

Деформация обсадных колонн в результате проявления техногенных деформационных процессов при разработке нефтегазовых месторождений

Часть 1. Выявление причин деформации обсадных колонн

М.К. Тупысев

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва

E-mail: m.tupysev@mail.ru

Аннотация. Выполнен анализ работ по выявлению причин деформации обсадных эксплуатационных колонн скважин. Основной причиной деформации колонн является техногенная деформация горных пород пластов дренируемых залежей. Показана потребность учета воздействия техногенных процессов на конструкцию используемых скважин на стадии проектирования разработки нефтегазовых месторождений.

Ключевые слова: деформация обсадных колонн, техногенные деформационные процессы, разработка нефтегазовых месторождений.

Для цитирования: Тупысев М.К. Деформация обсадных колонн в результате проявления техногенных деформационных процессов при разработке нефтегазовых месторождений. Часть 1. Выявление причин деформации обсадных колонн // Актуальные проблемы нефти и газа. 2021. Вып. 2(33). С. 28–37. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-33.art3>

Проблема деформации обсадных колонн, нарушения их герметичности возникла с самого начала промышленного освоения нефтяных и газовых месторождений с использованием скважин. Обзор методик и технических решений по расчету прочностных характеристик обсадных труб [1] показал, что они разработаны с учетом действующих на колонны:

- радиальных нагрузок за счет гидродинамического давления столба промывочной жидкости и движения пластичных горных пород в разрезе скважины;
- нормальных нагрузок за счет собственного веса колонны и температурных нагрузок;
- избыточных внешнего и внутреннего давлений.

Однако, несмотря на выполнение требований действующих методик по расчету прочностных характеристик обсадных колонн, повышение их прочностных характеристик за счет увеличения толщины стенок труб, проблема сохранения целостности и герметичности обсадных колонн остается.

Анализ обширного промышленного материала о состоянии обсадных колонн эксплуатационных скважин месторождений Северного Кавказа, а также Шебелинского газоконденсатного месторождения (Украина) [1–4], показал, что основными видами нарушения обсадных колонн являются:

- трещины в теле труб,
- разгерметизация резьбовых соединений,
- увеличение диаметра (раздутие),
- продольный изгиб,
- смятие.

Выявленные нарушения обсадных труб отмечены как для интервалов фильтра, так и для участков выше него, в скважинах с обсадными трубами, зацементированными до устья, а также с неполным поднятием цемента в заколонном пространстве (вариант приобсадного цементирования).

Главный вывод проведенного анализа – основной причиной нарушения целостности обсадных эксплуатационных колонн являются осевые нагрузки, возникающие в них вследствие оседания земной поверхности, вызванного дренированием продуктивных горизонтов нефтегазовых месторождений, поскольку скважины сооружаются преимущественно с опорой обсадных колонн на забой. Необходимость в проведении такого анализа и объяснении причин межколонных газопроявлений при разработке газовых месторождений появилась после публикации данных о значительных осадках земной поверхности над разрабатываемыми нефтегазовыми месторождениями [2, 5, 6].

Также в анализируемых работах сделано заключение о том, что основное оседание и деформация обсадных колонн происходит в начальный период разработки газового месторождения после снижения избыточного (по сравнению с гидростатическим) пластового давления «всплывания газа». Такое избыточное давление создается в залежи после образования нефтегазовых месторождений в первоначально водонасыщенных пластах из-за разности удельных весов воды и углеводородов.

С учетом накопленного опыта и знаний по данному вопросу можно сделать следующие выводы. Как показано в работе [7], повышение пластового давления в залежи не приводит к повышению уровня

земной поверхности над рассматриваемой залежью из-за невозможности превышения действующего горного давления. На основании лабораторных исследований керна материала [8] выявлено, что наибольшая деформация горных пород (сжатие) зафиксирована в начальный период снижения начального пластового давления, а сжимаемость горных пород является функцией снижения начального пластового давления. Сжатие дренируемых продуктивных пластов разрабатываемых залежей (месторождений) в начальный период происходит за счет деформации материала в межзерновом пространстве коллекторов (терригенных), переуплотнения (пространственного расположения) зерен. Этот эффект принято оценивать коэффициентом сжимаемости пор. Однако, поскольку поры – это пустотное пространство, а сжимаемость пустоты невозможна, то сжимаемость пор логичнее называть «*относительное изменение объема пор*».

