

## Влияние техногенных геодинамических процессов при разработке нефтегазовых месторождений на надежность скважин (обобщение)

**М.К. Тупысев**

Институт проблем нефти и газа РАН, г. Москва, Россия  
E-mail: m.tupysev@mail.ru

**Аннотация.** Дана обзорная информация о влиянии геодинамических процессов, происходящих в результате снижения пластового давления в разрабатываемых месторождениях, на состояние скважин, герметичность их обсадных колонн и заколонных пространств. Показана последовательность мероприятий, необходимых для учета указанных процессов при проектировании разработки нефтегазовых месторождений и сооружении скважин.

**Ключевые слова:** техногенные геодинамические процессы, надежность скважин, деформация дренируемых пластов.

**Для цитирования:** Тупысев М.К. Влияние техногенных геодинамических процессов при разработке нефтегазовых месторождений на надежность скважин (обобщение) // Актуальные проблемы нефти и газа. 2022. Вып. 4(39). С. 148–153. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2022-39.art.11>

Надежность скважины является важным условием обеспечения успешной разработки нефтегазовых месторождений. При сооружении скважин прочностные характеристики обсадных колонн рассчитывают с учетом действующих на них сминающих радиальных нагрузок (за счет давления столба жидкостей в стволе скважины и движения пластичных горных пород за колоннами), а также нормальных нагрузок (за счет собственного веса колонн и изменения температуры флюидов в колонне – температурных нагрузок) [1].

Выполненный обширный анализ промысловых данных о фактическом состоянии эксплуатационных скважин показал, что обсадные колонны, рассчитанные по действующим методикам, имеют различные виды нарушений, а причиной этих нарушений являются осевые нагрузки, возникающие в результате техногенного деформирования дренируемых

пластов разрабатываемых месторождений, сопровождающегося оседанием земной поверхности над месторождениями.

Экспериментальные исследования по визуальному наблюдению действия осевых нагрузок на колонны обсадных труб показали, что первоначально происходит искривление колонны с увеличением числа волн искривления и точек касания колонной стенок скважины; по мере увеличения нагрузки колонна обсадных труб закручивается по винтовой линии, а в самой колонне возникает крутящий момент, приводящий к раскручиванию труб в муфтовых соединениях или к их разрушению (в зависимости от направления возникающего крутящего момента) [1].

Промысловые инклинометрические исследования ствола эксплуатационных скважин подтвердили факт искривления ствола эксплуатационных колонн в результате действия техногенных деформационных процессов дренируемых пластов.

Величины искривления составили до 2° при величине оседания земной поверхности 2,6 м (Шебелинское газоконденсатное месторождение) [1]. Такое периодическое зондирование ствола скважины было предложено использовать как эффективный способ определения технического состояния эксплуатационных скважин (SU 1420146, 1988).

Кроме того, получаемые данные об изменении угла наклона ствола скважины по длине колонны обсадных труб позволяют определять величину оседания земной поверхности (RU 2097550, 1997):

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

где  $\Delta H$  – величина оседания земной поверхности;

$L_i, \alpha_i$  – длины участков обсадной колонны и их углы наклона (результаты инклинометрии) после строительства скважины;

$L_j, \alpha_j$  – длины участков обсадной колонны и их углы наклона (результаты инклинометрии) после оседания земной поверхности.

Таким образом, в результате действия осевых нагрузок на обсадные колонны происходит их нарушение и искривление, растрескивание цементного камня в заколонных и межколонных пространствах, в итоге – нарушение их герметичности, заколонные перетоки пластовых флюидов, в том числе с образованием техногенных залежей в коллекторах верхних горизонтов, например, «газовых карманов» при разработке газовых залежей.

Наличие таких скоплений пластовых флюидов в верхних интервалах горных пород разреза месторождения до его

освоения фиксируется в результате интерпретации данных проводимых сейсморазведочных работ на площади месторождения на стадии его разведки. Для исключения негативных последствий вскрытия «газовых карманов» при сооружении разведочно-эксплуатационных скважин эти небольшие газовые месторождения предложено дренировать до разработки основного месторождения и рассматривать такую процедуру как подготовительный этап его освоения [2]. На технологию опережающего дренирования таких скоплений газа получен патент (RU 2579089, 2016).

