

УДК 621.642

**К ВОПРОСУ О МЕТОДИКЕ РАСЧЕТА ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА  
РЕЗЕРВУАРОВ С ТРЕЩИНОПОДОБНЫМИ ДЕФЕКТАМИ**

**REVISITED THE METHOD OF CALCULATION OF RESIDUAL LIFE OF  
TANK WITH CRACK-LIKE DEFECTS**

Самигуллин Г.Х., Герасименко А.А.

ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный»,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

G.H. Samigullin, A.A. Gerasimenko  
FSBEI HPENational mineral Resources University,  
Saint-Petersburg, Russian Federation

e-mail: anastasiya.geras@mail.ru

**Аннотация.** В настоящее время значительная часть стальных вертикальных резервуаров близка к исчерпанию ресурса, либо полностью его выработала, поэтому оценка остаточного ресурса резервуаров после длительных сроков эксплуатации является актуальным вопросом. Для расчета остаточного ресурса резервуаров авторами предлагается методика, которая учитывает вышеуказанные недостатки.

На первом этапе прогнозирования остаточного ресурса необходимо провести расчет геометрии конструкции. При этом при моделировании необходимо учесть, что резервуар во время эксплуатации подвергается воздействию различного рода нагрузок (собственный вес элементов конструкции; избыточное внутреннее давление; гидростатическое давление хранимого продукта; снеговые нагрузки; температурные воздействия; ветровые нагрузки и т.д., которые могут изменяться по времени.) Для такого сочетания условий эксплуатационного нагружения при определении НДС РВС задача решается в трехмерной постановке с привлечением метода конечных элементов (МКЭ).

В данной статье приведен обзор методик прогнозирования остаточного ресурса резервуаров с трещиноподобными дефектами, а также предлагается новый подход к расчету числа циклов до разрушения резервуаров. Разработанная авторами методика включает в себя моделирование геометрии конструкции с трещиной с приложением реальных эксплуатационных нагрузок, расчет коэффициента интенсивности напряжений и остаточной долговечности на стадии роста трещины для конкретного резервуара.

**Abstract.** Currently, a significant part of the vertical steel tanks close to the exhaustion of the resource, or completely developed, so the assessment of residual life of the tanks after long periods of operation is a key issue. To calculate the remaining life of the tanks authors propose a technique which takes into account the above-mentioned drawbacks.

In the first stage of forecasting residual life estimation is necessary to design geometry. This must be considered when modeling the tank during operation is exposed to various kinds of loads (dead weight of the structural elements, excessive internal pressure, hydrostatic pressure of the stored product, snow load, temperature effects, wind load, etc., which may be changed by of time.) For this combination of operational loading conditions when determining the VAT PBC problem is solved in three-dimensional setting, involving the finite element method (FEM).

This article provides an overview of the methodology of forecasting residual life of the tanks with crack-like defects, as well as a new approach to the calculation of the number of cycles to failure of tanks. Methodology developed by the authors includes modeling geometry of the structure with a crack with the application of real operational loads, the calculation of the stress intensity factor and the residual life on the stage of crack growth for a particular vessel.

**Ключевые слова:** вертикальной стальной резервуар, оценка остаточного ресурса, трещиноподобные дефекты, коэффициент интенсивности напряжений.

**Keywords:** vertical steel tank, residual life assessment, crack-like defects, the stress intensity factor.

Вопросам безопасной эксплуатации вертикальных цилиндрических резервуаров (РВС) уделяется достаточно большое внимание, в связи с тем, что они представляют собой ответственные инженерные сооружения, аварии которых могут привести к экономическому и экологическому ущербу не соизмеримому со стоимостью самого сооружения, а контроль за их целостностью ведется периодически. В настоящее время большую тревогу вызывает возрастной состав резервуаров (срок эксплуатации большей части работающих РВС превышает нормативный срок службы 20-25 лет). Капитальный ремонт или демонтаж РВС требует серьезных капиталовложений, в то время как существуют многочисленные примеры достаточно продолжительной эксплуатации резервуаров с трещинами и трещиноподобными дефектами, которые не проявляют стремления к заметному росту.

