

ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ

Оригинальная статья

УДК 622.279

<https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-3.art8>**Наземный контроль техногенных деформационных процессов при разработке нефтегазовых месторождений****М.К. Тупысев** ✉

Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия

Аннотация. *Актуальность.* Необходимость учета и анализа проявления техногенных деформационных процессов дренируемых пластов при разработке нефтегазовых месторождений. *Цель работы.* Разработка нового подхода к созданию геодинамических полигонов для геодезических наблюдений с использованием имеющегося оборудования. *Материалы и методы.* Основные принципы контроля за изменением высотного положения земной поверхности при разработке нефтегазовых месторождений. *Результаты.* Обоснован новый подход к созданию геодинамических полигонов, включающий использование в том числе устьевых арматур сооружаемых скважин на рассматриваемом месторождении в качестве реперов на профильных линиях геодинамических полигонов. *Выводы.* Предложенный подход к проведению контроля за техногенными изменениями высотного положения земной поверхности на разрабатываемых месторождениях позволяет снизить затраты на сооружение геодинамических полигонов.

Ключевые слова: техногенные деформационные процессы, контроль, геодинамический полигон, оседание земной поверхности, нефтегазовые месторождения

Финансирование: работа выполнена в рамках государственного задания ИПНГ РАН (тема № 122022800272-4).

Для цитирования: Тупысев М.К. Наземный контроль техногенных деформационных процессов при разработке нефтегазовых месторождений // Актуальные проблемы нефти и газа. 2024. Т. 15, № 3. С. 312–320. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-3.art8>

✉ Тупысев Михаил Константинович, e-mail: m.tupysev@mail.ru

© Тупысев М.К., 2024



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

Введение

Настоящая работа является продолжением тематики, рассмотренной в работе [1], в которой проведен анализ динамики проявления техногенных деформационных процессов дренируемых пластов при разработке нефтегазовых месторождений и возможного проявления этих процессов на земной поверхности над месторождениями.

Фиксирование динамики изменения высотного положения земной поверхности над месторождением в процессе его разработки является дополнительным и весьма информативным средством контроля за разработкой месторождения, поскольку он позволяет:

- судить о степени равномерности отбора пластового флюида эксплуатационными скважинами из месторождения;

- определять «застойные зоны», то есть продуктивные площади, не охваченные разработкой имеющимся фондом эксплуатационных скважин;

- решать вопрос о необходимости бурения дополнительных скважин и, соответственно, местах их расположения и их конструкциях, обеспечивающих более равномерное дренирование месторождения.

Цель работы – это разработка нового подхода к созданию так называемых геодинамических полигонов (ГДП) для указанных наблюдений с использованием имеющегося оборудования.

Основные принципы известных методик контроля

Впервые в отечественной практике способ контроля за разработкой газового месторождения путем повторного измерения высотного положения точек земной

поверхности над месторождением был использован на Северо-Ставропольском месторождении. На территории этого месторождения было проведено нивелирование еще до открытия месторождения (в 1928–1947 гг.), что позволило оценить амплитуды оседания земной поверхности в результате деформации дренируемых пластов при снижении начального пластового давления в процессе разработки месторождения путем повторного нивелирования по тем же ходам в 1961 и 1962 гг. [2, 3].

Учитывая высокую информативность геодезических наблюдений за изменением высотного положения земной поверхности на разрабатываемых нефтегазовых месторождениях стали широко предлагаться геодинамические полигоны для данных наблюдений. В работах по данной тематике, как правило, дается обоснование основных принципов контроля за разработкой месторождений углеводородов путем создания маркшейдерско-геодезических полигонов для контроля изменения высотного положения земной поверхности над разрабатываемым месторождением в результате деформационных процессов [4], предлагаются научно обоснованные параметры нивелирных сетей ГДП, глубин закладки их типовых пунктов (реперов), мероприятия по повышению эффективности решения задач обработки данных повторных замеров на ГДП [5, 6].

