

DOI: 10.17122/ntj-oil-2020-1-140-149

УДК 621.643

О.В. Смородова, С.В. Китаев, М.А. Фассахов, А.А. Гарифуллин (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПОЗИТНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ДЛЯ НЕФТЕТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ

Olga V. Smorodova, Sergei V. Kitaev, Marat A. Fassakhov, Airat A. Garifullin  
(Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

### COMPOSITE PIPELINES EFFICIENCY FOR OIL TRANSPORTATION SYSTEM

#### Введение

На привод насосного оборудования системы магистрального транспорта нефти России ежегодно потребляется электроэнергии около 1,3 % от общего электропотребления страны, что составляет более 14 млрд кВт·ч.

Для реализации целей и задач энергетической политики ПАО «Транснефть» была сформирована и реализована программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности в Компании. В соответствии с программой, только за 2018 год компания достигла экономии 18 595 т у.т на сумму 438,7 млн руб., в том числе электроэнергии – 111 764 тыс. кВт·ч на сумму 376 524 млн руб. Благодаря внедренным энергосберегающим мероприятиям потребление электроэнергии уменьшилось на 0,8 %, а энергоресурсов в целом – на 0,9 % по сравнению с 2017 годом.

Но дальнейшее сокращение затрат энергоресурсов проблематично по объективным факторам и причинам. Удельное потребление электроэнергии на транспортировку нефти находится в степенной зависимости от грузооборота, и рост последнего приведет к увеличению энергозатрат.

#### Background

About 1.3 % of the country's total electricity consumption, which is more than 14 billion kWh, is consumed annually to drive the pumping equipment of the Russian oil trunk transportation system.

To achieve the aims and objectives of the energy policy of Transneft, a program was developed and implemented to save energy and improve energy efficiency in the Company. In accordance with the program, only in 2018 the company achieved savings of 18,595 tons of standard fuel in the amount of 438.7 million rubles, including electricity – 111 764 thousand kWh for the amount of 376 524 million rubles. Thanks to the implemented energy-saving measures, electricity consumption decreased by 0.8 %, and energy resources in general – by 0.9 % compared to 2017.

But a further reduction in energy costs is problematic for objective factors and reasons. The specific energy consumption for oil transportation is a power-law dependence on cargo turnover, and an increase in the latter will lead to an increase in energy consumption.

Перекачка высоковязких, тяжелых и асфальтосмолистых нефтей, доля которых ежегодно растет в общем объеме перекачки, осуществляется с использованием сложных дорогостоящих специальных методов, требующих дополнительных затрат. В комплексе энергосберегающих мероприятий ПАО «Транснефть», намеченных стратегической программой до 2024 года, предусмотрено проведение оптимизации режимов перекачки нефти, применение частотного регулирования работы магистральных и подпорных насосов, применение специальных методов перекачки нефти и нефтепродуктов. Экономический эффект от реализации комплекса мер по снижению потребления всех видов энергоресурсов только для системы АО «Транснефть - Урал» за 2018 год составил 32,8 млн руб.

В настоящее время динамика снижения удельного потребления электроэнергии в системе магистрального транспорта нефти выходит на асимптотический уровень. В такой ситуации заметный энергетический эффект может принести внедрение только кардинально новых эффективных решений. Одним из таких направлений дальнейшего развития системы магистральных нефтепроводов авторам представляется использование композитных труб с высокой коррозионной стойкостью и минимальным гидравлическим сопротивлением.

#### **Цели и задачи**

Рассчитать эффективность композитных трубопроводов для нефтетранспортных систем.

#### **Результаты**

Энергетический эффект для обоснования решения в пользу композитной системы определен на примере условного нефтепровода протяженностью 100 км. Разработана модель зависимости энергетического эффекта от диаметра трубопровода и скорости перекачки со средней дисперсией адекватности 0,974.

Pumping high-viscosity, heavy and asphalt-tar oils, whose share is growing annually in the total volume of pumping, is carried out using complex, expensive, special methods that require additional costs. The complex of energy saving measures of Transneft PJSC, planning for by the strategic program until 2024, provides for the optimization of oil pumping modes, the use of frequency regulation of main and booster pumps, and the use of special methods for pumping oil and oil products. The economic effect of implementing a set of measures to reduce the consumption of all types of energy resources for the system of Transneft Urals, JSC alone amounted to 32,8 million rubles in 2018.

Currently, the dynamics of decreasing specific electricity consumption in the oil trunk transportation system is reaching an asymptotic level. In such a situation, the energy effect can bring the introduction of only radically new effective solutions. One of such directions for the further development of the main oil pipeline system authors see in the composite pipes with high corrosion and minimal hydraulic resistance.

#### **Aims and Objectives**

Estimate the effectiveness of composite pipelines for oil transportation systems.

