

Коротаев Ю.А., Голдобин Д.А., Субботин А.Ю., Мялицин Н.Ю., Вишняков С.Г. Повышение напорных характеристик мультифазных винтовых насосных установок для перекачки водогазонефте содержащих жидкостей // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2019. – Т. 21, № 4. – С. 81–88. DOI: 10.15593/2224-9877/2019.4.10

Korotaev Yu.A., Goldobin D.A., Subbotin A.Yu., Myalitsyn N.Yu., Vishnyakov S.G. Increase of pumping characteristics of multiphase pumping units for water-gas-oil saturated fluids. *Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science*, 2019, vol. 21, no. 4, pp. 81–88. DOI: 10.15593/2224-9877/2019.4.10

ВЕСТНИК ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение
Т. 21, № 4, 2019
Bulletin PNRPU. Mechanical engineering, materials science
<http://vestnik.pstu.ru/mm/about/inf/>

DOI: 10.15593/2224-9877/2019.4.10

УДК 621.6.052

Ю.А. Коротаев¹, Д.А. Голдобин², А.Ю. Субботин³, Н.Ю. Мялицин³, С.Г. Вишняков³

¹ Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

² ООО «Биттехника», Пермь, Россия

³ ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент», Пермь, Россия

**ПОВЫШЕНИЕ НАПОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МУЛЬТИФАЗНЫХ ВИНТОВЫХ НАСОСНЫХ
УСТАНОВОК ДЛЯ ПЕРЕКАЧКИ ВОДОГАЗОНЕФТЕСОДЕРЖАЩИХ ЖИДКОСТЕЙ**

Показана область использования мультифазных насосных установок. Рассмотрены особенности конструкции и технологии изготовления основного узла – винтового героторного механизма, который представляет собой цилиндрическую планетарную зубчатую передачу внутреннего зацепления с разницей в числе зубьев статора и ротора, равной единице. Показано, что статор является наиболее важной и наиболее слабой деталью винтового героторного механизма. Отмечено, что стандартный статор имеет недостаточную изгибную жесткость резиновых зубьев и низкую долговечность в связи с тем, что в процессе эксплуатации происходит разогрев и разрушение резиновых зубьев статора, увеличения длины героторного механизма и использования в мультифазной насосной установке нескольких винтовых героторных механизмов, расположенных на одной раме и соединенных последовательно между собой при помощи трубопровода. Описаны два варианта схем мультифазных насосных установок с двумя винтовыми героторными механизмами. По первому варианту винтовые героторные механизмы имеют общий привод, включающий редуктор с двумя выходными валами и электродвигатель. По второму варианту каждый винтовой героторный механизм имеет свой собственный привод, при этом согласование частоты вращения винтовых героторных механизмов обеспечивается управляющим устройством. В обоих вариантах схем нагнетательная полость одного героторного механизма при помощи трубопровода соединяется с всасывающей полостью другого героторного механизма.

Ключевые слова: мультифазная насосная установка, насосная секция, винтовой героторный механизм, армированный статор, резина, изгибная жесткость, ротор, напорная характеристика, давление, технология.

Yu.A. Korotaev¹, D.A. Goldobin², A.Yu. Subbotin³, N.Yu. Myalitsyn³, S.G. Vishnyakov³

¹ Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

² LLC “Bittechnika Ltd.”, Perm, Russian Federation

³ LLC “VNIIBT-Drilling tools Ltd.”, Perm, Russian Federation

**INCREASE OF PUMPING CHARACTERISTICS OF MULTIPHASE PUMPING UNITS
FOR WATER-GAS-OIL SATURATED FLUIDS**

The article shows an application scope of multiphase pumping units. There have been considered design, manufacturing process features of the main unit - screw gerotor mechanism that is a cylindrical planetary inner engagement with the difference in stator and rotor teeth number equal to one unit value. It is shown that the stator is the most important and weak part of the screw gerotor mechanism. It has been mentioned that a standard stator does not have enough bending stiffness of rubber teeth and low service life because of the fact, that in course of operation warming happens leading to rubber teeth destruction.

It has been shown that to increase the pumping features of the multiphase pumping unit is possible by reinforcing the rubber teeth, elongation of the gerotor mechanism and use of several screw gerotor mechanisms mounted in the multiphase pumping unit, which a located on a single frame and interconnected with each other by the pipe-line.

