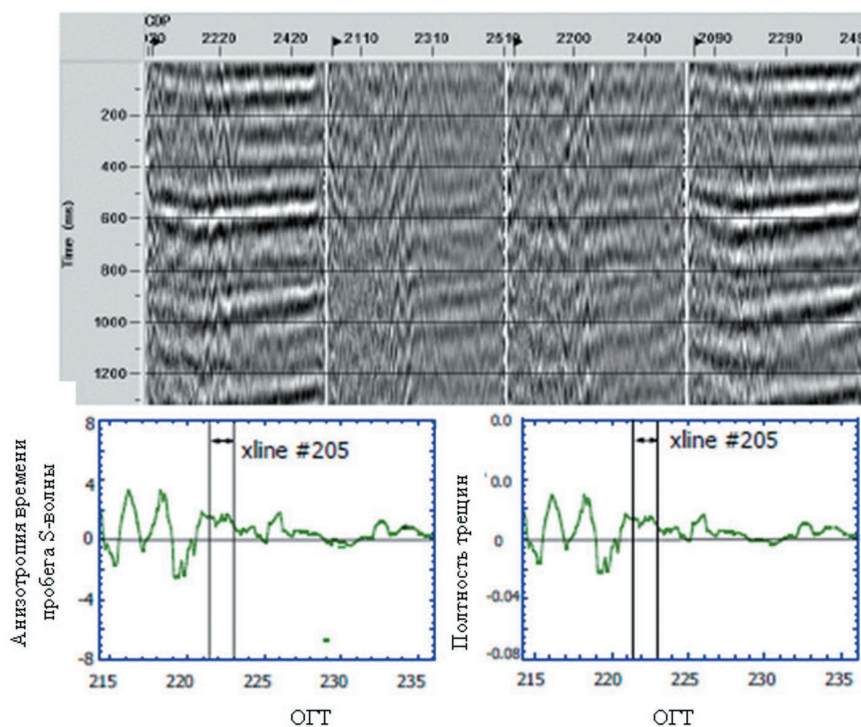


Рис. 5. Анизотропия времени пробега S-волн и плотности трещин [13]

Geomechanics – геомеханіка. Даний метод забезпечує моніторинг зміни тиску і напружень і вказує потенційні небезпеки бурової скважини.

4D Seismic – 4D сейсміка. Дані сейсміка може бути

використана для моніторингу різних ефектів в часі видобування. Міграція інжекції пари через колектор може постійно контролюватися в режимі реального часу.

Наведені табл. 2 і 3 дають більш нагляд-

но інформацію про можливість використання різних методів сейсміки при визначенні геологічних характеристик гірських порід нетрадиційних вуглеводородних ресурсів [15].

Викладені методи використовуються для дослідження змін в властивостях Р- і S-хвиль, які можуть бути використані для представлення цінної інформації, такої як міцність порід і напружене стан. Це дозволяє виявити кращі цілі для гідравлічного розриву пласта, а також встановити звичайні атрибути, такі як текучість, пористість, густина літології і т. д. Предложені комплексні рішення допомагають планувати розробки нетрадиційних родовищ.

Важливу роль в дослідженні родовищ метану вугільних пластів грає сейсмічна інверсія, з допомогою якої можливо успішно виявляти зони як вугля, так і сланця, використовуючи рівень акустичного імпедансу. Це дозволить також більш успішно закладувати гідравлічний розрив пласта (ГРП) в найбільш продуктивних зонах (див. рис. 6).

На рис. 7 і 8 продемонстрована можливість пошуку газових гідратів з допомогою сейсмічних і короткохвильових досліджень. Тут показано, що для пошуку газового гідрату потрібні багатоконтактні дослід-

Таблиця 2. Взаємозв'язок між геологічними/технологічними і сейсмічними властивостями

Геологічне властивість	Сейсмічне властивість
Структурна характеристика колектора Визначення формування розломів як небезпек Визначення розривної тектоніки	Детальне 3D об'ємне зображення
Геологічні характеристики, потенціал тріщинотворення	Детальні атрибути, отримані з відображуваних горизонтів 3D даних об'єкта дослідження
Геологічні характеристики: – літологія (вміст кремнію) – газонасиченість – розривність породи	Коефіцієнт Пуассона з V_p/V_s
Тріщинотворення (клинаж) при метану вугільних пластів	Анізотропія при горизонтально-поперечної ізоотропії (НТІ) пластів для Р-Р і Р-SV даних або з керувані джерелом сейсмічних даних 9С
Вертикальне тріщинотворення в щільних газових пісках або сланцях	Анізотропія при горизонтально-поперечної ізоотропії (НТІ) пластів для Р-Р і Р-SV широкоазимутальних даних
Сланцеві (ресурсні) характеристики Сланцеватість (вміст глини, джерело/ізоляційні параметри) Загальний органічний вуглець (ТОС) в ресурсах сланців	Анізотропія при трансверсальній ізоотропії з вертикальною осью симетрії (VTI) пластів для Р-Р і Р-SV даних
Газ/рідина властивість Умови тріщинного напруження	Параметри тріщин з моделювання/інверсії для співвідношення ширини і висоти, концентрації тріщин з 3С широкоазимутальних даних
Густина	Залежність амплітуди відбиття від відстані (AVO) Р-Р і Р-SV даних
Моніторинг результатів проведення гідророзриву пласта (ГРП)	Мікросейсміка
Моніторинг нагнітання пари в пласт	Періодичні наземні і скважинні сейсмічні спостереження

