DOI: 10.31660/0445-0108-2020-5-64-73

УДК 621.314:622.276.054

Расчет температуры обмотки погружного электродвигателя УЭЦН

Е. Ю. Москвина*, В. В. Пивень

Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, Россия
**e-mail: moskvinaej@tyuiu.ru*

Аннотация. Для качественной работы погружного электродвигателя с большим межремонтным периодом нужны средства контроля и регулирования этой работы. Существуют некоторые осложнения эксплуатации установки электроцентробежного насоса (УЭЦН). Одно из них — тепловое взаимодействие скважинной жидкости и узлов и деталей УЭЦН, приводящее к выходу из строя и ремонту. Чтобы определить влияние теплового воздействия, необходимо провести исследования в области физических и гидродинамических расчетов. В статье раскрывается один из подходов к решению задачи теплового взаимодействия скважины и УЭЦН. Представлены расчеты температуры обмотки погружного электродвигателя для конкретных условий в конкретной скважине, включающие различные режимы потока жидкости, различные нагрузки погружного электродвигателя, различные концентрации нефти в воде. Развитие изложенной методики позволит создать специальное программное обеспечение, направленное на определение областей с самой высокой температурой обмотки двигателя с учетом различных параметров, оказывающих влияние на процесс теплопередачи.

Ключевые слова: температура обмотки погружного электродвигателя; закон теплопередачи; тепловое взаимодействие скважинной жидкости и узлов и деталей установки электроцентробежного насоса; режим потока скважинной жидкости; свойства скважинной жидкости

Calculation of winding temperature of a submersible motor

Elena Yu. Moskvina*, Valeriy V. Piven

Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russia
**e-mail: moskvinaej@tyuiu.ru*

Abstract. The article is devoted to the issue of control and regulation of the high-quality operation of a submersible motor with a long overhaul period. There are some complications of operating the electric submersible pump. One of them is the thermal interaction of the borehole fluid and components and parts of the electric submersible pump that leads to failure and repair. It is necessary to conduct research in the field of physical and hydrodynamic calculations to determine the effect of heat exposure. The article reveals one of the approaches to solving the problem of thermal interaction between a well and the electric submersible pump. We describe calculations of the winding temperature of a submersible electric motor for specific conditions in a particular well, including different modes of fluid flow, different loads of the submersible motor, and different concentrations of oil in water. The development of the described technique will allow creating special software aimed at determining the areas with the highest temperature of the motor winding, taking into account various parameters that affect the heat transfer process.

Key words: winding temperature of a submersible motor; heat-transfer law; thermal interaction of the borehole fluid and components and parts of the electric submersible pump; flow regime of the borehole fluid; borehole fluid properties

Введение

Задача расчетов, приведенных в данной статье, — оценить температуру нагрева обмотки погружного электродвигателя (ПЭД), при этом пластовая жидкость — это вода и масло в различных концентрациях. Пластовая жидкость и водонефтяная смесь в расчетах аналогичны. Для решения задачи необходимо знать свойства жидкости, рассчитать режим потока и найти правильный закон движения теплоты. Такими задачами также занимаются авторы работ [1–7].

Таблица 1

Характеристика погружного электродвигателя

Параметр	Секция	
	верхняя	нижняя
Длина, м	5,2	4,68
Диаметр, мм	95,25	
Тестовая скважина (обсадная труба), мм	200,025	
Скорость жидкости, м/с	0,24	

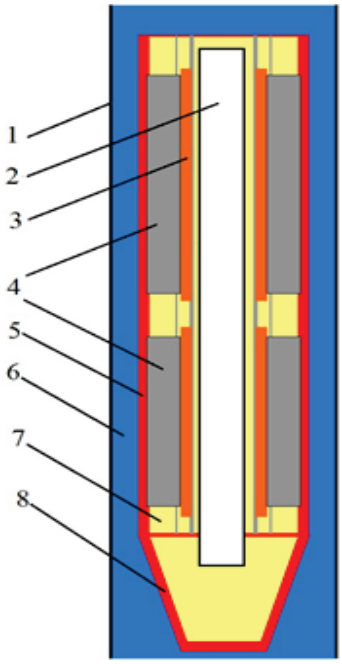

Рис. 1. ***Схема погружного электродвигателя (ПЭД):***
1 — обсадная труба; 2 — ротор ПЭД; 3 — обмотка ПЭД; 4 — пластины статора ПЭД; 5 — корпус ПЭД; 6 — пластовая жидкость; 7 — масло ПЭД; 8 — основание ПЭД