Особое внимание вопросам мониторинга деформационных процессов земной поверхности при разработке месторождений нефти и газа как одной из основных задач маркшейдерской службы при обеспечении эффективной работы нефтегазодобывающего предприятия уделено в работе [7].

Мониторинг деформационных процессов включает создание на месторождении геодезического полигона с размещением опорных реперов за границей зоны предполагаемых сдвижений земной поверхности и рабочих реперов – на площади контролируемого месторождения, замер изменения высотного положения реперов относительно опорных реперов в результате нивелирных исследований по профильным линиям созданного геодезического полигона и определения по результатам этих исследований изменения высотного положения земной поверхности над разрабатываемым месторождением из-за техногенных процессов в результате его разработки.

Все работы по созданию ГДП и ведению геодезических наблюдений на разрабатываемых нефтегазовых месторождениях базируются на действующих инструкциях по нивелированию и производству маркшейдерских работ (ГКИНП (ГНТА)-03-010-03 «Инструкция по нивелированию I, II, III и IV классов», РД 07-603-03 «Инструкция по производству маркшейдерских работ»).

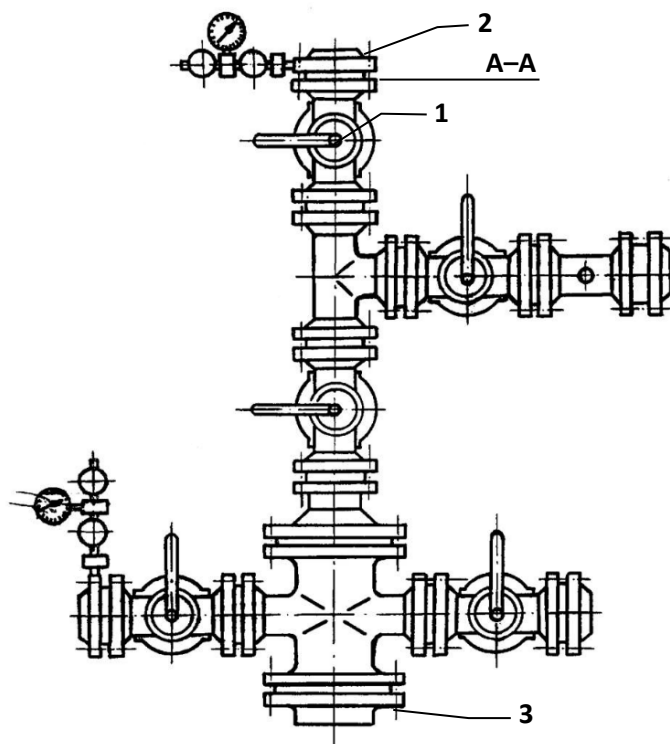
Реализация работ по контролю за техногенными процессами с учетом требований действующих инструкций предполагает заложение специальных реперов для образования сети профильных линий геодезического полигона с достаточной глубиной закладки, обеспечивающей их стабильное положение при промерзании или оттаивании грунта, учет наличия вечной мерзлоты, возможную заболоченность местности и пр. В результате создание геодезического полигона на разрабатываемом месторождении требует значительных материальных затрат.

Предлагаемая методика контроля

Сущность предлагаемой автором методики заключается в следующем.

В результате поисково-разведочного и последующего эксплуатационного бурения скважин на рассматриваемом месторождении нефти или газа создается сеть скважин, охватывающая всю площадь месторождения. Для контроля за техногенными деформационными процессами, протекающими из-за снижения начального пластового давления в продуктивных пластах при разработке месторождения, предложено использовать устьевые арматуры сооруженных скважин в качестве реперов создаваемого геодезического полигона, через которые проектируются его профильные линии по площади месторождения. При этом устьевые арматуры скважин, оказавшихся за контуром продуктивности, вне зоны влияния процесса разработки на окружающую месторождение водонапорную систему, используют в качестве опорных реперов создаваемого ГДП. Устьевые арматуры скважин, пробуренных внутри контура продуктивности (эксплуатационные, наблюдательные и пр.), используют как рабочие реперы профильных линий. В качестве контролируемого уровня реперов предлагается использовать верхнюю плоскость устьевых арматур (например, буферных задвижек) как наиболее высокую и доступную для проведения нивелирных замеров.