Таблиця 3. Основні геологічні/технологічні задачі і необхідні сейсмічні методи

Тип сейсмічних даних	Застосування	Тип нетрадиційних ресурсів	Необхідна сейсміка
3D структурні зображення	Структурна інтерпретація	Всі	Високоякісна 3D Р-хвильова сейсміка
Атрибути горизонту	Тріщинуватість	Метан вугільних пластів Газ щільних порід Сланцеві ресурси	Високоякісна 3D Р-хвильова сейсміка
Дані багатоконтактної сейсміки	Характеристика сланця Оцінка тріщинуватості, клинажа, літології Насиченість газом тріщин порід	Метан вугільних пластів Газ щільних порід Сланцеві ресурси	3D (широкоазимутальна) 3С сейсміка Аналіз для V_p/V_s , горизонтальної поперечної ізоотропії і трансверсальної ізоотропії з вертикальною осью симетрії 9С дані для характеристики клинажа
Мікросейсміка	Моніторинг тріщин	Сланцеві ресурси	Пасивний моніторинг з приймачами, розташованими навколо скважини
Періодичні спостереження 3D (4D)	Моніторинг видобування вугілля	Тяжка нафта Газ в щільних породах	Дані високоякісних 3D Р-хвильових періодичних спостережень
Вертикальне сейсмічне профілювання (ВСП)	Прив'язка відбиттів Р- і S-хвиль для детальних зображень поблизу скважини	Метан вугільних пластів Сланцеві ресурси Газ щільних пісків Газові гідрати	Високоякісні багатоконтактні дані
Міжскважинна томографія	Моніторинг видобування вугілля	Тяжка нафта Газ в щільних породах Метан вугільних пластів	Пробурені скважини і скважинні джерела і приймачі

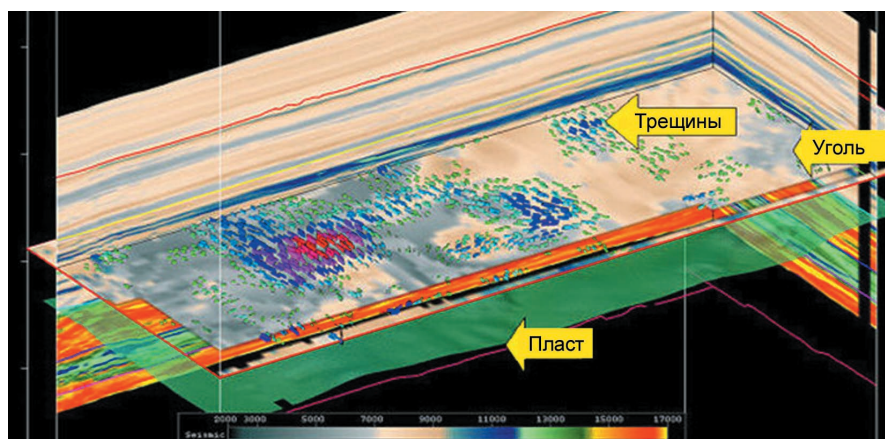


Рис. 6. Отображение вероятных зон лучшего ГРП по данным сейсмике для метана угольных пластов [10]

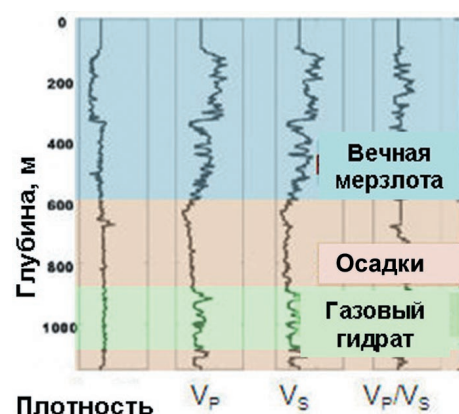
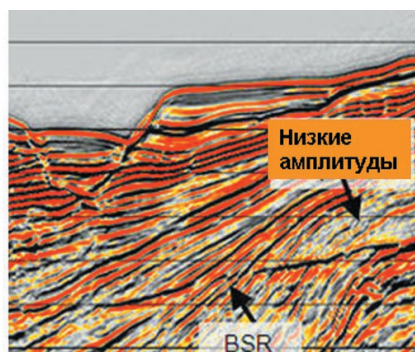