Секция двигателя [8] находится в тестовой скважине. Жидкость течет от забоя к поверхности. Двигатель работает при различных нагрузках, чтобы получить вольт-амперную диаграмму. Очевидно, обмотка двигателя нагревает себя и передает тепло пространству вокруг. Схема электродвигателя представлена на рисунке 1; его характеристика приведена в таблице 1; свойства воды и масла описаны в таблице 2.

Основные допущения, принятые при расчете:

- поток в затрубном пространстве установившийся, а теплопередача через обсадную колонну не учитывается;
- поверхность труб гладкая;
- течение жидкости вертикальное;
- жидкость имеет свойства Ньютоновской жидкости;
- давление в затрубном пространстве постоянное.

Объект и методы исследования

1. Свойства водонефтяной смеси

Свойства водонефтяной смеси — это плотность, удельная теплопроводность, вязкость, кинематическая вязкость и теплоемкость. Водонефтяная смесь — это смесь из двух компонентов или эмульсия, которая состоит из воды и масла в различных пропорциях. Эмульсии — дисперсные системы, содержащие две и более несмешиваемых жидкости. Одна из жидких фаз образует сплошную фазу, другая жидкость рассеяна в этой фазе в капельной форме.

Таблица 2

Свойства жидкостей

Свойство	Вода (данные из справочника)	Минеральное масло высокотемпературного применения марки 22	
	При 65,6 ºС	Вычисленные значения при 65,6 ºС	При 50 ºС
Плотность ρ, кг/м^3	981,9	855,099	832,7
Теплоемкость Cp, КДж/кг·К	4,187	2,06	2,005
Вязкость μ, кг/м·с	$0{,}432 \cdot 10^{-3}$	36,97	–
Кинематическая вязкость ν, сСт	0,44	12,48	16,1
Удельная теплопроводность k, Вт/м·К	0,6629	0,1323	0,133
Число Прандтля Pr	2,72	–	

Для расчета плотности и теплоемкости эмульсий воспользуемся средневзвешенными значениями [9, 10]

$$\rho_{ж} = \rho_{в} \cdot V_{в} + \rho_{м} \cdot V_{м}; \quad (1)$$

$$Cp_{ж} = Cp_{в} \cdot V_{в} + Cp_{м} \cdot V_{м}, \quad (2)$$

где ρ, Cp — плотность и теплоемкость эмульсий; V — объем фазы (воды или масла); в — индекс для воды; м — индекс для масла; ж — индекс для водонефтяной смеси.

Для вязкости и удельной теплопроводности средневзвешенное значение не будет давать полезных прогнозов, то есть определять, что является сплошной фазой — масло или вода. В большинстве случаев эмульсии содержат масла 40…70 % в воде. Обычно, если берется 60 % и более, то это масло в воде, в другом случае — вода в масле.

Соотношение Бринкмана используется для расчета вязкости жидкости [11]

$$\frac{\mu_ж}{\mu_с} = \frac{1}{(1-\alpha_д)^{Т}}, \quad (3)$$

где с — индекс для сплошной фазы; д — индекс для дисперсной (капельной) фазы; $\alpha_д$ — объемная доля дисперсной фазы; Т — коэффициент Тейлора

$$Т = \frac{5}{2}\left(\frac{\mu_д+0{,}4\mu_с}{\mu_д+\mu_с}\right). \quad (4)$$

Когда масло в сплошной фазе, для воды мы имеем дисперсную фазу

$$\mu_ж = \frac{\mu_м}{(1-W)^{Т1}},\ Т1 = \frac{5}{2}\left(\frac{\mu_в+0{,}4\mu_м}{\mu_в+\mu_м}\right). \quad (5)$$

Другой случай, когда вода имеет сплошную фазу и масло в дисперсной фазе [12]

$$\mu_ж = \frac{\mu_в}{W^{Т2}},\ Т2 = \frac{5}{2}\left(\frac{\mu_м+0{,}4\mu_в}{\mu_м+\mu_в}\right), \quad (6)$$

где W — это содержание воды в водонефтяной смеси или обводненность.