#### **Results**

The energy effect for substantiating the decision in favor of the composite system is determined by the example of a conditional oil pipeline 100 km long. A model of the dependence of the energy effect on the diameter of the pipeline and the pumping speed with an average dispersion of adequacy of 0.974 was developed.

---

---

**Ключевые слова:** композитные трубы; стальные трубы; удельное энергопотребление; энергетическая эффективность; магистральные нефтепроводы

---

---

**Key words:** composite pipes; steel pipes; specific energy consumption; energy efficiency; oil trunk pipelines

---

---

Затраты на энергетические ресурсы для основного технологического процесса составляют существенную долю всех оплаченных ресурсов ПАО «Транснефть» - около 97,6 % [1]. Всего за 2018 год было затрачено более 51,2 млн руб. на энергетические ресурсы всех объектов нефтетранспортной системы, из них около 50 млн руб. - на энергетические ресурсы основного технологического процесса (рисунок 1).

В условиях увеличения тарифов и суммарных затрат на энергетические носители их неэффективное потребление недопустимо. Текущая и перспективная деятельность в области повышения энергетической эффективности отражена в Программе ПАО «Транснефть».

Создание базы мероприятий позволило выработать системные требования к реализации энергосберегающих решений. Установлено, что ключевым направлением реализации программы энергосбережения является оптимизация технологического процесса перекачки нефти и нефтепродуктов.

К техническим решениям в этом направлении относятся следующие мероприятия:

- оптимизация технологических режимов перекачки;
- подбор оптимального диаметра рабочих колес роторов;
- замена насосов и электродвигателей на более эффективные;
- применение частотно-регулируемого привода (ЧРП) насосов;
- добавление противотурбулентных и депрессорных присадок в поток перекачиваемой среды.

За период с 2009 года получены первые результаты реализации энергосберегающих мероприятий и разработаны перспективные тренды удельных показателей (рисунок 2) [2].

Реализация разработанных к внедрению энергосберегающих решений в период 2009-2018 гг. привела к снижению удельного потребления электроэнергии на транспортировку нефти на 17 % и снижению затрат на те же цели 7,29 млрд руб. [3].

Однако в последние годы (рисунок 2) снижение удельного потребления энергоза-

трат на перекачку магистральных потоков становится все менее существенным [4]. За период с 1997 года основная масса энергосберегающих решений внедрена и для существующей конструкции трубопроводной системы энергоэффективность практически достигла своего максимального значения [5].

В такой ситуации чтобы далее развивать тенденцию снижения энергозатрат, необходимо внедрять более современные и эффективные мероприятия [6].

Авторами предлагается заменить материал трубопроводов на более эффективный и экономически выгодный [7].

В качестве альтернативного материала стальным трубопроводам, которые на сегодняшний день активно используются для транспортировки нефти и газа и продуктов их переработки, в последнее время большее применение находят композитные трубы на основе полиэтилена PERT, армированного синтетическим волокном [8, 9].

Как показала практика (таблица 1), использование таких труб обуславливается следующими преимуществами [10, 11]: более высокая удельная прочность; устойчивость к воздействию внешних агрессивных и химически активных сред, в том числе к коррозии; повышенный срок эксплуатации; небольшая масса труб, что существенно облегчает транспортировку и строительные-монтажные работы; нулевая адгезионная способность, минимальная из всех известных шероховатость [12, 13].

На сегодняшний день многие российские компании проводят испытания композитных труб [14-16]. Всего в России, по данным ПАО «Татнефть», в эксплуатации находится не более 250 км композитных трубопроводов (например на месторождениях ОАО «Славнефть» 75 км, в ОАО «ТНК»-Нижневартовск) - 57 км). Такое ограниченное использование композитных труб в России обусловлено практическим отсутствием нормативной базы в области проектирования, сооружения и эксплуатации труб в нефтяной промышленности [17]. Тем не менее, опыт других стран показывает перспективность развития этого направления (рисунок 3). В балансе сбыта композитных труб США нефтя-

ная промышленность составляет 35 % рынка страны.

В России практические шаги в направлении внедрения композитных труб предпринимает газовая промышленность.

В ПАО «Газпром» намечены два пилотных объекта для апробирования композитных труб. Это резервный газопровод-отвод протяженностью 90 км в Ямало-Ненецком автономном округе (DN300, 700 и 1000 мм с рабо-

чим давлением 7,5 МПа) и подводный переход через реку Обь длиной 14 км «Ямбург - Тула-2» в Ханты-Мансийском автономном округе (DN1200 мм с рабочим давлением 7,5 МПа).

Определение комплекса интегральных показателей экономической эффективности показало, что преимущество композитных газопроводов по сравнению со стальными находится на уровне 40 % [18].

