

ДЕФОРМАЦИЯ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ПОДЗЕМНЫХ ХРАНИЛИЩАХ ГАЗА УКРАИНЫ

Роксолана Олескив, Вера Сай

Национальный университет «Львовская политехника»

Краткое содержание

Рассмотрена история создания подземного хранилища газа в Украине. На основе анализа хранилищ приведены характеристики проблем, которые возникают при создании и разработке подземных хранилищ Украины. Выполнены исследования вертикальных перемещений земной поверхности на подземном хранилище Богородчаны. Анализ выполненных исследований позволил установить, что на территории подземного хранилища газа движения земной поверхности и рабочих скважин полностью адекватны технологическим процессам. То есть, при закачке газа в пласт-коллектор земная поверхность территории поднимается, а при отборе опускается.

Ключевые слова: газотранспортная система, подземные хранилища газа, деформация земной поверхности, пласт-коллектор.

Введение

В настоящее время в Украине создано одну из крупнейших в мире и Европе газотранспортных систем. Газотранспортная система включает линейную часть протяженностью 38,6 тыс. км пропускной возможностью на входе 285,7 млрд м³/год, в том числе стран Европы – 146 млрд м³/год; 72 компрессорных станции, 12 подземных хранилищ газа (ПХГ) общим активным объемом 31 млрд м³.

По газотранспортной системы Украины ежегодно транспортируется свыше 100 млрд. м³ газа до 18 стран Центральной, Западной и Южной Европы.

Неотъемлемой частью газотранспортной системы страны есть сеть подземных хранилищ газа, которая формировалась совместно со строительством газопроводной сети. Подземные хранилища газа призваны обеспечить бесперебойную подачу углеводородов в случае кризисных ситуаций. Они занимают определенные площади земель, которые практически выведены из прямого их целевого назначения и, кроме того, небезопасны для окружающей среды в процессе их эксплуатации.

В процессе эксплуатации нефтяных и газовых месторождений могут возникать катастрофические явления и процессы. Так, например, на нефтяном месторождении Лонг – Бич в Калифорнии (США) зафиксированы смещения земной поверхности в вертикальной плоскости до 3,3 метра и горизонтальной – 1,7 м (Yerkes R., Castle R., 1970).

Геодезические измерения на Шебелинском газовом месторождении (Украина) показали, при среднем оседании земной поверхности 1 метр, возле некоторых скважин выявлены локальные зоны, где оседание достигло до 4 метров, при этом обсадные колоны, эксплуатационных скважин осели на 1 метр. За период эксплуатации месторождения на земной поверхности образовались террасы, что свидетельствует об интенсивности изменения рельефа в зоне месторождения.

В отличие от технологических процессов добычи нефти и газа, технология эксплуатации ПХГ характеризуется значительными перепадами давлений в пласте-коллекторе, обусловленными спецификой работы. Следует отметить, что объем активного газа может достичь млрд м³, а перепад давлений – 4...7 мПа.

Вероятно, что изменение давления в пласте-коллекторе ПХГ, как и в случае при добыче нефти и газа, может приводить к техногенным движениям слоев земной коры не только в поверхностном слое, но и на глубинах до верхней части газонасыщенного горизонта. Такие движения необходимо учитывать в практической деятельности, так как они приводят к нарушению стойкости наземных сооружений, а также осуществляют влияние на окружающую среду.

Опыт показывает, что для получения объективной информации о динамике процессов, которые происходят на ПХГ, нужны наблюдения за движениями земной поверхности и горных пород, которые составляют хранилище, а также деформациями сооружений и объектов.

Особенная необходимость в достоверной информации в динамике техногенных процессов, которые происходят в крыше ПХГ, возникает в периоды экстремальных давлений (закачке и отбора газа) в пласте-коллекторе.

Одним из основных методов получения объективной информации о техногенных движениях земной поверхности, определения деформационных характеристик зданий и сооружений могут быть результаты, полученные на основании геодезических измерений.

Используя результаты многочисленных наблюдений за движениями земной поверхности на различных ПХГ Украины, авторами сделана попытка обобщить отдельные исследования с целью получения общих закономерностей.

Методология исследования и материалы. Дискуссия и результаты

Развитие газовой промышленности сопровождалось значительным ростом роли, а отсюда и расширение задач подземного хранения газа. В результате многолетней и плодотворной работы многих ученых и практиков на территории Украины построено и введено в эксплуатацию 13 подземных хранилищ газа, активным объемом свыше 33 млрд м³. На протяжении последних лет вход газа в газотранспортную систему с подземных хранилищ газа составляет около 20% от общего транспортируемого около 40% от потребления страной газа. В таблице 1 приведем перечень ПХГ, которые расположены на территории Украины (Osinchuk, 2005).