There has been described two variants of the multiphase pumping unit layouts with two screw gerotor mechanisms. The first variant presupposes screw gerotor mechanisms having a common drive that includes a gear box with two output shafts and an electrical motor. As per the second variant, each screw gerotor mechanism has its own drive, and the frequency response match is provided by a control unit. In both layouts the pumping chamber of one gerotor mechanism by the pipeline is connected with the sucking chamber of the other gerotor mechanism.

Keywords: multiphase pumping unit, pumping section, screw gerotor mechanism, reinforced stator, rubber, bending stiffness, rotor, pumping characteristic, pressure, process.

В последние годы значительно вырос объем выпуска мультифазных насосных установок. Они широко используются для перекачки сыпучих материалов, высоковязких жидкостей, жидкостей с большим содержанием газа и других материалов в строительстве, нефтегазовой, нефтехимической, химической, пищевой промышленности и в других отраслях народного хозяйства [1–10].

Общий вид мультифазной насосной установки для перекачки водогазонефте содержащих жидкостей показан на рис. 1. Основным узлом насосной установки является винтовая насосная секция – цилиндрическая винтовая планетарная передача внутреннего зацепления. В технической литературе такую зубчатую передачу называют многозаходным винтовым героторным механизмом.

Число зубьев статора героторного механизма на единицу больше, чем число зубьев ротора, а межосевое расстояние равно половине высоты зубьев героторного механизма. Профили зубьев статора и ротора отечественных многозаходных винтовых героторных механизмов строятся как огибающие исходного контура рейки, очерченной эквидистантой укороченной циклоиды. Благодаря этому способу профилирования зацепления обеспечивается одновременное касание зубьев статора со всеми зубьями ротора, разделение полостей низкого и высокого давления и равномерное распределение нагрузки между всеми зубьями статора и ротора. Обеспечение высокого качества изготовления героторных механизмов представляет собой сложнейшую научно-техническую задачу [1, 8, 11–13].

Особенностью винтовых героторных механизмов является то, что зубья статора выполняются из эластомера (резины). Это объясняется следующими причинами:

1) упрощается технология изготовления статора. Зубья на статоре значительно проще выполнить из резины, чем из металла или из какого-то другого материала. В соответствии с применяемой технологией резиновые зубья статора формируются сердечником в специальной пресс-форме, зубчатая обкладка статора приклеивается к внутренней цилиндрической поверхности корпуса статора;

2) исключается заклинивание героторного механизма при попадании в него твердых частиц. Твердые частицы вдавливаются в резину, при движении прокачиваемого реагента скользят по металлическим зубьям ротора и выходят из насосной секции через нагнетательный патрубок;

3) для компенсации погрешностей формообразования зубьев статора и ротора можно создать натяг в зацеплении, что позволяет повысить напорные характеристики героторного механизма и его долговечность.

При работе мультифазной насосной установки вращение от вала электродвигателя через редуктор, карданный вал, шпиндель и торсионный вал передается на ротор насосной секции. Перекачиваемая среда поступает в насос через всасывающий фланец, расположенный на корпусе-отводе. Ротор, обкатываясь по зубьям статора насосной секции, совершает в нем сложное вращательное движение.

