

DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-2-62-68  
УДК 622.276.53-054

**М.Я. Хабибуллин, Р.И. Сулейманов, Л.З. Зайнагалина** (Уфимский  
государственный нефтяной технический университет, филиал,  
Республика Башкортостан, Российская Федерация)

## ИСПЫТАНИЕ СВАРНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ИЗ ТЕРМИЧЕСКИ УПРОЧНЕННЫХ СТАЛЕЙ СПИРАЛЬНОШОВНЫХ ТРУБ

**Marat Ya. Khabibullin, Rustem I. Suleymanov, Laysan Z. Zainagalina**  
(Ufa State Petroleum Technological University, Branch,  
Oktyabrskiy, Republic of Bashkortostan, Russian Federation)

### TEST OF WELDED CONNECTIONS FROM THERMALLY STRENGTHENED STEELS OF SPIRAL-TIERED PIPES

#### Введение

Нефтепромысловые трубопроводы представляют собой систему последовательно соединенных элементов (труб, арматуры, трубных деталей), поэтому отказ любого из них приводит к остановке транспортировки продукта и экономическим потерям.

При анализе мест разрушений сварных образцов из термически упрочненных сталей и величины относительного поперечного сужения было обнаружено, что в области значений относительной толщины «мягкой» прослойки, когда прочность сварных образцов находится на уровне термически упрочненного основного металла, разрушения происходят как по основному металлу на расстоянии от шва, так и по разупрочненному участку в зоне термического влияния.

При больших значениях - разрушение сварных образцов происходит, как правило, по разупрочненному участку вблизи сварного шва.

#### Background

Oil field pipelines are a system of sequentially connected elements (pipes, fittings, pipe parts), so the failure of any of them leads to a stop in the transportation of the product and economic losses.

When analyzing the places of destruction of welded samples of thermally hardened steels and the value of the relative transverse constriction, it was found that in the range of relative thicknesses of the «soft» layer, when the strength of the welded samples is at the level of thermally hardened base metal, destruction occurs both on the base metal at a distance from the weld, and along the weakened area in the heat-affected zone.

At large values, the destruction of welded samples occurs, as a rule, along a weakened area near the weld.

Характерной особенностью разрушений сварных образцов по разупрочненному участку является снижение относительного поперечного сужения по сравнению с тем, когда разрушение происходит по термически упрочненному основному металлу на расстоянии от шва, хотя, как известно, величина относительного поперечного сужения для термически упрочненного металла ниже, чем для нормализованного.

#### **Цели и задачи**

Разработать рекомендации по выбору параметров режима гидравлических испытаний нефтепровода на участке 266-505 км в Тюменской области.

#### **Результаты**

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также с учетом основных положений механики разрушения разработаны рекомендации по выбору параметров режима гидравлических испытаний нефтепровода на участке 266-505 км в Тюменской области.

Полученные значения глубины трещины 3.9-4.3 мм соответствуют актам технических отказов нефтепровода на участке 335-337 км.

Проведение в России и за рубежом научных исследований по повышению прочности, пластичности, трещиностойкости труб большого диаметра и их сварных соединений, уточнение методик, расчетных оценок позволит разработать новые СНиП, ГОСТ, обновить нормативно-техническую документацию, значительно сократить финансовые расходы на восстановление после аварий, реконструкцию, капитальный ремонт и обеспечить экономическую и экологическую безопасность магистральных и промысловых трубопроводов РФ.

A characteristic feature of fracture of welded specimens in a weakened area is a decrease in the relative transverse narrowing as compared to when the fracture occurs in the thermally hardened base metal at a distance from the weld, although, as is known, the value of the relative transverse narrowing for thermally hardened metal is lower than for normalized.

#### **Aims and Objectives**

To develop recommendations on the choice of parameters for the hydraulic testing of the pipeline in the area of 266-505 km in the Tyumen region.

