

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОТЕРИ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛОННЫ ГАЗОВОЙ СКВАЖИНЫ ПО АКУСТИЧЕСКИМ ШУМАМ

Константин Владимирович Федин

Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН, 630090, Россия, г. Новосибирск, проспект Академика Коптюга. 3, научный сотрудник, e-mail: FedinKV@ipgg.sbras.ru; Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова 2, старший преподаватель каф. геофизики; Новосибирский государственный технический университет, 630073, Россия, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса 20, доцент каф. геофизики

Антон Александрович Гриценко

Новосибирский государственный университет, 630090, Россия, г. Новосибирск, ул. Пирогова, 2, магистрант, каф. геофизики, e-mail: a.gritsenko3@g.nsu.ru

В статье представлены результаты исследований, показывающих возможность определения потери устойчивости обсадной колонной газовой скважины с помощью пассивного метода выделения стоячих волн из сейсмоакустических шумов. Показано, что зарегистрированные на колоннах газовых скважин амплитудные спектры собственных колебаний позволяют надежно диагностировать неустойчивость обсадной колонны.

Ключевые слова: стоячие волны, газовые скважины, устойчивость обсадной колонны

DETERMINATION OF THE STABILITY LOSING OF A GAS WELL CASING BY ACOUSTIC NOISE

Konstantin V. Fedin

Trofimuk Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, 630090, Russia, Novosibirsk, 3, Akademika Koptuyuga Ave., PhD, Researcher, e-mail: FedinKV@ipgg.sbras.ru; Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, Pirogova st. 2, Senior Lecturer of the geophysical department; Novosibirsk State Technical University, 20 Karl Marx Avenue Novosibirsk 630073, Russia, Associate professor of the geophysical department

Anton A. Gritsenko

Novosibirsk State University, 630090, Russia, Novosibirsk, Pirogova st. 2, Student. e-mail: a.gritsenko3@g.nsu.ru

The article presents the results of research, showing the possibility of determining the stability losing of gas well casing using the passive method of standing waves determination from seismo-acoustic noise. It is shown that the amplitude spectrum of natural vibrations recorded on the gas well casing make it possible to reliably diagnose the instability of the casing.

Keywords: standing waves, gas wells, casing stability

На северных газовых месторождениях, где верхняя часть геологического разреза, сложена многолетнемерзлыми породами давно существует проблема оттаивания пород в которых находятся газодобывающие скважины из-за температурного воздействия скважин при добыче газа, температура которого может достигать 80 градусов Цельсия, сезонных изменений, вибрационных воздействий и

прочих, как естественных, так и техногенных факторах. Оттаивание многолетне-мерзлых пород неизбежно ведет к ослаблению закрепления верхней части колонны газовой скважины, что ведет к её разбалтыванию и увеличению нагрузки на обсадные трубы и их резьбовые соединения.

Так, на сегодняшний день мониторинг потери устойчивости колонн газовых скважин ведется опосредованно, через контроль состояния и определение величины просадок грунтов с помощью методов геодезии, электротомографии [1,2,3] и индукционные методы [4,5,6]) и георадиолокации [7,8,9,10].

В настоящей работе используется пассивный сейсмический метод, разработанный коллективом авторов ИНГГ СО РАН, позволяющий выделять стоячие волны из шумового поля и решать различные инженерные задачи [11,12,13,14].

Разработанная методика выделения стоячих волн из микросейсм состоит в следующем:

1. Регистрация когерентных паразитных шумов, для последующего учета при обработке полученных данных.
2. Регистрация шумовых записей на исследуемом объекте для выделения в них стоячих волн с использованием двух датчиков – статично зафиксированного в одной точке и перемещаемого.
3. Нормировка уровня шумов перемещаемого датчика на уровень опорного для каждого измерения.
4. Разбиение шумовых записей на блоки по 8192 отчета.
5. Преобразование Фурье для каждого блока и усреднение полученных амплитудных спектров путем их суммирования.
6. Построение карт амплитудно-частотного распределения на исследуемой площади или профиле.