Рис. 7. Поиски газовых гидратов [10] с помощью акустического каротажа



BSR-отражения от дна как главный индикатор морского метанового гидрата

Рис. 8. Поиски газовых гидратов [10] с помощью сейсмического метода отраженных волн от дна моря

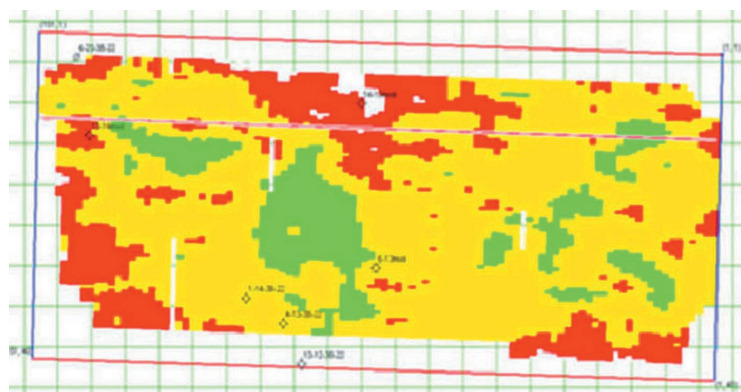


Рис. 9. Отображение вероятных зон лучшего ГРП по данным сейсмике для сланцевого газа [10]:

зелёный – зоны, где может формироваться система трещин; красный – зоны, где породы более эластичны (вязкие); жёлтый – зоны, где будут проходить трещины в одну линию [2]

вания с помощью каротажа или сейсмике. Считаем, что создаваемый УкрГРИ дифференциально-дипольный сейсмический комплекс (ДД ВСП) будет позволять более успешно проводить исследования, в частности с большей производительностью и качеством (пат. UA 97547).

На рис.9 также продемонстрирована возможность выявления с помощью многокомпонентной сейсмике зон активного трещинообразования, то есть вероятных зон лучшего закладывания ГРП при разработке сланцевого газа. Более подробно освещены проблемы поиска, разведки и разработки сланцевого газа в работе авторов [2], а также в работе [5] НАК "Нафтогаз Украины". В работах [2, 5, 10] детально изложена роль новых геофизических технологий для разведки и

разработки сланцевого газа, которые возможно успешно применять и для других видов нетрадиционных углеводородных ископаемых.

ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ГАЗА В ПЛОТНЫХ ПОРОДАХ

Усилия технологий направлены на лучшее понимание характеристик и параметров газовых коллекторов в плотных породах, разработку основных инженерных подходов, необходимых для значительного увеличения добычи этого энергетического ресурса. В последнем десятилетии новые технологии успешно как разрабатывались, так и внедрялись в производство в разных странах, в том числе имеющих значительный углеводородный потенциал [11, 12, 14]. На сегодняшний день анализ используемых технологий для газа в плотных породах позволил уста-

новить, что наиболее востребованными являются такие технологии, как направленное бурение, гидравлический разрыв пласта, в том числе многостадийный, разные модификации сейсморазведки, каротажно-петрофизическое исследование. Остановимся более подробно на приведенных выше технологиях.

Сейсмические технологии для газа в плотных породах

Новые сейсмические технологии для газа плотных коллекторов повышают способность точно обнаруживать наиболее перспективные объекты для бурения ("яркое пятно"). Можно выделить следующие сейсмические методы для обнаружения "ярких пятен" в газовых плотных породах:

- периодический многокомпонентный мониторинг падения давления разрабаты-

ваемого газа в плотных породах может использоваться для увеличения эффективности извлечения газа;

- широкоазимутальная сейсморазведка и современные методы обработки, что позволяет видеть коллекторы более четко и выбирать лучшие места для бурения и выявлять трещины;

- 3D мультiazимутальная сейсмическая съемка для оценки характеристик анизотропии;

- микросейсмическое картирование трещин и после диагностика трещин.

Для полноценного изучения геологической среды необходимо проводить её исследование как на микроуровне, так и на макроуровне. На рис. 10 и 11 показаны электронно-микроскопические изображения песчаника в разных масштабах

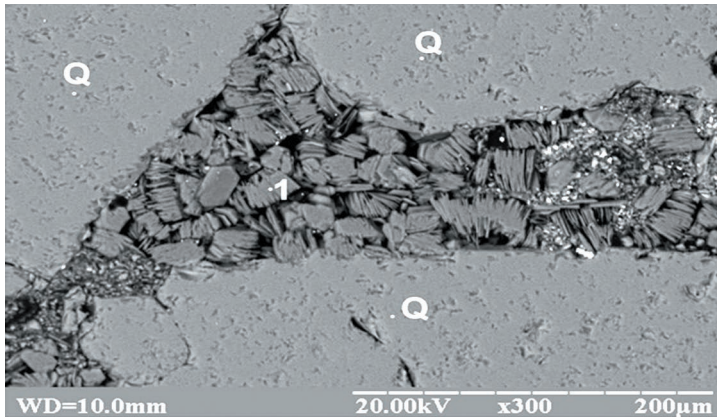


Рис. 10. Электронно-микроскопическое изображение песчаника (увеличение 300 крат):

1 – глинистый минерал, заполняющий поры; Q – зёрна кварца
Источник: лаборатория прецизионных аналитических исследований УкрГГРИ (О. В. Ковтун).