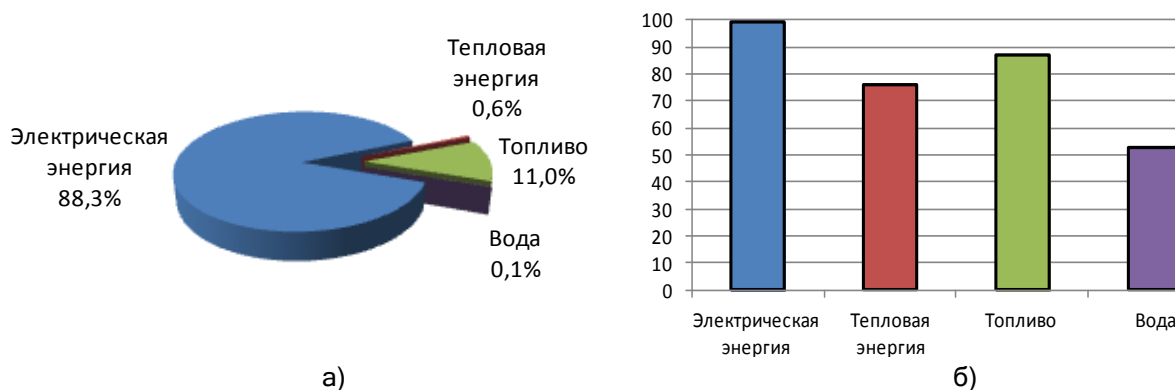


Рисунок 1. Затраты на покупку энергетических ресурсов у сторонних поставщиков для основного технологического процесса магистрального транспорта нефти, 2018 г.

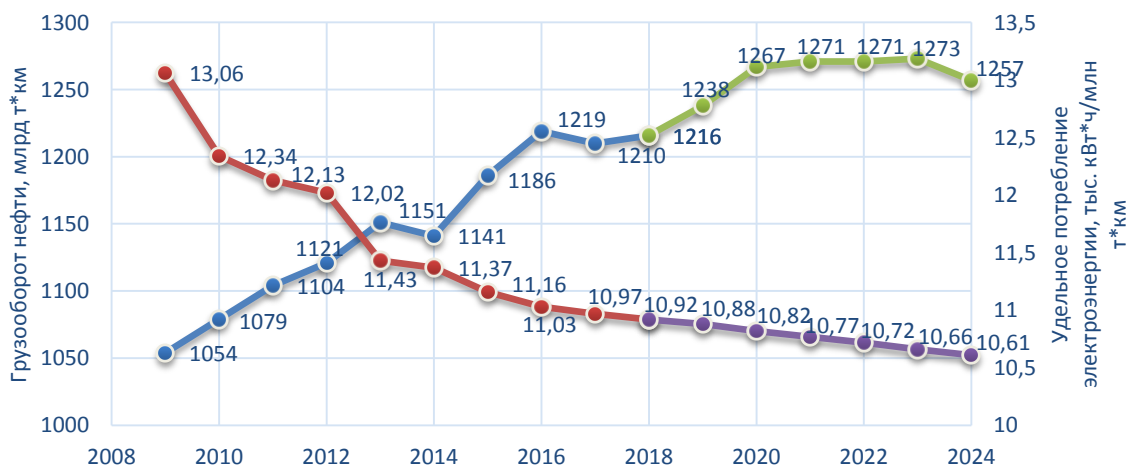


Рисунок 2. Результаты и перспективы реализации Программы энергосбережения и повышения энергетической эффективности ПАО «Транснефть», 2009-2024 гг.

Таблица 1. Зарубежный опыт применения композитных трубопроводов в нефтегазовой отрасли

Объект	Марка труб	D, мм	L, км	Среда	P, МПа
Cessford (провинция Альберта, Канада), 2006 г.	FP300	51	92	газ	-
Месторождение Cooper basin в провинции Queensland (Австралия), 2013 г.	PMI	101	170	сырая нефть	-
Полуостров Кенай близ Анкор Поинт (штат Аляска, США), 2011 г.	North Fork	114,3	12	газ	-
Месторождение Solimões Basin (Амазония, Бразилия)	FlexSteel	101 и 152	104	газ	10,3-15,5
Нефтегазовая компания (север штата Техас, США)	Fiberspar LinePipe	63	650	нефтегазовая смесь	17,2
AltaGas Utilities Inc. (Северная Альберта, Канада), 2006 г.	ANSI 300	76	7,7	сжиженный газ	9,93