В связи с этим в России проводятся многочисленные исследования остаточного ресурса резервуаров с различного рода дефектами, при этом применение находит концепция обслуживания и ремонта по техническому состоянию конкретной конструкции. По мнению авторов [1, 2], это дает возможность не только предупреждать возможные отказы, но и более правильно планировать режимы эксплуатации и профилактические мероприятия для

определенного резервуара, тем самым обеспечивая возможность отказа от дорогостоящих ремонтов и демонтажа значительной части РВС. Следует заметить, что такой подход возможен при использовании в оценке технического состояния таких программных комплексов, которые обеспечивают простоту, системность и наглядность расчета. При этом необходимо корректно сформулировать расчетную схему, обладать данными об изменении прочностных свойств металла конструкции после длительной эксплуатации, технологической картой дефектов.

Согласно [3-6] резервуар обязательно должен быть выведен из эксплуатации в ремонт при обнаружении трещин, размеры которых превышают допускаемые размеры для используемого вида неразрушающего контроля и расположены в зоне уторного шва; врезок; в вертикальных сварных монтажных швах; в нижних и верхних поясах. В случае вывода резервуара в ремонт, следует устранить все обнаруженные дефекты, независимо от срока службы резервуара и размера дефекта.

Существует мнение [7, 8, 11-15, 18-19], что степень опасности дефектов и их влияние на техническое состояние конструкции различно. Наличие крупных дефектов «заложённых» при изготовлении или монтаже не является в общем случае основанием для выбраковки и если можно доказать, что дефект не нарушает прочность элемента конструкции, то можно допустить дальнейшую эксплуатацию резервуара без ремонта.

Решение о пропуске в дальнейшую эксплуатацию резервуара с дефектом обычно обуславливается проведением дополнительного (более частого, чем обычно) неразрушающего контроля с целью мониторинга возможного роста дефекта при эксплуатации и дополнительных расчетов.

Для расчетной оценки долговечности и надежности элементов резервуаров в последние четыре десятилетия во многих работах [9-16] используют методы механики разрушения. При этом разработанные методики основываются на интегрировании зависимости скорости роста трещины  $\frac{dl}{dN}$  от изменения коэффициента интенсивности напряжений (КИН)  $\Delta K$ . На стадии стабильного роста усталостной трещины, скорость роста трещины подчиняется степенной зависимости Пэриса:

$$\frac{dl}{dN} = C(\Delta K)_i^n \quad (1)$$

где  $l$  – длина трещины,  $N$  – число циклов;  $\Delta K = K_{I\max} - K_{I\min}$  – размах коэффициента интенсивности напряжений;  $C$ ,  $n$  – коэффициенты уравнения Пэриса, определяемые экспериментальным путем для конкретного вида материала и нагружения.

В [3, 17,5, 22] остаточный ресурс стенки резервуара при малоцикловом нагружении рекомендуется рассчитывать, как сумму циклов по двум стадиям циклического разрушения:

$$N_c = N_0 + N_p \quad (2)$$

где  $N_0$  - число циклов до образования макротрещин;  $N_p$  - число циклов до образования лавинообразной трещины.

При расчете числа циклов до образования лавинообразного роста трещины, предлагается определить начальную длину трещины  $l_0$  и значение критического коэффициента интенсивности напряжений  $K_{Ic}$  экспериментально или расчетным методом. Затем определить критическую длину трещин  $l_{кр}$ , размах КИН:

$$l_{кр} = \frac{2K_{Ic}^2}{\pi\sigma} \quad (3)$$

$$\Delta K = \Delta\sigma\sqrt{0.5\pi l_{кр}} \quad (4)$$

$\Delta\sigma = \sigma_{max} - \sigma_0$  – размах действующих напряжений

Остаточный ресурс стенки резервуара на стадии развития трещины определяется числом циклов, соответствующих росту трещины от начальной длины до критической:

$$N_p = \frac{l_0^{(1-0.5n)} - l_{кр}^{(1-0.5n)}}{(0.5n-1) \cdot C \cdot (0.5\pi)^{0.5n} \Delta\sigma^n} \quad (5)$$

В методике, представленной в работах [18, 19] также используется уравнение Пэриса, но КИН предлагается рассчитывать по следующим формулам:

$$\Delta K = \Delta\sigma\sqrt{M \cdot c} \quad (6)$$

$$M = 1.21 \cdot \frac{\pi}{Q} \quad (7)$$

$$Q = 1 + 1.16 \cdot \left(\frac{c}{l}\right)^{1.65} \quad (8)$$

$c$  – глубина трещины в конструкции

Число циклов до разрушения резервуара с трещиной:

$$N = \frac{2}{(n-2) \cdot C \cdot M^{n/2} \cdot \Delta\sigma^n} \cdot \left[ \frac{1}{c_0^{(n-2)/2} - c_{кр}^{(n-2)/2}} \right] \quad (9)$$

$c_0, c_{кр}$  – начальная и критическая глубина трещины.