#### **Results**

Based on the results of theoretical and experimental studies, as well as taking into account the basic principles of the fracture mechanics, recommendations have been developed for choosing the parameters of the hydraulic testing regime for an oil pipeline at a section of 266-505 km in the Tyumen region.

Crack depths obtained 3.9-4.3 mm correspond to acts of technical failures of the oil pipeline on the site 335-337 km.

Conducting scientific research in Russia and abroad to increase the strength, ductility, crack resistance of large-diameter pipes and their welded joints, refinement of methods, design estimates will allow the development of new Building Codes and Regulations, State Standards, update regulatory and technical documentation, significantly reduce financial expenses for accident recovery, reconstruction, overhaul and to ensure the economic and environmental safety of the main and field pipelines of the Russian Federation.

---

**Ключевые слова:** нефтепровод; разрушение; сварной шов; металл; разрушение; давление

**Key words:** pipeline; destruction; weld; metal; destruction; pressure

---

Нефтепромысловые трубопроводы относятся к ответственным инженерным конструкциям. Аварии и остановки промысловых технологических трубопроводов приводят не только к потере газа, нефти и нефтепродук-

тов, но и требуют затрат на ремонтно-восстановительные работы, что влечет за собой большие экономические затраты, оцениваемые в миллиарды рублей ежегодно. Разрушения трубопроводов сопровождаются

взрывами, пожарами, загрязнением водоемов, почвы и воздушного бассейна, что оказывает губительное воздействие на флору, фауну и экономику страны. Все это говорит о крайней актуальности повышения качества и надежности магистральных трубопроводов путем их гидравлических испытаний.

Проблема анализа и обеспечения безопасности нефтепроводов занимает особое место в вопросе обеспечения их надежности. Нефтепромысловые трубопроводы представляют собой систему последовательно соединенных элементов (труб, арматуры, трубных деталей), поэтому отказ любого из них приводит к остановке транспортировки продукта и экономическим потерям.

На основе теоретического анализа и критерия Свифта - Марциньяка получена формула разрушающего давления  $p_{раз}$  для спиральношовных и прямошовных труб большого диаметра с учетом коэффициента двухосности нагружения  $m$ , когда в сварном шве отсутствует контактное упрочнение [1]:

$$P_{раз} = (2/\sqrt{3})^{n+1} \sigma_B \delta S/R, \quad (1)$$

где  $S^{-1} = B^n(B^2 + C^2)^{1-\tau}$ ;

$$B = \cos^2 \omega + m \sin^2 \omega,$$

$$C = (1 - m) \sin 2\omega,$$

$$R = D_{вн}/2.$$

Для прямошовной трубы при  $\omega = 0$ ;  $B = 1$ ;  $C = 0$  получим  $S = 1$ , а для спиральношовной трубы при  $\omega = \pi/4$  получим  $S^{-1} = 0.5(1 + m)^n (5 - 6m + 5m^2)^{(1-n)/2}$ .

При наличии контактного упрочнения, характерного для сварного соединения труб большого диаметра, формула для вычисления  $S$  получается более сложной [2]:

$$S = \frac{1}{B^n(B^2 + C^2)^{(1-n)/2}} + \frac{B^{1-n} K_{упр}}{2(B^2 + C^2)^{2-n/2}}, \quad (2)$$

причем, коэффициент  $K_{упр}$  зависит от механической неоднородности соединения

$K_B = \sigma_B^T / \sigma_B^M$  и относительной толщины «мягкой» прослойки по зависимости:

$$K_{упр} = (K - 1)(1 - \tau)^2 / 2\tau, \quad (3)$$

где  $\sigma_B^T, \sigma_B^M$  – пределы прочности основного металла и «мягкой» прослойки;

$\tau = h/\delta$  – относительная толщина «мягкой» прослойки;

$h$  – ширина прослойки, и определяется твердостью сварного шва.

Известно, что при испытании сварных соединений из термически упрочненных сталей спиральношовных труб существуют зависимости механических свойств от погонной энергии спиральношовных труб, и, следовательно, от относительной толщины  $\psi$  разупрочненного участка [3].