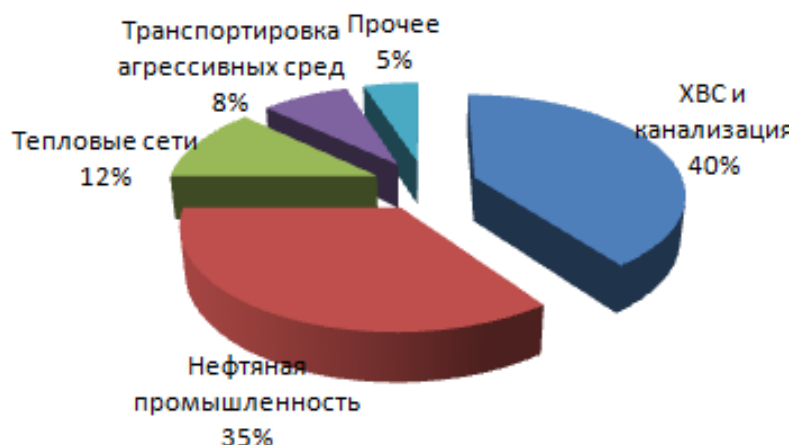


Рисунок 3. Сегменты сбыта композитных труб США (2016 г.)

Кроме долговечности из-за неподверженности коррозионным разрушениям композитные трубопроводы несут гарантированную энергетическую эффективность. Минимальная шероховатость композитных труб - 0,0015 мм - обеспечивает существенное снижение затрат электроэнергии на привод ма-

гистральных и подпорных нефтяных насосов. Оценка ожидаемого энергетического эффекта от их использования в трубопроводных системах выполнена авторами в работах [10, 18, 19]. В частности, учет совокупных годовых затрат на работу инженерных трубопроводных систем обеспечивает композитам по

сравнению со сталью практически 3-кратное экономическое преимущество.

Оценка возможного энергетического эффекта для магистральных нефтепроводов требует отдельного обоснования в связи с высокой вязкостью и прочими специфическими реологическими свойствами нефти. В статье приводим результаты расчетов при перекачке нефти плотностью  $850 \text{ кг/м}^3$  и вязкостью  $50 \text{ мм}^2/\text{с}$ . Коэффициент эквивалентной шероховатости труб принят для стальных труб после нескольких лет эксплуатации -  $0,5 \text{ мм}$ , для композитных труб -  $0,0015 \text{ мм}$ . Результаты расчетов экономии мощности перекачивающих насосов представлены в зависимости от скорости нефти в магистральном трубопроводе. Диапазон скоростей течения нефти принят от  $1,0$  до  $3,5 \text{ м/с}$  (рисунок 4, а).

Моделирование многопараметрической зависимости энергетического эффекта от скорости течения и диаметра нефтепровода выполнено на основе рекомендаций авторов [20]. Как показано в работе, эффективное использование метода возможно для функций определенного типа. В частности, недопустима прямая реализация моделирования, если функция исходных данных хотя бы на одном краю исследуемого интервала безгранично увеличивается.

В нашем случае эффект  $\Theta \rightarrow \infty$  при увеличении скорости течения нефти.

Эта ситуация, по рекомендациям авторов [20], разрешается преобразованием исходных данных к функции  $\Theta_1$ :

$$\Theta_1 = \frac{\Theta}{\Theta + 1}.$$

Результаты преобразования приведены на рисунке 4, б.

Реализация метода сводится к нахождению модельной функции  $f$  по формуле:

$$f = (\Theta_1 - \Theta_{10}) / (\Theta_{1\infty} - \Theta_{10}),$$

где функции  $\Theta_{10}$  и  $\Theta_{1\infty}$  представляют собой граничные условия задачи (рисунок 5, а):

$$\begin{aligned} \Theta_{10} &= \Theta_{10}(\text{DN}) \text{ при } w = w_{\min} = 1,0 \text{ м/с,} \\ \Theta_{1\infty} &= \Theta_{1\infty}(\text{DN}) \text{ при } w = w_{\max} = 3,5 \text{ м/с.} \end{aligned}$$

Аналитические выражения для  $\Theta_{10}$  и  $\Theta_{1\infty}$  определены стандартным методом наименьших квадратов.

В соответствии с формулой расчета, модельная функция  $f$  (рисунок 5, б) при любых значениях диаметров нефтепровода DN  $f = 0$  при  $w = w_{\min}$ , и  $f = 1$  при  $w = w_{\max}$ .

