

DOI: <https://doi.org/10.25689/NP.2021.1.89-100>

УДК 622.241

Исследование восстановления давления в межколонном пространстве при оценке технического состояния скважин

¹Нагимов В.М., ²Лоншаков М.А.

¹TGT Oilfield Services, Технологический центр, Казань, Россия

²Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия

Investigation of the of the annular pressure buildup during main-taining well integrity

¹V.M. Nagimov, ²M.A. Lonshakov

¹TGT Oilfield Services, Technology Centre, Kazan, Russia

²Kazan Federal University, Kazan, Russia

E-mail: maratlonsh@gmail.com

Аннотация. В статье представлен анализ литературы, посвященной изучению межколонного давления и основных причин его возникновения. Рассмотрены три вида процессов, влияющих на рост межколонного давления, а также степени их вклада в общую величину изменения давления. Проведены расчёты приращений температуры с течением времени в межколонном пространстве каждой исследуемой скважины при использовании специального комплекса TERMOSIM™, разработанного компанией TGT. Установлены величины изменения межколонного давления при использовании аналитической модели термодинамических процессов в остановленном переходном режиме скважины. Представлены результаты пересчёта кривой восстановления давления в межколонном пространстве работающей скважины в кривую восстановления давления в остановленном переходном режиме для четырех рассматриваемых скважин. Выявлена связь между величиной изменения межколонного давления и значениями перепада давления за сутки в совокупности с дебитом.

Ключевые слова: межколонное давление, межколонное пространство, процесс теплового расширения жидкости, спектральная шумометрия, кривая восстановления давления, аналитической модели термодинамических процессов в остановленном переходном режиме, изменение давления в межколонном пространстве, коэффициент

теплового расширения флюида, коэффициент изотермического сжатия флюида, TERMOSIMTM

Для цитирования: Нагимов В.М., Лоншаков М.А. Исследование восстановления давления в межколонном пространстве при оценке технического состояния скважин//Нефтяная провинция.-2021.-№1(25).- С.89-100. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.1.89-100>

Abstract. In the article analysis of research works focused on terms and reasons of the annular pressure buildup is presented. Three types of processes having influence on the annular pressure buildup are discussed. Increments of temperature with time in annulars are calculated using TERMOSIMTM software application. Values of annular pressure buildup were defined using the semisteady-state approach of thermodynamical processes. Annular pressure buildup curves in shut-in phase were estimated with the use of annular pressure data in flowing phase. The relationship between changes of annular pressure and pressure build-up rate was estimated.

Key words: *annular pressure, annular, process of thermal expansion, spectral noise logging, annular pressure buildup curve, semisteady-state approach of thermodynamical processes, change of annular pressure, coefficient of isobaric thermal expansion, coefficient of isothermal compressibility, TERMOSIMTM*

For citation: V.M. Nagimov, M.A. Lonshakov Issledovanie vosstanovleniya davleniya v mezhkolonom prostranstve pri ocenke tehničeskogo sostojaniya skvazhin [Investigation of the of the annular pressure buildup during main-taining well integrity]. Neftyanaya Provintsiya, No. 1(25), 2021. pp. 89-100. DOI <https://doi.org/10.25689/NP.2021.1.89-100> (in Russian)

Введение

Исследования технического состояния скважин с целью определения источника межколонного давления (МКД) традиционно проводятся в остановленной скважине. Наиболее информативным методом установления причин повышения межколонного давления является спектральная шумометрия [1]. Оценка применимости данного метода проводится путём анализа скорости изменения кривой восстановления давления (КВД) в межколонном пространстве (МКП) скважины. На практике снятие кривой восстановления давления в межколонном пространстве осуществляется в работающей скважине, при этом исследования методом спектральной шумометрии проводятся в остановленной скважине в момент интенсивного восстановления давления и температуры.

Актуальность данной проблемы заключается в том, что для достоверного анализа применимости метода спектральной шумометрии необходимо проводить оценку кривой восстановления давления (КВД) в межколонном пространстве (МКП) остановленной на несколько дней скважины, что приводит к большим экономическим потерям.