Известно, что сжимаемость самих зерен горных пород на порядок ниже относительного изменения объема пор, поэтому по мере истощения деформационных свойств межзернового материала и переуплотнения самих зерен снижается темп деформационных процессов, а также, как следствие, оседания земной поверхности над разрабатываемым месторождением и роста нормальных осевых нагрузок на обсадные колонны.

В коллекторах с трещинной пористостью процессы деформации пластов аналогичны – первоначально и с большей интенсивностью происходит деформация материала в межтрещинном пространстве с последующим уменьшением динамики деформации.

Для визуального наблюдения действия осевых нагрузок на колонну обсадных труб были проведены специальные экспериментальные исследования [1, 4]. В экспериментах колонну обсадных труб моделировали образцами из стальных стержней с муфтами и без них. В результате проведенных экспериментов было выявлено, что при небольших осевых нагрузках происходит искривление образцов с касанием кожуха (моделирующего ствол скважины). По мере дальнейшего осевого нагружения образцов происходит увеличение числа волн изгиба колонны и числа касаний ею стенок скважины, колонна закручивается в винтовую линию (по часовой стрелке и против) и в ней возникает крутящий момент (это явление известно из теории цилиндрических пружин).

Эффект появления в колонне труб крутящего момента, выявленного в результате проведенных экспериментов, согласуется с промысловыми данными о работах по ликвидации межколонных

перетоков – до-закручивание обсадных труб эксплуатационных колонн [4]. В случае закручивания колонны по часовой стрелке зафиксированы случаи слома колонны в резьбовых и сварных соединениях [3, 4].

С целью выявления факта искривления колонн обсадных труб при осадке земной поверхности в реальных эксплуатационных скважинах на Шебелинском газоконденсатном месторождении были проведены инклинометрические исследования ствола скважин и сравнение получаемых инклинограмм с первоначальными данными, полученными при сооружении скважин. На момент проведения таких замеров, по оценочным расчетам, величина осадки земной поверхности в центре месторождения составляла 1,8 м [2]. Для примера на рис. 1 представлены результаты таких инклинометрических замеров на скв. № 156, из которых видно, что колонна на некоторых участках искривилась на 1 градус и более.