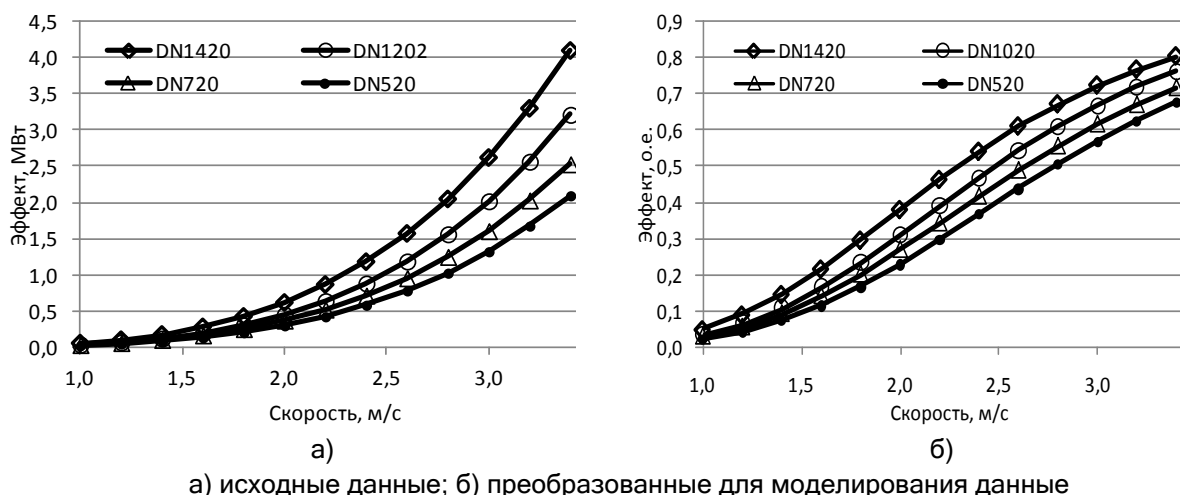
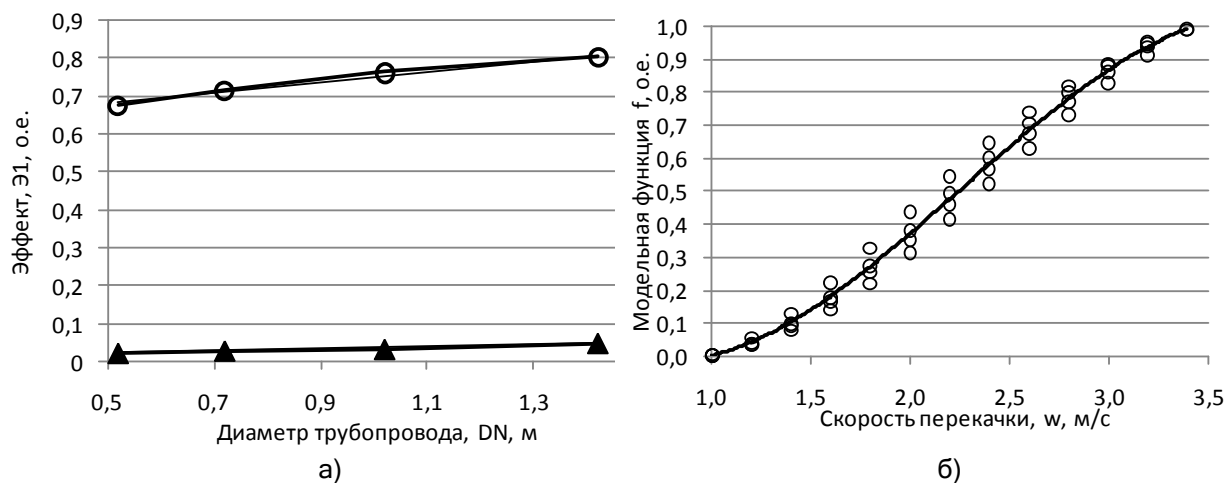


Рисунок 4. Энергетический эффект от использования композитных трубопроводов для участка 100 км



а) граничные условия задачи; б) модельная функция

Рисунок 5. Реализация моделирования энергетического эффекта

В результате реализации алгоритма получена аналитическая зависимость преобразованного эффекта  $\mathcal{E}_1$  от диаметра нефтепровода DN, м, и скорости перекачки  $w$ , м/с:

$$\mathcal{E}_1 = 0,0073 + 0,0281DN + (0,6 + 0,1 \cdot DN) \times (0,248 - 0,717w + 0,551w^2 - 0,081w^3).$$

Энергетический эффект в абсолютных величинах находится обратным преобразованием:

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 / (1 - \mathcal{E}_1).$$

Точность моделирования в смысле дисперсии адекватности составляет в среднем  $R^2 = 0,974$ .

#### Список литературы

1. Долгосрочная программа развития ПАО «Транснефть». Программа энергосбережения и повышения энергетической эффективности ПАО «Транснефть» 2016-2021 гг. М.: ПАО «Транснефть», 2016. 180 с.

#### Выводы

1. В условиях продолжительной эксплуатации нефтетранспортных систем потенциал энергосбережения малозатратных и беззатратных решений практически исчерпан. В таких условиях одним из перспективных направлений дальнейшего повышения энергоэффективности является использование нефтепроводных труб из композитных материалов.

2. Энергетический эффект для обоснования решения в пользу композитной системы определен на примере условного нефтепровода протяженностью 100 км.

Разработана модель зависимости энергетического эффекта от диаметра нефтепровода и скорости перекачки со средней дисперсией адекватности 0,974.