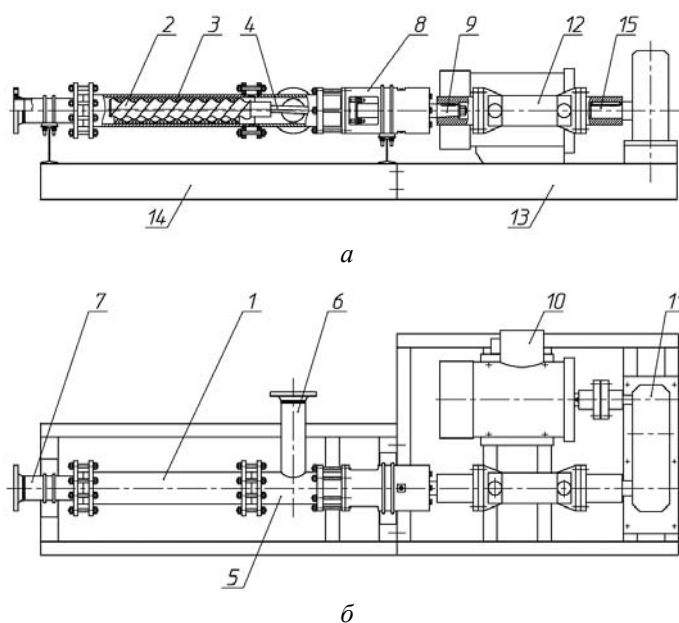


Рис. 1. Общий вид мультифазной насосной установки: а – вид спереди; б – вид сверху; 1 – винтовой героторный механизм; 2 – ротор; 3 – статор; 4 – шарнирный вал; 5 – корпус отвод; 6 – всасывающий фланец; 7 – нагнетательный фланец; 8 – шпиндель; 9 – вал; 10 – электродвигатель; 11 – редуктор; 12 – карданный вал; 13, 14 – рама; 15 – выходной вал

При работе мультифазного насоса циклически изменяющийся крутящий момент от ротора передается на статор. Чем больше крутящий момент, тем больше нагрузка на зубья статора и ротора. Под действием нагрузки резиновые зубья статора изгибаются, возникают зазоры в зацеплении героторного механизма, что приводит к утечкам перекачиваемой жидкости, снижению развиваемого давления и производительности насоса. Деформация резины преобразуется в тепловую энергию. Причем наибольшая температура разогрева резины возникает в центре резинового зуба статора. Из-за большой толщины резинового зуба, большого расстояния от центра зуба до металлического корпуса статора, низкой теплопроводности резины и плохого отвода тепла возможен перегрев резины и разрушение статора [14, 15].

Анализ технической литературы и выполненные нами научно-исследовательские и опытно-технологические работы показывают, что повысить напорную характеристику можно за счет:

- армирования резиновых зубьев статора;
- увеличения длины зубчатых поверхностей статора и ротора;
- использования в мультифазной насосной установке нескольких винтовых героторных механизмов, расположенных на одной раме и соединенных последовательно между собой.

В стандартном (не армированном) статоре (рис. 2, а) резиновая обкладка с внутренними зубьями приклеивается к цилиндрической внутренней

поверхности корпуса статора. Толщина зубчатой обкладки максимальная на вершинах зубьев и минимальная во впадинах.

Армирование заключается в изготовлении статора с равномерной (или близкой к равномерной) толщиной резиновой зубчатой обкладки (рис. 2, б, в, г). Это достигается за счет того, что сначала изготавливается корпус статора с внутренними винтовыми металлическими зубьями, затем выполняется обрезинивание статора.

Статор с равномерной толщиной резины имеет повышенную изгибную жесткость резиновых зубьев статора, более высокую долговечность за счет лучшего теплоотвода и увеличения усталостной выносливости зубьев. Исключается преждевременное разрушение резиновых зубьев из-за повышенных деформаций и разогрева резины.

Существуют различные способы изготовления корпусов статоров с внутренними винтовыми зубьями:

- фрезерование или электрохимическое выжигание зубьев в заготовке корпуса статора на специальных станках (см. рис. 2, б);
- закрепление в корпусе статора литых или кованных вкладышей с внутренней винтовой поверхностью (см. рис. 2, в) [9];
- закрепление в корпусе статора тонкостенной зубчатой оболочки, которая устанавливается в расточку корпуса статора. В зазор между корпусом статора и поверхностью винтовой оболочки устанавливается жесткий элемент, например пруток (см. рис. 2, г) [10, 16–24].

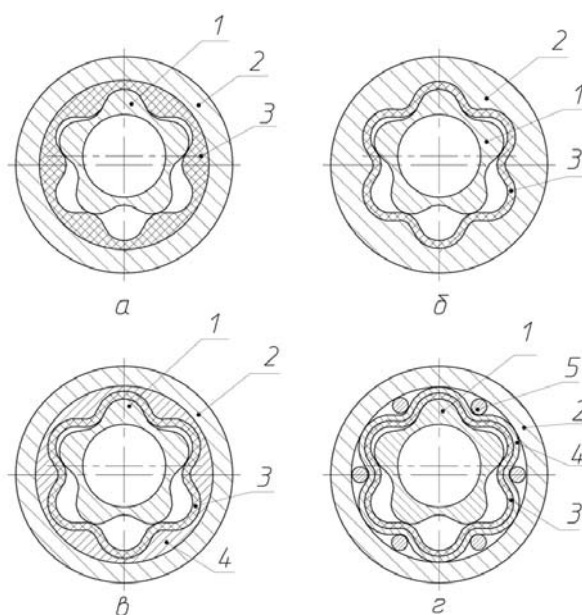


Рис. 2. Торцовое сечение героторных механизмов (варианты исполнения): 1 – ротор; 2 – корпус статора; 3 – резиновая обкладка; 4 – вкладыш (литой или кованный), зубчатая тонкостенная оболочка; 5 – пруток