На рис. 1 показан возможный вариант арматуры устья скважины, на котором обозначены ее элементы, относящиеся к рассматриваемой тематике. При проведении замеров буферная заглушка снимается, в рабочем состоянии буферная задвижка всегда находится в закрытом положении, поэтому препятствий для проведения необходимых операций при замерах нет.



- 1 – буферная задвижка
 2 – буферная заглушка
 3 – фланец, навинченный на обсадную колонну
 A–A – плоскость замера высотного положения устья скважины

Рис. 1. Схема устьевой арматуры скважины

Fig. 1. Schematic diagram of wellhead fittings

Источник/Source: [8]

На рис. 2 показаны конструкции эксплуатационных скважин некоторых известных газовых, газоконденсатных месторождений и подземных хранилищ газа (ПХГ) [8]. При сооружении скважин, как видно из представленного рисунка, все обсадные колонны (кондуктор, промежуточные и эксплуатационная) цементируются по всей длине, поэтому устьевые арматуры скважин, используемые в качестве реперов, отвечают всем требованиям, предъявляемым к ним по условиям сохранения стабильности.

Первый замер высотного положения устьевых арматур скважин в результате нивелирных исследований по профильным линиям созданного ГДП выполняют до ввода месторождения в разработку. Данный замер является фоновым или нулевым. Далее в процессе разработки месторождения нивелирные исследования периодически повторяют. Сравнение получаемых высотных положений устьевых арматур скважин с фоновыми позволяет судить об интенсивности развития деформационных процессов в дренируемых продуктивных пластах как во времени, так и по площади месторождения.