Для получения удельной теплопроводности используем закон Максвелла [13]

$$k_ж = k_с\frac{2\cdot(1-С)\cdot k_с+(1+2\cdot С)\cdot k_д}{(2+С)\cdot k_с+(1-С)\cdot k_д}, \quad (7)$$

где С — концентрация (объем фракции) дисперсной фазы.

2. Величины для расчетов режима потока

Число Рейнольдса для труб [14]

$$Re(D) = \frac{V\cdot D_{скв}}{v}, \quad (8)$$

где $D_{скв}$ — внутренний диаметр обсадной трубы или диаметр скважины.

Для затрубного пространства [15]

$$Re = \frac{V\cdot D_h}{v},\quad D_h = D_{скв} - D_{дв}, \quad (9)$$

где $D_{дв}$ — наружный диаметр двигателя.

Число Прандтля

$$Pr = \frac{Cp\cdot\mu}{k}, \quad (10)$$

где $Cp = Cp_ж$ — теплоемкость водонефтяной смеси; $k = k_ж$ — удельная теплопроводность [11] водонефтяной смеси; $\mu = \mu_ж$ — вязкость водонефтяной смеси.

Число Нуссельта для затрубного потока

$$Nu = \frac{h \cdot D_h}{k}, \tag{11}$$

где h — коэффициент вынужденной конвекции, Вт/м·К.

Число Нуссельта для потока в трубе

$$Nu = \frac{h \cdot D}{k} \cdot \tag{12}$$

Число Гретца (только для ламинарного потока)

$$Cz = RePr\left(\frac{D}{L}\right), \tag{13}$$

где L — длина трубы.

3. Расчет теплопередачи

Температура жидкости в скважине известна — 65,6 ºС, поэтому можно вычислить температуру источника. Соответственно (рис. 2), закон теплопередачи

$$Q = \frac{T_{\text{обм_дв}} - T_{\text{осн_ж}}}{\frac{ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}{2\pi k_1 L_1} + \frac{ln\left(\frac{r_3}{r_2}\right)}{2\pi k_2 L_2} + \frac{1}{hA}}, \tag{14}$$

где Q — тепловой поток, КВт; $T_{\text{обм_дв}}$ — температура обмотки двигателя, ºС; $T_{\text{осн_ж}}$ — температура жидкости в скважине до работы насоса (65,6 ºС), ºС; r_1 — внутренний радиус пластин статора, м; r_2 — внутренний радиус двигателя (это радиус, равный наружному радиусу пластин статора), м; r_3 — наружный радиус двигателя, м; L_1 — длина пластин статора, м; L_2 — длина корпуса двигателя, где проходит теплота, м; k_1 — удельная теплопроводность материала пластин статора; k_2 — удельная теплопроводность материала корпуса; h — коэффициент вынужденной конвекции, Вт/м·К; A — площадь поверхности обмотки, м^2.

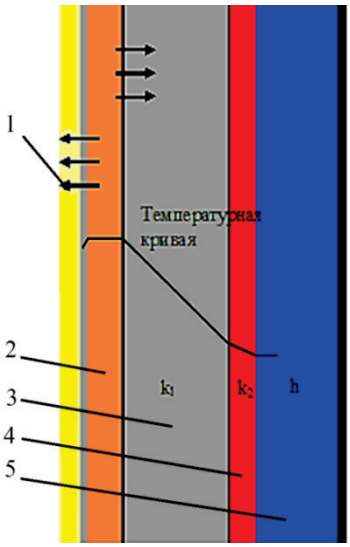

Рис. 2. ***Температурная кривая передачи тепла от обмотки к пластовой жидкости:***
1 — тепловой поток;
2 — источник теплоты — обмотка, $T_{\text{обм_дв}}$;
3 — пластины статора (слой 1);
4 — корпус (слой 2);
5 — пластовая жидкость

Чтобы получить коэффициент вынужденной конвекции, применим уравнение числа Нуссельта. Жидкость движется в затрубном пространстве либо ламинарно, либо турбулентно. Здесь нет строго определенного закона, который бы описал уравнение Нуссельта. В большинстве случаев используется полуэмпирическая функция, дающая погрешности. Эти отклонения зависят от того, насколько близки условия в нашей ситуации и функции, которые были получены.

