ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРОФИЛЬ ЩЕЛИ КАРКАСНО-ПРОВОЛОЧНОГО ФИЛЬТРА

OPTIMAL WIRE-WOUND SCREEN SLOT PROFILE

К. Р. Уразакوف**Kamil R. Urazakov**

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Н. А. Абдуллин**Nail A. Abdullin**

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Ш. А. Алиматов**Shamil A. Alimetov**

ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»,
ТПП «Когалымнефтегаз»,
г. Когалым,
Российская Федерация

LUKOIL-Western Siberia LLC,
Kogalymneftegaz TPE,
Kogalym, Russian Federation

На сегодняшний день одним из наиболее неблагоприятных факторов, осложняющих механизированную добычу нефти, является взаимодействие механических примесей, содержащихся в продукции скважины, с элементами подземного оборудования. Применительно к электроцентробежным насосным установкам механические примеси являются определяющей причиной поломок и возникновения неисправностей в работе внутрискважинного оборудования. Среди современных технологий защиты погружного оборудования от механических примесей широкое распространение получили скважинные фильтры, основной задачей которых является защита насосного оборудования от проникновения твердой фазы при создании минимально возможного гидравлического сопротивления. Наилучшими гидравлическими характеристиками обладают каркасно-проволочные фильтры, профиль проволоки в которых выполняется в V-образной треугольной форме. Однако исследования показали, что стандартный треугольный профиль обладает недостатками, в частности относительно высоким гидравлическим сопротивлением.

В работе предложен усовершенствованный треугольный профиль проволоки, отличающийся тем, что поверхности сторон треугольника скруглены вовнутрь, т.е. вогнуты. Для расчета гидравлических параметров каркасно-проволочного фильтра и оптимизации профиля проволоки выполнено численное моделирование течения флюида через фильтр в программной среде FlowVision, проведено исследование влияния формы и кривизны профиля проволоки на гидравлические характеристики фильтра. Установлены оптимальные параметры профиля: отрицательная кривизна профиля при средней степени вогнутости, характеризующейся кривой второго порядка; рассчитан оптимальный радиус кривизны профиля. Показано, что для каркасно-проволочного фильтра с усовершенствованным профилем обеспечивается максимальная скорость потока жидкости в фильтре и минимальное гидравлическое сопротивление, причем перепад давления в фильтре с оптимальной геометрией проволоки в 1,5 раза меньше, чем для стандартного треугольного профиля.

Currently, one of the most unfavorable factors complicating the artificial lift of oil is the interaction of mechanical impurities in the well product with underground equipment elements. With regard to electric centrifugal pumping units, mechanical impurities are the determining cause of breakdowns and malfunctions in downhole equipment operation. Among modern technologies for submersible equipment protection from mechanical impurities, downhole filters are widely used, the main task of which is to protect pumping equipment from the penetration of a solid phase while creating the lowest possible hydraulic resistance. The best hydraulic characteristics are possessed by wire frame filters, in which the wire profile is made in a V-shaped triangular. However, studies have shown that the standard triangular profile has disadvantages, in particular, a relatively high hydraulic resistance.

Ключевые слова

установка
электроцентробежного насоса;
каркасно-проволочный фильтр;
моделирование течения;
профиль проволоки;
скорость потока;
перепад давления;
гидравлическое сопротивление

Key words

electric centrifugal pump unit,
wire-wound screen;
flow modeling; wire profile;
flow rate; pressure drop;
hydraulic resistance

The paper proposes an improved triangular wire profile, characterized by surfaces of the sides of the triangle rounded inward. To calculate the hydraulic parameters of the wire-frame filter and optimize the wire profile, a numerical simulation of the fluid flow through the filter in the FlowVision software was performed, and the influence of the shape and curvature of the wire profile on the hydraulic characteristics of the filter was studied. The optimal parameters of the profile have been established: negative curvature of the profile with an average degree of concavity, characterized by a curve of the second order; the optimal radius of curvature of the profile is calculated. It is shown that for a wire-frame filter with an improved profile, the maximum liquid flow rate in the filter and the minimum hydraulic resistance are provided, and the pressure drop in the filter with the optimal wire geometry is 1.5 times less than for the standard triangular profile.