Важно отметить, что отсутствие источника, возбуждающего колебания в исследуемой среде и использование метода накопления в дальнейшей обработке накладывает ограничения на использование регистрирующей аппаратуры. Так, важно чтобы используемая аппаратура отличалась отсутствием собственных шумов, которые будут накапливаться в процессе регистрации что напрямую повлияет на качество данных. Подбор такой аппаратуры следует проводить экспериментально с помощью измерения собственных шумов регистратора [15]. Так для проведения эксперимента на колоннах газовых скважин был выбран комплекс из цифрового регистратора Texan (RefTek-125A) и геофонов GS-20DX (рис. 1).



Рис. 1 Вертикальные и горизонтальные геофоны GS-20DX и одноканальные автономные цифровые регистраторы Texan (RefTek-125A) на кусте колонны газовой скважины.

В результате накопления большого количества амплитудных спектров, построенных для шумовых записей, получается выделить регулярные пики, являющиеся когерентными при суммировании, соответствующие стоячим волнам. Для упругих стоячих волн в геометрически ограниченных телах характерна связь между собственными частотами и расстоянием от местоположения регистратора до границы тела, от которой происходит отражение волны и описываемая следующим соотношением:

$$f_n = \frac{nV}{2l},$$

где n – номер моды стоячей волны, V – скорость распространения упругих волн, l – расстояние между от регистратора до отражающей границы.

В случае колонны газовой скважины такой отражающей границей будут являться как нижняя граница обсадной колонны, так и какие-либо дефекты, будут характеризоваться появлением дополнительного семейства мод, частоты которых будут соответствовать расстоянию от регистратора на устье скважины до дефекта. Принимая во внимание геометрию расположения регистрирующих датчиков (рис.1). Моды стоячих волн, описываемые таким распределением, будут проявляться при обработке вертикальной компоненты шумовой записи.

На полученных в результате полевого эксперимента данных были выделены пики, соответствующие модам упругих стоячих волн. На (рис. 2) видно, что частоты мод для каждой из скважин идут с равным интервалом и, следовательно, соответствуют одному и тому же расстоянию от регистратора, до отражающей границы.

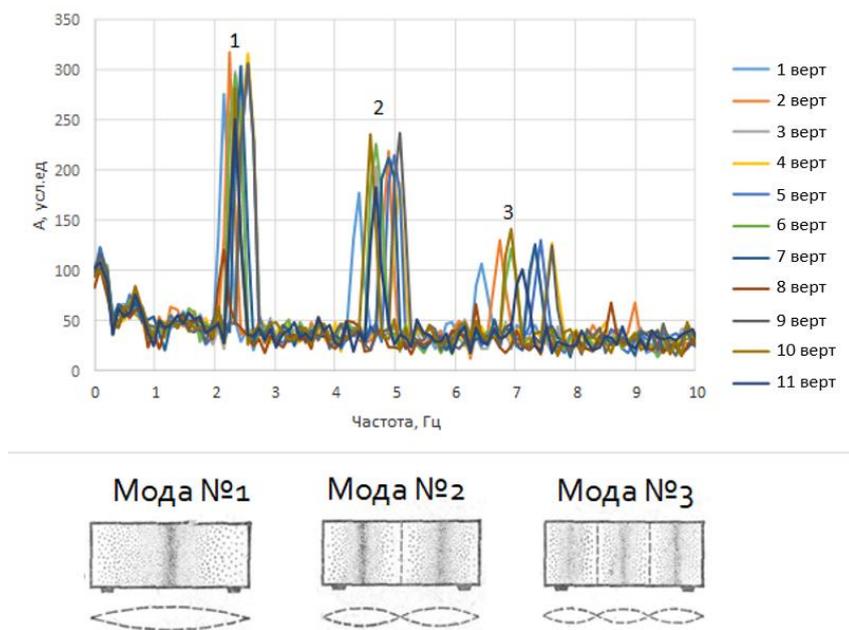


Рис. 2. Амплитудный спектр стоячих волн в обсадных колоннах ГС.
Цифрами обозначены номера мод.