К сожалению, уравнения (5, 10) имеют ряд недостатков.

Во-первых, при определении механических характеристик металла  $C$  и  $n$  не указано при каких испытаниях их следует получать. Как показывают результаты экспериментальных исследований [20] значение данных коэффициентов при циклическом нагружении может существенно отличаться от значений, найденных при статическом. Также следует отметить, что в стенке резервуара поверхностные трещины и другие дефекты находятся в условиях двухосного нагружения в поле

сжимающих продольных и растягивающих кольцевых напряжений, поэтому константы  $C$  и  $n$  следует получать по результатам циклических испытаний на двухосное растяжение – сжатие.

Во-вторых, в расчетной схеме резервуар принимается как идеальный цилиндр, не учитываются изменения напряженно – деформированного состояния (НДС) в местах изменения геометрии конструкции (люки, неукрепленные отверстия, укрепляющие и накладные кольца, патрубки, трубные решетки и др.), что приводит к большой погрешности при расчетах напряжений и деформаций в конструкции.

В-третьих, в общем виде формулу для расчета КИН можно записать как

$$\Delta K_I = Y_I \Delta \sigma \sqrt{\pi l} \quad (10)$$

$Y_I$  – безразмерный коэффициент, зависящий от геометрии тела, параметров трещины и условий нагружения называемый  $K$ -тарировкой

В работах [3, 6, 17 –19, 22] значение  $K$ -тарировочной функции определено без учета реальной геометрии конструкции, фактических нагрузок и других факторов, влияющих на его значение.

Таким образом, существующие подходы не позволяют достаточно точно оценить совместное влияние условий нагружения и геометрии резервуара на остаточный ресурс.

Для расчета остаточного ресурса резервуаров нами предлагается методика, которая учитывает вышеуказанные недостатки.

На первом этапе прогнозирования остаточного ресурса необходимо провести расчет геометрии конструкции. При этом при моделировании необходимо учесть, что резервуар во время эксплуатации подвергается воздействию различного рода нагрузок (собственный вес элементов конструкции; избыточное внутреннее давление; гидростатическое давление хранимого продукта; снеговые нагрузки; температурные воздействия; ветровые нагрузки и т.д., которые могут изменяться по времени.) Для такого сочетания условий эксплуатационного нагружения при определении НДС РВС задача решается в трехмерной постановке с привлечением метода конечных элементов (МКЭ).

Результатом расчета геометрии конструкции является определение НДС основных зон резервуара: узел сопряжения стенки и днища (зона уторного шва); участки днища на расстоянии 0,5—1,2 метра от уторного шва, а также сварные швы между крайками и центральной частью днища и прилегающие к ним участки; зоны врезок приемо-раздаточных патрубков. Как показывает практика, именно в этих зонах с течением времени накапливаются повреждения, приводящие к возникновению и развитию различного рода дефектов.

Вторым этапом реализации разработанной методики является моделирование реального расположения трещины. Данная задача решается с помощью МКЭ, реализованном в программном комплексе ANSYS 14.5. Численное моделирование НДС резервуаров с вертикальными и горизонтальными

трещинами различных размеров сводится к исследованию характера напряжений, деформаций и других характеристик в области вершины трещины. Следует отметить, что вследствие значительных запасов прочности в диапазонах длин трещин, достигающих нескольких десятков и даже сотен миллиметров, пластические эффекты в вершине трещины выражены незначительно, и при инженерных расчетах ими можно пренебречь, как это было показано в работе [20].