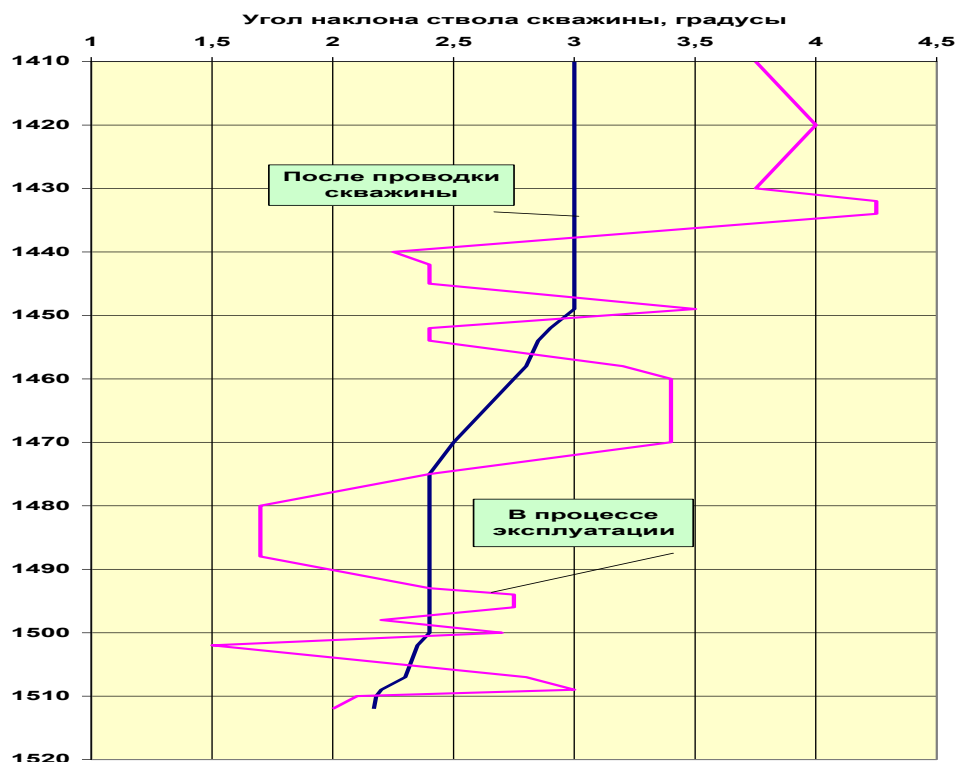


Рис. 1. Результаты инклинометрии скв. № 156 Шебелинского месторождения [9]

Наиболее показательные результаты инклинометрических исследований получены в скв. № 471 (рис. 2) в результате определения состояния скважины в 1985 и 1986 гг. (скважина пробурена в 1971 г.). Из представленных результатов видна динамика искривления колонны обсадных

труб в процессе разработки месторождения, причем максимальное искривление колонны происходило в интервалах каверн, т.е. в местах, где ствол скважины имеет наибольший диаметр (на рис. 2 такой интервал – на глубине 1740 м).

Результаты инклинометрии скв. 471 Шебелинского м-ния

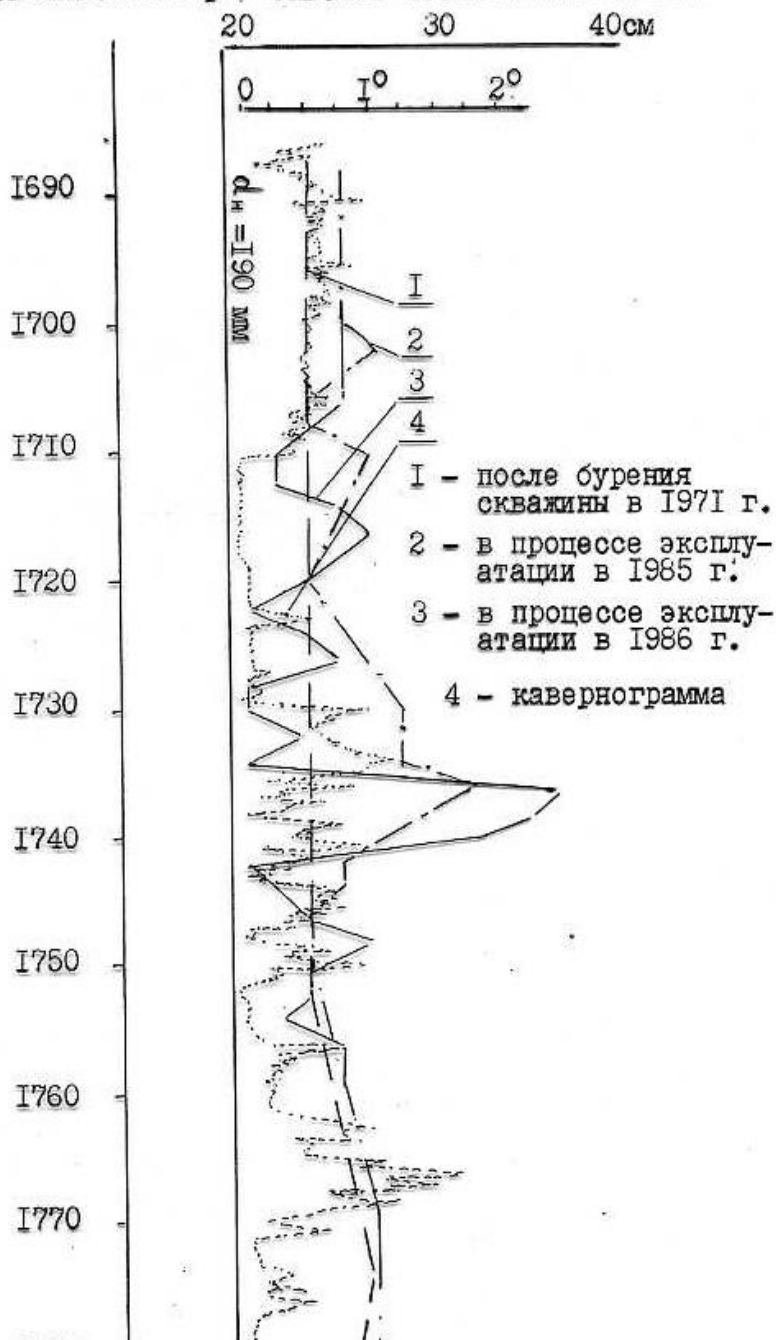


Рис. 2. Результаты инклинометрии скв. № 471 Шебелинского месторождения [9]