Длина активной части статора оказывает большое влияние на напорные характеристики мультифазной насосной установки. Она зависит от количества шагов k винтовой зубчатой поверхности статора (ротора), которое рассчитывается по формулам [1, 3]

$$k = \frac{1}{z_1} \cdot \left(\frac{P_{\text{раб}}}{[P_k]} + z_2 \right); \quad (1)$$

$$P_{\text{раб}} = \left(k - \frac{z_2}{z_1} \right) z_1 [P_x], \quad (2)$$

где z_1 и z_2 – соответственно числа зубьев статора и ротора; $P_{\text{раб}}$ – давление, развиваемое винтовым героторным механизмом; $[P_k]$ – допустимый межвитковый перепад давления, принимается равным 0,25–0,5 МПа [1]. Причем меньшие значения (0,2–0,25 МПа) относятся к стандартным статорам, а большие (0,25–0,5 МПа) – к армированным статорам.

С увеличением количества шагов увеличивается длина зубчатых поверхностей статора и ротора L , что усложняет технологию изготовления винтовой насосной секции.

$$L = k P_x z_1, \quad (3)$$

где P_x – осевой шаг зубьев статора (ротора).

$$P_x = \frac{q}{(s_1 - s_2) s_1 s_2}, \quad (4)$$

где s_1 и s_2 – площади, ограниченные торцевым профилем статора и ротора; q – рабочий объем героторного механизма.

В последние годы возникла необходимость создания мультифазных насосных установок для закачки водных и водогазовых смесей в систему поддержания пластового давления. Минимальная производительность таких установок составляет не менее 500 м³/сут, а развиваемое давление до 20 МПа. Расчеты по формулам (1)–(4) показывают, что длина зубчатой поверхности статора и ротора составит примерно 10 м.

При большой длине статора становится невозможно залить его резиновой смесью, а зубья ротора становится невозможно нарезать из-за отсутствия длинных зубообрабатывающих станков. Из-за большой длины статора и ротора сложно получить заготовки для этих деталей и выполнить их термическую и механическую обработку.

Для закачки водных и водогазовых смесей в систему поддержания пластового давления (ППД) в системах адресной закачки в нагнетательные скважины нами разработаны два варианта конструкции насосных установок, в которых вин-

товой героторный механизм разделен на две части. Основным отличием новых установок являются **два винтовых героторных механизма**, соединенных последовательно при помощи трубопровода.

По первому варианту мультифазная винтовая насосная установка (рис. 3, а) содержит раму (на схеме не показана), два винтовых героторных механизма 1 и 2. Героторный механизм 1 содержит рабочие органы 3, входную линию 4, всасывающую 5 и нагнетательную 6 полости. Героторный механизм 2 содержит рабочие органы 7, выходную линию 8, всасывающую 9 и нагнетательную 10 полости.

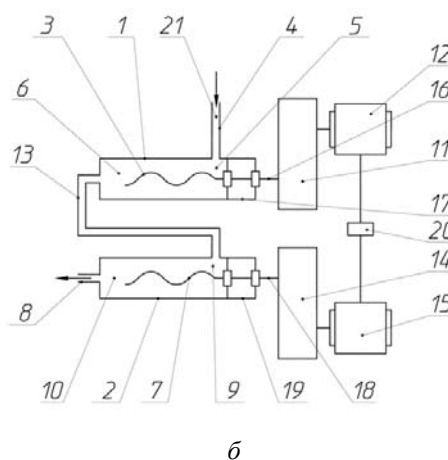
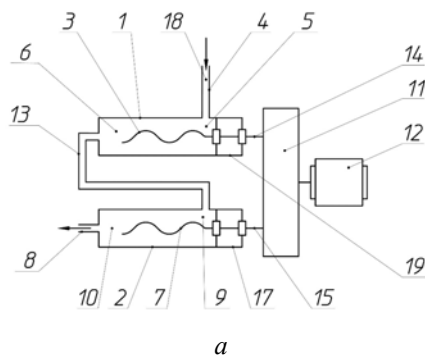