(работы выполнены в лаборатории прецизионных аналитических исследований УкрГГРИ). Из данных рисунков следует, что микропоры заполняются глинистыми минералами, которые закупоривают каналы прохождения флюидов. В этой же лаборатории УкрГГРИ также проведены электронно-микроскопические ис-

следования при изучении образцов пород с месторождений сланцевого газа, метана угольных пластов и газа в плотных породах в Украине, что позволило получить важную геологическую информацию. Нам известно, что подобные исследования проведены в США [12] и за результатами они очень близки к нашим для газа в

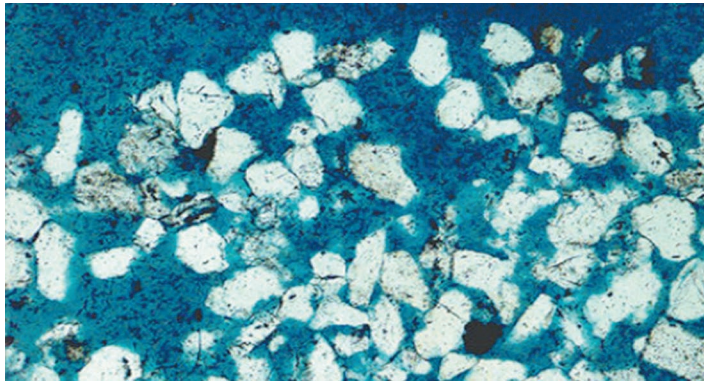


Рис. 12. Тонкий шлиф традиционного песчаника [12]

Шлиф прозрачный для микроскопии в проходящем свете.

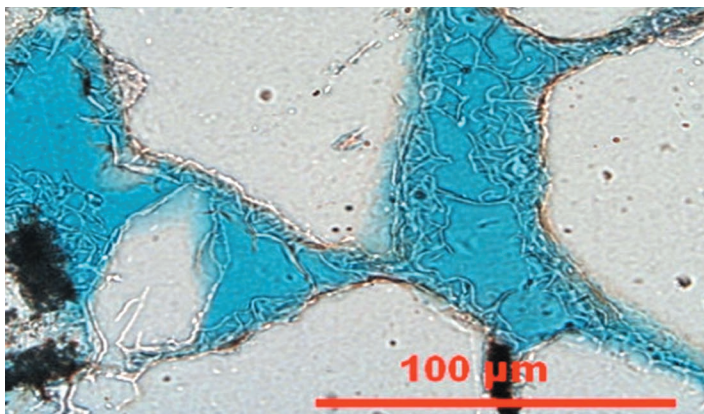


Рис. 14. Тонкий шлиф песчаника [12]

Шлиф прозрачный для микроскопии в проходящем свете.

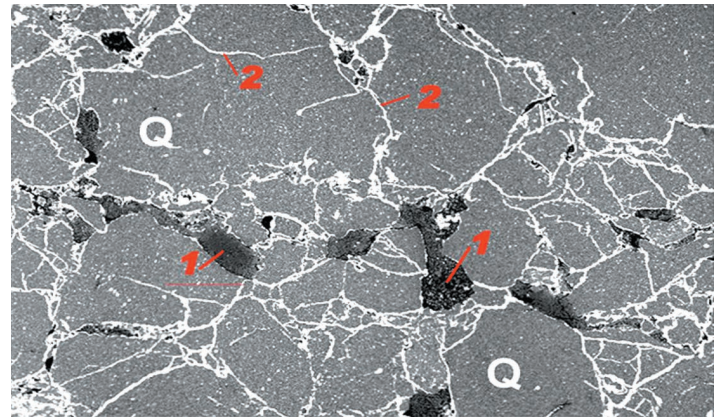


Рис. 11. Электронно-микроскопическое изображение песчаника (увеличение 100 крат):

1 – микропоры, заполненные глинистыми минералами; 2 – микропоры; Q – зёрна кварца

Источник: лаборатория прецизионных аналитических исследований УкрГГРИ (О. В. Ковтун).

плотных породах (см. рис. 12, 13, 14, 15). На данных рисунках видно, что тонкие срезы обеспечивают очень чистую картину связей между осадочными зёрнами, минералами цемента и диагенезом минералов глины. Таким образом, петрографические исследования обогащают нас очень ценной информа-

цией о породах нетрадиционных углеводородных месторождений. При этом на рис. 12 и 13 видно хорошее различие между обычными и плотными песчаниками, что позволяет петрографические данные использовать для поиска газа в плотных породах.