Рассмотрим три случая ламинарного течения:

1) *лам1* — для фиксированного теплового потока Q (имеющего место от поверхности двигателя);

2) *лам2* — так как между двигателем и обсадной трубой 0,052 м, исследуемый поток может иметь режим, подобный граничному потоку; в этом случае для граничного потока с высоким числом Прандтля можно использовать другое выражение числа Нуссельта;

3) *лам3* — в случае, подобном *лам1*, но при постоянном тепловом потоке на стенке.

Если течение турбулентное, для расчета числа Нуссельта необходимо рассматривать также три случая:

1) *турб1* — это рекомендовано в работе [12] для полностью развитого турбулентного и переходного течения, с точностью 6 %, если $0{,}5 < Pr < 200$, и с точностью 10 %, если $200 \leq Pr < 2\,000$;

2) *турб2* — уравнение Диттуса — Болтера тоже для полностью развитого турбулентного течения в гладкой трубе [11, 14]

$$Nu(d) = 0{,}023 \cdot \mathrm{Re}^{0{,}8} \cdot Pr^{0{,}4} \ , \tag{15}$$

где $0{,}7 < Pr < 120$; $Re > 10^4$; $L/D > 60$;

3) *турб3* — другие формы уравнения Нуссельта, представленные в работах [12, 16] и аппроксимирующие экспериментальные данные в пределах 10 % выше самого широкого диапазона чисел Рейнольдса и Прандтля [17]:

$$Nu(d) = \frac{\left(\frac{f}{2}\right)\mathrm{Re}\cdot Pr}{1{,}07+12{,}7\sqrt{f/2}\left(Pr^{\frac{2}{3}}-1\right)} \ , \tag{16}$$

$$f = \frac{2}{(2{,}236\cdot ln\mathrm{Re}-4{,}639)^2} \ , \tag{17}$$

для $10^4 \leq \mathrm{Re} \leq 5 \cdot 10^6$ и $0{,}5 \leq Pr \leq 2\,000$.

Для подсчета числа Нуссельта для затрубного потока используем следующее уравнение:

$$Nu = Nu(d) \cdot 0{,}86 \cdot \left(\frac{D_{\text{скв}}}{D_{\text{дв}}}\right)^{0{,}16} , \tag{18}$$

где *Nu* — число Нуссельта для потока в трубе; *Nu(d)* — число Нуссельта для затрубного потока.

Результаты

По формулам, представленным выше, были выполнены расчеты, результаты которых отражены на рисунке 3 и в таблице 3. Их анализ показывает, что наилучшую сходимость с экспериментальными данными имеют расчеты, выполненные с использованием режимов *лам3* и *турб3*.

