

Проявление техногенных процессов при создании и эксплуатации подземных хранилищ газа

М.К. Тупысев

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва

E-mail: m.tupysev@mail.ru

Аннотация. Показаны особенности проявления техногенных деформационных процессов при создании и эксплуатации подземных хранилищ газа в разработанных газовых и газоконденсатных месторождениях, а также в водонасыщенных пластах. Обоснована возможность деформации пластов в подземных хранилищах газа с опусканием земной поверхности при условии снижения пластового давления ниже значения, достигнутого в конце разработки месторождения, а также начального на момент создания хранилища в водонасыщенных пластах.

Ключевые слова: техногенные деформационные процессы, подземные хранилища газа, разработанные газовые месторождения, водонасыщенные пласты.

Для цитирования: Тупысев М.К. Проявление техногенных процессов при создании и эксплуатации подземных хранилищ газа // Актуальные проблемы нефти и газа. 2021. Вып. 1(32). С. 70–75. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-32.art6>

Основными геологическими структурами, в которых создаются подземные хранилища газа (ПХГ), являются газовые или газоконденсатные месторождения, из которых уже отобраны основные запасы газа, а также водонасыщенные пласты.

Техногенные процессы на ПХГ, создаваемых на базе разработанных газовых (газоконденсатных) месторождений

Вариант создания подземных хранилищ газа в газовых (газоконденсатных) месторождениях, находящихся на завершающей стадии разработки, является наиболее предпочтительным. Основные преимущества создания ПХГ по такому варианту:

– имеется полная информация о параметрах геологической структуры (ее размеры по площади и глубине, фильтрационно-емкостные свойства продуктивной залежи, ее термобарические условия);

– известен режим работы газовой залежи, активность водоносного бассейна, к которому приурочена продуктивная залежь;

– сам факт существования месторождения доказывает надежность покрышки залежи, что является необходимым условием функционирования ПХГ;

– за время эксплуатации подземного хранилища в разработанном газоконденсатном месторождении имеется возможность дополнительного извлечения выпавшего в продуктивных пластах конденсата и получения ценного углеводородного продукта;

– на месторождении созданы фонд эксплуатационных и наблюдательных скважин, а также наземный комплекс по сбору, подготовке продукции газовых скважин и транспортировке газа потребителю, которые могут быть использованы при создании и эксплуатации ПХГ.

За время разработки газового месторождения до момента перевода его в подземное хранилище газа в продуктивных пластах снижается давление, в результате действия возрастающего эффективного напряжения (разность между горным и пластовым давлениями) [1, 2] происходит деформация продуктивных пластов (коллекторов) и окружающих их неколлекторов [3]. Деформация продуктивных пластов происходит за счет уменьшения объема их порового пространства и уплотнения с разрушением межзернового материала горных пород (рассматриваем терригенные горные породы, которые преимущественно залегают на приемлемых глубинах для ПХГ). Сжимаемость горных пород, которую можно отнести к упругой составляющей сжимаемости, по сравнению с относительным изменением объема порового пространства, незначительна [1]. Уплотнение горных пород продуктивных пластов при снижении пластового давления сравнимо с процессом погружения горных пород на глубины, пропорциональные величине снижения начального пластового давления [2]. Процесс деформации пластов продуктивных залежей месторождения сопровождается осадкой земной поверхности над месторождением.

При создании подземного хранилища газа в разработанном месторождении при цикле закачки газа в продуктивные пласты повышается пластовое давление, это возрастающее пластовое давление передается на скелет (зерна) горных пород продуктивных пластов. Поскольку их сжимаемость незначительна, то увеличения пористости за счет повышения давления не происходит. На горные породы пластов ПХГ продолжает действовать горное давление,

оно значительно больше пластового давления, поэтому повышение уровня земной поверхности произойти не может. Так, например, на глубине 1000 м горное давление составляет порядка 25 МПа, а начальное пластовое давление, обычно близкое к гидростатическому давлению, – 10 МПа. Создание величины пластового давления выше горного практически невозможно, поскольку при повышении пластового давления на забое скважин до величин $0,6 \div 1,0$ от горного давления (в зависимости от физических свойств горных пород) – в нашем примере $15 \div 25$ МПа – происходит гидроразрыв пласта (образование трещин, сопровождающееся резким снижением забойного давления) [4].