#### References

1. *Dolgosrochnaya programma razvitiya PAO «Transneft». Programma energosberezheniya i povysheniya energeticheskoi effektivnosti PAO «Transneft» 2016-2021 gg.* [Long-Term Development Program of Transneft. Energy Saving and En-

2. Гумеров А.Г., Борисов К.А., Козловский А.Ю. Внедрение энергосберегающих технологий в трубопроводном транспорте нефти и нефтепродуктов // Нефтяное хозяйство. 2007. № 3. С. 85-88.
3. Ревель-Муроз П.А. Обеспечение энергосбережения в магистральном нефтепроводном транспорте применением инновационных энергосберегающих технологий // Трубопроводный транспорт-2015: матер. X междунар. учеб.-практ. конф. Уфа: УГНТУ, 2015. С. 181-182.
4. Зайцев Н.Л., Гумеров К.М. Проблемы оценки остаточного ресурса магистральных трубопроводов // Нефтегазовое дело. 2017. Т. 15. № 1. С. 114-119.
5. Азметов Х.А., Павлова З.Х., Азметов Х.Х. Обеспечение надёжности и безопасности магистральных нефтепроводов // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2019. № 5. С. 83-94. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-5-83-94
6. Цахадая Н.Д., Ягубов З.Х. Стеклопластиковая труба для транспортировки нефти и газа // Электронный научный журнал Нефтегазовое дело. 2012. № 3. С. 136-144. URL: [http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Tskhadaya/Tskhadaya\\_1.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Tskhadaya/Tskhadaya_1.pdf) (дата обращения: 14.01.2020).
7. Ермилова А.И., Битт В.В., Быстрикова Д.В., Ушакова О.Б., Калугина Е.В. Современные полимерные композиционные материалы для трубопроводных систем. Проблемы проницаемости // Конструкции из композиционных материалов. 2017. № 4 (148). С. 75-81.
8. Ягубов Э.З. оглы. Разработка принципов обеспечения конструктивной надёжности нефтегазопроводных систем на основе коррозионно-стойких композиционных труб: дис. ... д-ра техн. наук. Ухта: УГТУ, 2012. 315 с.
9. Hocheng H. Machining Technology for Composite Materials: Principles and Practice. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2011. 488 p.
10. Байков И.П., Смородова О.В., Китаев С.В. Энергетическая эффективность нанокomпозитных трубопроводов // Нанотехнологии в строительстве. 2018. Т. 10. № 3. С. 20-36. URL: [http://nanobuild.ru/ru\\_RU/journal/Nanobuild-3-2018/20-36.pdf](http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild-3-2018/20-36.pdf) (дата обращения: 14.01.2020). DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-3-20-36.
11. Morland K., Weller B. The Use of Reinforced Thermoplastic Pipe (RTP) in Liquid Hydrocarbon Transfer: An Australian Case Study // 15th Middle East Corrosion Conference and Exhibition. Manama, Kingdom of Bahrain, 2014.
12. Alan L., Geiger J., Andrew Walker M.S. The Processing and Properties of Discontinuously Reinforced Aluminum Composites // The Journal of The Minerals, Metals and Materials Society. 1991. Vol. 43. Issue 8. P. 8-15.
13. Harris B. Fatigue in Composites. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2003. 742 p.
14. Kolzov G.V., Yanovsky Yu.G., Zaikov G.V. Synergetics and Fractal Analysis of Polymer Composites Filled with Short Fibers. New York: Nova Science Publishers, 2011. 223 p.
- energy Efficiency Improvement Program of Transneft PJSC 2016-2021]. Moscow, PAO «Transneft» Publ., 2016. 180 p. [in Russian].
2. Gumerov A.G., Borisov K.A., Kozlovskii A.Yu. Vnedrenie energosberegayushchikh tekhnologii v truboprovodnom transporte nefiti i nefteproduktov [Introduction of Energy-Saving Technologies in Pipeline Transport of Oil and Oil Products]. *Neftyanoe khozyaistvo - Oil Industry*, 2007, No. 3, pp. 85-88 [in Russian].
3. Revel-Muroz P.A. Obespechenie energosberezheniya v magistral'nom nefteprovodnom transporte primeneniem innovatsionnykh energosberegayushchikh tekhnologii [Ensuring Energy Conservation in Oil Trunk Pipelines Using Innovative Energy-Saving Technologies]. *Materialy X mezhdunarodnoi uchebno-prakticheskoi konferentsii «Truboprovodnyi transport -2015»* [Materials of the X International Educational-Practical Conference «Pipeline Transport - 2015»]. Ufa, UGNTU Publ., 2015, pp. 181-182 [in Russian].
4. Zaitsev N.L., Gumerov K.M. Problemy otsenki ostatocnogo resursa magistral'nykh truboprovodov [Evaluation of Residual Life of Pipelines]. *Neftegazovoe delo - Petroleum Engineering*, 2017, Vol. 15, No. 1, pp. 114-119 [in Russian].
5. Azmetov Kh.A., Pavlova Z.Kh., Azmetov Kh.Kh. Obespechenie nadezhnosti i bezopasnosti magistral'nykh nefteprovodov [Oil Trunk Pipelines Reliability and Safety]. *Problemy sбора, podgotovki i transporta nefiti i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2019, No. 5, pp. 83-94. DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-5-83-94 [in Russian].
6. Tskhadaya N.D., Yagubov Z.Kh. Stekloplastikovaya truba dlya transportirovki nefiti i gaza [Use of Glass-Reinforced Plastic Pipes in the Transportation of Natural Gas and Oil]. *Elektronnyi nauchnyi zhurnal Neftegazovoe delo - Electronic Scientific Journal «Oil and Gas Business»*, 2012, No. 3, pp. 136-144. URL: [http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Tskhadaya/Tskhadaya\\_1.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/Tskhadaya/Tskhadaya_1.pdf) (accessed 14.01.2020). [in Russian].
7. Ermilova A.I., Bitt V.V., Bystrikova D.V., Ushakova O.B., Kalugina E.V. Sovremennye polimernye kompozitsionnye materialy dlya truboprovodnykh sistem. Problemy pronitsaemosti [Modern Polymer Composite Materials for Pipeline Systems. Permeability Problems]. *Konstruktsii iz kompozitsionnykh materialov - Composite Materials Constructions*, 2017, No. 4 (148), pp. 75-81. [in Russian].
8. Yagubov E.Z. ogly. *Razrabotka printsipov obespecheniya konstruktivnoi nadezhnosti neftegazoprovodnykh sistem na osnove korrozionnostoikikh kompozitnykh trub: dis. d-ra tekhn. nauk* [Development of Principles for Ensuring the Structural Reliability of Oil and Gas Pipeline Systems Based on Corrosion-Resistant Composite Pipes: Doc. Engin. Sci. Diss.]. Ukhta, UGTU Publ., 2012. 315 p. [in Russian].
9. Hocheng H. *Machining Technology for Composite Materials: Principles and Practice*. Cambridge,