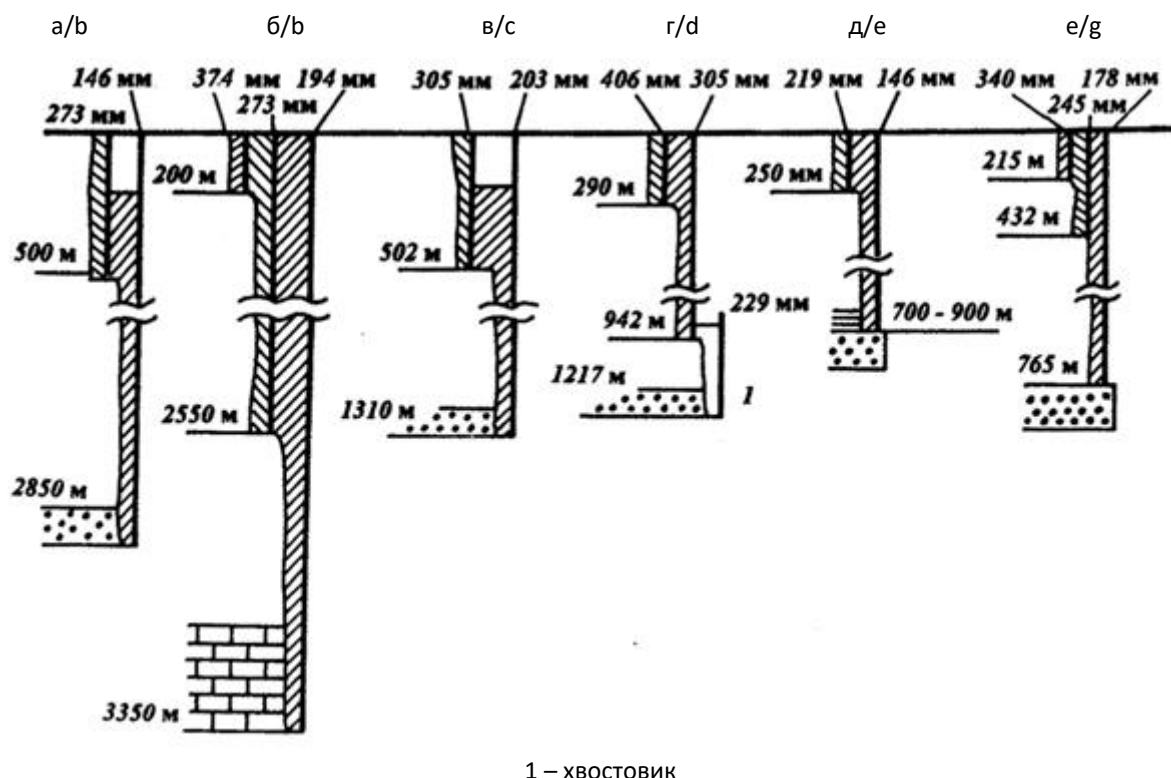


Рис. 2. Конструкции скважин на газовых, газоконденсатных месторождениях и в подземных хранилищах газа: а – Майкопское газоконденсатное месторождение (скв. 37); б – Вуктыльское газоконденсатное месторождение; в – Уренгойское газоконденсатное месторождение (скв. 22); г – Медвежье газовое месторождение (скв. 18); д – ПХГ1; е – ПХГ2

Fig. 2. Design of wells at gas and gas condensate fields and in underground gas storage facilities:
а – Maikop gas condensate field (well 37); б – Vuktyl gas condensate field;
с – Urengoy gas condensate field (well 22); д – Medvezhye gas field (well 18);
е – UGSF1; ф – UGSF2

Источник/Source: [8]

Для исключения минимальных возможностей влияния осевых нагрузок, действующих на обсадные эксплуатационные колонны при развитии техногенных деформационных процессов в дренируемых пластах, на высотное положение устьевых арматур при выборе скважин, используемых для ГДП, предпочтение отдается скважинам, построенным без опоры на забой, с наклонно-направленным или горизонтальным исполнением интервала скважины в продуктивных пластах месторождения ([9], патент RU 2772391 С1 «Способ сооружения наклонно-направленной скважины»).

При бурении дополнительных эксплуатационных или наблюдательных скважин в процессе эксплуатации месторождения данные скважины также могут быть использованы в качестве дополнительных реперов для развития созданного ГДП.

Следует отметить, что в случае демонтажа устьевой арматуры, например у ликвидированных скважин, в качестве реперов могут быть рассмотрены имеющиеся элементы устьевого оборудования, имеющие жесткое соединение с обсадными колоннами рассматриваемых скважин.

Данные об изменении высотного положения устья эксплуатационных скважин позволяют решать обратную задачу – определять среднюю сжимаемость горных пород продуктивных пластов на основании известной зависимости величины деформации дренируемых пластов в разрабатываемом месторождении от физических свойств их горных пород и снижения начального пластового давления [10]:

$$\beta_{сж} = \Delta H / \Delta P \cdot H_{п},$$

где $\beta_{сж}$ – средняя сжимаемость горных пород пластов;

ΔH – величина оседания земной поверхности, приравненная к величине деформации дренируемых пластов;

ΔP – величина снижения пластового давления;

$H_{п}$ – толщина дренируемых пластов.

По известной сжимаемости горных пород дренируемых пластов можно определять начальное высотное положение земной поверхности в местах расположения дополнительных скважин, вводимых в эксплуатацию после ввода месторождения в разработку. В этом случае к текущему высотному положению прибавляется величина деформации продуктивных пластов за счет снижения пластового давления от начального до текущего, при котором скважина была включена в нивелирные профильные линии ГДП и были проведены первые замеры изменения высотного положения земной поверхности для данной скважины. Таким образом, уточняется начальный (фоновый) уровень земной поверхности до разработки месторождения,

что позволяет более детально судить о динамике изменения уровня земной поверхности и дренирования месторождения уже в процессе разработки по всей его площади.