Связь между величиной оседания земной поверхности и изменением угла наклона колонны обсадных труб поясняется схемой деформации колонны на рис. 3. Если всю колонну разделить на участки с одинаковым углом искривления, то величину оседания и длины участков искривленной колонны можно связать следующим уравнением:

$$\Delta H = \sum_{i=1}^n L_i \cos \alpha_i - \sum_{j=1}^n L_j \cos \alpha_j, \quad (1)$$

где ΔH – величина оседания земной поверхности; L_i, α_i – длины участков

обсадной колонны и их углы наклона (результаты инклинометрии) после строительства скважины; L_j, α_j – длины участков обсадной колонны и их углы наклона (результаты инклинометрии) после оседания земной поверхности. Очевидно, что первая сумма в уравнении является глубиной скважины после ее строительства, а вторая – глубиной скважины после оседания земной поверхности. На данное техническое решение получен патент на изобретение RU 2097550 C1 – «Способ определения осадки земной поверхности» [10].

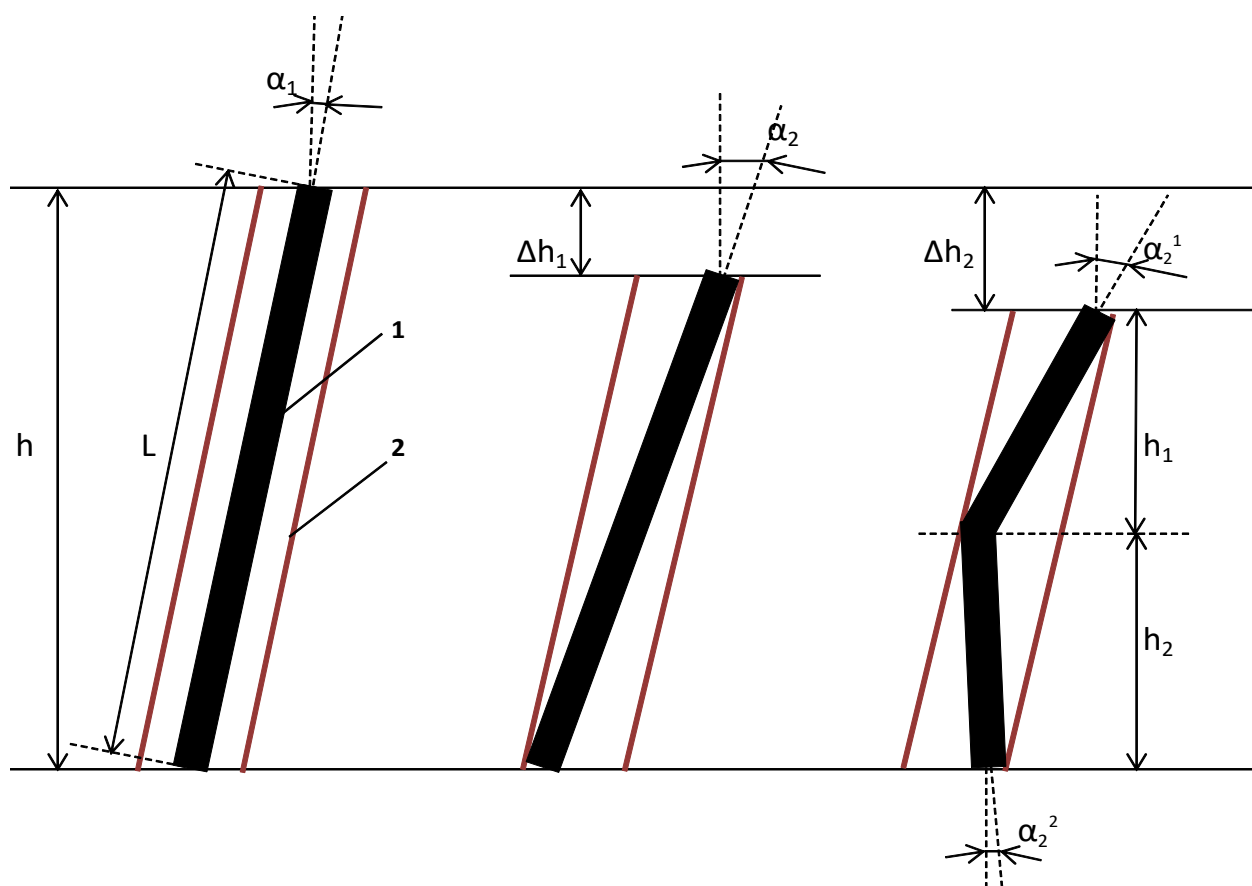


Рис. 3. Схема искривления обсадной колонны в процессе деформации горных пород в разрезе скважины и оседания земной поверхности

Такие результаты промысловых исследований состояния обсадных колонн в процессе разработки нефтегазовых месторождений позволили предложить новые способы ремонта колонны труб в скважине. Для исключения дальнейшего искривления и слома обсадных труб эксплуатационных скважин разрабатываемых месторождений с техногенной деформацией (сжатием) пластов разрабатываемых залежей предложено срезать нижнюю часть обсадных колонн на длину, не менее величины деформации пластов (патент SU 1479614 C1 – «Способ ремонта колонны труб в скважине» [11]), или создавать полость под нижним торцом обсадной эксплуатационной колонны на глубину определяемой деформации (патент RU 2092673 C1 – «Способ ремонта обсадной эксплуатационной колонны труб в скважине» [12]).

На динамику напряжений из-за техногенных процессов по длине обсадной эксплуатационной колонны большое влияние оказывает качество ее цементирования. Если происходит деформация дренируемой залежи, то возникающая нормальная осевая нагрузка в колонне обсадных труб в этом интервале передается на интервал колонны выше кровли залежи, особенно при