На рис. 16 представлен ал-

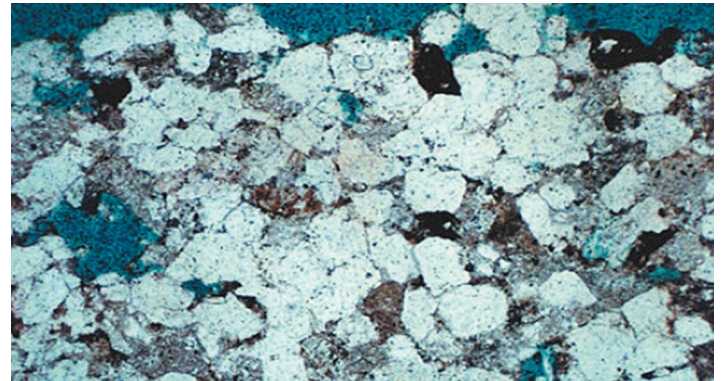


Рис. 13. Тонкий шлиф плотного песчаника [12]

Шлиф прозрачный для микроскопии в проходящем свете.

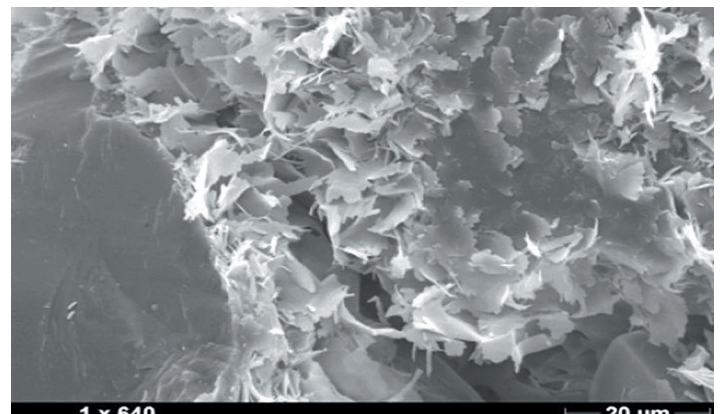


Рис. 15. Образец песчаника [12]

Изображение получено электронным микроскопом.

горитм методики поиска газа в плотных породах, основанный на применении сейсмических и каротажных исследований. Данный алгоритм позволяет выполнять полноценную сейсмическую инверсию. Приведенный алгоритм может обеспечить высокую надежность выявления газа в плотных породах [12]. Согласно этого алгоритма обработка в основном сосредоточивается на анализе накопленной многоазимутальной анизотропии с последующим анализом до суммирования амплитудных вариаций с выносом (AVO). Обработанные данные сейсмических атрибутов интерпретируются для идентификации ожидаемых перспектив для промышленного производства газа. Это может проверяться с помощью соотношений между сейсмическими атрибутами и измеренными свойствами коллектора, такими как содержание глины, а также плотности трещин и интерпретации скважинной диаграммы наклонометрии.

Технология определения параметров пласта

Чтобы правильно выполнить завершение, обработку трещин и получить добычу газа с плотных пород, каждый слой продуктивной зоны и образования выше и ниже продуктивной зоны следует тщательно обследовать. Наиболее важные свойства, которые должны быть исследованы, – это мощность продуктивной зоны, насыщение воды, пористость, проницаемость, давление на месте, модуль Юнга и коэффициент Пуассона. Необработанные данные, которые используются для оценки значений этих важных параметров, получают из каротажа, кернов, скважинного тестирования, данных разведочного бурения и добычи из соседних скважин. Целью оценки параметров пласта является выяснение – возможно ли промышленное извлечение углеводородов,



Рис. 16. Алгоритм методики поиска газа в плотных песчаниках [12]

определение лучших средств для их добычи и получение литологии и другой информации о характеристиках пласта для использования в дальнейшей разведке и разработке. Поскольку плотные газовые коллекторы, как правило, низкопористые, то важность детального каротажного исследования имеет определяющее значение для понимания коллектора. Предварительная обработка данных каротажа и подробный петрофизический анализ всех не обсаженных скважин очень важен при анализе плотных газовых коллекторов. Оценка пласта начинается и распространяется на разработку и оптимизацию добычи. Сегодня на первый план выходит задача определения параметров пласта в процессе бурения, поскольку оперативность получения геологической информации приобретает решающее значение.

Технология каротажа

В нынешнее время ведущую роль в каротажных исследованиях занимает регистрация ядерного магнитного резонанса. Открытая пористость для скважинных приборов, имеющих прижимной башмак, при связи с размытой и шероховатой скважиной вносит существенные погрешности в измерения плотности, неглубокой резистометрии и ядерного магнитного резонан-

са (ЯМР). Прибор каротажа в процессе бурения (КПБ) может реализовывать функции тестера пласта. Он позволяет получать в реальном времени измерения порового давления с точностью, сравнимой с проводным тестером пласта. С его помощью можно получить в режиме реального времени градиенты жидкости и подвижность флюида (индикатор проницаемости/вязкости), а также определить флюидные контактные точки. Трещиноватые и плотные газовые коллектора требуют очень тщательного петрофизического анализа для того, чтобы избежать серьезных завышенных резервов.