Экспериментальные исследования [4] показывают повышение прочности сварного соединения по сравнению с прочностью разупрочненного участка действием контактного упрочнения «мягкой» прослойки.

Критические значения  $\tau_p$  для термически упрочненных сталей для мягких и жестких плавок изменяются в диапазоне 0.5-0.8.

При анализе мест разрушений сварных образцов из термически упрочненных сталей и величины относительного поперечного сужения было обнаружено, что в области значений  $\tau < 0.6-0.8$ , когда прочность сварных образцов находится на уровне термически упрочненного основного металла, разрушения происходят как по основному металлу на расстоянии от шва, так и по разупрочненному участку в зоне термического влияния. При больших значениях  $\tau$  разрушение сварных образцов происходит, как правило, по разупрочненному участку вблизи сварного шва [5].

Характерной особенностью разрушений сварных образцов по разупрочненному участку является снижение относительного поперечного сужения  $\psi$  по сравнению с тем, когда разрушение происходит по термически упрочненному основному металлу на расстоянии от шва, хотя, как известно, величина  $\psi$  для термически упрочненного металла ниже, чем для нормализованного [6].

Резкое уменьшение величины  $\psi$  при разрушении сварных образцов по разупрочненному участку объясняется тем, что в результате стесненной пластической деформации развивается жесткое напряженное состояние [4].

Из экспериментов следует, что чем меньше величина  $\tau$ , тем заметнее уменьшается значение  $\psi$ . При  $\tau = 0,4$  значение  $\psi$  при разрушении сварных образцов по разупрочненному участку в 2-3 раза меньше (10-15 %), чем при разрушении по основному термически упрочненному металлу [5]. Поэтому, обеспечивая равнопрочность сварного соединения путем уменьшения погонной энергии сварки, необходимо учитывать снижение деформационной способности разупрочненного участка в зоне термического влияния. Это может способствовать преждевременному хрупкому разрушению сварных соединений спиральношовных труб при наличии в указанной зоне концентратора напряжений [7].

При двухосном нагружении разрушение кольцевых швов спиральношовных труб происходит при меньших нагрузках по сравнению с разрушением основного металла, т.е. чрезмерно прочные участки сварных соединений приводят к потере равнопрочности [8].

*Исходные данные для определения максимального давления:*

- наружный диаметр  $D_n = 1420$  мм;
- номинальная толщина стенки спиральношовной трубы  $\delta = 15.7$  мм;
- минимальный минусовый допуск на толщину стенки  $d = 0.75$  мм;
- $\Delta t = 40$  °С;
- $\rho = 2000$  м;
- $n = 0.9$ ;
- $\sigma_T = 470$  МПа;
- $p_{зав} = 8.9$  МПа;
- $p_{раб} = 7.5$  МПа [2];
- прямолинейная труба с  $\beta = 0$ ;
- $q = \mu$ .

Найдем толщину стенки с учетом минусового допуска  $\delta = \delta' - d = 14.95$  мм; тогда внутренний диаметр  $D_{вн} = D_n - 2\delta = 1390.1$  мм.

Определим значение  $C$ :  $C = -26.2$  МПа.

По формулам из [9] находим значения давлений в самом простом случае при усло-

вии, что дефекты и овальность в трубопроводе отсутствуют, т.е. коэффициент  $K_d = 1$ ;  $N = 1$ ;  $\Delta = 0$ ;  $p_{кш}^н = 9.1$  МПа;  $p_{пв}^н = 10.7$  МПа;  $p_{экв}^н = 12.6$  МПа.

Сравнивая значения 9.1 и 8.9 МПа, находим, что  $p_{кш}^н$  в нижней точке равно 8.9 МПа.