Введение

В настоящее время определяющими тенденциями развития нефтегазовой отрасли является снижение темпов добычи нефти, рост осложненного фонда скважин, эксплуатируемого преимущественно электроцентробежными и штанговыми установками. Одним из наиболее неблагоприятных факторов, осложняющих добычу нефти установками электроцентробежных насосов (УЭЦН), являются механические примеси — твердые взвешенные частицы, содержащиеся в откачиваемой продукции. Крупные частицы вызывают заклинивание насоса, а более мелкие — вибрацию и абразивный износ узлов УЭЦН, в частности части насоса под сальником, гидрозащиты погружного электродвигателя. Происхождение механических примесей обусловлено различными причинами: выносом твердых частиц из пласта в процессе разработки неустойчивых и слабосцементированных коллекторов, результатом проведения технологических операций на скважине (в особенности твердые частицы в составе проппанта, закачиваемого в пласт при гидроразрыве пласта (ГРП)), коррозией и износом внутрискважинного оборудования [1–4].

Согласно статистическим исследованиям, проведенным на месторождениях Западной Сибири, механические примеси являются основной причиной поломок и образования дефектов УЭЦН. Доля отказов насосного оборудования по причине механических примесей составляет порядка 35–50 %, что существенно превосходит влияние других факторов: коррозии (20–25 %) и отложения неорганических солей (15–20 %) [5–9].

Среди современных технологий защиты погружного оборудования от механических примесей широкое распространение получили механические (фильтры). В зависимости от места установки, различают фильтры в со-

ставе насоса и забойные. По типу фильтрующей поверхности различают каркасно-проволочные, сетчатые и щелевые фильтры [10–13].

Основной задачей фильтров является защита от проникновения твердой фазы при создании наименьшего гидравлического сопротивления. Согласно проведенным исследованиям [14], наилучшими гидравлическими характеристиками (наибольшей проницаемостью и пропускной способностью) обладают каркасно-проволочные фильтры. Основным элементом данных фильтров является профилированная проволока, наматываемая на каркас из параллельных стержней. В современных конструкциях фильтров профиль проволоки выполняется в V-образной треугольной форме (рисунок 1, а). Благодаря такой конструкции создаются благоприятные условия выноса мелких частиц, проходящих через фильтр, и его очистки от шлама, ограничиваются процессы накопления и уплотнения частиц на внешней поверхности фильтра [7, 10]. Однако несмотря на ряд достоинств, треугольный профиль обладает недостатками, связанными с относительно высоким гидравлическим сопротивлением. В работе [1] теоретически обосновано, что изменение кривизны профиля проволоки (рисунок 1, б, поверхности сторон треугольника скруглены вовнутрь) позволяет в несколько раз уменьшить гидравлическое сопротивление и увеличить пропускную способность фильтра. Следует отметить, что в работе [1] рассмотрен лишь один конкретный профиль проволоки. Целью данной работы являются дальнейшее исследование влияния формы и кривизны профиля проволоки на гидравлические характеристики фильтра, расчет оптимальных геометрических параметров профиля для определения области рационального применения каркасно-проволочных фильтров при защите от механических примесей.