Третий этап работы состоит в определении КИН вдоль фронта несквозной трещины в поясе. В настоящее время существует большое количество формул для расчета КИН для некоторых идеализированных геометрий конструкций и форм расположения трещин. Однако для вычисления точного значения, с учетом рассматриваемой геометрии конструкции и условий нагружения, необходимо моделировать фактическое расположение трещины и ее ориентацию в изучаемой модели. Также необходимо численным методом рассчитать К-тарировочную функцию для реальной геометрии резервуара и схемы нагружения.

Четвертый этап состоит в расчете остаточной долговечности на стадии развития повреждений. В соответствии с основными положениями механики разрушения принято, что положение фронта трещины в процессе ее развития соотносится с величиной КИН в каждой точке криволинейного контура трещины. Найденные значения упруго-пластических КИН используются в модели прогнозирования развития трещин в конструкции резервуара.

Для расчета числа циклов нагружения подрастания трещины от первоначального размера до критического необходимо произвести интегрирование уравнения Пэриса, с учетом К – тарировки в пределах от начальной глубины трещины до критической равной толщине стенки.

$$N = \int_{c_0}^{c_{кр}} \frac{dc}{C[Y_I \Delta \sigma \sqrt{\pi l}]^n} \quad (11)$$

Параметры  $C$  и  $n$  следует получать по результатам испытаний материала, из которого изготовлена конструкция, на циклическое двухосное нагружение.

## Выводы

Применяемые в настоящее время методики прогнозирования остаточного ресурса резервуаров с трещиноподобными дефектами не учитывают геометрические и физические параметры конструкции, полный спектр нагрузок и воздействий, который испытывает резервуар в процессе эксплуатации. Предлагается для расчета числа циклов до разрушения с помощью программного комплекса ANSYS, определять значение действующих напряжений и КИН для конкретного типоразмера резервуара с заданным дефектом и учетом действующих реальных нагрузок, использовать характеристики материала, полученные при двухосном нагружении. Это предоставит возможность с одной

стороны расширить пределы эксплуатации резервуаров с трещиноподобными дефектами, с другой – будет способствовать предотвращению аварий.

### Литература

1. Болотин В.В. Ресурс машин и конструкций М.: Машиностроение, 1990. 447 с.
2. Семин Е.Е., Тарасенко А.А. Использование программных комплексов при оценке технического состояния и проектирование ремонтов вертикальных стальных резервуаров// Трубопроводный транспорт. Теория и практика. 2006. №4(6) С. 85-87.
3. СА-03-008-08. Резервуары вертикальные стальные сварные для нефти и нефтепродуктов. Техническое диагностирование и анализ безопасности: (Методические указания). Введ. 2009-05-19.1-е изд. М.: Российская ассоциация экспертных организаций техногенных объектов повышенной опасности (Ассоциация Ростехэкспертиза), 2009. 288 с.
4. Правила технической диагностики резервуаров: РД-16.01-60.30.00-КТН-063-1-05. Введ. 2005-12-15. М., 2005.// [diagnostika.ru](http://diagnostika.ru).
5. Стандарт организации СТО-03-001-06 «Экспертиза промышленной безопасности стальных вертикальных сварных резервуаров для нефти и нефтепродуктов». Введ 19.05,2006. М.: Изд-во «Корина-офсет», 2007. 242 с.
6. РД-23.020.00.-КТН-296-07 Руководство по оценке технического состояния резервуаров ОАО «АК «Транснефть». Введ. 2007-11-02. М, 2007. Ч.1. 135 с.
7. Нагинаев К. Е. Прогнозирование разрушения конструкционных сталей: автореф. дисс... канд. физ.-мат. наук. СПб, 2012. 20 с.
8. Бирилло И.Н., Шкулов С.А., Аленников С.Г. Механические свойства металла стенок трубопроводов в зонах наличия трещиноподобных дефектов// Транспорт и подземное хранение газа: науч.-техн. сб. 2008. №1 С. 69-75.
9. Зимонин Е.А. Влияние сжимающей части цикла знакопеременного нагружения на усталостную долговечность элементов металлических конструкций: автореф. дисс...канд. техн. наук. Челябинск, 2010. 18 с.
10. Морозов Е.М. Расчет на прочность при наличии трещин // Прочность материалов конструкций. Киев: Наукова думка, 1975 С. 323-333.
11. Махутов Н.А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. М.: Машиностроение, 1981. 272 с.
12. Зайнуллин Р.С., Постников В.В. Несущая способность сварных сосудов с острыми поверхностными дефектами при малоцикловом нагружении// Сварочное производство. 1982. №7. С 8-10.