Цель данной работы заключается в пересчёте кривой восстановления давления, построенной по данным замеров в межколонном пространстве (МКП) (после его стравливания) работающей скважины, в кривую восстановления давления в остановленном переходном режиме при использовании аналитических моделей, позволяющих определить увеличение (приращение) межколонного давления.

В данной работе представлен краткий анализ работ, посвященных изучению межколонного давления и основных причин его возникновения. Проведение практических расчётов сопровождается применением аналитической модели термодинамических процессов в остановленном переходном режиме скважины (от англ. semisteady-state approach), описанной в работах [2, 3].

Объекты исследования

Объектами исследования являются четыре скважины, данные для которых представлены в табл. 1. Согласно политике конфиденциальности часть информации представлена в зашифрованном виде.

Обзор литературы

Бурение и дальнейшая эксплуатация нефтяных и газовых скважин в отдельных случаях сопровождается повышением межколонного давления. При отсутствии должного контроля возрастает вероятность разрушения обсадных колонн, а также скважины в целом [4]. Поэтому актуальной задачей является изучение основных причин повышения межколонного давления, которые можно сформулировать следующим образом:

- 1) плохое качество цементирования (негерметичность цементного кольца за обсадной колонной);
- 2) негерметичность элементов подземного и устьевого оборудования;
- 3) негерметичность эксплуатационной и лифтовой колонн [5], [6].

Наличие межколонного давления позволяет сделать предположение о возможном возникновении межколонного проявления – бесконтрольного поступления пластового флюида в межколонное пространство с его дальнейшей миграции к устью скважины [5].

Таблица 1

Данные по исследуемым скважинам

№ скважины	А	В	Д
Месторождение	Куюмбинское	им. Ю. Корчагина	
Тип добываемого флюида	нефть		
Дебит, м ³ /сут	55	500	700
Интервал перфорации, м	2600-2615	1912-1980	4860-4890
Тип флюида в межколонном пространстве	буровой раствор на водной основе		
Расположение изучаемого межколонного пространства, мм	178/245	273/406	273/406
Рассматриваемое время работы скважины до остановки, лет	2		

В замкнутом межколонном пространстве работающих высокотемпературных скважин, а также скважин высокого давления повышение межколонного давления обусловлено следующими процессами:

- 1) процесс теплового расширения жидкости, который может быть рассмотрен при соблюдении двух условий: полной герметичности межколонного пространства, а также совершенной жесткости (от англ. rigid) стенок колонн, образующих это пространство;
- 2) процесс изменения объема межколонного пространства в результате теплового расширения стали, смятия и вздутие колонн (зависит от термобарических условий);
- 3) процесс притока/оттока флюида в межколонное пространство через сквозные дефекты колонн [7].

Следует отметить, что из перечисленных процессов наибольшее влияние на повышение межколонного давления оказывает процесс теплового расширения жидкости (около 80 % от общего влияния трех факторов) [2]. Очевидно, что указанные в первом пункте условия полной герметичности межколонного пространства и совершенной жесткости стенок колонн являются идеальными и не осуществимыми на практике, поэтому исследование воздействия процесса теплового расширения жидкости на величину повышения межколонного давления проводится в начальный период времени работающей скважины, когда приток/отток флюида через негерметичности в колоннах незначителен. Изменением межколонного объема в начальный момент времени можно также пренебречь [7]. В таком случае можно считать, что отношение изменения величины давления в межколонном пространстве к приращению температуры с течением времени эквивалентно отношению коэффициента теплового расширения α к коэффициенту изотермического сжатия флюида κ в межколонном пространстве [7]. Таким образом, в случае применения модели процессов в остановленном переходном режиме скважины изменение давления в межколонном пространстве определяется выражением, которое было получено из уравнения состояния жидкости предельным переходом при времени t , стремящемся к бесконечности $t \rightarrow \infty$ (формула 1):

$$\Delta p = \frac{\alpha * \Delta T}{\kappa} \quad (1)$$

Детальные формулы определения коэффициентов α и κ представлены в работе [2]. Для отдельных типов жидкостей значение κ является табличным.

