© Е.А. Вознесенский, Ю.Л. Филимонов, Н.А. Пустовойтова, 2014

УДК 622.323:550.3

Е.А. Вознесенский, Ю.Л. Филимонов, Н.А. Пустовойтова

ЗАДАЧИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИ СОЗДАНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩ УГЛЕВОДОРОДОВ

Приведен обзор задач и методов их решения с помощью геофизических исследований при строительстве и эксплуатации основных видов подземных хранилищ углеводородов.

Ключевые слова: подземные хранилища, газ, углеводороды, геофизические исследования, ПХГ, ПХУ, контроль.

Разработка месторождений углеводородов и их подземное хранение актуальны для многих стран, в том числе, и для России. Сложные условия разработки и эксплуатации заставляют решать эти задачи на уровне современных высоких технологий с использованием последних достижений в области геологии, геофизики, гидродинамики и других наук. При этом методы геофизики занимают особое место, поскольку позволяют получать информацию непосредственно об объектах и их состоянии. В настоящее время известно более 100 методов геофизики, и их успешное применение зависит от правильного и обоснованного выбора для решения конкретной задачи. Подземные хранилища газа (ПХГ) являются безальтернативным решением для сглаживания сезонных и пиковых изменений в потреблении газа.

Наиболее распространены подземные хранилища углеводородов трех типов [1]:

- в истощенных газовых/нефтяных полях;
- в водоносных горизонтах;
- в соляных полостях.

ПХГ в водоносных пластах являются наиболее затратными по сравнению с другими. Геологическая структура изучена не в достаточной степени по сравнению с ПХГ в истощенных структурах и ее особенности изучаются даже в процессе эксплуатации. К недостаткам ПХГ в истощенных пластах и водоносных горизонтах можно отнести также ограниченную скорость закачки и отбора продукта, а также большое количество буферного продукта (газа) – до 80% [2].

Наиболее перспективными с технической точки зрения являются ПХГ в соляных отложениях. Достоинством таких хранилищ является малое по сравнению с другими видами количество буферного газа – 33%, а также высокие скорости закачки и отбора продукта.

К основным задачам, которые решаются методами геофизики, можно отнести:

- контроль заполнения объекта хранения;
- диагностика технического состояния скважины и колонны;
- выявление интервалов заколонных перетоков и скоплений газа;
- герметичность обсадных колонн.

Наряду с основными задачами контроля, существуют особые задачи для каждого из типов ПХГ. Основная проблема при эксплуатации ПХГ в истощенных месторождениях [3] со-

стоит в том, чтобы обеспечить наблюдение за фильтрационно-емкостными свойствами резервуара при закачке и отборе газа. Хранилища углеводородов на базе соленосных формаций нуждаются в определении объема и формы емкости, контроля уровня нерастворителя.

Рассмотрим более подробно области применения геофизических методов, которые для удобства компактно представлены в таблицах 1 и 2.

Методы термометрии [4] в установившихся режимах применяются для измерения естественной температуры пород, определения геотермической ступени, геотермического градиента и температурных аномалий вдоль оси скважины, обусловленных литологией, движением пластовых вод, межпластовыми перетоками флюидов. В неустановившихся режимах и при изменении режима работы скважины проводятся исследования по определению высоты подъема цемента, интервалов прострела (перфорации) эксплуатационных колонн, перетоков флюидов за эксплуатационной колонной, мест негерметичности (утечек) в эксплуатационной колонне, интервалов внутриколонных перетоков флюидов, профиля приемистости нагнетательных скважин и при ремонтных работах.

Активные сейсмические методы используются для поисков ГВК [5], для исследования сложнопостроеных и малоразмерных объектов [6], при строительстве подземных хранилищ газа и емкостей для закачки CO2 [7]. Пассивные сейсмические, звуковые и ультразвуковые методы используются для установления флюидопроводящих каналов и контроля негерметичности скважин [8], динамики трещинообразования пород и цементного камня вокруг скважин [9]. Ультразвуковые методы используются при оценке технического состояния колонн, сцепления цементного камня с колонной и с массивом пород, высоты поднятия цементного камня [10]. Основным методом определения объема и формы подземных резервуаров в соляных формациях в настоящее время является метод ультразвуковой локации [11].

С помощью нейтронных методов удается решить такие задачи, как определение физических свойств пород и геологических параметров, осуществить привязку полученных материалов к геологическому разрезу и конструкции скважины [12]. Основные цели и задачи, решаемые методами ядерной геофизики самостоятельно и в комплексе с другими методами ГИС контроль технического состояния и качества цементирования скважин, наряду с задачами капитального ремонта [13].