Например, для скважины 2 частоты с первой по третью моду соответствует 2.246, 4.491 и 6.738 Гц соответственно. Если предположить, что скорость продольных волн в КГС равна примерно 5000 м/с, а длина 1200 м, то согласно формуле (1) эти моды соответствуют всей длине колонны ($2.24 \text{ Гц} = 1 \times 5000 \text{ (м/с)} / (2 \times 1200) \text{ (м)}$).

Появление же на амплитудном спектре семейства дополнительных мод будет свидетельствовать о наличии дефекта на определенной глубине.

Так, на (рис.3) демонстрируется пример накопленного амплитудно-частотного спектра, где цифрами 1,2,3 (значения частот 2.539, 5,078, 7,61 Гц) обозначены моды стоячих волн, соответствующие проектной длине скважины в 1200 м, а моды I, II, III (значения частот 3.125, 6.25, 9.375 Гц) соответствуют длине скважины в 800 метров (см. формулу 1), что означает нарушение на этой глубине.

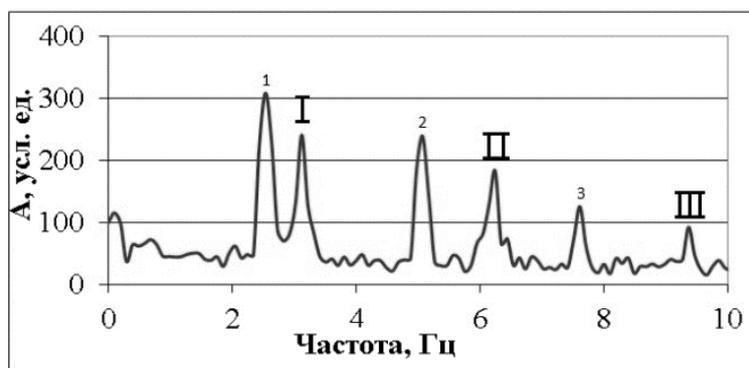


Рис. 3. Выделение нарушенного участка КГС дополнительными модами упругих стоячих волн

При рассмотрении горизонтальной компоненты зарегистрированных шумов на их амплитудном спектре можно видеть, что на газовых скважинах 6, 7 и 8, в отличие от остальных наблюдаются семейства квазирегулярных пиков, которые, как было установлено в следствии математического моделирования, относятся к изгибному типу колебаний (рис. 4).

По результатам физического моделирования, путем эксперимента на макете обсадной колонны газовой скважины установлено, что такое распределение квазирегулярных пиков свидетельствует об отсутствии закрепления в верхней её части. На (рис.5) видно, что при отсутствии закрепления на модели КГС на полученном амплитудном спектре выделяется группа квазирегулярных пиков, аналогичная тем, что были зарегистрированы на ГС 6, 7, 8.

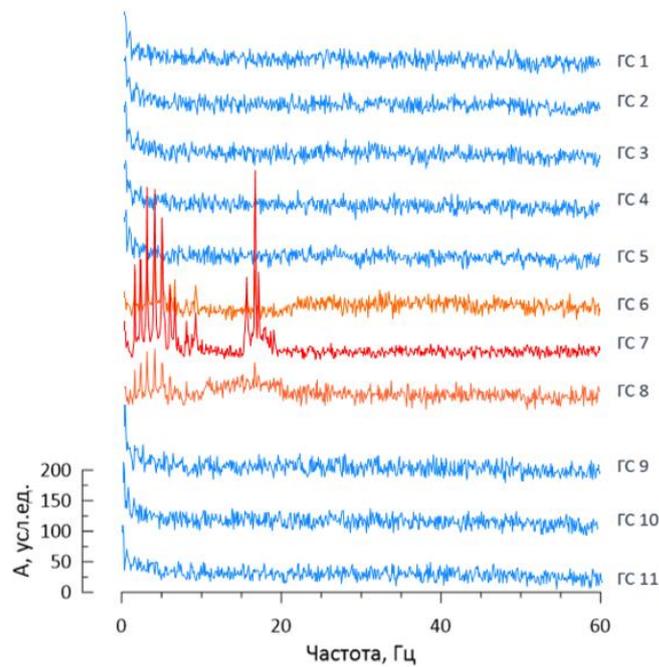


Рис.4 Амплитудные спектры стоячих волн в обсадных колоннах ГС.
Горизонтальная составляющая