Таблица 1

Основные параметры подземных хранилищ газа

Комплекс	Хранилище газа	Объем, млн м ³		
		активный	общий	буферный
Западный	Угерское	1900	3850	1950
	Бильче-Волицко-Угерское	17050	33450	16400
	Опарское	3100	5800	2700
	Дашавское	2150	5265	3115
	Богородчанское	2300	3420	1120
Киевский	Ольшывское	315	660	345
	Краснопартизанское	1200	2700	1500
	Солохивское	1200	2000	800
	Кегычивское	700	1315	615
Южный	Пролетарское	2650	4800	2150
	Глибивское	167,15	1507,15	1340
Восный	Краснопопивское	420	800	380
	Вергунское	400	920	520

Краснопартизанское ПХГ является вторым по счету на территории Украины, созданным на базе водоносной структуры. Оно предназначено для улучшения газоснабжения Киева, Киевской, Черниговской и Сумской областей. Для создания данного хранилища нагнетания газа было начато в 1968 году.

Характерной особенностью строения данного хранилища является то, что углы падения его юго-западного крыла достигали 5°, а северо-восточного 7°. Поэтому, по сравнению с Ольшывской структурой, оно имело более выраженный сводчатый характер. Технология разработки такой структуры была известна и не требовала дополнительных разработок.

Особенностью Краснопартизанского ПХГ стало проведение исследований, связанных с изучением гидродинамических факторов при эксплуатации хранилища на его герметичность. Исследования проводились в течение 1990-х годов с помощью нивелирования. Они показали, что в период заполнения хранилища пластовое давление поднималось в хранилище от 36 до 57 кгс/см², а в процессе отбора газа снова снижался до исходной величины - 36 кгс/см². Для определения причины таких изменений были проведены высокоточные нивелирования, которые показали, что в процессе заполнения поверхность хранилища приподнимается, а в процессе отбора газа - опускается. При этом обнаружили, что максимальное значение перепадов составляло 20 мм и проходило в центральной части. Изучение проблем привело к выводу, что низы - «башмаки» эксплуатационных колонн данных скважин расположены в глинистых породах на 4-10 м ниже подошвы песчаников, в которые нагнетался газ. Также у большинства скважин группы, в которых низы эксплуатационных колонн находятся в глине, ниже рабочего пласта, заметна поверхностная загазованность почвы вокруг устьев. Это дало

толчок к проведению исследований, связанных с изучением вопроса технологии установления эксплуатационных колонн (Khymko M., Frolov V., 2006).

Горизонты Угерского месторождения представлены переслаиванием песчаных и глинистых слоев. Геолого-физические параметры ПХГ составляли соответственно: эффективная газонасыченность толщина 5 и 11 м, пористость - 26,5 и 24%, глубина залегания - 690 - 757 и 730 - 863 м, начальные запасы 2244 и 1687 млн м³ (Khymko M., Frolov V., 2006).

На Угерском нефте-газовом месторождении, которое в настоящее время оборудовано как подземное хранилище газа, после раскрытия горизонта на глубине бурения 1053 м прошел выброс глиняного раствора и бурового оборудования, в результате чего началось открытое фонтанирование скважины газом, которое продолжалось в течение года. В результате этой аварии на земной поверхности образовался провал округлой формы диаметром примерно 50 м и глубиной 8 м.

Подземное хранилище газа Опары размещено во внешней зоне Предкарпатского прогиба, которая сформирована осадочными породами рифейского, палеозойского, мезозойского периодов.

Залежи газа приурочены к нижнесарматским отложениям, составленным в пологую брахиантиклинальную складку. Верхняя часть складки представлена двумя поднятиями - северо-западным и северо-восточным, размеры составляют 9 x 3,5 км.

Газоносный горизонт был открыт на глубинах 360-850 м, а позже была раскрыта газоносность более глубокого горизонта - 850 - 1000 метров.

Положи в начальной стадии имели газовый режим, но позже началось проявление слабого водонапорного режима, о чем свидетельствует повышение газодных контактов и обводнения скважин.

Начальные запасы месторождения составляли 13,5 млрд. м³ газа. После истощения в мае в 1978 года на данном месторождении обустроено подземное хранилище газа.

В 1987 году на территории ПХГ Опары была построена специальная геодезическая сеть для определения вертикальных движений земной поверхности и скважин (Perovych I., 2006).