15. Фаттахов М.М., Терегулов Р.К., Шаммазов И.А., Мастобаев Б.Н., Мовсум-заде Э.М. Транспорт углеводородного сырья по трубопроводам из полимерных и композитных материалов. СПб.: Недра, 2011. 288 с.
16. Агапчев В.И., Виноградов Д.А., Фаттахов М.М. Трубопроводные системы из труб на основе полимерных материалов: строительство, эксплуатация, реконструкция, ремонт. М.: ИНТЕР, 2007. 339 с.
17. Ягубов Э.З., Ягубов З.Х. Проблемы применения композиционных труб в нефтегазовой отрасли и пути их решения // Академический журнал Западной Сибири. 2014. Т. 10. № 4 (53). С. 33.
18. Смородова О.В., Костарева С.Н., Байков И.Р., Башарова Л.Р. Эффективность композитных трубопроводов для газотранспортных систем // Сетевое издание «Нефтегазовое дело». 2019. № 1. С. 201-217. URL: [http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/1\\_2019/ogbus\\_1\\_2019\\_p201-217.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/1_2019/ogbus_1_2019_p201-217.pdf) (дата обращения: 14.01.2020).
19. Smorodova O.V., Kitaev S.V., Baikov I.R. Composite Gas Pipelines: Prospects of Energy Conservation // Journal of Physics: Conference Series. Problems of Energy Systems and Thermal Power Complexes: 14th International Scientific and Technical Conference. Saratov, Russian Federation. 2018. Vol. 1111. P. 012069. DOI: 10.1088/1742-6596/1111/1/012069.
20. Байков И.Р., Жданова Т.Г., Гареев Э.А. Моделирование технологических процессов трубопроводного транспорта нефти и газа. Уфа: УНИ, 1994. 128 с.
- Woodhead Publishing Limited, 2011. 488 p.
10. Baikov I.R., Smorodova O.V., Kitaev S.V. Energeticheskaya effektivnost' nanokompozitnykh truboprovodov [Nanocomposite Pipelines Energy Efficiency]. *Nanotekhnologii v stroitel'stve - Nanotechnologies in Construction*, 2018, Vol. 10, No. 3, pp. 20-36. URL: [http://nanobuild.ru/ru\\_RU/journal/Nanobuild-3-2018/20-36.pdf](http://nanobuild.ru/ru_RU/journal/Nanobuild-3-2018/20-36.pdf) (accessed 14.01.2020). DOI: 10.15828/2075-8545-2018-10-3-20-36. [in Russian].
11. Morland K., Weller B. The Use of Reinforced Thermoplastic Pipe (RTP) in Liquid Hydrocarbon Transfer: An Australian Case Study. *15th Middle East Corrosion Conference and Exhibition*. Manama, Kingdom of Bahrain. 2014.
12. Alan L., Geiger J., Andrew Walker M.S. The Processing and Properties of Discontinuously Reinforced Aluminum Composites. *The Journal of The Minerals, Metals and Materials Society*, 1991, Vol. 43, Issue 8, pp. 8-15.
13. Harris B. *Fatigue in Composites*. Cambridge, Woodhead Publishing Limited, 2003. 742 p.
14. Kolzov G.V., Yanovsky Yu.G., Zaikov G.V. *Synergetics and Fractal Analysis of Polymer Composites Filled with Short Fibers*. New York, Nova Science Publishers, 2011. 223 p.
15. Fattakhov M.M., Teregulov R.K., Shammazov I.A., Mastobaev B.N., Movsum-zade E.M. *Transport uglevodorodnogo syr'ya po truboprovodam iz polimernykh i kompozitnykh materialov* [Hydrocarbon Transport through Pipelines of Polymer and Composite Materials]. Saint-Petersburg, Nedra Publ., 2011. 288 p. [in Russian].
16. Agapchev V.I., Vinogradov D.A., Fattakhov M.M. *Truboprovodnye sistemy iz trub na osnove polimernykh materialov: stroitel'stvo, ekspluatatsiya, rekonstruktsiya, remont* [Piping Systems from Pipes Based on Polymeric Materials: Construction, Operation, Reconstruction, Repair]. Moscow, IPTER Publ., 2007. 339 p. [in Russian].
17. Yagubov E.Z., Yagubov Z.Kh. Problemy primeneniya kompozitsionnykh trub v neftegazovoi otrasli i puti ikh resheniya [Problems of Using Composite Pipes in the Oil and Gas Industry and Ways to Solve them]. *Akademicheskii zhurnal Zapadnoi Sibiri - Academic Journal of West Siberia*, 2014, Vol. 10, No. 4 (53), pp. 33. [in Russian].
18. Smorodova O.V., Kostareva S.N., Baikov I.R., Basharova L.R. Effektivnost' kompozitnykh truboprovodov dlya gazotransportnykh sistem [Composite Pipelines Efficiency for Gas Transportation System]. *Setevoe izdanie «Neftegazovoe delo» - Online Edition «Oil and Gas Business»*, 2019, No. 1, pp. 201-217. URL: [http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/1\\_2019/ogbus\\_1\\_2019\\_p201-217.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/1_2019/ogbus_1_2019_p201-217.pdf) (accessed 14.01.2020). [in Russian].
19. Smorodova O.V., Kitaev S.V., Baikov I.R. Composite Gas Pipelines: Prospects of Energy Conservation. *Journal of Physics: Conference Series. 14th International Scientific and Technical Conference «Problems of Energy Systems and Thermal Power Complexes»*. Saratov, Russian Federation, 2018, Vol. 1111, pp. 012069. DOI: 10.1088/1742-6596/1111/1/012069.