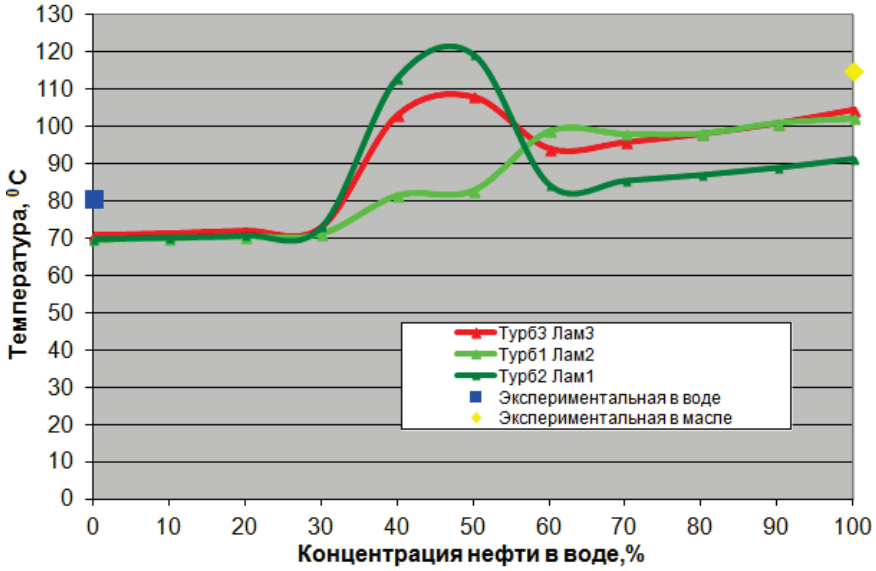

Рис. 3. ***Графические результаты расчетов***

Таблица 3

Результаты расчетов температуры обмотки двигателя

Концентрация нефти в воде, %	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Эмульсия (тип смеси)	Чистая вода	Масло в воде			Граничная смесь	Вода в масле					Чистое масло
Вид потока	Турб	Турб	Турб	Турб	Лам	Лам	Переходный	Переходный	Переходный	Переходный	Переходный
Вид потока	Турб	Турб	Турб	Турб	Лам	Лам	Лам	Лам	Лам	Лам	Лам
Температура обмотки, °С	70,86	71,36	72,07	73,08	103,27	108,16	94,2	95,91	98,15	101,01	104,67

Обсуждение

На процесс теплопередачи оказывают влияние температура окружающей жидкости, размещение двигателя в скважине, забойное давление, свойства водяной и масляной смеси, размер обсадной трубы и размер двигателя изменяют тип потока.

Знания области, где теплота обмотки будет иметь самую высокую температуру, помогут избежать аварий при эксплуатации насосов в этой области путем перехода в другую область за счет

1) изменения режима потока;

2) обработки различными методами пластовой жидкости, чтобы изменить ее термофизические свойства;

3) добавки специальных устройств, чтобы изменить свойства жидкости, непосредственно перед двигателем насосной установки.

Выводы

Таким образом, приведенные результаты расчетов температуры ПЭД позволяют определить область температур при работе двигателя в скважине. Развитие изложенной методики позволит создать специальное программное обеспечение, направленное на определение областей с самой высокой температурой обмотки двигателя с учетом различных параметров, оказывающих влияние на процесс теплопередачи.