При сохранении герметичности скважин в околоземной части, например, в интервале кондуктора, заколонные перетоки пластовых флюидов не приводят к повышению значений заколонных и межколонных давлений на устье скважин. Поэтому зондирование образования техногенных залежей в процессе разработки месторождения требует дополнительных геолого-геофизических исследований площади и разреза осваиваемого месторождения в скважинах.

Динамика техногенных геодинамических процессов (при использовании расчетной схемы в плоской постановке) оценивается по формуле:

$$\Delta H = \sum (m_i \cdot \beta_{\text{пор}i} \cdot \Delta P_i \cdot h_i), \quad (1)$$

где  $\Delta H$  – величина деформации дренируемых пластов (оседания земной поверхности);

$m_i, \beta_{\text{пор}i}, \Delta P_i, h_i$  – пористость, сжимаемость пор (относительное изменение объема порового пространства), изменение пластового давления и толщина отдельного продуктивного пласта рассматриваемого месторождения (залежи), соответственно [3].

Величины  $m_i$ ,  $\beta_{пор_i}$ ,  $\Delta P_i$ ,  $h_i$  определяются по результатам вскрытия бурением продуктивных залежей, а также промысловых исследований скважин и их кернового материала. При наличии на месторождении специального геодинамического полигона для контроля за техногенными процессами (повторное нивелирование для определения изменения высотного положения земной поверхности над разрабатываемым месторождением) имеется возможность определять значение  $\beta_{пор}$  (средневзвешенное для всей дренируемой толщи залежи), а также динамику вовлечения в деформационные процессы неколлекторов по данным замеров оседания земной поверхности [4].

Величины техногенных осевых нагрузок зависят от профиля ствола скважины, что важно учитывать при сооружении наклонно-направленных скважин. Для вертикальных скважин величина нормального напряжения ( $\bar{\sigma}$ ), возникающего в колонне в результате оседания земной поверхности, определяется по законам механики по формуле [1]:

$$\bar{\sigma} = \Delta H \cdot E / L, \quad (2)$$

где  $\Delta H$  – величина оседания земной поверхности, м;  
 $E$  – модуль Юнга материала труб обсадной колонны, Мпа;  
 $L$  – длина колонны, м.

Для наклонных скважин формула (2) принимает вид [4]:

$$\bar{\sigma} = \Delta H \cdot \cos \alpha \cdot E / L,$$

где  $\alpha$  – угол наклона профиля ствола скважины.

Для горизонтального участка ствола скважины величина нормального напряжения, действующего на обсадную колонну, равна нулю. Однако в данном случае колонна испытывает радиальную сжимающую нагрузку из-за деформации вскрываемого дренируемого пласта в интервале диаметра ствола скважины – по аналогии с формулой (1):

$$\Delta h = m \cdot \beta_{пор} \cdot \Delta P \cdot d,$$

где  $\Delta h$  – величина деформации дренируемого пласта в интервале диаметра ствола скважины, м;  
 $d$  – диаметр ствола скважины, м.

По действующим Правилам безопасности в нефтяной и газовой промышленности [5] скважины с выявленными нарушениями герметичности ствола, которые невозможно устранить при проведении капитального ремонта, подлежат ликвидации. Однако причиной аварийного состояния скважин могут быть не только технические и технологические нарушения, допускаемые при сооружении и эксплуатации скважин, но и не учитываемые техногенные геодинамические процессы, которые могут действовать как в процессе эксплуатации скважин, так и после их ликвидации. Следовательно, Рекомендуется контроль за состоянием скважин, герметичностью их заколонных пространств, в том числе и после ликвидационных операций, как предложено автором ранее.

При проектировании разработки нефтегазовых месторождений целесообразно проводить оценочные расчеты оседания земной поверхности на основании проектных данных изменения пластового давления и характеристик горных пород пластов продуктивных залежей, входящих в приведенную выше формулу. Оценочные расчеты, проведенные для условий сеноманских отложений Ямбургского месторождения, и построенные карты оседания земной поверхности показали величины деформации продуктивных пластов до 24 см в областях максимальных толщин продуктивных отложений и снижения пластового давления за 22 года разработки [6].

Таким образом, для определения масштабов техногенных геодинамических процессов и оценки их влияния на надежность скважин предлагаются следующие мероприятия:

1. На стадии проектирования месторождения проводятся оценочные расчеты ожидаемой деформации дренируемых пластов и строятся карты изолиний величин деформации (оседания земной поверхности).