Процесс уплотнения горных пород пластов разработанного месторождения является необратимым, в процессе эксплуатации подземного хранилища газа возможно лишь дальнейшее уплотнение горных пород и осадка земной поверхности над ПХГ при условии снижения пластового давления в нем на каком-либо цикле отбора газа ниже значения, достигнутого в конце разработки рассматриваемого месторождения.

Впервые в отечественной практике разработки газовых месторождений изменение высотного положения земной поверхности в результате этого было зафиксировано на Северо-Ставропольском месторождении [2, 5], на территории которого было проведено нивелирование еще до открытия месторождения (в 1928–1947 гг.), что позволило оценить амплитуды осадки земной поверхности в результате разработки месторождения путем повторного нивелирования по тем же ходам в 1961 и 1962 гг.

Максимальное оседание (13–15 см) зафиксировано в центральной части месторождения [5]. В настоящее время указанное месторождение успешно используется в качестве подземного хранилища газа.

При переводе разработанных месторождений в ПХГ важным условием успешного функционирования хранилища является установление и устранение негативных последствий техногенных процессов, проявившихся в процессе эксплуатации месторождения. К основным из таких возможных негативных последствий относятся:

– нарушение герметичности обсадных колонн эксплуатационных скважин из-за растрескивания цементного камня в заколонных (межколонных) пространствах под действием осевых нагрузок, воспринимаемых обсадными колоннами при техногенных деформациях дренируемых пластов [6];

– нарушение герметичности покрышки месторождения в результате изменения физических свойств горных пород, оживления разломных зон [7].

Перечисленные процессы являются причиной перетока газа в верхние горизонты, в том числе с образованием техногенных залежей [8]. Необходимость в реализации комплекса мероприятий для контроля герметичности создаваемого ПХГ, как подземного резервуара для газа, предусмотрена в действующих Правилах создания и эксплуатации подземных хранилищ газа [9].

Техногенные процессы на ПХГ, создаваемых в водонасыщенных пластах

Основное назначение подземных хранилищ газа – это обеспечение пиковых

поставок природного газа потребителю, когда действующий газопровод не может обеспечивать требуемые объемы газа, а хранилища, таким образом, повышают надежность газоснабжения. Одним из важных потребителей газа, например, является московский регион. Однако в окрестностях Москвы нет разрабатываемых или разработанных нефтегазовых месторождений, поэтому задача обеспечения потребности в природном газе была решена путем создания искусственных хранилищ газа в водонасыщенных структурах (Щелковское и Калужское ПХГ, позднее – Касимовское ПХГ).

После проведения необходимых разведочных работ по выявлению коллекторов в водонасыщенных залежах и наличия герметичных вышележащих покрышек, сооружения необходимого фонда скважин и комплекса наземного оборудования приступают к закачке газа в разведанную водонасыщенную залежь. Для обеспечения поступления газа в водонасыщенные пласты необходимо превышение забойного давления над первоначальным пластовым. Окончательное повышение пластового давления по сравнению с первоначальным при создании искусственной газовой залежи проектного объема зависит от глубины залегания выбранной структуры для ПХГ, а также от толщины залежи (высоты ее газоносности). Если на уровне газо-водяного контакта (ГВК) давление остается близким к гидростатическому (при создании подземного хранилища не повышается пластовое давление в окружающей водоносной системе), то в верхней части газовой залежи пластовое давление после закачки газа имеет небольшую аномальность, обусловленную разностью удельных весов газа и воды.