Методика исследований

Первоначально был проведен анализ исходных данных исследований скважин методом высокоточной термометрии НРТ (от англ. high

precision temperature) и методом спектральной шумометрии SNL (от англ. sound noise logging), проведенных с целью установления источника повышения межколонного давления.

В случае рассматриваемых скважин (Табл. 1) увеличение межколонного давления, несмотря на выявленные движения флюидов (нефти) через сплошные дефекты колонн скважин обусловлено, главным образом, аккумуляцией и разогревом бурового раствора на водной основе в межколонном пространстве [2]. Значения коэффициентов α и κ , равные соответственно $3 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ и $4,5 \cdot 10^{-10} \text{ Па}^{-1}$ (для бурового раствора на водной основе), были взяты из работы [3].

На первом этапе исследований были рассмотрены конструкционные особенности скважины, проведенные ремонтные работы, интерпретационные отчёты, состав добываемого флюида, а также проанализированы кривые восстановления давления, замеренные в межколонных пространствах работающих скважин, с целью выбора оптимальных участков изменения давления после стравливания, характеризующихся значительным приращением с течением времени.

На втором этапе в остановленных скважинах были рассчитаны значения температуры, уменьшающиеся с течением времени (следствие остановки разогретой скважины), при использовании специального комплекса TERMOSIMTM, разработанного компанией TGT. Программный комплекс TERMOSIMTM позволяет численно решать задачу моделирования гидродинамики потока и теплообмена между скважинной жидкостью, окружающими анизотропными породами и элементами конструкции скважины. Первоначально в программном комплексе были заданы сроки работы скважин до момента остановки, а также показания суточного дебита. Далее, в соответствии с датами проведенных замеров кривых восстановления давления в работающих скважинах, были смоделированы температурные условия в остановленных скважинах, при этом имитация остановки сква-

жины производится не менее чем за 20 часов до указанного в документации времени первого замера давления после стравливания межколонного пространства. По итогам установленных значений температур производится расчёт приращений межколонного давления согласно формуле 1 с течением времени для **устьевой** части скважин, в которой влияние давления на показания метода спектральной шумометрии наиболее значимо. Отрицательные значения приращения давления объясняются тем, что они были рассчитаны применительно к условиям остановленной скважины. Полагая, что в начальный момент времени давления скважины в двух режимах одинаковы, значения кривой восстановления давления в остановленной скважине рассчитываются как разность значений давления в работающей скважине и приращений межколонных давлений (по модулю) на каждом интервале времени.

Результаты исследований

В результате проведенного моделирования теплообмена между скважинной жидкостью и элементами конструкции скважины с учётом движения флюида через сплошные дефекты колонн по установленным в программном комплексе значениям температуры были определены приращения давления в межколонном пространстве, возникающие вследствие разогрева бурового раствора в замкнутом пространстве.

Априорные данные, представленные в виде кривых восстановления давления в межколонном пространстве работающих скважинах (после стравливания), приведены на рис. 1-3 и обозначены синим цветом. Установленные с помощью TERMOSIMTM значения температур с течением времени представлены на рис. 4-6. Согласно представленному в методике исследований алгоритму был произведен аналитический перерасчёт кривой восстановления давления в работающей скважине в кривую восстановления давления в остановленной скважине. Полученные кривые обозначены на графиках (Рис. 1-3) оранжевым цветом.