По формулам из [10] проверяем напряжения:

$$\sigma_{кш}^н = 415 \text{ МПа} < 0,9 \sigma_T = 423 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{пв}^н = 97.5 \text{ МПа} < 470 \text{ МПа};$$

$\sigma_{экв}^н = 376 \text{ МПа} < 470 \text{ МПа}$ , но больше, чем  $0,9\sigma_T$ .

Соблюдение условий, соответствующих строительным нормам и правилам [11], приводит к снижению максимальных испытательных давлений, вызывающих напряжения, равные  $0,9\sigma_T$ , что делает неэффективными испытания на повышенные давления.

Если рассмотреть предыдущий пример и принять условие (1) из [4], то минимальное значение  $p_{экв}^н = p_n$  будет равно 8.41 МПа, что почти не отличается от испытательного давления 8.25 МПа, равного  $1,1p_{раб}$  (при  $p_{раб} = 7.5$  МПа).

Рассмотрим в качестве примера нефтепровод, расположенный в Тюменской области и построенный в 1967 г.:

диаметр 1020 мм;

толщина стенки 11 мм из стали 14ХГС с пределом прочности  $\sigma_b = 520-580$  МПа;

пределом текучести  $\sigma_T = 390-405$  МПа;

коэффициент деформационного упрочнения  $n = 0.12$ .

*Технические параметры нефтепровода следующие:*

предельное давление 6.8 МПа;

заводское испытательное давление 6.6 МПа;

проектное давление 5.5 МПа;

действующее сниженное рабочее давление 4.0 МПа [12].

Согласно актам технических отказов нефтепровода, разрушения происходят в заводском шве по линии сплавления. Причинами разрушения служат концентрация напряжений, механическая неоднородность заводского сварного шва, деформационное старе-

ние основного металла трубы, малоцикловое нагружение нефтепровода, обуславливающее появление поверхностных трещин, которые резко снижают прочность и пластичность металла сварного соединения при появлении трещин на линии сплавления [4].

Наличие в трубе зоны с пониженными прочностными и пластическими свойствами (зоны термического влияния) именно в месте максимальной концентрации напряжений в сварном шве приводит к тому, что малоцикловая трещина образуется на большом протяжении сварного шва (по актам технических отказов 0.6-3.0 м). Это объясняет тот факт, что средние разрушающие напряжения в экспериментах на плоских образцах, вырезанных поперек сварного шва из нефтепровода, составили  $\sigma_{ср} = 300-380$  МПа ( $0.75\sigma_T - 0.95\sigma_T$ ), пластические свойства снижаются (относительное удлинение  $\delta_k$  с 18.5 % до 2.9-8.5 % и относительное сужение  $\delta_k$  с 55 % до 18-20 %). Испытания образцов с надрезом по центру шва показали наличие критической глубины трещины  $l_{кр} = 3$  мм, после которой напряжения  $\sigma_{ср}$  уменьшаются прямо пропорционально нетто-сечению стенки трубы, а пластические свойства  $\delta$  резко изменяются с 22.5 % до 4.1 %,  $\psi$  падает с 60 % до 10 %.

Ударная вязкость KCV при остром надрезе составила по линии сплавления шва 0.4 МДж/м<sup>2</sup>; по центру шва 0.3 МДж/м<sup>2</sup> по основному металлу 0.75 МДж/м<sup>2</sup>.

По требованиям ТУ 143-721-78 ударная вязкость должна быть 0.4 МДж/м<sup>2</sup>, т.е. ударная вязкость сварного шва не удовлетворяет этим ТУ. Подставив полученные значения для  $\sigma_{ср}$  в формулу

$$\sigma_{кц}^и = \frac{Np_{кц}^и D}{2\delta} + \frac{3}{4} \left( \frac{D_{ср}}{\delta} \right)^2 \frac{\Delta p_{кц}^и}{[1 - (p_{кц}^и/P_E)]}, \quad (4)$$

получим зависимости разрушающих кольцевых напряжений  $\sigma_{кц}$  от длины и глубины трещины. При этом получили критические глубины трещин  $l_{кр}$ , соответствующие актам технических отказов [13].