Магнитные и электромагнитные методы позволяют определить техническое состояние и толщину колонн, а так же обнаружить их коррозионное разрушение [14, 15].

Эманационный метод позволяет выделить флюидопроводящие каналы и проводить мониторинг геодеформационных процессов геологической среды, регистрировать нарушенные зоны [16], а также выявлять области газопроявления [17].

Современные исследования технологии электрического каротажа позволили проводить его в скважинах, обсаженных стальной колонной (наноэлектрический каротаж) для определения физических свойств пород, их строения [18].

При техническом диагностировании элементов конструкции скважин возникает необходимость оценки опасности дефектов эксплуатационных колонн. Для этого используют прямой метод – многорычажную трубную профилеметрию [19]. Для определения пространственного по-

Таблица 1

Решаемые задачи контроля состояния обсадных колонн и заколонного пространства с помощью геофизических методов

Объекты контроля	Задачи контроля	Геофизические методы													
		Термометрия (уст. реж.)	Термометрия (неуст. режим)	Сейсмические (активные)	Сейсмические (пассивные)	Ультразвуковые, звуковые	Радиоактивные			Магнитные, электромагнитные	Эманационный	Электрические	Инклинометрия	Профилеметрия, кавернометрия	Расходометрия
							Нейтронные	Гамма-методы	Другие						
Массив пород вокруг скважины	Геологическое строение, литология	X					X	X							
	Геотермическая ступень, геотермический градиент	X													
	Движение пластовых вод	X													
	Герметичность, газопроявления			X	X						X				
	Флюидопроводящие каналы			X	X			X			X				
	Техногенные скопления газа											X			
	Напряженно-деформированное состояние среды			X	X						X				
	Физические свойства пород						X	X				X			
	Строение пород											X			
Обс. колонны и заколонное пространство	Техническое состояние колонн	X	X			X				X			X	X	
	Ухудшение сцепления цементного камня с колонной и породой					X			X						
	Интервалы внутриколонных перетоков флюидов	X	X			X	X		X						
	Приток флюидов в скважину	X				X									X
	Высота подъема цемента		X												
	Места негерметичности (утечек) в эксплуатационной колонне или НКТ		X			X			X	X					X

Таблица 2

Решаемые задачи контроля состояния различных типов ПХГ с помощью геофизических методов

Тип ПХГ	Задачи контроля	Геофизические методы													
							Радиоактивные								
		Термометрия (уст. реж.)	Термометрия (неуст. реж.)	Сейсмические (активные)	Сейсмические (пассивные)	Ультразвуковые, звуковые	Нейтронные	Гамма-методы	Другие	Магнитные, электромагнитные	Эманационный	Электрические	Инклинометрия	Профилеметрия, кавернометрия	Расходометрия
В соляных формациях	Контроль объема и формы подземных резервуаров ПХГ методом ультразвуковой локации					X									
	Образование каналов растворения и перетока газа между скважинами и полостями	X	X	X											
В истощенных месторождениях	Положение ГВК		X	X			X		X			X			
	Профиль приемистости нагнетательных скважин	X	X	X	X										X
	Разрушение структур при физико-химических воздействиях			X	X						X	X			
	Коэффициент газонасыщенности						X		X						
	Фильтрационные свойства пластов	X	X				X	X	X						X
	Коэффициент вытеснения воды газом (закачка) и газа водой (отбор)	X			X		X	X	X						
	Уточнение границ хранилища			X								X			
В водоносных пластах	Положение ГВК						X		X			X			
	Профиль приемистости нагнетательных скважин	X	X		X										X
	Коэффициент вытеснения воды газом (закачка) и газа водой (отбор)	X			X		X	X	X			X			

ложения ствола скважины применяется инклинометрия.

Выводы

1. К первостепенным задачам контроля на ПХГ, решаемых с помощью геофизических методов, относятся: контроль заполнения объекта хранения, диагностика технического состояния скважины и колонны, выявление интервалов заколонных перетоков и скоплений газа, герметичность обсадных колонн, определение объема и формы емкости, контроль уровня нерастворителя.

2. Наиболее распространенными и информативными для решения указанных задач являются: методы термометрии, различные варианты акустических, радиоактивных и электрометрических методов. Ввиду больших глубин расположения объектов контроля, как правило, применяются скважинные варианты этих методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Смирнов В.И.* Строительство подземных газонефтехранилищ: Учебн. пособие для вузов. – М.: Газоил пресс, 2000. – 250 с.

2. *Storage of Natural Gas: Educational website*. [Электронный документ] http://www.naturalgas.org/naturalgas/storage.asp. Проверено 29.04.2013.