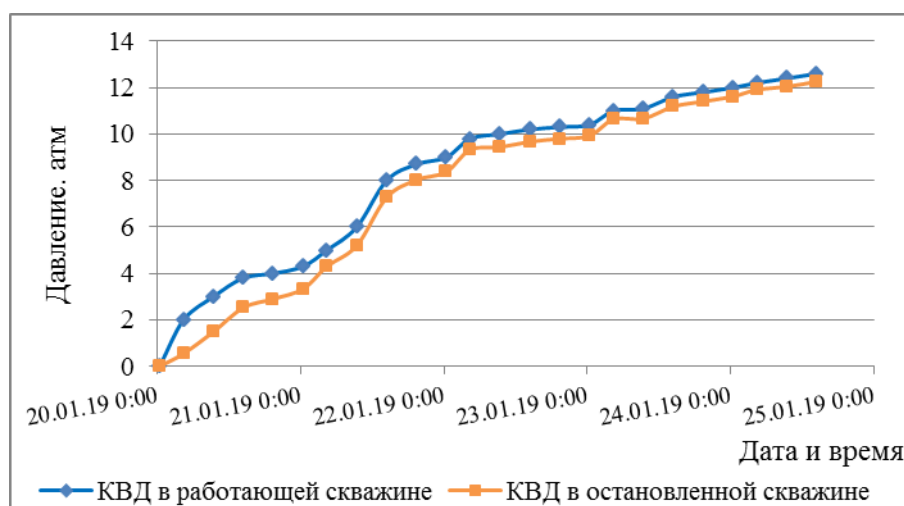


Рис. 1. Кривые восстановления давления в межколонном пространстве 178/245 мм скважины № А Куюмбинского месторождения

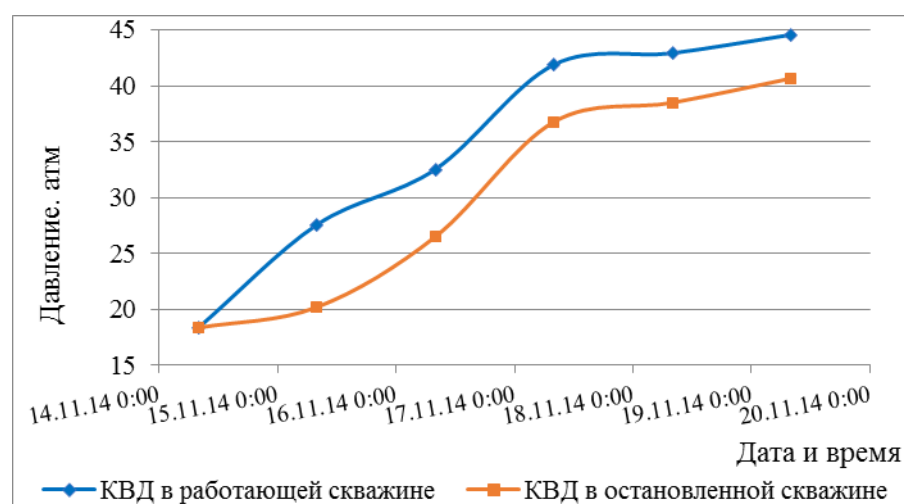


Рис. 2. Кривые восстановления давления в межколонном пространстве 273/406 мм скважины № В месторождения им. Ю. Корчагина