нарушении цементного камня или некачественном цементировании скважины при ее строительстве. В результате происходит искривление колонны в любом интервале, особенно в интервалах каверн [1–4]. Кроме того, в интервале кровли залежи возникают дополнительные радиальные сжимающие нагрузки в случае вскрытия вертикальными скважинами продуктивных залежей, залегающих под углом. Такие нагрузки возникают по следующим причинам: при техногенном сжатии пластов дренируемой залежи

происходит опускание массива вышележащих горных пород (от покрышки до уровня земной поверхности) совместно с конструкцией скважины; горные породы пластов продуктивной залежи сжимаются преимущественно по нормали их напластования. Поэтому возникает рассогласование движений между деформируемыми горными породами залежи и опускающимися горными породами выше кровли. В итоге колонна испытывает радиальные сжимающие (срезающие) нагрузки. Для исключения таких негативных процессов предложен способ сооружения эксплуатационных скважин со вскрытием залежей с учетом угла залегания их продуктивных пластов, а также угла между осью скважины и нормалью к плоскости залегания (патент SU 1469074 A1 – «Способ проводки эксплуатационных скважин» [13]).

По действующим правилам сооружения скважин (раздел требований к строительству скважин в правилах разработки нефтяных и газовых месторождений [14]) не предусматривается учет влияния техногенных процессов на сооружаемые скважины. Все требования к конструкции скважин относятся к моменту ввода их в эксплуатацию с учетом, преимущественно, термобарических параметров пластового флюида. Развитие каких-либо геодинамических процессов в ходе разработки месторождений не рассматривается.

Таким образом, для обеспечения надежности работы проектируемой скважины необходима предварительная оценка возможных дополнительных нагрузок на обсадные колонны, возникающих в процессе разработки нефтегазовых залежей из-за проявления техногенных деформационных процессов.

При рассмотрении техногенных нагрузок, действующих на обсадные колонны скважин, следует иметь в виду то, что таким нагрузкам подвержены любые скважины, вскрывающие дренируемые залежи, т.е. кроме эксплуатационных – наблюдательные, законсервированные, ликвидированные.