Рисунок 1. Профиль сечения проволоки с треугольным профилем: стандартным (а), усовершенствованным (б)

*Постановка задачи и результаты
численного моделирования
(вогнутый профиль проволоки)*

Для расчета гидравлических параметров каркасно-проволочного фильтра и оптимизации профиля проволоки выполнено численное моделирование течения флюида через фильтр. Базовым элементом геометрической модели являются два параллельных витка (в сечении — два равносторонних треугольника) со сторонами 5 мм, размещенных на расстоянии 100 мкм друг от друга. Геометрическая модель фильтра с внутренним диаметром фильтрующего элемента 92 мм, проволокой шириной 5 мм, в трех исполнениях профиля проволоки (радиус кривизны профиля 7,5; 12,0; 15,5 мм) и межвитковым расстоянием 0,1 мм построена в системе автоматизирован-

ного проектирования SolidWorks. Длина геометрической модели фильтра составляет 540 мм, длина фильтрующей части — 500 мм. Граничные условия: давление на входе 1,2 МПа. Моделирование гидродинамики потока жидкости в фильтре выполнено с использованием программного обеспечения FlowVision.

На рисунке 2, а изображен корпус фильтра и показано движение потока жидкости, который при движении в интервале фильтра разделяется на два потока: один устремляется непосредственно в щели фильтра, а второй движется вдоль фильтра параллельно его оси к верхнему интервалу фильтрующего элемента. В результате скорость притока жидкости в верхних отверстиях фильтра больше, чем в нижних [3, 4].

Рисунок 2. Расчетная модель фильтра (а) и распределение скорости потока в фильтре (б) (цветовая легенда — скорость жидкости)

Анализ течения пластового флюида во внутреннем пространстве фильтра (рисунок 2, б) показал, что в нижнем интервале поток жидкости ламинарный, а в верхнем интервале за счет бокового притока жидкости в фильтр скорость потока увеличивается и степень турбулентности возрастает [6, 7]. Картина течения жидкости между двумя параллельными витками проволоки в плоскости ее поперечного сечения показана на рисунке 3. При дальнейшем моделировании данные перепада давления ($\Delta P = 0,47$ МПа) и скорости, полученные при моделировании потока флюида в каркасно-проволочном фильтре со строго треугольным профилем, будут использоваться как базовые для сравнения с данными для усовершенствованного треугольного профиля, отличающегося формой и кривизной.

В отличие от стандартного треугольного профиля (рисунок 1, а), в предлагаемом профиле (рисунок 1, б) поверхности сторон вогнуты, т.е. скруглены вовнутрь, что соответствует отрицательной кривизне поверхности. Для определения наиболее эффективного конструктивного исполнения профиля, обеспечивающего минимальное гидравлическое сопротивление фильтра, рассматривалась форма поперечного сече-

ния проволоки, описываемая уравнениями второго порядка $y(x) = ax^2 + bx + c$. Выбрано 3 формы кривой профиля, отличающиеся степенью вогнутости боковых граней поверхности треугольников (рисунок 4).

Результаты численного моделирования показали, что наибольшая скорость потока в фильтре ($V = 0,47 \cdot 10^{-3}$ м/с) и наименьший перепад давления ($\Delta P = 0,36$ МПа) достигаются для профиля 2, показанного на рисунке 5, б, т.е. при «средней» степени вогнутости поверхности. Эффективность работы фильтра обусловлена тем, что при данной форме профиля в области, непосредственно прилегающей к входу жидкости в фильтр, образуется зона разрежения и завихрения потока (рисунок 5), что способствует повышению скорости потока жидкости при течении через фильтр. Снижение гидравлического сопротивления фильтра достигается также благодаря расширению сечения движущегося потока жидкости после ее входа в фильтр (в сравнении с треугольным профилем темп роста расстояния между поверхностью соседних витков проволоки для вогнутого профиля выше), в результате уменьшается трение жидкости о стенки боковой поверхности проволоки.