При эксплуатации созданного подземного хранилища газа (в цикле отбора) газ добывается в объемах, потребных потребителю, но не превышающих возможностей ПХГ – его активного объема. В хранилище реализуется водонапорный режим работы искусственной газовой залежи, в конце отбора газа конечное пластовое давление снижается до значения, зависящего от активности водонапорной системы. Например, при наличии жестко водонапорной системы пластовое давление практически не снижается, поскольку отбор газа полностью компенсируется поступлением в залежь пластовой воды. В реальности реализуется водонапорный режим с частичным компенсированием снижения пластового давления поступающей (возвращающейся) в залежь пластовой водой.

По аналогии с рассмотренными выше техногенными деформационными процессами дренируемых пластов в подземном хранилище газа в водонасыщенных пластах отметим, что деформация (сжатие) пластов возможна только при снижении пластового давления ниже первоначального. Если такое условие реализуется, то в конце цикла отбора газа деформация дренируемых пластов может сопровождаться соответствующей осадкой земной поверхности над ПХГ. Следующий далее цикл закачки газа в подземное хранилище будет происходить уже в деформированные (уплотненные) коллекторы без изменения их толщин. При реализации дальнейших циклов отборов газа деформационные процессы с опусканием земной поверхности возможны только в результате снижения пластового давления ниже значения, достигнутого в предыдущих циклах.

В результате действия циклических знакопеременных нагрузок, как и при эксплуатации ПХГ в разработанных газовых месторождениях, возможны техногенные нарушения физических свойств горных пород [7]. Негативные последствия таких нарушений – разрушение горных пород коллекторов (особенно в призабойной зоне с максимальными амплитудами изменения пластового давления), нарушение герметичности заколонных пространств, оживление разломных зон.

Выводы

1. Уменьшение толщины пластов залежей газовых месторождений, сопровождающееся опусканием уровня земной поверхности над ними, может происходить только при снижении пластового давления ниже первоначального, поэтому при создании и эксплуатации подземных хранилищ газа в разработанных газовых месторождениях уровень земной поверхности над ПХГ из-за изменения пластового давления в продуктивной залежи не меняется.

2. При создании и эксплуатации ПХГ в водонасыщенных пластах техногенное опускание уровня земной поверхности над хранилищем возможно только при снижении пластового давления в искусственной газовой залежи ниже первоначального.

3. При проектировании газового хранилища в разработанном газовом месторождении необходима оценка техногенных геодинамических процессов, проявившихся в процессе разработки месторождения, для оценки их последствий и учета с целью обеспечения последующей надежной эксплуатации ПХГ.

4. При создании подземного газового хранилища в водоносных пластах необходима оценка влияния техногенных процессов, происходящих из-за динамики пластового давления, на надежность ПХГ.

Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Обоснование инновационных экологически чистых технологий разработки месторождений УВ в сложных горно-геологических условиях на основе 3D-компьютерного моделирования, лабораторных экспериментов и опытно-промысловых исследований», № АААА-А19-119022090096-5).

Литература

1. *Гиматудинов Ш.К.* Физика нефтяного и газового пласта: Учебник для вузов. М.: Недра, 1971. 312 с.
2. *Петренко В.И., Ильченко Л.А., Канашиук В.Ф.* О механизме просадки земной поверхности при добыче жидких и газообразных полезных ископаемых // Советская геология. 1983. № 7. С. 109–117.
3. *Тупысев М.К.* Влияние техногенных процессов на содержание воды в продукции газовых скважин // Актуальные проблемы нефти и газа. 2020. Вып. 1(28). С. 6. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-28.art6>
4. *Муравьев В.М.* Справочник мастера по добыче нефти. М.: Недра, 1975. 264 с.
5. *Терновой Ю.В., Сергеев В.Н., Гниловской В.Г., Белов К.А., Сафронов И.Н.* О деформации земной поверхности на разрабатываемом Северо-Ставропольском месторождении газа // Доклады АН СССР. 1965. Т. 164, № 4. С. 885–888.
6. *Виноградов В.Н., Савченко В.В., Жиденко Г.Г., Славянский А.А., Тупысев М.К., Олексюк В.И., Фоменко К.Я.* Причины деформации обсадных колонн эксплуатационных скважин (межколонные газопроявления). М.: ВНИИЭгазпром, 1990. 47 с.
7. *Жуков В.С., Семенов Е.О., Кузьмин Ю.О.* Динамика физических свойств коллекторов при разработке месторождений нефти и газа // Вести газовой науки. 2018. № 5(37). С. 82–99.
8. *Тупысев М.К., Савченко В.В., Жиденко Г.Г.* А.с. SU 1640377 А1. Способ контроля за разработкой газовой залежи. № 4687245/03; Заявл. 28.04.1989; Опубл. 07.04.1991 // Изобретения. Полезные модели. 1991. Бюл. № 13. 3 с. <http://www1.fips.ru>
9. ПБ 08-621-03. Правила создания и эксплуатации подземных хранилищ газа в пористых пластах. М.: Государственное унитарное предприятие «Научно-технический центр по безопасности в промышленности Госгортехнадзора России», 2003. 48 с.