Реперные точки замера высотного положения при использовании устьевых арматур скважин в качестве реперов доступны в любое время года. Например, снежный покров в зимнее время не препятствует доступу к ним, скважины всегда имеют подъездные пути, а также специальные площадки для их обслуживания и исследования.

Для размещения применяемых для замеров геодезических приборов на элементах устьевых арматур необходимы несложные приспособления.

В случае недостаточности сооруженных скважин для охвата всей контролируемой площади месторождения с помощью создаваемого ГДП могут быть заложены дополнительные реперы по действующим правилам для развития профильных линий геодинамического полигона.

Выводы

1. Предложена методика создания геодинамических полигонов на разрабатываемых нефтегазовых месторождения с использованием устьевых арматур скважин в качестве реперов.

2. Предлагаемый подход к проведению контроля за техногенными изменениями высотного положения земной поверхности на разрабатываемых месторождениях позволяет снизить затраты на сооружение ГДП и проводить исследование в любое время года.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Список источников

1. *Тупысев М.К.* Анализ динамики проявления техногенных деформационных процессов при разработке нефтегазовых месторождений на земной поверхности // Актуальные проблемы нефти и газа. 2024. Т. 15, № 1. С. 60–71. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-1.art5>
2. *Терновой Ю.В., Сергеев В.Н., Гниловской В.Г.* и др. О деформации земной поверхности на разрабатываемом Северо-Ставропольском месторождении газа // Доклады АН СССР. 1985. Т. 164, № 4. С. 885–888.
3. *Петренко В.И., Ильченко Л.А., Канашук В.Ф.* О механизме просадки земной поверхности при добыче жидких и газообразных полезных ископаемых // Советская геология. 1983. № 7. С. 109–115.
4. *Калугин А.В.* Обоснование принципов создания маркшейдерско-геодезических полигонов для контроля сдвижения земной поверхности при разработке нефтяных месторождений в условиях Западной Сибири: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2002. 20 с.
5. *Волков В.И., Волков Н.В.* Условия эффективного применения геодезических методов на геодинамических полигонах нефтегазовых месторождений // Маркшейдерский вестник. 2018. № 2(123). С. 21–25.
6. *Волков В.И., Волков Н.В., Волков О.В.* Новый подход к применению маркшейдерско-геодезических наблюдений для контроля техногенных последствий разработки нефтегазовых месторождений // Маркшейдерский вестник. 2018. № 3(124). С. 45–50.
7. *Кашиников Ю.А., Беляев К.В., Богданец Е.С., Согорин А.А.* Маркшейдерское обеспечение разработки месторождений нефти и газа. М.: Недра, 2018. 454 с.
8. *Вяхирев Р.И., Кортаев Ю.П., Кабанов Н.И.* Теория и опыт добычи газа. М.: Недра, 1998. 479 с.
9. *Тупысев М.К.* Деформация обсадных колонн в результате проявления техногенных деформационных процессов при разработке нефтегазовых месторождений. Часть 2. Особенности развития осевых нагрузок на обсадные колонны в наклонно-направленных скважинах // Актуальные проблемы нефти и газа. 2021. Вып. 3(34). С. 76–81. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-34.art6>
10. *Тупысев М.К.* Особенности контроля за разработкой газовых месторождений на поздней стадии // Георесурсы, геоэнергетика, геополитика. 2016. Вып. 1(13). С. 14. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2016-13.art14>

Информация об авторе

Михаил Константинович Тупысев – к.т.н., старший научный сотрудник, Институт проблем нефти и газа РАН, Москва, Россия; SPIN-код: 3890-7046, <https://orcid.org/0009-0000-7823-768X>; e-mail: m.tupysev@mail.ru

Поступила в редакцию 02.10.2024

ENGINEERING SOLUTIONS

Original article

<https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-3.art8>

Ground control of man-made deformation processes during oil and gas field development