Анализ результатов свидетельствует о том, что проектное рабочее давление 5.5 МПа приведет к разрушению, и его надо снижать.

Проведенные гидравлические испытания давлением 4.8 МПа позволяют выявить дефекты глубиной  $l_{кр} = 4.4$  мм, а испытания повышенным давлением 6 МПа (в 1.5 раза больше рабочего) – поверхностные трещины глубиной 2.2 мм, что соответствует актам технических отказов. Для данного нефтепровода может быть рекомендовано рабочее давление не более 4 МПа.

### Выводы

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований, а также с учетом основных положений механики разрушения разработаны рекомендации по выбору параметров режима гидравлических испытаний нефтепровода на участке 266-505 км в Тюменской области.

Полученные значения глубины трещины  $l_{кр} = 3.9-4.3$  мм соответствуют актам технических отказов нефтепровода на участке 335-337 км.

Рекомендации используются в Управлении магистральных нефтепроводов «Сиб-нефтепровод» ОАО «АК Транснефть» с фактическим экономическим эффектом свыше 34 млн руб. После проведения гидравлических испытаний на нескольких участках общей протяженностью 300 км повышенным давлением и ремонта нефтепровода резко снизились аварии, отказы системы, разливы нефти.

Были даны рекомендации по увеличению ресурса нефтепровода на три года [10]. На основании полученных данных для капитального ремонта нефтепровода использовали прямошовные трубы.

Проведение в России и за рубежом научных исследований по повышению прочности, пластичности, трещиностойкости труб большого диаметра и их сварных соединений, уточнение методик, расчетных оценок позволит разработать новые СНиП, ГОСТ, обновить нормативно-техническую документацию, значительно сократить финансовые расходы на восстановление после аварий, реконструкцию, капитальный ремонт и обеспечить экономическую и экологическую безопасность магистральных и промысловых трубопроводов РФ.

Список литературы

1. Зайнуллин Р.С., Гумеров А.Г., Морозов Е.М., Галюк В.Х. Гидравлические испытания действующих нефтепроводов. М.: Недра, 1990. 224 с.
2. Хабибуллин М.Я., Сулейманов Р.И., Филимонов О.В. Повышение эффективности разовых гидроимпульсных обработок призабойной зоны нагнетательных скважин // Известия высших учебных заведений. Нефть и газ. 2017. № 6. С. 113-117. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-113-117.
3. Дильман В.Л., Остсемин А.А. О влиянии двухосности нагружения на несущую способность труб магистральных газонефтепроводов // Известия РАН. Механика твердого тела. 2000. № 5. С. 179-185.
4. Aristizabal-Fontal J.E., Cortes F.B., Franco C.A. Viscosity Reduction of Extra Heavy Crude Oil by Magnetite Nanoparticle-Based Ferrofluids // Adsorption Science and Technology (Special Collection: III Workshop on Adsorption, Catalysis and Porous Materials), 2017, P. 1-23. DOI: 10.1177/0263617417704309.
5. Хабибуллин М.Я. Повышение надежности скважинного штангового насоса // Оборудование и технологии для нефтегазового комплекса. 2017. № 5. С. 39-43.
6. Гордышевский А.М., Бессараб В.В. Методика определения максимального испытательного давления в магистральных трубопроводах // Строительство трубопроводов. 1983. № 10. С. 42-43.
7. Timoshenko S.P., Gere J.M. Theory of Elastic Stability. 2nd Ed. New-York: McGraw-Hill, 1961. 280 p.
8. Khabibullin M.Y., Suleimanov R.I. Selection of Optimal Design of a Universal Device for Nonstationary Pulse Pumping of Liquid in a Reservoir Pressure Maintenance System // Chemical and Petroleum Engineering, 2018, Vol. 54, No. 3-4, P. 225-232. DOI: 10.1007/s10556-018-0467-2.
9. Остсемин А.А., Дильман В.Л. Расчет толщины стенки труб магистральных газонефтепроводов // Химическое и нефтегазовое машиностроение. 2002. № 2. С. 15-18.
10. Bushella G.C., Yan Y.D., Woodfield D., Raper J., Amal R. On Techniques for the Measurement of the Mass Fractal Dimension of Aggregates // Advances in Colloid and Interface Science, 2002, Vol. 95, P. 1-50. DOI: 10.1016/s0001-8686(00)00078-6.
11. Хабибуллин М.Я. Исследование процессов, происходящих в колонне труб при устьевой импульсной закачке жидкости в скважину // Нефтегазовое дело. 2018. Т. 16. № 6. С. 34-39. DOI: 10.17122/ngdelo-2018-6-34-39.
12. Остсемин А.А. Анализ несущей способности действующего магистрального нефтепровода при наличии дефектов в продольном сварном шве // Сварочное производство. 1998. № 9. С. 11-15.
13. Tao R., Tang H. Reducing Viscosity of Paraf