20. Baikov I.R., Zhdanova T.G., Gareev E.A. *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov truboprovodnogo transporta nefti i gaza* [Modeling of Technological Processes of Pipeline Transport of Oil and Gas]. Ufa, UNI Publ., 1994. 128 p. [in Russian].

#### Авторы

• Смородова Ольга Викторовна, канд техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Доцент кафедры «Промышленная  
теплоэнергетика»  
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: olga\_smorodova@mail.ru

• Китаев Сергей Владимирович, д-р техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Профессор кафедры «Транспорт и хранение  
нефти и газа»  
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: svkitaev@mail.ru

• Фассахов Марат Артурович  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Студент кафедры «Транспорт и хранение нефти  
и газа»  
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: marat.fassakhov98@mail.ru

• Гарифуллин Айрат Андалисович  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Студент кафедры «Транспорт и хранение нефти  
и газа»  
Российская Федерация, 450064, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: ayrat.garifullin@yahoo.com

#### The Authors

• Smorodova Olga V., Candidate of Engineering  
Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Assistant Professor of Industrial Heat and Power  
Engineering Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,  
Russian Federation  
e-mail: olga\_smorodova@mail.ru

• Kitaev Sergei V., Doctor of Engineering Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Professor of Oil and Gas Transportation and Storage  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,  
Russian Federation  
e-mail: svkitaev@mail.ru

• Fassakhov Marat A.  
Ufa State Petroleum Technological University  
Student of Oil and Gas Transportation and Storage  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,  
Russian Federation  
e-mail: marat.fassakhov98@mail.ru

• Garifullin Airat A.  
Ufa State Petroleum Technological University  
Student of Oil and Gas Transportation and Storage  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450064,  
Russian Federation  
e-mail: ayrat.garifullin@yahoo.com