Высотная геодезическая сеть ПХГ Опары представляет собой линию нивелирования II класса, которая пересекает в продольном направлении территорию газохранилища. Длина линии нивелирования составляет 7,8 км. Концы линии на местности закреплены кустами глубинных реперов. Один куст представляет собой три рэпера. Нивелирование проводилось по 14 рабочим пунктам (Perovych I., 2006).

Газоносными горизонтами Дашавского месторождения является алевролитово-глиняная толща. Производительные газоносные горизонты залегают на глубинах 780-1900 м. (Novdyak R., Nechaev Yu, 2005).

На территории газохранилища построена высотная геодезическая сеть в виде линии нивелирования, которая делит примерно на две одинаковые части ПХГ. Нивелирная линия II класса проходит в направлении с юго-запада на северо-восток, пересекая тектонические нарушения в семи местах. Нивелирная линия включает 6 опорных и 18 рабочих реперов. Общая длина линии - 8,7 км (Perovych I., 2006).

Наиболее мощным ПХГ есть Бильче – Волицко – Угерское с активным объемом газа свыше 17 млрд м³. Геологическое строение ПХГ Бильче - Волицко-Угерское чрезвычайно сложное с большим количеством тектонических нарушений, а следовательно вероятных мест наиболее интенсивных движений земной поверхности.

Бильче-Волицко-Угерское подземное хранилище газа состоит из двух газовых месторождений: Бильче-Волицкого и Угерского (Perovych I., 2006).

Общая мощность газового горизонта составляет 350-740 м. В границах Бильче - Волицкого блока залежи представляют собой почти прямоугольник с размерами 4 x 9,5 км. Исходное положение контакта газ - вода составляет 794 - 801 метр.

Литологическая характеристика продуктивных горизонтов от 239 до 850 метров. Угерская структура представляет собой вытянутое в северо-западном направлении поднятия, разделено на отдельные блоки. С юго-востока Угерская структура ограничена Стрыйским глубинным поперечным разломом. Размеры Угерской структуры составляют 3 x 13 км.

Бильче - Волицкая структура отделяется от Угерский узким сиклиналим прогибом.

Бильче – Волицко – Угерское подземное хранилище газа создано в отработанных газовых пластах путем объединения у единый объект подземного хранения двух газонасосных пластов (Бильче – Волицкого и Угерского) разбуренных общей сетью скважин. Геологические

горизонты Угерского месторождения представлены песчаными и глинистыми слоями, а Бильче – Волицкого – мелко- и среднезернистыми кварцевыми известняковыми песчаниками. Глубина залегания газового пласта – коллектора находится в пределах 690 – 890 метров. Данное ПХГ включает в себя 341 эксплуатационную скважину. Следует отметить, что в процессе раскрытия газового горизонта на Угерском месторождении произошел выброс бурового оборудования. В результате этого на земной поверхности образовался котлован округленной формы диаметром примерно 50 м и глубиной 8 м.

Линия нивелирования II класса пересекает с юга на север подземное хранилище газа и проходит вдоль шоссе-ной дороги Стрый-Львов. Данная линия пересекает четыре глубинные тектонические нарушения. Она включает 6 опорных и 21 рабочих пунктов нивелирования. Опорные реперы заложены за пределами ПХГ на расстоянии, равном глубине залегания пласта корректора. Общая длина линии нивелирования составляет 17,1 км. Последующие измерения вертикальных перемещений земной поверхности методом геометрического нивелирования II класса показали, что территория данного ПХГ подвергается систематическому оседанию.

Одним из наиболее изученных в геодезическом отношении является Богородчанское ПХГ. Назначением хранилища является обеспечение надежности экспорта газа в центрально-европейские страны. Богородчанская структура представляет собой сложную построенную складку северо-западного протягивания. Промышленная газоносность связана с тремя песчано-алевролитовыми горизонтами (Hovdyak R., Nechaev Yu, 2005).

Особенностью создания подземного хранилища является удачный выбор момента перевода газового месторождения в режим подземного хранилища газа. Весь объем буферного газа был сформирован за счет его остаточных запасов. После разработки газового месторождения было оставлено 7 скважин добывающего фонда. Это позволило качественно и в короткие сроки приступить к опытной закачке газа. Все запланированные параметры подключения и ввода в действие первых пробуренных для ПХГ скважин и повышения пластового давления до 40% от проектного создали благоприятные условия для разбуривания хранилища основным количеством скважин. Это позволило достичь проектной производительности основного фонда скважин.

На данном ПХГ обустроена специальная геодезическая сеть в виде магистрального хода длиной около 3 км, опирающийся на два куста опорных реперов, которые представляют группу состоящую из трех фундаментальных реперов, удаленных от контура пласта – коллектора на 1,2 км.