Рисунок 3. Распределение скорости потока между двумя параллельными витками проволоки в плоскости ее поперечного сечения (цветовая легенда — скорость жидкости)

а) профиль 1: $a = -1$, $b = 1$, $c = 4$; б) профиль 2: $a = -5$, $b = 2$, $c = 3$; в) профиль 3: $a = -10$, $b = 6$, $c = 2$

Рисунок 4. Профили проволоки при различных значениях коэффициентов a , b , c

Рисунок 5. Распределение скорости потока вблизи фильтрующей части для усовершенствованного вогнутого профиля (цветовая легенда — скорость жидкости)

*Результаты численного моделирования
(выпуклый профиль проволоки)*

На втором этапе проведено моделирование течения жидкости в фильтре с выпуклым профилем проволоки, описываемым кривой $\frac{y^2}{b^2} + \frac{x^2}{a^2} = 1$, соответствующим положительной кривизне. Расчетная модель распределения векторов скоростей показана на рисунке 6. Течение потока происходит следующим образом: при входе в отверстия фильтра жидкость ускоряется и движется направленным потоком в одной плоскости, при этом в области скругленной части профиля образуется

застойная зона, где скорость жидкости минимальна, что способствует повышению гидравлического сопротивления фильтра, а также ведет к повышенному темпу засорения фильтра и снижению срока эксплуатации насосного оборудования. Расчетная скорость течения жидкости для выпуклого профиля поверхности ($V = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м/с) оказалась ниже, а перепад давления ($\Delta P = 0,57$ МПа) соответственно выше, чем для стандартного треугольного профиля. Таким образом, установлено, что наилучшими гидравлическими характеристиками обладает вогнутый профиль поверхности с отрицательной кривизной.

Рисунок 6. Распределение скорости потока вблизи фильтрующей части для выпуклого профиля (цветовая легенда — скорость жидкости)

Оптимизация радиуса кривизны профиля проволоки

Для расчета оптимальной кривизны профиля проволоки проведены многовариантные расчеты течения жидкости в фильтре для каждой из рассмотренных форм кривых (рисунков 7). При расчетах варьировался радиус кривизны R профиля вблизи входа жидкости в фильтр в интервале 7,5–15,5 мм.

Проведенные расчеты показали, что минимальный перепад давления обеспечивается при достижении радиуса кривизны 7,5 мм, дальнейшее уменьшение радиуса не приводит к снижению перепада давления и гидравлического сопротивления. Вышесказанное связано с тем, что чрезмерное уменьшение кривизны профиля обуславливает возникновение эффекта кавитации и образование газовой смеси, которая препятствует ускорению потока жидкости. Кроме того, заострение и уменьшение толщины поперечного сечения проволоки приводит к снижению прочностных свойств конструкции фильтрующего элемента.

При моделировании гидродинамического режима течения флюида в предлагаемом фильтре исследовались также влияние межвиткового расстояния (в интервале 40–100 мкм) на величину скорости и перепада давления при различном радиусе кривизны профиля фильтра (рисунки 8, 9). Видно, что с увеличением межвиткового расстояния закономерно возрастает скважность фильтра и снижается гидравлическое сопротивление. Из графиков рисунка 7 следует также, что независимо от межвиткового зазора расчетный оптимальный радиус кривизны 7,5 мм обеспечивает минимальное гидравлическое сопротивление и наибольший дебит.

Таким образом, минимальное значение перепада давления в каркасно-проволочном фильтре с вогнутым треугольным профилем и оптимальным радиусом кривизны в 1,5 раза меньше, чем в фильтре с треугольным профилем (полученные результаты сведены в таблицу 1); скорость потока для фильтра с предлагаемым профилем также выше в 2,5 раза значения скорости потока.

1 — профиль 2; 2 — профиль 3; 3 — профиль 1

Рисунок 7. Зависимость изменения перепада давления в щелевом отверстии фильтра от радиуса кривизны проволоки

1 — $R = 7,5$ мм; 2 — $R = 12$ мм; 3 — $R = 15,5$ мм; 4 — треугольный профиль

Рисунок 8. Зависимость дебита скважины от межвиткового расстояния

1 — $R = 7,5$ мм; 2 — $R = 12$ мм; 3 — $R = 15,5$ мм; 4 — треугольный профиль

Рисунок 9. Зависимость перепада давления в фильтре от межвиткового расстояния

Таблица 1. Перепад давления в фильтрах с различным профилем проволоки.