Выводы

1. Причиной нарушения целостности обсадных эксплуатационных колонн являются техногенные деформационные

процессы, происходящие при разработке нефтегазовых месторождений.

2. Техногенные нагрузки, действующие на обсадные колонны скважин, необходимо учитывать при проектировании конструкций скважин, используемых для разработки нефтегазовых месторождений.

3. Используемый термин «коэффициент деформации пор» целесообразно заменить на термин, раскрывающий происходящие процессы, – «относительное изменение объема порового пространства».

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. Савченко В.В., Олексюк В.И., Жиденко Г.Г., Тупысев М.К., Фоменко К.Я. Устойчивость обсадных эксплуатационных колонн. М.: ВНИИЭгазпром, 1988. 35 с.
2. Черский Н.В., Виноградов В.Н., Жиденко Г.Г., Савченко В.В., Тупысев М.К. Влияние осадки горных пород на подземные сооружения при извлечении флюидов из продуктивных пластов // Доклады АН СССР. 1988. Т. 302, № 2. С. 413–416.
3. Черский Н.В., Виноградов В.Н., Савченко В.В., Жиденко Г.Г., Тупысев М.К. и др. Деформация обсадных эксплуатационных скважин месторождений Северного Кавказа. М.: ВНИИЭгазпром, 1989. 44 с.
4. Виноградов В.Н., Савченко В.В., Жиденко Г.Г., Славянский А.А., Тупысев М.К. и др. Причины деформации обсадных колонн эксплуатационных скважин (межколонные газопроявления). М.: ВНИИЭгазпром, 1990. 47 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. Петренко В.И., Ильченко Л.И., Канашук В.Ф. О механизме просадки земной поверхности при добыче жидких и газообразных полезных ископаемых // Гидрогеология и инженерная геология. 1983. № 7. С. 109–115.
7. 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>.
8. Кузьмин Ю.О., Жуков В.С. Современная геодинамика и вариации физических свойств горных пород. М.: Горная книга, 2004. 262 с.

9. *Тупысев М.К.* Техногенные деформационные процессы при разработке газовых месторождений / Обзорная информация. Серия «Разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений». М.: ИРЦ Газпром, 1997. 28 с.

10. *Ремизов В.В., Тупысев М.К., Жиденко Г.Г., Савченко В.В., Гноевых А.Н., Кабанов Н.И.* Пат. RU 2097550 С1. Способ определения осадки земной поверхности. № 96102795; Заявл. 13.02.1996; Оpubл. 27.11.1997 // Изобретения. Полезные модели. 1997. Бюл. № 33. <http://www1.fips.ru>

11. *Савченко В.В., Олексюк В.И., Тупысев М.К., Фоменко К.Я., Авраменко А.Н., Жиденко Г.Г., Славянский А.А., Савченко Н.В.* А.с. SU 1479614 А1. Способ ремонта колонны труб в скважине. № 4237575; Заявл. 29.04.1987; Оpubл. 15.05.1989 // Изобретения. Полезные модели. 1989. Бюл. № 18. <http://www1.fips.ru>

12. *Ремизов В.В., Жиденко Г.Г., Тупысев М.К., Славянский А.А., Басарыгин Ю.М., Савченко В.В.* Пат. RU 2092673 С1. Способ ремонта обсадной эксплуатационной колонны труб в скважине. № 95112656/03; Заявл. 20.07.1995; Оpubл. 10.10.1997 // Изобретения. Полезные модели. 1997. Бюл. № 28. <http://www1.fips.ru>

13. *Тупысев М.К., Жиденко Г.Г., Савченко В.В.* А.с. SU 1469074 А1. Способ проводки эксплуатационных скважин. № 4122532; Заявл. 19.09.1986; Оpubл. 30.03.1989 // Изобретения. Полезные модели. 1989. Бюл. № 9. <http://www1.fips.ru>

14. ГОСТ Р 53713-2009. Месторождения нефтяные и газонефтяные. Правила разработки. М.: Изд-во стандартов, 2019. 18 с.