Библиографический список

1. Волков, М. Г. Моделирование процесса переноса тепла от погружного электродвигателя к обтекающему потоку скважинной продукции в условиях интенсивного отложения солей / М. Г. Волков. – DOI 10.24887/0028-2448-2018-7-104-109. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2018. – № 7. – С. 104–109.
2. New Concepts for Running ESP Between Producing Zones in Deep Wells at High Temperature / F. L. Baieli, R. Teves, R. Oyarzun [et al.]. – Текст : электронный // SPE Latin America and Caribbean Mature Fields Symposium, 15–16 March, Salvador, Bahia, Brazil. – URL: https://doi.org/10.2118/184916-MS. – Дата публикации: 2017.
3. Bafghi, M. H. B. A Comparison of Electric Motors for Electrical Submersible Pumps Used in the Oil and Gas Industry / M. H. B. Bafghi, A. Vahedi. – Текст : электронный // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – Vol. 433. – URL: https://doi.org/10.1088/1757-899x/433/1/012091. – Дата публикации: 30 ноября 2018.
4. Investigating the Influence of ESP on Wellbore Temperature, Pressure, Annular Pressure Buildup, and Wellbore Integrity / Y. Kang, Z. Liu, A. Gonzales, R. Samuel. – Текст : электронный // SPE Deepwater Drilling and Completions Conference, 14–15 September, Galveston, Texas, USA. – URL: https://doi.org/10.2118/180299-ms. – Дата публикации: 2016.
5. Computational Model of Heat Transfer in ESP System for Deviated Wells / H. L. C. Galvão, G. B. F. F. Oliva, D. P. dos Santos [et al.]. – Текст : электронный // SPE Artificial Lift Conference — Latin America and Caribbean, 27–28 May, Salvador, Bahia, Brazil. – URL: https://doi.org/10.2118/173971-MS. – Дата публикации: 2015.
6. Шмидт, С. А. Тепловой режим ПЭД в процессе освоения скважины, оборудованной УЭЦН / С. А. Шмидт, В. М. Люстрицкий. – Текст : непосредственный // Сборник трудов ин-та «Гипровостокнефть». – Самара : Гипровостокнефть, 2000. – С. 194–200.
7. Языков А. В. Исследование влияния изменения технологических параметров на охлаждение погружного электродвигателя / А. В. Языков. – Текст : непосредственный // Нефтяное хозяйство. – 2007. – № 11. – С. 125–128.
8. Скважинные насосные установки для добычи нефти / В. Н. Ивановский, В. И. Дарищев, А. А. Сабиров [и др.]. – Москва : Нефть и газ : РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2002. – 824 с. – Текст : непосредственный.
9. Михеев, М. А. Основы теплопередачи : учебник для вузов / М. А. Михеев, И. М. Михеева. – 3-е изд., репринт. – Москва : Бастет, 2010. – 344 с. – Текст : непосредственный.
10. Луканин, В. Н. Теплотехника : учебник для вузов / В. Н. Луканин, М. Г. Шатров ; под ред. В. Н. Луканина ; Министерство образования и науки Российской Федерации. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Академия, 2009. – 671 с. – Текст : непосредственный.
11. Rohsenow, W. M. Handbook of heat transfer / W. M. Rohsenow, J. P. Hartnett, Y. I. Cho. – 3rd edition. – New York : McGraw-Hill, Inc. (U.S.A.), 1998. – 1500 p.

12. Parker, J. D. Introduction to fluid mechanics and heat transfer / J. D. Parker, F. C. McQuiston. – 2nd edition. – Dubuque, Iowa : Kendall/Hunt., 1988. – 360 p.
13. Kays, W. M. Convective heat and mass transfer / W. M. Kays, M. E. Crawford. – 3rd edition. – New York : McGraw-Hill, 1993. – 601 p.
14. Lienhard IV, J. H. A heat transfer textbook / J. H. Lienhard IV, J. H. Lienhard V. – 3rd edition. – Cambridge, Massachusetts : Phlogiston Press (U.S.A), 2008. – 749 p.
15. Мищенко, И. Т. Скважинная добыча нефти : учебное пособие / И. Т. Мищенко. – Москва : Нефть и газ : РГУ нефти и газа им. И. М. Губкина, 2003. – 816 с. – Текст : непосредственный.
16. Крайнов, А. Ю. Основы теплопередачи. Теплопередача через слой вещества : учебное пособие / А. Ю. Крайнов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, Национальный исследовательский Томский государственный университет. – Томск : STT, 2016. – 48 с. – Текст : непосредственный.
17. Цветков, Ф. Ф. Тепломассообмен : учебное пособие / Ф. Ф. Цветков, Б. А. Григорьев. – 2-е изд., испр. и доп. – Москва : Изд-во МЭИ, 2005. – 548 с. – Текст : непосредственный.