№	Тип профиля	Давление в фильтре P , МПа	Перепад давления ΔP , МПа
1	Треугольный	0,72	0,48
2	Вогнутый профиль 2 $y(x) = -5x^2 + 2x + 3$	0,84	0,36
3	Вогнутый профиль 1 $y(x) = -x^2 + x + 4$	0,80	0,42
4	Вогнутый профиль 3 $y(x) = -10x^2 + 6x + 2$	0,78	0,40
5	Выпуклый профиль $\frac{x^2}{5^2} + \frac{y^2}{7^2} = 1$	0,63	0,57

Выводы

1. В результате численного моделирования и анализа работы каркасно-проволочного фильтра с различным профилем проволоки показано, что изменение конструктивного исполнения профиля проволоки, в частности геометрии ее сечения, оказывает существенное влияние на гидродинамические характеристики, такие как скорость потока и гидравлическое сопротивление.

2. Многовариантными расчетами при различной форме и кривизне профиля проволоки

установлены оптимальные параметры профиля: отрицательная кривизна профиля при средней степени вогнутости (характеризуемой кривой второго порядка $y = ax^2 + bx + c$ с расчетными коэффициентами a ; b ; $c = -5$; 2; 3); радиус кривизны 7,5 мм. Данный профиль обеспечивает минимальное гидравлическое сопротивление, причем перепад давления в фильтре с оптимальной геометрией проволоки в 1,5 раза меньше, чем для стандартного треугольного профиля.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- Нургалиев Р.З., Бахтизин Р.Н., Уразаков К.Р., Губайдуллин А.Г. Исследование характеристики каркасно-проволочного фильтра численным гидродинамическим моделированием // Нефтяное хозяйство. 2017. № 10. С. 113–115. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-10-113-115.
- Легаев Ю.Н., Ванюрихин И.С., Галимов Р.Р., Пищаев Д.В., Валовский К.В. Глубиннонасосное оборудование для добычи нефти в условиях, осложненных выносом песка и поглощением промывочной жидкости // Нефтяное хозяйство. 2015. № 7. С. 56–57.
- Арнольд Г., Суванди Э. Фильтры для предотвращения выноса песка в скважины при низком забойном

давлении // Нефтегазовые технологии. 2005. № 4. С. 5–7.

4. Юргенс Х., Невигер З. Применение одноконтурных проволочных фильтров для предупреждения выноса песка из пласта // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2009. № 9. С. 40–43.

5. Савочкин А.В. Эксплуатация скважин, осложненных повышенным выносом песка, на месторождениях ООО «РН-Сахалинморнефтегаз» // Инженерная практика. 2014. № 2. С. 24–34.

6. Технические средства для ремонта скважин — скважинные фильтры отечественного и зарубежного производства // Геология, бурение, разработка и эксплуатация газовых и газоконденсатных месторождений: матер. науч.-техн. сб. М.: Газпром, 2009. Специальный выпуск 1. С. 3–45.

7. Ксай Дж. Фильтры с проволочной обмоткой в SAGD-скважинах // Нефтегазовые технологии. 2008. № 12. С. 18–24.

8. Михайлов А.Г., Волгин В.А., Ягудин Р.А., Шакиров Э.И. Анализ применения технологий защиты скважин при пескопроявлении в ООО «РН-Пурнефтегаз» // Нефть. Газ. Новации. 2010. № 12 (143). С. 71–74.

9. Смольников С.В., Топольников А.С., Уразаков К.Р., Бахтизин Р.Н. Методы защиты насосного оборудования для добычи нефти от механических примесей. Уфа: Изд-во «Нефтегазовое дело», 2010. 41 с.