M.K. Tupysev ✉

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

Abstract. *Background.* The need to take into account and analyze the manifestation of man-made deformation processes of drained layers during the development of oil and gas fields. *Objective.* To propose a new approach to the creation of geodynamic testing grounds for geodetic observations using existing equipment. *Materials and methods.* The basic principles of monitoring changes in the altitude position of the Earth's surface during the development of oil and gas fields. *Results.* A new approach to the creation of geodynamic testing grounds is substantiated, including the use of wellhead fittings of wells under construction at the field under consideration as benchmarks on the profile lines of geodynamic testing grounds. *Conclusions.* Such an approach to monitoring man-made changes in the altitude position of the Earth's surface at the fields under development makes it possible to reduce the cost of constructing geodynamic testing grounds.

Keywords: man-made deformation processes, control, geodynamic testing ground, ground subsidence, oil and gas fields

Funding: the work was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (State Assignment No. 122022800272-4).

For citation: Tupysev M.K. Ground control of man-made deformation processes during oil and gas field development. *Actual Problems of Oil and Gas*. 2024. Vol. 15, No. 3. P. 312–320. (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-3.art8>

✉ Mikhail K. Tupysev, e-mail: m.tupysev@mail.ru

© Tupysev M.K., 2024



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

Conflict of interests

The author declares no conflict of interests.

References

1. Tupysev M.K. Analysis of the dynamics of technogenic deformation processes during the development of oil and gas fields on the Earth's surface. *Actual Problems of Oil and Gas*. 2024. Vol. 15, No. 1. P. 60–71. (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2024-15-1.art5>
2. Ternovoy Yu.V., Sergeev V.N., Gnilovskoy V.G. et al. 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.).
3. Petrenko V.I., Il'chenko L.A., Kanashuk V.F. The mechanism of surface subsidence during the extraction of commercial liquid and gas deposits. *International Geology Review*. 1984. Vol. 26, No. 5. P. 553–562. <https://doi.org/10.1080/00206818409466583>
4. Kalugin A.V. Substantiation of the principles of creating mine surveying and geodetic testing grounds for controlling the movement of the Earth's surface during the development of oil fields in the conditions of Western Siberia. Cand. Sci. diss. abstr. Yekaterinburg, 2002. 20 p. (In Russ.).
5. Volkov V.I., Volkov N.V. Conditions for the effective application of geodetic methods at geodynamic polygons of oil and gas fields. *Mine Surveying Bulletin*. 2018. No. 2(123). P. 21–25. (In Russ.).
6. Volkov V.I., Volkov N.V., Volkov O.V. New concept of usage of mine surveying and geodetic observations for monitoring the technogenic consequences of the development of oil and gas fields. *Mine Surveying Bulletin*. 2018. No. 3(124). P. 45–50. (In Russ.).
7. Kashnikov Yu.A., Belyaev K.V., Bogdanets E.S., Sogorin A.A. *Surveying Support for the Development of Oil and Gas Fields*. Moscow: Nedra, 2018. 454 p. (In Russ.).
8. Vyakhirev R.I., Korotaev Yu.P., Kabanov N.I. *Theory and Experience of Gas Production*. Moscow: Nedra, 1998. 479 p. (In Russ.).
9. Tupysev M.K. Deformation of casing strings as a result of technogenic deformation processes during oil and gas field development. Part 2. Features of the development of axial loads on casing strings in directional wells. *Actual Problems of Oil and Gas*. 2021. No. 3(34). P. 76–81. (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-34.art6>
10. Tupysev M.K. Aspects of gas field development control on late stages. *Georesources, Geoenergetics, Geopolitics*. 2016. No. 1(13). P. 14. (In Russ.). <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2016-13.art14>

Information about the author

Mikhail K. Tupysev – Cand. Sci. (Eng.), Senior Researcher, Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia; <https://orcid.org/0009-0000-7823-768X>; e-mail: m.tupysev@mail.ru

Received 02.10.2024