Man-made processes during the creation and operation of underground gas storage facilities

M.K. Tupysev

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow

E-mail: m.tupysev@mail.ru

Abstract. The features of man-made deformation processes during the creation and operation of underground gas storage facilities in developed gas and gas condensate deposits, as well as in water-saturated reservoirs, are shown. The possibility of deformation of reservoirs in underground gas storage facilities with the lowering of the Earth's surface is justified, provided that the sea pressure is lowered below the value achieved at the end of the field development, as well as the initial one at the time of the creation of a storage facility in the water-saturated reservoirs.

Keywords: man-made deformation processes, underground gas storage facilities, developed gas fields, water-saturated reservoirs.

Citation: *Tupysev M.K.* Man-made processes during the creation and operation of underground gas storage facilities // Actual Problems of Oil and Gas. 2021. Iss. 1(32). P. 70–75. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-32.art6> (In Russ.).

References

1. *Gimatudinov S.K.* Physics of oil and gas reservoir: Textbook for universities. Moscow: Nedra, 1971. 312 p. (In Russ.).
2. *Petrenko V.I., Ilchenko L.A., Kanashuk V.F.* On the mechanism of subsidence of the Earth's surface in the extraction of liquid and gaseous mineral resources // *Sovetskaya Geologiya*. 1983. No. 7. P. 109–117. (In Russ.).
3. *Tupysev M.K.* Effect of man-made processes on water content in gas well products // Actual Problems of Oil and Gas. 2020. Iss. 1(28). P. 6. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2020-28.art6> (In Russ.).
4. *Muraviev V.M.* Handbook for the oil production foreman. Moscow: Nedra, 1975. 264 p. (In Russ.).
5. *Ternova Zh.V., Sergeyev V.N., Gnilovskoy V.G., Belov K.A., Safronov I.N.* On the deformation of the Earth's surface at the North Stavropol gas field under development // *Doklady AN SSSR*. 1965. Vol. 164, No. 4. P. 885–888. (In Russ.).
6. *Vinogradov V.N., Savchenko V.V., Zhidenko G.G., Slavyanskiy A.A., Tupysev M.K., Oleksyuk V.I., Fomenko K.Ya.* Causes of deformation of casing columns of operating wells (inter-column gas showings). Moscow: VNIIEgazprom, 1990. 47 p. (In Russ.).
7. *Zhukov V.S., Semenov Ye.O., Kuzmin Yu.O.* Dynamics of physical properties of collectors at development of oil and gas fields // *Vesti Gazovoy Nauki*. 2018. No. 5(37). P. 82–99. (In Russ.).
8. *Tupysev M.K., Savchenko V.V., Zhidenko G.G.* A.c. SU 1640377 A1. Method of monitoring the development of gas field. No. 4687245/03; Declared 28.04.1989; Publ. 07.04.1991 // *Inventions. Useful models*. 1991. Bull. No. 13. 3 p. <http://www1.fips.ru> (In Russ.).
9. PB 08-621-03. Requirements for the creation and operation of underground gas storage facilities in porous formations. Moscow: State Unitary Enterprise Science and Technology Center for Industrial Safety of the Gosgortekhnadzor of Russia. 48 p. (In Russ.).