3. *Попков В.И., Соловьев В.А., Соловьева Л.П.* Геоэкологические проблемы подземных хранилищ газа (состояние проблемы) // Южно-Российский вестник геологии, географии и глобальной энергии. – 2006. – № 8. – С. 361–373.

4. *Климов В.В., Колесниченко В.П., Кравцов И.Н., Острижный М.Ю.* К вопросу проведения геотермических исследований на нефтегазовых месторождения и ПХГ // Гео-Инжиниринг. – 2006. – № 1. – С. 52–53.

5. *Овчаренко Н.А., Скоробогач Ю.А.* Оценка влияния насыщения песчано-глинистых коллекторов на их упругие свойства / Актуальные проблемы геологии, планетологии и геоэкологии: Сборник тезисов и статей Всероссийской молодежной конференции, Новочеркасск, 16 мая, 2012. – Новочеркасск. 2012. – С. 72–74.

6. *Базылев А.П., Сагайдачная О.М., Стариков Н.В., Табаков А.А.* Детальные исследования сложнопостроенных глубинных объектов по технологии совмещенных наземно-скважинных сейсмических наблюдений ОГТ+ВСП / Пути повышения эффективности геолого-разведочных работ на нефть и газ в Восточной Сибири и Республике Саха (Якутия): Материалы Всероссийской научно-практической конференции, Новосибирск, 1–3 марта, 2006: Тезисы докладов. – Новосибирск: СНИИГГиМС, 2006. – С. 240–244.

7. *Конференция* в г. Целле 2009 г. Fruhjahrstagung 2009 in Celle // Erdol-Erdgas-Kohle. – 2009. – 125, № 4. – С. 134–136.

8. *Токман А.К., Комаров А.Ю., Новиков С.С., Рабаева Н.С.* Трехкомпонентный геоакустический каротаж – новая технология исследования нефтегазовых скважин // Нефть. Газ. Новации. – 2010. – № 2. – С. 75–81.

9. *Кирпиченко Б.И., Кузьмин Ю.В., Смирнов С.Р.* Новые технологии термошумоакустики с образцом многочастотного цементомера АКТАШ-2П-ГЕКТОР для управления качеством перфорации, гидроизоляции и бурения скважин в условиях разработки с нагнетанием / 3 Конгресс нефтепромышленников России. Секция F: Научный симпозиум «Новые технологии в геофизике», Уфа, 2001: Тезисы докладов. – Уфа: Изд-во НИИБЖД, 2001. – С. 21–23.

10. *Загороднюк П.А., Кашуба Г.А., Гафич И.П.* Контроль технического состояния обсадных колонн и НКТ радиальными приборами высокого разрешения // Нефть. Газ. Новации. – 2010. – № 2. – С. 51–54.

11. *Зозуля Е.Н., Божедомов В.Г. Сотников В.Н., Пятницкий Д.Ю., Селезнев Д.В.* Контроль объема и формы подземных резервуаров ПХГ в процессе их строительства и эксплуатации методом ультразвуковой локации // Нефть. Газ. Новации. – 2011. – № 8. – С. 55–61.

12. *Иванов В.Я., Султанов У.Ш., Гальманшин Т.А., Хакимов Ф.Ф., Юлдашбаев А.Ш., Курочкин В.В., Беляев А.А., Яшин А.А.* Новые модификации аппаратуры стационарного нейтронного каротажа для исследования нефтегазовых и рудных скважин / Научно-практическая конференция «Новая техника и технологии для геофизических исследований скважин», Уфа, 21 мая, 2008: Тезисы докладов конференции в рамках 16 Международной специализированной выставки «Газ. Нефть. Технологии – 2008». – М.: Гнозис, 2008. – С. 79–84.

13. *Семенов Е.В.* Разработки ОАО НПФ «Геофизика» в области ядерных методов исследования скважин / Проблемы и пер-

спективы применения современных геофизических технологий для повышения эффективности решения задач геологоразведки и разработки месторождений полезных ископаемых: Материалы Международной научно-практической конференции, Октябрьский, 25–27 июня, 2001. – Уфа: ТАУ, 2002. – С. 219–224.

14. *Марков В.А., Шулаев В.Ф., Масленников В.И., Иванов О.В.* Способы повышения информативности и достоверности метода электромагнитной дефектоскопии / Научно-практическая конференция «Новая техника и технологии для геофизических исследований скважин», Уфа, 21 мая, 2008: Тезисы докладов конференции в рамках 16 Международной специализированной выставки «Газ. Нефть. Технологии – 2008». – М.: Гнозис, 2008. – С. 35–36.