Рис. 5 Наличие или отсутствие квазирегулярных пиков изгибных мод, свидетельствующее о качестве закрепления макета КГС

В свою очередь наличие или отсутствие таких пиков, получаемых при регистрации шумовых данных на кусте газовой скважины может являться надежным диагностическим критерием потери устойчивости обсадной колонной, по причине ухудшения качества закрепления в верхней её части.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бобачев А. А., Горбунов А.А., Модин И.Н., Шевнин В.А. Электротомография методом сопротивлений и вызванной поляризации // Приборы и системы разведочной геофизики. – 2006. – Т. 2. – С. 14–17.
2. Beck M.S., Williams R.A. Process tomography: principles, techniques and applications. – Butterworth-Heinemann, 2012. – 384 p.
3. Gunn D. A., Chambers J.E., Uhlemann S., Wilkinson P.B., Meldrum P.I., Dijkstra T.A., Haslam E., Kirkham M., Wragg J., Holyoake S., Hughes P.N., Hen-Jones R., Glendinning S. Moisture monitoring in clay embankments using electrical resistivity tomography // Construction and Building Materials. – 2015. – Т.92. – С. 82-94
4. Тригубович Г. М., Персова М. Г., Соловейчик Ю. Г. 3D-электроразведка становлением поля. – 2009
5. Тригубович Г.М. и др. Применение площадных технологий и трехмерной интерпретации данных зондирования становлением поля при построении объемных геоэлектрических моделей сложнопостроенных сред // Записки горного института. – 2009. – Т. 183.
6. Семинский И.К., Буддо И.В., Суров Л.В., Агафонов Ю.А. Опыт 3D-моделирования сигналов становления электромагнитного поля в условиях осадочного чехла юга Сибиркой платформы // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2012. – №.6. (65).
7. Ermakov A.P., Starovoitov A. V. The use of the Ground Penetration Radar (GPR) method in engineering-geological studies for the assessment of geological-cryological conditions // Moscow University Geology Bulletin. – 2010. – Т. 65. – №.6. – С. 422–427.
8. Campbell S., Afflec R.T., Sinclair S. Ground-penetration radar studies of permafrost, periglacial and near-surface geology at McMurdo Station, Antarctica // Cold Regions Science and Technology. – 2017.
9. Scott W. J., Sellmann P., Hunter J. A. Geophysics in the study permafrost // Geotechnical and environmental geophysics. – 1990. – Т. 1. – С. 355–384.
10. Munroe J.S., Doolittle J.A., Kanevskiy M., Hinkel K.M., Nelson F.E., Jones B.M., Shur Y., Kimble J.M. Application of ground-penetrating radar imagery for three-dimensional visualization of near-surface structures in ice-rich permafrost, Barrow, Alaska // Permafrost and Periglacial Processes. – 2007. – Т. 18. – №.4. – С. 309–321
11. Колесников Ю.И., Федин К.В., Нгомайезве Л. О влиянии сезонных изменений резонансных свойств приповерхностных грунтов на сейсмобезопасность сооружений. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2019. – №.3. – С. 56–64.
12. Kolesnikov Y.I., Fedin K.V. Detecting underground cavities using microtremor data: physical modelling and field experiment. // Geophys Prospect. – 2018. – 66:342-53
13. Kolesnikov Y.I., Fedin K.V., Ngomayezwe L. Direct determination of resonant properties of near-surface sediments using microtremor. // Soil Dynamics and Earthquake Engineering Volume 125. – 2019. – 105739
14. Федин К.В., Колесников Ю.И., Нгомайезве Л. Определение пустот под бетонными плитами крепления верховых откосов плотины Новосибирской ГЭС по акустическим шумам // Процессы в геосредах. – 2020. – № 4 (26). – С. 970-975
15. Eroneshnikova L., Dergach P., Duchkov A. Reducing the Cost of Microseismic Monitoring for Ensuring Safety in Mining // 82nd EAGE Annual Conference and Exhibition Workshop Programme (Amsterdam, The Netherlands, December 8-11, 2020): Abstracts. – Amsterdam, 2020. – 2020. – P. 1-5.