10. Бахтизин Р.Н., Нурғалиев Р.З., Уразаков К.Р. Эксплуатация насосных скважин, осложненных механическими примесями. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2016. 91 с.

11. Пат. 2382237 РФ, МПК F 04 D 13/10. Погружная электроцентробежная насосная установка / Д.П. Казаков, К.Р. Уразаков, А.С. Топольников, А.А. Кудрявцева. 2008122743/06, Заявлено 04.06.2008; Оpubл. 20.02.2010. Бюл. 5.

12. Гилаев Г.Г., Бахтизин Р.Н., Уразаков К.Р. Современные методы насосной добычи нефти. Уфа: Изд-во «Восточная печать», 2016. 412 с.

13. Уразаков К.Р., Жулаев В.П., Латыпов Б.М., Булюкова Ф.З., Молчанова В.А., Белозеров В.В. Оборудование для насосной эксплуатации скважин с направленным профилем ствола. Уфа: Изд-во УГНТУ, 2018. 354 с.

14. Топольников А.С., Уразаков К.Р., Казаков Д.П. Численное моделирование обтекания погружной части установок электроцентробежных насосов с фильтром // Нефтегазовое дело. 2009. Т. 7. № 2. С. 88–95.

REFERENCES

1. Nurgaliev R.Z., Bakhtizin R.N., Urazakov K.R., Gubaidullin A.G. Issledovanie kharakteristiki karkasno-provolochnogo fil'tra chislenным gidrodinamicheskim modelirovaniem [Investigation of a Wireframe-Wire Filter Characteristics by Numerical Hydrodynamic Modeling]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2017, No. 10, pp. 113–115. DOI: 10.24887/0028-2448-2017-10-113-115. [in Russian].

2. Legaev Yu.N., Vanyurikhin I.S., Galimov R.R., Pishchaev D.V., Valovskii K.V. Glubinnonasosnoe oborudovanie dlya dobychi nefi v usloviyakh, oslozhnennykh vynosom peska i pogloshcheniem promyvochnoi zhidkosti [Downhole Pumping Equipment Effectively Solves Sand Production and Lost Circulation Problems in Production Wells]. *Neftyanoe khozyaistvo — Oil Industry*, 2015, No. 7, pp. 56–57. [in Russian].

3. Arnold G., Suvandi E. Fil'try dlya predotvrashcheniya vynosa peska v skvazhinu pri nizkom zaboinom davlenii [Filters to Prevent Sand Production in Wells at Low Bottomhole Pressure]. *Neftgazovye tekhnologii — Oil and Gas Technology*, 2005, No. 4, pp. 5–7. [in Russian].

4. Yurgens Kh., Neviger Z. Primenenie odnokonturnykh provolochnykh fil'trov dlya preduprezhdeniya vynosa peska iz plasta [Usage of Single-Contour Wire Screens Required to Prevent Sand Removal out of Layer]. *Stroitel'stvo neftnykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more — Construction of Oil and Gas Wells on-Land and off-Shore*, 2009, No. 9, pp. 40–43. [in Russian].

5. Savochkin A.V. Ekspluatatsiya skvazhin, oslozhnennykh povyshennym vynosom peska, na mestorozhdeniyakh ООО «RN-Sakhalinmorneftegaz» [Operation of Wells Complicated by Increased Sand Production at the Fields of LLC RN-Sakhalinmorneftegaz]. *Inzhenernaya praktika — Engineering Practice*, 2014, No. 2, pp. 24–34. [in Russian].

6. Tekhnicheskie sredstva dlya remonta skvazhin — skvazhinnye fil'try otechestvennogo i zarubezhnogo proizvodstva [Technical Means for Well Workover — Well Filters of Domestic and Foreign Production]. *Materialy nauchno-tekhnicheskogo sbornika «Geologiya, burenie, razrabotka i ekspluatatsiya gazovykh i gazokondensatnykh mestorozhdenii»* [Materials of the Scientific and Technical Collection «Geology, Drilling, Development and Operation of Gas and Gas Condensate Fields»]. Moscow, Gazprom Publ., 2009, Special Issue 1, pp. 3–45. [in Russian].