15. *Керимов А-Г.Г., Даутов А.А., Харламов А.Н., Литвинов Ю.В.* Технический контроль обсадной колонны на стадии строительства скважины и при капитальном ремонте скважины / Материалы научно-технического совета ОАО «Газпром» «Контроль и мониторинг геофизическими методами технического состояния скважин на объектах углеводородного сырья (УВС) и подземного хранения газа (ПХГ) ОАО «Газпром», Раменское, апр., 2001. – М.: ИРЦ Газпром, 2001. – С. 80–91.

16. *Паршикова Н.Г., Рудаков В.П., Цыплаков В.В.* Эманационные и сейсмоэмиссионные аномалии флюидопроводящих каналов над погребенными геологическими структурами осадочных отложений / Геологи XXI века: Тезисы докладов региональной научной конференциистудентов, аспирантов, и молодых специалистов, Саратов, 26–28 марта, 2001. – Саратов: Изд-во СА ЕАГО, 2001. – С. 90.

17. *Шулейкин В., Никулин Д., Пушина Л.* Физические предпосылки возможности оперативного косвенного контроля метана на нефтяных и газовых месторождениях // Технологии ТЭК. – 2004. – № 1. – С. 26–31.

18. *Хвостанцев С.В.* Совершенствование технологии электрического каротажа обсаженных скважин ЭКОС-31–7 / Научно-практическая конференция «Новая техника и технологии для геофизических исследований скважин» в рамках 18 Международной специализированной выставки «Газ. Нефть. Технологии – 2010», Уфа, 26 мая, 2010: Тезисы докладов. – Уфа: Геофизика, 2010. – С. 7–15.

19. *Масленников В.И., Шулаев В.Ф., Зубарев А.П.* Контроль технического состояния скважин ПХГ геофизическими методами // Газовая промышленность. – 2010, № 9. – С. 63–65. ГИАБ

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Вознесенский Евгений Александрович – кандидат технических наук, ведущий инженер,
e-mail: e.voznsesenskiy@gazpromgeotech.ru,
Филимонов Юрий Леонидович – кандидат технических наук, начальник отдела геомеханики,
Пустовойтова Наталья Александровна – кандидат технических наук,
начальник отдела технической диагностики,
ООО «Газпром геотехнологии»

UDC 622.323:550.3

PROBLEMS OF GEOPHYSICAL RESEARCHES AT CREATION AND EXPLOITATION OF HYDROCARBONS UNDERGROUND STORAGE

Voznesenskiy E.A., Candidate of Technical Sciences, Leading Engineer,
e-mail: e.voznsesenskiy@gazpromgeotech.ru,
Filimonov Yu.L., Candidate of Technical Sciences, Head of Department of geomechanics,
Pustovoitova N.A., Candidate of Technical Sciences, Head of Department of Technical Diagnostics,
LLC «Gazprom geotechnology».

An overview of the problems and methods of their solutions with aid of geophysical research at the construction and exploitation of the main types of hydrocarbons underground storage.

Key words: underground storage, gas, hydrocarbons, geophysical surveys, UGS, UHS, control.

REFERENCES

1. Smirnov V.I. *Stroitel'stvo podzemnykh gazoneftekhranilishch: Uchebn. posobie dlya vuzov* (Construction of underground gas-and-oil storages: College tutorial), Moscow, Gazoil press, 2000, 250 p.

2. Storage of Natural Gas: Educational website, available at: http://www.naturalgas.org/naturalgas/storage.asp, accessed 29.04.2013.

3. Popkov V.I., Solov'ev V.A., Solov'eva L.P. *Yuzhno-Rossiiskii vestnik geologii, geografii i global'noi energii*, 2006, no 8, pp. 361–373.

4. Klimov V.V., Kolesnichenko V.P., Kravtsov I.N., Ostrizhnyi M.Yu. *Geo-Inzhinirig*, 2006, no 1, pp. 52–53.

5. Ovcharenko N.A., Skorobogach Yu.A. *Aktual'nye problemy geologii, planetologii i geoekologii: Sbornik tezisov i statei Vserossiiskoi molodezhnoi konferentsii* (Actual problems of geology, planetology and geoecology: All-Russian Youth Conference Proceedings), Novocherkassk, 2012, pp. 72–74.

6. Bazylev A.P., Sagaidachnaya O.M., Starikov N.V., Tabakov A.A. *Puti povysheniya effektivnosti geologo-razvedochnykh rabot na neft' i gaz v Vostochnoi Sibiri i Respublike Sakha (Yakutiya): Materialy Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (Way of enhancing efficiency of geological exploration of oil and gas in East Siberia and the Republic of Sakha (Yakutia). All-Russian Scientific-and-Practical Conference Proceedings), Novosibirsk, SNIIGGiMS, 2006, pp. 240–244.