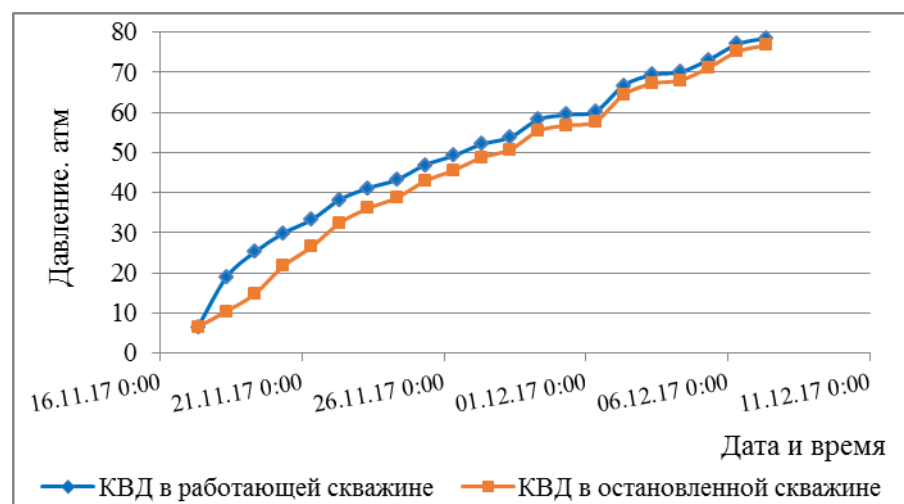


Рис. 3. Кривые восстановления давления в межколонном пространстве 273/406 мм скважины № D месторождения им. Ю. Корчагина

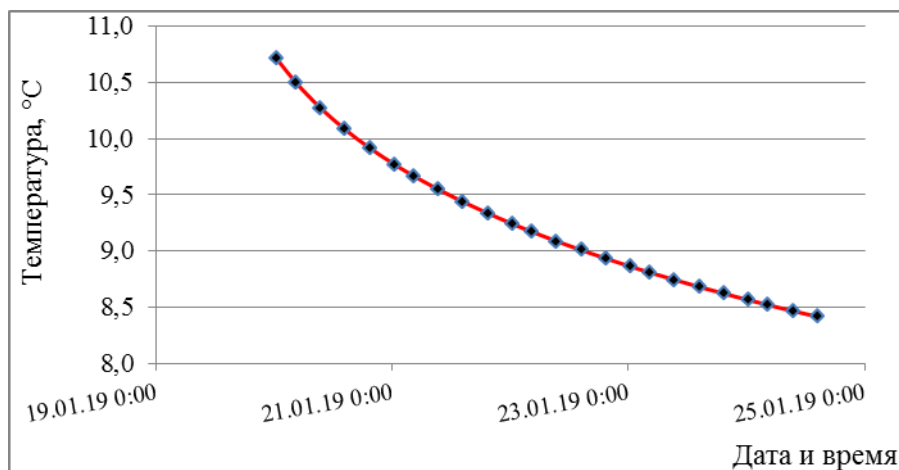


Рис. 4. Изменения температуры в межколонном пространстве 178/245 мм скважины № А Куюмбинского месторождения

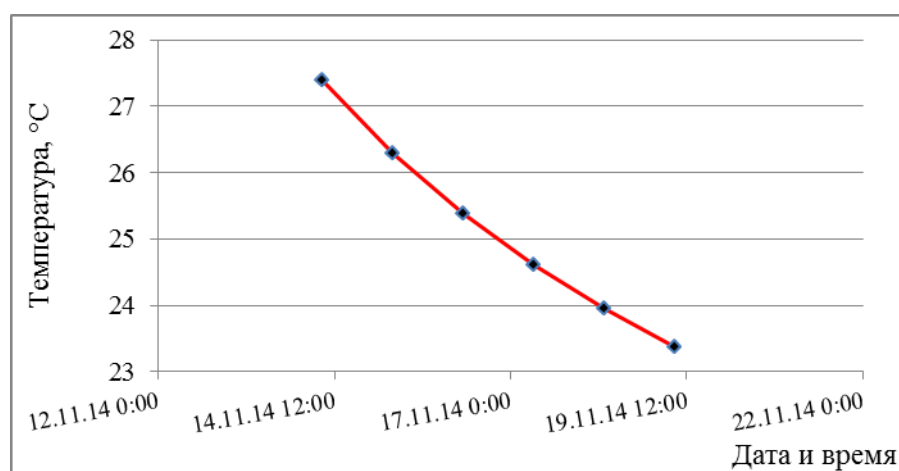


Рис. 5. Изменения температуры в межколонном пространстве 273/406 мм скважины № В месторождения им. Ю. Корчагина