13. Зайнуллин Р.С., Морозов Е.М., Александров А.А. Критерии безопасного разрушения элементов трубопроводных систем. М.: Наука, 2005. 316 с.
14. Зайнуллин Р.С., Морозов Е.М. Безопасное развитие трещин в элементах оболочечных конструкций / Под ред. А.Г. Гумерова. СПб.: Недра, 2005. 168 с.
15. Зайнуллин Р.С. Несущая способность сварных сосудов с острыми поверхностными дефектами при малоцикловом нагружении// Сварочное производство. 1981. №3. С. 5-7.
16. Когаев В.П., Махутов Н.А., Гусенков А.П. Расчеты деталей машин и конструкций на прочность и долговечность: справочник. М.: Машиностроение, 1985. 224 с.
17. РД 153-112-017-97 Инструкция по диагностике и оценке остаточного ресурса вертикальных стальных резервуаров разработана АО «Нефтемонтаждиагностика». Введ. 1997-07-01. М., 1997. 31 с.
18. Нагаев Р.З. Комплексная система обеспечения безопасности эксплуатации резервуарных парков: автореф. дисс...канд. техн. наук. Уфа, 2008. 24 с.
19. Влияние дефектов на режимы и сроки безопасной эксплуатации трубопроводов и резервуаров/ Нагаев Р.З. и др. // Нефтегазовое дело. 2003. С 298-304.
20. Трощенко В.Т., Сосновский Л.А. Сопротивление усталости металлов и сплавов. Киев: Наукова думка, 1987. Ч.1 346 с.
21. Махутов Н.А. Конструкционная прочность, ресурс и техногенная безопасность. В 2ч./ Н.А. Махутов. Новосибирск: Наука, 2005. – Ч.2. Обоснование ресурса и безопасности. 610 с.
22. Трубопроводный транспорт нефти: учебник для вузов/ С.М.Вайншток [и др.]; Под ред. С. М. Вайншток. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2004. - Т. 2. 621 с.

## References

1. Bolotin V.V. Resurs mashinikonstrukcij M.: Mashinostroenie, 1990. 447 s. [in Russian].
2. Semin E.E., Tarasenko A.A. Ispol'zovanie programmnyh kompleksov pri ocenke tehničeskogo sostojanija i proektirovanie remontov vertikal'nyh stal'nyh rezervuarov // Truboprovodnyj transport. Teorija i praktika. 2006. №4(6) S. 85-87 [in Russian]
3. SA-03-008-08. Rezervuary vertikal'nye stal'nye svarnye dlja nefti i nefteproduktov.Tehničeskoe diagnostirovanie i analiz bezopasnosti: (Metodicheskie ukazanija). – Vved. 2009-05-19. 1-e izd. – Rossijskaja asociacija jekspertnyh



organizacij tehnogenykh ob'ektov povyshennoj opasnosti (Associacija Rostehjeksperitiza), M., 2009. – 288 s. [in Russian].

4. RD-16.01-60.30.00-KTN-063-1-05 Pravila tehnicheckoj diagnostiki rezervuarov. – Vved. 2005-12-15. M., 2005 [in Russian].

5. Standart organizacii STO-03-001-06 «Jekspertiza promyshlennoj bezopasnosti stal'nykh vertikal'nykh svarnykh rezervuarov dlja nefti i nefteproduktov». – Vved 19.05,2006. M.: Izd-vo «Korina-ofset», 2007. 242 s. [in Russian].

6. RD-23.020.00.-KTN-296-07 Rukovodstvo po ocenke tehnicheckogo sostoja nija rezervuarov OAO «AK «Transneft'». - Vved. 2007-11-02., 2007.Ch1. 135 s. [in Russian].

7. Naginaev K. E. Prognozirovanie razrushenija konstrukcionnykh stalej: avtoref. diss... kand. fiz.- mat. nauk. Sankt-Peterburg, 2012. 20 s. [in Russian].

8. Birillo I.N., Shkulov S.A., Alennikov S.G. Mehanicheskie svojstva metalla stenok truboprovodov v zonah nalichija treshhinopodobnykh defektov // Nauchno-tehnicheskij sbornik «Transport i podzemnoe hranenie gaza». 2008. №1 S. 69-75 [in Russian].