7. Konferentsiya v g. Tselle 2009 g. (Conference in Celle 2009) Fruhjahrstagung 2009 in Celle. *Erdol-Erdgas-Kohle*, 2009, 125, no 4, pp. 134–136.

8. Tokman A.K., Komarov A.Yu., Novikov S.S., Rabaeva N.S. *Neft'. Gaz. Novatsii*, 2010, no 2, pp. 75–81.

9. Kirpichenko B.I., Kuz'min Yu.V., Smirnov S.R. *3-ii Kongress neftepromyshlennikov Rossii. Sektsiya F: Nauchnyi simpozium «Novye tekhnologii v geofizike», Tezisy dokladov* (III Russian Petroleum Producers Congress. Section F: Symposium on New Technologies in Geophysics, Head-Notes), Ufa, Izd-vo NIIBZhD, 2001, pp. 21–23.

10. Zagorodnyuk P.A., Kashuba G.A., Gafich I.P. *Neft'. Gaz. Novatsii*, 2010, no 2, pp. 51–54.

11. Zozulya E.N., Bozhedomov V.G. Sotnikov V.N., Pyatnitskii D.Yu., Seleznev D.V. *Neft'. Gaz. Novatsii*, 2011, no 8, pp. 55–61.

12. Ivanov V.Ya., Sultanov U.Sh., Gal'manshin T.A., Khakimov F.F., Yuldashbaev A.Sh., Kurochkin V.V., Belyaev A.A., Yashin A.A. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Novaya tekhnika i tekhnologii dlya geofizicheskikh issledovanii skvazhin», Tezisy dokladov* (Scientific-and-Practical Conference «New Technique and Technologies for Geophysical Boreholes Researches», Head-Notes), Moscow, Gnozis, 2008, pp. 79–84.

13. Semenov E.V. *Problemy i perspektivy primeneniya sovremennykh geofizicheskikh tekhnologii dlya povysheniya effektivnosti resheniya zadach geologorazvedki i razrabotki mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* (Problems and Prospects of Advanced Geophysical Technologies in Enhancing Efficiency of Problem Solution in Geological Exploration and Mineral Mining: International Scientific-and-Practical Conference Proceedings), Ufa, TAU, 2002, pp. 219–224.

14. Markov V.A., Shulaev V.F., Maslennikov V.I., Ivanov O.V. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Novaya tekhnika i tekhnologii dlya geofizicheskikh issledovanii skvazhin», Tezisy dokladov* (Scientific-and-Practical Conference «New Technique and Technologies for Geophysical Boreholes Researches», Head-Notes), Moscow, Gnozis, 2008, pp. 35–36.

15. Kerimov A-G. G., Dautov A.A., Kharlamov A.N., Litvinov Yu.V. *Materialy nauchno-tekhnicheskogo soveta OAO «Gazprom» «Kontrol' i monitoring geofizicheskimi metodami tekhnicheskogo sostoyaniya skvazhin na ob"ektakh uglevodorodnogo syr'ya (UVS) i podzemnogo khraneniya gaza (PKhG) OAO «Gazprom»* (Papers of Scientific-Technical Council at GAZPROM «Geophysical control and monitoring of technical condition of boreholes at hydrocarbon material (HM) and underground gas storage (UGS) facilities of GAZPROM), Moscow, IRTs Gazprom, 2001, pp. 80–91.

16. Parshikova N.G., Rudakov V.P., Tsyplakov V.V. *Geologi XXI veka: Tezisy dokladov regional'noi nauchnoi konferentsiistudentov, aspirantov, i molodykh spetsialistov* (Geologists of the 21st Century: Proceedings of Regional Scientific Conferences of Students, Post Graduates and Young Specialists), Saratov: Izd-vo SA EAGO, 2001, pp. 90.

17. Shuleikin V., Nikulin D., Pushchina L. *Tekhnologii TEK*, 2004, no 1, pp. 26–31.

18. Khvostantsev S.V. *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Novaya tekhnika i tekhnologii dlya geofizicheskikh issledovanii skvazhin», Tezisy dokladov* (Scientific-and-Practical Conference «New Technique and Technologies for Geophysical Boreholes Researches», Head-Notes), Ufa, Geofizika, 2010, pp. 7–15.

19. Maslennikov V.I., Shulaev V.F., Zubarev A.P. *Gazovaya promyshlennost'*, 2010, no 9, pp. 63–65.