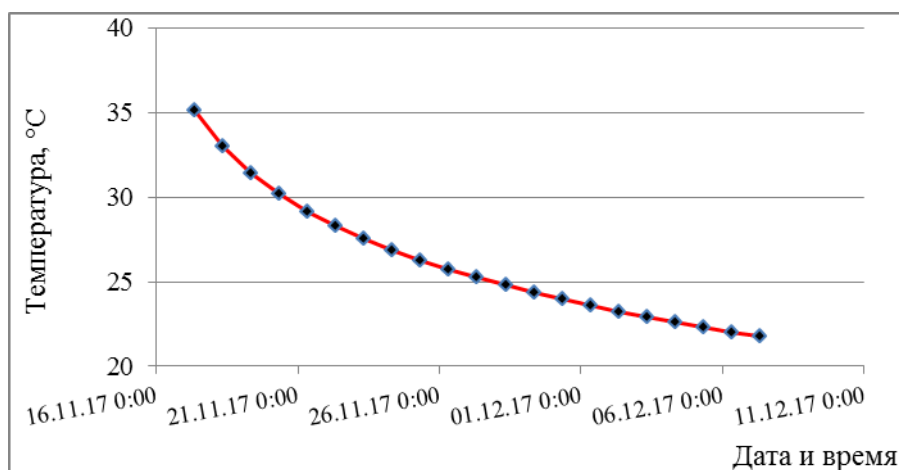


Рис. 6. Изменения температуры в межколонном пространстве 273/406 мм скважины № D месторождения им. Ю. Корчагина

Результаты рассмотрения значений максимального относительного отклонения межколонного давления (отношение максимальной разницы между значениями КВД в двух режимах к максимальному давлению в межколонном пространстве остановленной скважины) представлены в табл 3.

Таблица 3

Значения максимального относительного отклонения межколонного давления

№ скважины	Максимальное отклонение, %
A	14
B	12
D	34

Таким образом, анализ учета вклада теплового расширения в кривую восстановления давления в МКП показывает, что для перепадов давления более 4 атм/сут при достаточно большом дебите нефтяной скважины (свыше 50 м³/сут) влияние температурного расширения жидкости является весьма значительным (до 34 % согласно табл. 2). В остальных случаях при малых перепадах давления необходимы более тщательные и детальные расчёты, а также проведение дополнительных исследований с целью анализа эффекта теплового расширения жидкости в межколонном пространстве.

В дальнейшем планируются полевые выезды для замера межколонного давления в остановленных скважинах с целью сопоставления аналитических и экспериментальных КВД в остановленных скважинах.

Заключение

В статье были рассмотрены основные причины повышения межколонного давления, связанные преимущественно с негерметичностями колонн и плохим качеством цементирования. Проанализированы работы, посвященные изучению влияния процессов теплового расширения жидкости в ограниченном пространстве между колоннами работающей скважины на изменение межколонного давления. Рассмотрены особенности аналитиче-

ской модели термодинамических процессов в остановленном переходном режиме скважин, позволяющей рассчитать приращение межколонного давления с течением времени.

Пересчёт кривых восстановления давления в работающих скважинах в кривые восстановления давления в остановленных скважинах позволяет учесть влияние теплового расширения бурового раствора в межколонном пространстве на межколонное давление. Оценочная относительная разница интенсивности КВД, которая может достигать 34 %, должна учитываться при планировании промыслово-геофизических исследованиях по оценке технического состояния и поиску источников избыточного межколонного давления.