7. Ksai Dzh. Fil'try s provolochnoi obmotkoi v SAGD-skvazhinakh [Wirewound Filters in SAGD Wells]. *Neftgazovye tekhnologii — Oil and Gas Technology*, 2008, No. 12, pp. 18–24. [in Russian].

8. Mikhailov A.G., Volgin V.A., Yagudin R.A., Shakirov E.I. Analiz primeneniya tekhnologii zashchity skvazhin pri peskoproyavlenii v ООО «RN-Purneftegaz» [Analysis of Well Protection Procedure Application against Sand Production at the Example of LLC RN-Purneftegaz]. *Neft' Gaz. Novatsii — Oil. Gaz. Novation*, 2010, No. 12 (143), pp. 71–74. [in Russian].

9. Smolnikov S.V., Topolnikov A.S., Urazakov K.R., Bakhtizin R.N. *Metody zashchity nasosnogo oborudovaniya dlya dobychi nefi ot mekhanicheskikh primesei* [Methods for Protecting Pumping Equipment for Oil Production from Mechanical Impurities]. Ufa, Neftgazovoe delo Publ., 2010. 41 p. [in Russian].

10. Bakhtizin R.N., Nurgaliev R.Z., Urazakov K.R. *Ekspluatatsiya nasosnykh skvazhin, oslozhnennykh mekhanicheskimi primesyami* [Operation of Pumping Wells Complicated by Mechanical Impurities]. Ufa, UGNTU Publ., 2016. 91 p. [in Russian].

11. Kazakov D.P., Urazakov K.R., Topolnikov A.S., Kudryavtseva A.A. *Pogruzhnaya elektrotsentrobezhnaya nasosnaya ustanovka* [Submersible Electric Centrifugal Pumping Unit]. Patent RF, No. 2382237, 2010. [in Russian].

12. Gilaev G.G., Bakhtizin R.N., Urazakov K.R. *Sovremennye metody nasosnoi dobychi nefi* [Modern Methods of Pumping Oil Production]. Ufa, Vostochnaya pechat' Publ., 2016. 412 p. [in Russian].

13. Urazakov K.R., Zhulaev V.P., Latypov B.M., Bulyukova F.Z., Molchanova V.A., Belozеров V.V. *Oborudovanie dlya nasosnoi ekspluatatsii skvazhin s napravlenным profilem stvola* [Equipment for Pumping Wells with Directional Borehole Profile]. Ufa, UGNTU Publ., 2018. 354 p. [in Russian].

14. Topolnikov A.S., Urazakov K.R., Kazakov D.P. Chislennoe modelirovanie obtekaniya pogruzhnoi chasti ustanovok elektrotsentrobezhnykh nasosov s fil'trom [The Numerical Simulation of Flow Around the Submersible Pump with Filter]. *Neftgazovoe delo — Petroleum Engineering*, 2009, Vol. 7, No. 2, pp. 88–95. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
ABOUT THE AUTHORS

Уразакوف Камил Рахматуллович, д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Kamil R. Urazakov, Doctor of Engineering Sciences, Professor, Professor of Oil and Gas Field Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: urazakk@mail.ru

Абдуллин Наиль Ахиярович, канд. техн. наук, доцент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Nail A. Abdullin, Candidate of Engineering Sciences, Assistant Professor of Oil and Gas Field Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: l_jane@mail.ru

Алиметов Шамиль Агаметович, инженер-технолог, ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь», ТПП «Когалымнефтегаз», г. Когалым, Российская Федерация

Shamil A. Alimetov, Process Engineer, LUKOIL-Western Siberia LLC, Kogalymneftegaz TPE, Kogalym, Russian Federation

e-mail: shamil_alimetov@mail.ru