2. Проектирование конструкций скважин ведут с учетом дополнительных нагрузок, возникающих в результате действия выявленных деформаций и ожидаемых снижений толщин горных пород, вскрываемых скважинами в процессе эксплуатации месторождения, в том числе с учетом траектории стволов скважин.

3. Для месторождений со значительными запасами углеводородов и ожидаемыми масштабами техногенных геодинамических процессов оценивается возможность создания геодинамических полигонов как инструмента дополнительного контроля процесса разработки месторождения и надежности скважин.

*Статья написана в рамках выполнения государственного задания (тема «Совершенствование методов моделирования, лабораторных и промысловых исследований для создания новых технологий эффективного экологически чистого извлечения углеводородов в сложных горно-геологических условиях», № 122022800272-4).*

### Литература

1. 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>
2. Богоявленский В.И., Тупысев М.К., Титовский А.Л., Пушкарёв В.А. Рациональное природопользование в районах распространения газовых залежей в верхней части разреза // Вести газовой науки. 2016. № 2(26). С. 160–164.
3. Гаттенбергер Ю.П. Причины и прогноз проседаний земной поверхности в районах разрабатываемых нефтяных и газовых месторождений // Бюллетень Московского общества испытателей природы. Отд. геологический. 1984. Т. 59, Вып. 1. С. 108–118.
4. 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>

5. О внесении изменений в Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности «Правила безопасности в нефтяной и газовой промышленности», утвержденные приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 12 марта 2013 г., № 101 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. <http://docs.cntd.ru/document/420249011>

6. *Тупысев М.К., Никонов А.И., Веселова Н.М.* Оценка деформации земной поверхности при разработке сеноманских отложений (на примере Ямбургского месторождения) // Современная геодинамика недр и эколого-промышленная безопасность объектов нефтегазового комплекса: Материалы Всероссийской конференции. М.: ООО «ТиРу», 2013. С.135–143.

## The influence of technogenic geodynamic processes during oil and gas field development on the reliability of wells (generalization)

**M.K. Tupysev**

Oil and Gas Research Institute, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia  
E-mail: [m.tupysev@mail.ru](mailto:m.tupysev@mail.ru)

**Abstract.** An overview of the influence of geodynamic processes occurring as a result of a decrease in reservoir pressure in the fields under development on the state of wells, the tightness of their casing strings and column spaces is given. The sequence of measures necessary to take into account these processes in the design of the development of oil and gas fields and the construction of wells is shown.

**Keywords:** technogenic geodynamic processes, reliability of wells, deformation of drained strata.

**Citation:** *Tupysev M.K.* The influence of technogenic geodynamic processes during oil and gas field development on the reliability of wells (generalization) // Actual Problems of Oil and Gas. 2022. Iss. 4(39). P. 148–153. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2022-39.art11> (In Russ.).

### References

1. *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.).
2. *Bogoyavlensky V.I., Tupysev M.K., Titovskiy A.L., Pushkarev V.A.* Rational environmental management of regions with natural gas accumulations in upper parts of a layer // Vesti Gazovoy Nauki. 2016. No. 2(26). P. 160–164. (In Russ.).
3. *Gattenberger Yu.P.* Causes and prognosis of subsidence of the Earth's surface in the areas of oil and gas fields under development // Bulletin of the Moscow Society of Naturalists. Geological Series. 1984. Vol. 59, Iss. 1. P. 108–118. (In Russ.).
4. *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. Iss. 3(34). P. 76–81. <https://doi.org/10.29222/ipng.2078-5712.2021-34.art6> (In Russ.).
5. On Amendments to the Federal Norms and Rules in the Field of Industrial Safety “Safety Rules in the Oil and Gas Industry”, approved by the Order of the Federal Service for Environmental, Technological and Nuclear Supervision of 12 March 2013, No. 101 // Online Depository of Legal and Technical Regulatory Documents. <http://docs.cntd.ru/document/420249011> (In Russ.).
6. *Tupysev M.K., Nikonov A.I., Veselova N.M.* Assessment of the deformation of the Earth's surface during the development of Cenomanian deposits (on the example of the Yamburg field // Modern Geodynamics of the Subsoil and Environmental and Industrial Safety of Oil and Gas Facilities: Proceedings of the All-Russian Conference. Moscow: TiRu LLC, 2013. P. 135–143. (In Russ.).