Список литературы

1. Асланян А.М., Асланян И.Ю., Масленникова Ю.С., Минахметова Р.Н., Сорока С.В., Никитин Р.С., Кантюков Р.Р. Диагностика заколонных перетоков газа комплексом высокоточной термометрии, спектральной шумометрии и импульсного нейтрон-нейтронного каротажа // Территория Нефтегаз. - 2016. - № 6. - С. 52 - 59.
2. Hasan A.R., Izgec B., Rabin C.S. Sustaining Production by Managing Annular-Pressure Buildup // SPE Production & Operations. - 2010. - V. 25, No 2. - P. 195–203.
3. Oudeman P., Bacarreza L. J. Field trial results of annular pressure behavior in a high-pressure /high-temperature well // SPE Drilling & Completion. - 1995. - No 2. - P. 1084-1088.
4. Оганов С.А. Надеин В.А. К проблеме возникновения межколонного давления в нефтегазовой скважине // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. - 2014. - № 5. -С. 29-34.
5. Горбачева О.А. Методы контроля и исследования скважин с межколонными давлениями на Астраханском на газоконденсатном месторождении//Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. - 2012.- № 1 (87). - С. 18-26.
6. Пуля Ю.А, Лукьянов В.Т., Бекух И.И. К вопросу эксплуатации скважин с межколонным давлением//Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. - 2009. - № 8. - С. 28-32.
7. Oudeman P., Kerem M. Transient behavior of annular pressure buildup in HP/HT wells // Journal of Petroleum Technology. - 2005. - V. 57, No 3. - P. 58-60.

Reference

1. Aslanyan A.M., Aslanyan I.Yu., Maslennikova Yu.S., Minakhmetova R.N., Soroka S.V., Nikitin R.S., Kantyukov R.R. *Diagnostika zakolonnih peretokov gaza kompleksom vysokotochnoj termometrii, spektral'noj shumometrii i impul'snogo nejtron-nejtronnogo karotazha* [Detection of behind-casing gas flows using integrated high-precision temperature logging, spectral noise logging, and pulsed neutron logging toolstring]. *Territorija neftegas / Oil and Gas Territory*, 2016, no. 6, pp. 52 - 59. (in Russian)
2. Hasan A.R., Izgec B., Rabin C.S. Sustaining Production by Managing Annular-Pressure Buildup. *SPE Production & Operations*, 2010, no. 25 (2), pp.195–203. (in English)

3. Oudeman P., Bacarreza L.J. Field trial results of annular pressure behavior in a high-pressure /high-temperature well. SPE Drilling & Completion, 1995, no. 2, pp. 1084-1088. (in English)
4. Oganov S.A. Nadein V.A. *K probleme vozniknoveniya mezhkolonnogo davleniya v neftegazovoj skvazhine* [Some aspects of the problem of annular pressure occurrence in an oil and gas well]. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa*, 2014, no. 5, pp. 29-34. (in Russian)
5. Gorbacheva O.A. *Metody kontrolja i issledovanija skvazhin s mezhkolonnymi davlenijami na Astrahanskom na gazokondensatnom mestorozhdenii* [Control and research of well with intercasing pressure at astrakhan gas condensate field]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefti i nefteproduktov*, 2012, no. 87, pp. 18-26. (in Russian)
6. Pulya Yu.A., Lu'yanov V.T., Bekukh I.I. *K voprosu jekspluatacii skvazhin s mezhkolonnym davleniem* [Operation of wells under casing pressure]. *Stroitel'stvo neftyanykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2009, no. 8, pp. 28-32. (in Russian)
7. Oudeman P., Kerem M. Transient behavior of annular pressure buildup in HP/HT wells. *Journal of Petroleum Technology*, 2005, vol. 57, no. 3, pp. 58-60. (in English)

Сведения об авторах

Нагимов Венер Морисович, кандидат технических наук, TGT Oilfield Services, Технологический центр
Россия, 420108, Казань, ул. Магистральная 59/1
E-mail: vener.nagimov@tgtdiagnostics.com

Лоншаков Марат Андреевич, магистрант, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет
Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, 4/5
E-mail: maratlonsh@gmail.com

Authors

V.M. Nagimov, Ph.D., TGT Oilfield Services, Technology Centre
59/1, Magistralnaya st., Kazan, 420108, Russian Federation
E-mail: vener.nagimov@tgtdiagnostics.com

M.A. Lonshakov, master's degree student, Kazan (Volga Region) Federal University
4/5, Kremlevskaya st., Kazan, 420008, Russian Federation
E-mail: maratlonsh@gmail.com

*Статья поступила в редакцию 30.10.2020
Принята к публикации 13.03.2021
Опубликована 30.03.2021*