9. Zimonin E.A. Vlijanie szhimajushhej chasti cikla znakoperemennogo nagruženija na ustalostnuju dolgovechnost' jelementov metallicheskih konstrukcij: avtoref. diss...kand.tehn.nauk. Cheljabinsk, 2010. 18 s. [in Russian].

10. Morozov E.M. Raschet na prochnost' pri nalichii treshhin // Prochnost' materialov konstrukcij. Kiev: Naukova dumka, 1975 S. 323-333. [in Russian].

11. Mahutov N.A. Deformacionnye kriterii razrushenija i raschet jelementov konstrukcij na prochnost'. M. : Mashinsotroenie, 1981. 272 s. [in Russian].

12. Zajnullin R.S., Postnikov V.V. Nesushhaja sposobnost' svarnykh sosudov s ostrymi poverhnostnymi defektami pri malociklovom nagruženii // Svarochnoe proizvodstvo. 1982. №7. S 8-10. [in Russian].

13. Zajnullin R.S., Morozov E.M., Aleksandrov A.A. Kriterii bezopasnogo razrushenija jelementov truboprovodnykh sistem. M.: Nauka, 2005. 316 s. [in Russian].

14. Zajnullin R.S., Morozov E.M. Bezopasnoe razvitie treshhin v jelementah obolochechnykh konstrukcij / Pod red. A.G. Gumerova. SPb.:Nedra, 2005. 168s. [in Russian].

15. Zajnullin R.S. Nesushhaja sposobnost' svarnykh sosudov s ostrymi poverhnostnymi defektami pri malociklovom nagruženii // Svarochnoe proizvodstvo. 1981. №3. S. 5-7. [in Russian].

16. Kogaev V.P., Mahutov N.A., Gusenkov A.P. Raschety detalej mashin i konstrukcij na prochnost' i dolgovechnost': spravochnik. M.: Mashinostroenie, 1985. 224 s. [in Russian].

17. RD 153-112-017-97 Instrukcija po diagnostike i ocenke ostatochnogo resursa vertikal'nykh stal'nykh rezervuarov razrabotana AO "Neftemontazhdiagnostika". Vved.1997-07-01, 1997. 31 s. [in Russian].

18. Nagaev R.Z. Kompleksnaja sistema obespechenija bezopasnosti jekspluatacii rezervuarnyh parkov: avtoref. diss...kand. tehn. nauk. Ufa, 2008. 24 s. [in Russian].

19. Nagaev R.Z., Vdovin E.A., Shammazov A.M., Cenev N.K., Lukashhuk Ju.V. Vlijanie defektov na rezhimy i sroki bezopasnoj jekspluatacii truboprovodov i rezervuarov// Neftegazovoe delo. 2003. S 298-304. [in Russian].

20. Troshhenko V.T., Sosnovskij L.A. Soprotivlenie ustalosti metallov i splavov. Kiev: Naukova dumka, 1987. Ch.1 346 s. [in Russian].

21. Mahutov N.A. Konstrukcionnaja prochnost', resurs i tehnogennaja bezopasnost': V 2ch./ N.A. Mahutov. – Novosibirsk: Nauka, 2005. – Ch.2: Obosnovanie resursa ibezopasnosti. 610 s. [in Russian].

22. Truboprovodnyj transport nefti / S.M.Vajnshtok. [ i dr.] uchebnik dlja vuzov. / Pod red. S. M. Vajnshtoka: M.: ООО “Nedra-Biznescentr”, 2004. -Т.2. 621 s. [in Russian].

#### **Сведения об авторах**

Самигуллин Г. Х., канд. техн. наук, доцент, зав. кафедрой «Транспорт и хранение нефти и газа», ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

G.X. Samigullin, Ph.D, head department of «Oil and gas transportation and storage», FSBEI HPE National mineral Resources University, Russian Federation.

Герасименко А. А. аспирант кафедры «Транспорт и хранение нефти и газа», ФГБОУ ВПО «Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация.

A.A. Gerasimenko, post graduate student department of «Oil and gas transportation and storage», FSBEI HPE National mineral Resources University, Russian Federation.

e-mail: anastasiya.geras@mail.ru