Тестирование пластов

Низкая проницаемость этих коллекторов замедляет их реакцию, чтобы оказать давление при кратковременном тестировании, так что трудно получить динамические свойства пласта и, следовательно, характеристики запасов газа. Получение надежных и точных пластовых давлений породы является сложной задачей, но это может помочь определить область дренажа и установить места скважин для плотных газовых коллекторов.

Технология бурения

Технологию бурения скважин плотных газовых коллекторов выбирают из обширного набора технологий, уже став-

ших доступными благодаря традиционной нефтяной и газовой промышленности. Однако имеются некоторые трудности, с которыми сталкиваемся с непосредственным применением на плотных газовых коллекторах. Сегодня бурение является безопаснее, осуществляется с меньшим ущербом коллектору и меньшим воздействием на окружающую среду, при этом улучшена мобилизация буровой установки и бурение проводят с меньшим поворотным временем.

Буровые применения в плотных газовых коллекторах следующие:

- *буровое долото* – это новая генерация долот типа “PDC” с поликристаллическими алмазными вставками, которые повышают скорость бурения;

- *обнаруживать наиболее продуктивные зоны* в режиме реального времени в процессе бурения, что позволяет управлять буровым долотом к наиболее продуктивным зонам;

- *направленное бурение* позволяет изменять наклон и ориентацию бурового долота для того, чтобы максимально увеличить характеристику продуктивности за счёт оптимизации способности вхождения в пласт и большего пересечения трещин, также включает возможности использования новых моделей буровых;

- *многоствольные технологии бурения* позволяют пробурить несколько скважин из одной скважины с помощью бурения многолатеральных скважин от исходной поверхности скважины, что позволяет использовать новые схемы бурения;

- *бурение на депрессии* получают, когда давление бурового раствора остается ниже, чем пластовое давление, тем самым предотвращается инвазивное повреждение пласта и связанный с ним риск засорения;

- *горизонтальное бурение* обеспечивает большую пло-

щадь дренажа на скважину, уменьшает количество скважин для дренажа в скважину и позволяет воспользоваться сильнонеоднородными или слоистыми пластами и обеспечивает высокую производительность;

- *технологии скважин малого диаметра* позволяют сократить расходы, так как маленькие отверстия требуют меньших материальных затрат;
- *кольтюбинговое бурение* позволяет увеличить скорость проходки и улучшает прочность, быстрое время срабатывания при спуске в скважину и подъеме из скважины, потому что нет никакой необходимости, чтобы отключать или прикреплять секции бурильной колонны, буровые НКТ маленькие и легкие, площадь хранения оборудования небольшая, что позволяет выполнять быстрые буровые ходы.

Технология завершения и стимулирования

Завершение скважин состоит из тестирования, настройки и цементирования эксплуатационной колонны, стимуляции и установки труб и скважинного технологического оборудования. Нетрадиционные скважины проходят проверку измерения пластового давления, чтобы определить, какой тип стимуляции требуется. Из-за сложной динамики на месторождении в этих коллекторах стимуляция является важной частью производства газа из нетрадиционных источников.

Стимуляция приложения для газа в плотных коллекторах:

- стимулирование гидравлического разрыва повышает производительность скважины из резервуара плотного газа, потому что длинные пути проводящих разрывов увеличивают поток природного газа, принимаемый в ствол скважины;
- многоступенчатые ГРП могут увеличить производство газа;
- ГРП горизонтальных

скважин является еще более привлекательным, чем многосторонние завершения, особенно в плотных мощных образованиях. Это увеличит скорость производства в 2–3 раза от скорости вертикальной скважины [2];

- разработаны новые жидкости разрыва, которые являются мощными, легкими и не повреждают резервуар как на водной основе (гелий и реагент на водной основе для снижения поверхностного натяжения) и на основе газовых растворов, таких как азот и CO_2 ;

- используют сферический проппант (расклинивающий агент), который производит больше пористости и проницаемости, чем проппант с неправильной формой и размером частиц песка, и его идея использования основана на том, что как только проппант помещается в трещину, задача заключается в том, чтобы его оставить в этой трещине, что позволяет держать путь открытым для течения газа по направлению к стволу скважины;

- методика стимуляции низкого давления используется для снижения пластового давления (при обезвоживании зоны, свободной от газа);

- микросейсмический мониторинг используется для измерения азимута, длины и ширины трещин ГРП, таким образом, обеспечивают схему съемки характеристик разломов.