Deformation of casing strings as a result of technogenic deformation processes during oil and gas field development

Part 1. Identification of the causes of deformation of casing strings

M.K. Tupysev

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow
E-mail: m.tupysev@mail.ru

Abstract. The analysis of works on identification of causes of deformation of casing production strings of wells is carried out. The main reason for the deformation of the strings is the technogenic deformation of the rocks of the layers of drained deposits. The need to take into account technogenic processes for the design of used wells at the design stage of oil and gas field development is shown.

Keywords: deformation of casing strings, technogenic deformation processes, oil and gas field development.

Citation: *Tupysev M.K.* Deformation of casing strings as a result of technogenic deformation processes during oil and gas field development. Part 1. Identification of the causes of deformation of casing strings // Actual Problems of Oil and Gas. 2021. Iss. 2(33). P. 28–37. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-33.art3> (In Russ.).

References

1. *Savchenko V.V., Oleksyuk V.I., Zhidenko G.G., Tupysev M.K., Fomenko K. Ya.* Stability of casing production strings. Moscow: VNIIEgazprom, 1988. 35 p. (In Russ.).
2. *Chersky N.V., Vinogradov V.N., Zhidenko G.G., Savchenko V.V., Tupysev M.K.* Influence of rock sedimentation on underground structures during the extraction of fluids from productive strata // Doklady AN SSSR. 1988. Vol. 302, No. 2. P. 413–416. (In Russ.).
3. *Chersky N.V., Vinogradov V.N., Savchenko V.V., Zhidenko G.G., Tupysev M.K. et al.* Deformation of casing production wells of North Caucasus deposits. Moscow: VNIIEgazprom, 1989. 44 p. (In Russ.).
4. *Vinogradov V.N., Savchenko V.V., Zhidenko G.G., Slavyansky A.A., Tupysev M.K. et al.* Causes of deformation of casing strings of production wells (intercasing gas showings). Moscow: VNIIEgazprom, 1990. 47 p. (In Russ.).
5. *Ternovoy Yu.V., Sergeev 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. *Petrenko V.I., Ilchenko L.I., Kanashuk V.F.* On the mechanism of drawdown of the Earth's surface in the extraction of liquid and gaseous minerals // Hydrogeology and Engineering Geology. 1983. No. 7. P. 109–115. (In Russ.).
7. *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.).

8. *Kuzmin Yu.O., Zhukov V.S.* Modern geodynamics and variations of physical properties of rocks. Moscow: Gornaya Kniga, 2004. 262 p. (In Russ.).
9. *Tupysev M.K.* Technogenic deformation processes during gas field development / Survey data. Series "Development and exploitation of gas and gas condensate fields". Moscow: IRC Gazprom, 1997. 28 p. (In Russ.).
10. *Remizov V.V., Tupysev M.K., Zhidenko G.G., Savchenko V.V., Gnoevykh A.N., Kabanov N.I.* Pat. RU 2097550 C1. Method of determining ground settlement. No. 96102795; Declared 13.02.1996; Publ. 27.11.1997 // Inventions. Useful models. 1997. Bull. No. 33. <http://www1.fips.ru>
11. *Savchenko V.V., Oleksjuk V.I., Tupysev M.K., Fomenko K.Ja., Avramenko A.N., Zhidenko G.G., Slavyanskij A.A., Savchenko N.V.* A.c. SU 1479614 A1. Method for repair of drill-pipe columns. No. 4237575; Declared 29.04.1987; Published 15.05.1989 // Inventions. Useful models. 1989. Bull. No.18. <http://www1.fips.ru> (In Russ.).
12. *Remizov V.V., Zhidenko G.G., Tupysev M.K., Slavjanskij A.A., Basarygin Ju.M., Savchenko V.V.* Pat. RU 2092673 C1. Method for repair of production casing string in well. No. 95112656/03; Declared 20.07.1995; Publ. 10.10.1997 // Inventions. Useful models. 1991. Bull. No. 28. <http://www1.fips.ru>
13. *Tupysev M.K., Zhidenko G.G., Savchenko V.V.* A.c. SU 1469074 A1. Method for drilling of production wells. No. 4122532; Declared 19.09.1986; Publ. 30.03.1989 // Inventions. Useful models. 1989. Bull. No. 9. <http://www1.fips.ru> (In Russ.).
14. GOST R 53713-2009. Oil and gas-oil fields. Development rules. Moscow: Standards Publishing House, 2019. 18 p. (In Russ.).