References

1. Zainullin R.S., Gumerov A.G., Morozov E.M., Galyuk V.Kh. *Gidravlicheskie ispytaniya deistvuyushchikh nefteprovodov* [Hydraulic Tests of Existing Oil Pipelines]. Moscow, Nedra Publ., 1990. 224 p. [in Russian].
2. Khabibullin M.Ya., Suleimanov R.I., Filimonov O.V. Povyshenie effektivnosti razovykh gidroimpul'snykh obrabotok prizaboinoi zony nagnetatel'nykh skvazhin [Increasing of Efficiency of Single-Time Hydroimpulse Processing of Bottomhole Zone of Injection Wells]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Neft' i gaz - The Journal «Oil and Gas Studies»*, 2017, No. 6, pp. 113-117. DOI: 10.31660/0445-0108-2017-6-113-117. [in Russian].
3. Dilman V.L., Ostsemin A.A. O vliyanii dvukhosnosti nagruzheniya na nesushchuyu sposobnost' trub magistral'nykh gazonefteprovodov [On the Effect of Biaxial Loading on the Bearing Capacity of Main Gas and Oil Pipelines]. *Izvestiya RAN. Mekhanika tverdogo tela - Mechanics of Solids*, 2000, No. 5, pp. 179-185. [in Russian].
4. Aristizabal-Fontal J.E., Cortes F.B., Franco C.A. Viscosity Reduction of Extra Heavy Crude Oil by Magnetite Nanoparticle-Based Ferrofluids. *Adsorption Science and Technology (Special Collection: III Workshop on Adsorption, Catalysis and Porous Materials)*, 2017, pp. 1-23. DOI: 10.1177/0263617417704309.
5. Khabibullin M.Ya. Povyshenie nadezhnosti skvazhinnogo shtangovogo nasosa [Improving Reliability of an Oilwell Sucker-Rod Pump]. *Oborudovanie i tekhnologii dlya neftegazovogo kompleksa - Equipment and Technologies for Oil and Gas Complex*, 2017, No. 5, pp. 39-43. [in Russian].
6. Gordyshevskii A.M., Bessarab V.V. Metodika opredeleniya maksimal'nogo ispytatel'nogo davleniya v magistral'nykh truboprovodakh [Methodology for Determining the Maximum Test Pressure in Main Pipelines]. *Stroitel'stvo truboprovodov - Pipeline Construction*, 1983, No. 10, pp. 42-43. [in Russian].
7. Timoshenko S.P., Gere J.M. *Theory of Elastic Stability. 2nd Ed.* New-York, McGraw-Hill, 1961. 280 p.
8. Khabibullin M.Y., Suleimanov R.I. Selection of Optimal Design of a Universal Device for Nonstationary Pulse Pumping of Liquid in a Reservoir Pressure Maintenance System. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2018, Vol. 54, No. 3-4, pp. 225-232. DOI: 10.1007/s10556-018-0467-2.
9. Ostsemin A.A., Dilman V.L. Raschet tolshchiny stenki trub magistral'nykh gazonefteprovodov [Calculation of Wall Thickness of Pipes of Gas and Oil Pipelines]. *Khimicheskoe i neftegazovoe mashinostroenie - Chemical and Petroleum Engineering*, 2002, No. 2, pp. 15-18. [in Russian].
10. Bushella G.C., Yan Y.D., Woodfield D., Raper J., Amal R. On Techniques for the Measurement of the Mass Fractal Dimension of Aggregates. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2002, Vol. 95, pp. 1-50. DOI: 10.1016/s0001-8686(00)00078-6.