Применения завершения для газа в плотных коллекторах включают:

- оборудование и электронные датчики, которые могут выдерживать высокую температуру и режимы давления;

- возможность расширения трубы для увеличения производственного призабойного оборудования без добавления количества обсадных колонн;

- технологию “Умная скважина” для обеспечения мультizonального завершения и управления, что пре-

дотвращает дорогую будущую интервенцию;

- принципы использования пропеллента (топлива для реактивного двигателя)/перфорации: вариант, который обещает лучшие результаты в том, чтобы использовать новое топливо для перфорационных методов воздействия. Газ-вытеснитель представляет собой сочетание окислителя и топлива, что позволяет быстро сгорать при воспламенении и генерировать большие объемы продуктов сгорания высокого давления. Сжигание ракетного топлива (пропеллента) производит нагрузочное давление на формирование, которое является ниже устойчивости к деформации при сжатии породы формирования. Ввиду того, что давление увеличивается, энергия деформации накапливается в матрице горной породы, пока кольцевое напряжение, окружающее ствол скважины, превысит прочность породы и образуется трещина;

- корпусную конвейерную перфорационную систему (CCPS), которая произвела революцию операций мультizonального гидроразрыва. CCPS облегчает точечную стимуляцию в нескольких интервалах месторождения в течение относительно короткого времени и улучшает качество стимуляции, добычи углеводородов и экономику скважины;

- новые системы вспомогательной пропеллентной перфорации улучшают не только проникновение в плотном образовании, а также очищают за собой каналы перфорации, в сущности стимулируя область вблизи ствола скважины. Это уменьшает мощность, необходимую для последующих операций гидроразрыва.

Другие целевые технологии:

- петрофизика является одной из важнейших технологий, необходимых для понимания низкопроницаемых коллекторов;

- геомеханика и подземное понимание является кри-

тически важным компонентом в понимании природы образования. Все компании признают необходимость использования геомеханики для оценки:

- природных моделей трещинообразования;
- проницаемости, в том числе амплитуды и направления;
- распределения естественных трещин;
- изменения проницаемости с истощением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенными исследованиями установлено, что горные породы коллекторов нетрадиционных углеводородов претерпевают значительные изменения в физико-механических характеристиках и параметрах, вследствие этого важную роль в прогнозировании запасов могут сыграть многокомпонентные и трёхмерные (3D) сейсмические исследования, так как это позволит получать не только структурные построения геологической среды, а также изучать на месте её физико-механические параметры и характеристики, которые не доступны в полномасштабном размере другими методами.

В настоящее время, благодаря сейсмическим исследованиям, возможно эффективно выделять наиболее перспективные объекты для заложения новых буровых скважин на месторождении или “продуктивные пластовые зоны” нетрадиционных углеводородов, а также проводить мониторинг трещинообразования в горном массиве, что позволяет оптимизировать места бурения скважин и повысить эффективность проведения стимуляции пласта для интенсификации притока нетрадиционных углеводородов.

Развитие перспективных геофизических технологий для поиска, разведки, разработки и добычи нетрадиционных углеводородов должно проходить по следующим направлениям:

– переход на более широкое применение многокомпонентного возбуждения и регистрации сейсмических волн, что позволит более эффективно оценить физико-механические свойства горных пород, анизотропию и процессы трещинообразования в горных породах коллектора;

– детектирование и идентификация в реальном времени наиболее перспективных объектов для заложения новых буровых скважин;

– современное моделирование коллекторов нетрадиционных углеводородов включает: изучение трещинообразования; построение высокоточных полных 3D моделей коллектора, учитывающее изменения в коллекторе в процессе его эксплуатации; при этом современные модели коллекторов, основанные на новых подходах, учитывают высокоточное геологическое построение коллектора, заложение горизонтальных скважин и воздействие на геологическую среду для эффективной интенсификации извлечения ресурсов.

Анализ нетрадиционных углеводородных ресурсов Украины показывает, что ресурсы газа в плотных породах, сланцевого газа и метана угольных пластов являются наиболее перспективными углеводородными ресурсами для освоения.

Украина имеет уникальную возможность осуществить энергетическую революцию, освоив добычу нетрадиционных углеводородных ресурсов энергии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Газодобыча в Украине – 2012//Energy. Нефть & Газ, № 8/9, 2012. С. 44–51.

2. Гошовский С. В., Сиротенко П. Т. Развитие новых геофизических технологий для разведки и разработки сланцевого газа//Збірник наукових праць УкрДІГРІ. 2012, № 1. С. 9–32.

3. В Украине запущен проект по нетрадиционному газу//Energy. Нефть & Газ, № 8/9, 2012. С. 28–30.

4. Іванченко Роман. Де живе український газ. Інтерфакс-Україна, 4 березня 2013 р.

http://economics.lb.ua/state/2013/03/04/191478_de_zhive_ukrainskiy_gas.html

5. Касянчук С. В., Мельник Л. П., Кіндрат О. Р. Особливості розробки покладів нетрадиційного газу//Нафтогазова галузь України, 2013, № 2. С. 38–43.

6. Науковці оцінили прогнозні обсяги нетрадиційних ресурсів//Українська енергетика. 2013. 4 с. <http://www.er.energy.gov.ua/doc.plp?f=2582>

7. Оновлення Енергетичної стратегії України на період до 2030 р. 7 червня 2012 р., м. Київ (Проект документа для громадських обговорень). 156 с.