REFERENCES

1. Bobachev A.A., Gorbunov A.A., Modin I.N., Shevchin V.A. Jeletrotomografija metodom soprotivlenij i vyzvannoj poljarizacii // Pribory i sistemy razvedochnoj geofiziki. – 2006. – T. 2. – S. 14–17.
2. Beck M.S., Williams R.A. Process tomography: principles, techniques and applications. – Butterworth-Heinemann, 2012. – 384 p.
3. Gunn D. A., Chambers J.E., Uhlemann S., Wilkinson P.B., Meldrum P.I., Dijkstra T.A., Haslam E., Kirkham M., Wragg J., Holyoake S., Hughes P.N., Hen-Jones R., Glendinning S. Moisture monitoring in clay embankments using electrical resistivity tomography // Construction and Building Materials. – 2015. – T.92. – C. 82-94
4. Trigubovich G.M., Persova M.G., Solovejchik Ju.G. 3D-jelektorazvedka stanovleniem polja. – 2009.
5. Trigubovich G.M. i dr. Primenenie ploshhadnyh tehnologij i trehmernoj interpretacii dannyh zondirovanija stanovleniem polja pri postroenii ob#emnyh geoelektricheskikh modelej slozhnopostroyennyh sred // Zapiski gornogo instituta. – 2009. – T. 183.
6. Seminckij I.K., Buddo I.V., Surov L.V., Agafonov YU.A. Opyt 3D-modelirovanija signalov stanovlenija jelektromagnitnogo polja v uslovijah osadochnogo chehla juga Sibirkoy platformy // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta. – 2012. – №.6. (65).
7. Ermakov A.P., Starovoitov A. V. The use of the Ground Penetration Radar (GPR) method in engineering-geological studies for the assessment of geological-cryological conditions // Moscow University Geology Bulletin. – 2010. – T. 65. – №.6. – C. 422–427.
8. Campbell S., Afflec R.T., Sinclair S. Ground-penetration radar studies of permafrost, periglacial and near-surface geology at McMurdo Station, Antarctica // Cold Regions Science and Technology. – 2017.
9. Scott W. J., Sellmann P., Hunter J. A. Geophysics in the study of permafrost // Geotechnical and environmental geophysics. – 1990. – T. 1. – C. 355–384.
10. Munroe J.S., Doolittle J.A., Kanevskiy M., Hinkel K.M., Nelson F.E., Jones B.M., Shur Y., Kimble J.M. Application of ground-penetrating radar imagery for three-dimensional visualization of near-surface structures in ice-rich permafrost, Barrow, Alaska // Permafrost and Periglacial Processes. – 2007. – T. 18. – №.4. – C. 309–321.
11. Kolesnikov Ju.I., Fedin K.V., Ngomajezve L. O vlijanii sezonnyh izmenenij rezonansnyh svojstv pripoverhnostnyh gruntov na sejsmobeзопасnost' oorzhenij. // Sejsmostojkoe stroitl'stvo. Bezopanosť soorzhenij. – 2019. – №.3. – S. 56–64.
12. Kolesnikov Y.I., Fedin K.V. Detecting underground cavities using microtremor data: physical modelling and field experiment. // Geophys Prospect. – 2018. – 66:342-53
13. Kolesnikov Y.I., Fedin K.V., Ngomajezve L. Direct determination of resonant properties of near-surface sediments using microtremor. // Soil Dynamics and Earthquake Engineering Volume 125. – 2019. – 105739
14. Fedin K.V., Kolesnikov Y.I., Ngomajezve L. Opredelenie pustot pod betonnyimi plitami kreplenija verhovyh otkosov plotiny Novosibirskoj GJeS po akusticheskim shumam // processes in geomechanics. – 2020. – № 4 (26). – S. 970-975.
15. Eponeshnikova L., Dergach P., Duchkov A. Reducing the Cost of Microseismic Monitoring for Ensuring Safety in Mining // 82nd EAGE Annual Conference and Exhibition Workshop Programme (Amsterdam, The Netherlands, December 8-11, 2020): Abstracts. – Amsterdam, 2020. – 2020. – P. 1-5.

© К. В. Федин, А. А. Гриценко, 2021