fin Based Crude Oil with Electric Field for Oil Production and Transportation // *Fuel*. 2014. Vol. 118. P. 69-72. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.10.056.

11. Khabibullin M.Ya. Issledovanie protsessov, proiskhodyashchikh v kolonne trub pri ust'evoi impul'snoi zakachke zhidkosti v skvazhinu [Research of Processes in a Pipe String at a Wellhead Pulse Injection of Liquid to a Well]. *Neftegazovoe delo - Petroleum Engineering*, 2018, Vol. 16, No. 6, pp. 34-39. DOI: 10.17122/ngdelo-2018-6-34-39. [in Russian].

12. Ostsemin A.A. Analiz nesushchei sposobnosti deistvuyushchego magistral'nogo nefteprovoda pri nalichii defektov v prodol'nom svarnom shve [Analysis of the Bearing Capacity of an Existing Main Oil Pipeline in the Presence of Defects in a Longitudinal Weld]. *Svarochnoe proizvodstvo - Welding Production*, 1998, No. 9, pp. 11-15. [in Russian].

13. Tao R., Tang H. Reducing Viscosity of Paraffin Based Crude Oil with Electric Field for Oil Production and Transportation. *Fuel*, 2014, Vol. 118, pp. 69-72. DOI: 10.1016/j.fuel.2013.10.056.

#### Авторы

• Хабибуллин Марат Яхиевич, канд. техн. наук, доцент  
Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал, г. Октябрьский  
Доцент кафедры «Нефтепромысловые машины и оборудование»  
Российская Федерация, 452607, Республика Башкортостан, г. Октябрьский, ул. Девонская, 54 а  
e-mail: m-hab@mail.ru

• Сулейманов Рустэм Исакович, канд. техн. наук, доцент  
Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал, г. Октябрьский  
Заведующий кафедрой «Нефтепромысловые машины и оборудование»  
Российская Федерация, 452607, Республика Башкортостан, г. Октябрьский, ул. Девонская, 54 а  
e-mail: rustamsul@rambler.ru

• Зайнагилина Ляйсан Зульфаровна, канд. техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной технический университет, филиал, г. Октябрьский  
Доцент кафедры «Нефтепромысловые машины и оборудование»  
Российская Федерация, 452607, Республика Башкортостан, г. Октябрьский, ул. Девонская, 54 а

#### The Authors

• Khabibullin Marat Ya., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor  
Ufa State Petroleum Technological University, Branch, Oktyabrskiy  
Assistant Professor of Oilfield Machines and Equipment Department  
54 a, Devonskaya str., Oktyabrskiy, Republic of Bashkortostan, 452607, Russian Federation  
e-mail: m-hab@mail.ru

• Suleymanov Rustem I., Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor  
Ufa State Petroleum Technological University, Branch, Oktyabrskiy  
Head of Oilfield Machines and Equipment Department  
54 a, Devonskaya str., Oktyabrskiy, Republic of Bashkortostan, 452607, Russian Federation  
e-mail: rustamsul@rambler.ru

• Zainagalina Laysan .Z., Candidate of Engineering Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University, Branch, Oktyabrskiy  
Assistant Professor of Oilfield Machines and Equipment Department  
54 a, Devonskaya str., Oktyabrskiy, Republic of Bashkortostan, 452607, Russian Federation