References

1. Volkov, M. G. (2018). Modeling heat transfer process from a submersible electric motor to flowing producing fluid at intensive scaling conditions. Oil Industry, (7), pp. 104-109. (In Russian). DOI: 10.24887/0028-2448-2018-7-104-109
2. Baieli, F. L., Teves, R., Oyarzun, R., Russo, M., Pires, J. C., & Devincenti, V. (2017). New Concepts for Running ESP Between Producing Zones in Deep Wells at High Temperature. SPE Latin America and Caribbean Mature Fields Symposium, 15-16 March, Salvador, Bahia, Brazil. (In English). Available at: https://doi.org/10.2118/184916-MS
3. Bafghi, M. H. B., & Vahedi, A. (2018). A Comparison of Electric Motors for Electrical Submersible Pumps Used in the Oil and Gas Industry. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 433. (In English). Available at: https://doi.org/10.1088/1757-899x/433/1/012091
4. Kang, Y., Liu, Z., Gonzales A. & Samuel, R. (2016). Investigating the Influence of ESP on Wellbore Temperature, Pressure, Annular Pressure Buildup, and Wellbore Integrity. SPE Deepwater Drilling and Completions Conference, 14-15 September, Galveston, Texas, USA. (In English). Available at: https://doi.org/10.2118/180299-ms
5. Galvão, H. L. C., Oliva, G. B. F. F., dos Santos, D. P., Maitelli, A. L., Costa, R. O., & Maitelli C. W. S. P. (2015). Computational Model of Heat Transfer in ESP System for Deviated Wells. SPE Artificial Lift Conference - Latin America and Caribbean, 27-28 May, Salvador, Bahia, Brazil. (In English). Available at: https://doi.org/10.2118/173971-MS
6. Shmidt, S. A., & Lyustritskiy, V. M. (2000). Teplovoy rezhim PED v protsesse osvoeniya skvazhiny, oborudovannoy UETSN. Sbornik trudov instituta "Giprovostokneft'". Samara, Giprovostokneft' Publ., pp. 194-200. (In Russian).
7. Yaz'kov, A. V. (2000). Investigation of technological parameter change influence on cooling of submersible motor. Oil Industry, (11), pp. 125-128. (In Russian).
8. Ivanovskiy, V. N., Darishchev, V. I., Sabirov, A. A., Kashtanov, V. S., & Pekin, S. S. (2002). Skvazhinnye nasosnye ustanovki dlya dobychi nefti Moscow, Neft' i gaz Publ., Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 824 p. (In Russian).
9. Mikheev, M. A., & Mikheeva, I. M. (2010). Osnovy teploperedachi. 3rd edition, reprint. Moscow, Bastet Publ., 344 p. (In Russian).
10. Lukanin, V. N., & Shatrov, M. G. (2009). Teplotekhnika. 5th edition, revised and expanded. Moscow, Akademiya Publ., 671 p. (In Russian).
11. Rohsenow, W. M., Hartnett, J. P., & Cho, Y. I. (1998). Handbook of heat transfer. 3rd edition. New York, McGraw-Hill, Inc. (U.S.A.), 1500 p. (In English).
12. Parker, J. D., & McQuiston, F. C. (1988). Introduction to fluid mechanics and heat transfer. 2nd edition. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt., 360 p. (In English).
13. Kays, W. M., & Crawford, M. E. (1993). Convective heat and mass transfer. 3rd edition. New York, McGraw-Hill, 601 p. (In English).
14. Lienhard IV, J. H., & Lienhard V, J. H. (2008). A heat transfer textbook. 3rd edition. – Cambridge, Massachusetts, Phlogiston Press, 749 p. (In English).
15. Mishchenko, I. T. (2003). Skvazhinnaya dobycha nefti. Moscow, Neft' i gaz Publ., Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University), 816 p. (In Russian).

16. Kraynov, A. Yu. (2016). Osnovy teploperedachi. Teploperedacha cherez sloy veshchestva. Tomsk, STT Publ., 48 p. (In Russian).

17. Tsvetkov, F. F., & Grigor'ev, B. A. (2005). Teplomassoobmen. 2nd edition, revised and expanded. Moscow, MEI Publ., 548 p. (In Russian).

Сведения об авторах

Москвина Елена Юрьевна, *к. т. н., доцент кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень, e-mail: moskvinaej@tyuiu.ru*

Пивень Валерий Васильевич, *д. т. н., профессор кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности, Тюменский индустриальный университет, г. Тюмень*

Information about the authors

Elena Yu. Moskvina, *Candidate of Engineering, Associate Professor at the Department of Machinery and Equipment for the Oil and Gas Industry, Industrial University of Tyumen, e-mail: moskvinaej@tyuiu.ru*

Valeriy V. Piven, *Doctor of Engineering, Professor at the Department of Machinery and Equipment for the Oil and Gas Industry, Industrial University of Tyumen*