Магистральный ход нивелирования опирается на две группы опорных реперов. В первую группу опорных реперов входят Rp1, Rp2, и Rp 3 и во вторую Rp4, Rp5, Rp6.

Группы опорных реперов расположены за пределами контура газохранилища. Первая группа реперов размещена на расстоянии 2,6 км от контура хранилища, а вторая - 0,8 км.

В магистральный ход 1 включено 18 рабочих реперов. Из них два грунтовых репера 10 и 11, которые заложены на глубину до 1,5 м. В качестве других 16 рабочих реперов приняты фиксированные точки в устьях скважин 18, 165, 166, 129, 167,53, 171, 21, 151, 65, 70, 107, 157, 83, 23 и 142.

Нивелирный ход 2 опирается на рабочие Rp157 и Rp53. В данный ход включены 23 рабочих реперы. Среди них грунтовые реперы 13 и 23, марка 17, которая находится в фундаменте бетонного сооружения компрессорной станции и фиксированные точки в устьях скважин 33, 105, 67,45, 103, 104, 68, 14, 112, 37, 89, 19, 420, 58, 147, 149, 126, 125. Заметим, что данный нивелирный ход служит для определения вертикальных перемещений земной поверхности и скважин, а также для распространения единой системы высот при наблюдениях за вертикальными движениями зданий, сооружений, газоперекачивающих агрегатов и технологической обвязки газокompрессорной станции.

Нивелирный ход 3 как и 2 опирается на Rp57 и Rp53 магистрального хода 1. В данную линию нивелирования входят 17 рабочих реперов. Сюда включен в качестве грунтового репера подземный центр пункта триангуляции Быстрица и 16 фиксированных точек на устьях скважин.

На данном ПХГ на протяжении более десяти лет велись периодические измерения вертикальных перемещений земной поверхности и устья скважин.

Измерения перемещений были приурочены к циклическим процессам закачки и отбора газа.

Результаты обработки геодезических измерений позволили установить следующее:

- направление вертикальных движений по цикличности совпадают с режимом эксплуатации ПХГ;
- при закачке газа происходит подъем земной поверхности, отборе – опускание;
- максимальные движения вертикальных перемещений наблюдаются в центре (куполе) ПХГ;
- на краях месторождения возможны критические ситуации, которые выражаются в разрушении горных пород, возникновению аварийных ситуаций эксплуатационных скважин.

В частности, в северо-восточной части ПХГ возникли оползневые процессы, что привело к аварийной ситуации скважин, работы которых пришлось приостановить.

Выводы

На основании анализа выполненных исследований можно заключить:

- на территории ПХГ возможны необратимые процессы, которые приводят не только к деформациям технологического оборудования, но и к разрушению горных пород и деградации земель;
- рекомендуется на всех станциях ПХГ проводить геодезический мониторинг, с целью выявления деформаций производственного оборудования, также состояния земной поверхности;
- результаты геодезических измерений следует использовать как достоверную информацию для прогнозирования негативного влияния ПХГ на окружающую среду.

Литература

1. Yerkes R., Castle R.(1970) Surface deformation associated with oil and gas field operations in the United States, in Land subsidence: Tokyo Symposium, September, 1962, vol. 1, Paris, fasn, Unesco p. 66 – 79 p.
2. Hovdyak R., Nechaev Yu. (2005) Rol' pidzemnykh skhovyshch hazu u skladi hazotransportnoyi systemy Ukrayiny // Naftova i hazova promyslovis't', №4. 4 – 6 p.
3. Osinchuk Z. (2005) Hazotransportna merezha Ukrayiny u systemi hazopostachannya Yevropy // Naftova i hazova promyslovis't', 2005, № 2. p. 32–36.
4. Perovych I. (2006) avtoreferat dysertatsiyi Monitorynh zemnoyi poverkhni pidzemnykh skhovyshch hazu., 20 p. (Kyuyiv)
5. Khyenko M. Frolov V. (2006) Rozrakhunok parametriv hazotransportnykh system // Naftova ta hazova promyslovis't', № 3, p. 33 – 37.

Информация об авторах

Роксолана Олескив, соискатель Национальный университет "Львовская политехника" (Украина, 79013, г. Львов, ул. Карпинского 6), номер телефона: +380501972479, ел-пошта: RoksolanaO@i.ua

Вера Сай, кандидат технических наук, доцент кафедры кадастр территорий, Национальный университет "Львовская политехника" (Украина, 79013, г. Львов, ул. Карпинского, 6), номер телефона + 380984226602, ел-пошта: vparanuak@gmail.com