8. Ормоладзе Маргарита. Голова Shell в Україні Греєм Тайлі: У розробці проектів з видобутку нетрадиційного газу ми хочемо бути партнером, якому Україна віддає перевагу//Тиждень, 22 березня 2013 р.

9. Bai Mingxing, Pan Xiaohua, Wang Lingyi, Sun Xue, Petersen Renkle. Oil and Expertise for Gas Shale Fracturing//International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS. 2012. Vol. 12. No 4. P. 76–81.

10. CGGVeritas. What are Unconventional Resources? <http://www.cggveritas.com/default.aspx?cid=3501&lang=1>

11. Davis Thomas L., Benson Robert D. Tights-gas seismic monitoring, Rulson Field, Colorado//TLE, April 2009. Vol. 28. No 4. P. 408–411.

12. Naik G. C. Tight Gas Reservoirs – An Unconventional Natural Energy Source for the Future. <http://pinedaleonline.com/socio-economic/pdfs/tights-gas.pdf>, sit-ed: August 23rd 2010

13. Seismic Fracture Detection. Exploiting the Range of Seismic Signatures. Using Rock Physics Principles. http://www.rocksolidimages.com/pdf/seismic_fracture_detection.pdf

14. Shehata Ahmed, Aly Ahmed, Ramsey Lee. Overview of Tight Gas Field Development in the Middle East and North Africa Region. http://www.saudiaraabiaoilandgas.com/index.php?option=com_content&view=article&id=55%3Aoverview-of-tight-gas-field-development-in-the-middle-east-and-north-africa-region-iss-ue-13&catid=43%3Acurrent-iss-ue&Itemid=55&limitstart=8

15. Tatham Robert H. Seismic Applications in the Exploration for and Development and Production of Unconventional Hydrocarbon Resources (An overview)//GEOHORIZONS, January 2012. P. 5–12.

16. Total, 2006. Three Main Sources of Unconventional Gas. <http://total.com/en/energies-expertise/oil-gas/exploration-production/strategic-sectors/unconventional-gas/presentation/specific-fields>

Рукопис отримано 23.10.2013.

УДК [553.98.041](477.52/.6)

М. І. ЄВДОЩУК, д-р геол. наук, завідувач відділу геології вугільних родовищ (Інститут геологічних наук НАН України),

В. П. СТРИЖАК, канд. геол. наук, завідувач Відділення надрокористування та ресурсів вуглеводнів Центру нафтогазогеологічних досліджень,

А. П. ЗІЦЬ, заступник завідувача Відділення надрокористування та ресурсів вуглеводнів Центру нафтогазогеологічних досліджень,

Л. М. ВАСІЛІНЕНКО, молодший науковий співробітник відділу запасів та ресурсів вуглеводнів Центру нафтогазогеологічних досліджень (Дочірнє підприємство “Науково-дослідний інститут нафтогазової промисловості” Національної акціонерної компанії “Нафтогаз України”),

В. П. КЛОЧКО, канд. геол.-мінерал. наук, провідний науковий співробітник відділу геології та пошукових досліджень (Інститут геологічних наук НАН України)

АКТУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ НАДРОКОРИСТУВАННЯ В НАФТОГАЗОВІЙ ГАЛУЗІ УКРАЇНИ

Розглянуті питання раціонального користування нафтогазовими надрами та питання ефективного освоєння ресурсів надр України.

The problems of rational use of oil and gas royalty issues and efficient development of mineral resources Ukraine.

Значний рівень залежності України від імпорту енергоносіїв, особливо від монопольного імпорту природного газу, та значний рівень його споживання в країні зумовлюють незадовільний стан її енергетичної безпеки.

Потреби й необхідність модернізації економіки країни в паливно-енергетичних ресурсах ставлять на перший план питання вирішення актуального завдання користування нафтогазоносними надрами, спрямованого на їх раціональне використання та необхідність збільшення об'ємів геологорозвідувальних робіт.

Існування ліцензійного порядку надрокористування в багатьох країнах світу нараховує десятиліття й служить цілям раціонального використання надр. Ідеться передусім про країни системи англосакського загаль-

ного права (Великобританія, Австралія, ЮАР, Індія та ін.). Варто відзначити, що саме англійська, а також норвезька ліцензійні системи послужили прообразом дозвільного порядку надрокористування в українському та російському законодавстві про надра. Характерно, що в країнах іншої правової системи – континентальної – у більшості країн Європи ліцензійна система надрокористування майже не поширена. Тут переважають виражені договірні форми взаємовідносин держави й користувача, в основному концесійні – так звана гірнича концесія, яка нині становить основу гірничих стосунків у багатьох країнах [1, 2].

Отримання спеціальних дозволів на користування нафтогазоносними надрами регламентується законодавством України: Кодексом України про надра, Законом України