Рис. 3. Схема мультифазной насосной установки с двумя винтовыми героторными механизмами: 1, 2 – винтовой героторный механизм; 3, 7 – рабочие органы; 4 – входная линия; 5, 9 – всасывающие полости; 6, 10 – нагнетательные полости; 8 – выходная линия; 11, 14 – редукторы; 13 – трубопровод; 12, 15 – электродвигатели; 16, 18 – выходной вал редуктора; 17, 19 – шпиндель; 20 – управляющее устройство; 21 – перекачиваемая среда

Винтовые героторные механизмы 1 и 2 имеют общий привод, включающий редуктор 11 и электродвигатель 12. Напорная полость 6 героторного механизма 1 соединена с всасывающей полостью 9 героторного механизма 2 при помощи трубопровода 13. Редуктор 11 имеет два выходных вала 14 и 15. Выходной вал 14 редуктора 11 соединяется

с винтовым героторным механизмом 1 при помощи шпинделя 19. Выходной вал 15 редуктора 11 соединяется с винтовым героторным механизмом 2 при помощи шпинделя 17.

По второму варианту мультифазная винтовая насосная установка (рис. 3, б) содержит раму (на схеме не показана), два винтовых героторных механизма 1 и 2. Героторный механизм 1 содержит рабочие органы 3, входную линию 4, всасывающую 5 и нагнетательную 6 полости. Героторный механизм 2 содержит рабочие органы 7, выходную линию 8, всасывающую 9 и нагнетательную 10 полости. Винтовой героторный механизм 1 имеет привод, включающий редуктор 11 и электродвигатель 12. Выходной вал редуктора 16 соединен с винтовым героторным механизмом 1 при помощи шпинделя 17.

Напорная полость 6 героторного механизма 1 соединена с всасывающей полостью 9 винтового героторного механизма 2 насосной секции при помощи трубопровода 13. Винтовой героторный механизм 2 имеет привод, включающий редуктор 14 и электродвигатель 15. Выходной вал 18 редуктора 14 соединяется с винтовым героторным механизмом 2 при помощи шпинделя 19. Выходной вал 18 редуктора 14 соединяется с винтовым героторным механизмом 2 при помощи шпинделя 19.

Для согласования частоты вращения выходного вала 16 редуктора 11 с частотой вращения выходного вала 18 и редуктора 14 мультифазная винтовая насосная установка содержит управляющее устройство 20, которое связано с электродвигателями 12 и 15.

Мультифазная винтовая насосная установка работает следующим образом. По первому варианту крутящий момент от электродвигателя 12 передается на редуктор 11, который имеет два выходных вала 14 и 15. От них через шпиндели 19 и 17 крутящий момент передается на роторы винтовых героторных механизмов 1 и 2.

При работе винтовых героторных механизмов перекачиваемая среда 18 по входной линии 4 поступает во всасывающую полость 5 винтового героторного механизма 1.

Далее рабочие органы 3 винтового героторного механизма 1 перемещают ее в нагнетательную полость 6 винтового героторного механизма 1, а затем по трубопроводу высокого давления 13 во всасывающую полость 9 винтового героторного механизма 2. После этого рабочие органы 7 винтового героторного механизма 2 перемещают находящуюся под давлением перекачиваемую среду 18 из всасывающей полости 9 в нагнетательную полость 10 винтового героторного механизма 2. За-

тем перекачиваемая жидкость выводится из винтового героторного механизма 2 по выходной линии 8.

По второму варианту крутящий момент от электродвигателя 12 передается на редуктор 11, а затем через шпиндель 17 крутящий момент передается на ротор винтового героторного механизма 1, а крутящий момент от электродвигателя 15 передается на редуктор 14, а затем через шпиндель 19 на ротор винтового героторного механизма 2.

При работе мультифазной насосной установки перекачиваемая среда 21 по входной линии 4 поступает во всасывающую полость 5 винтового героторного механизма 1. Далее рабочие органы 3 винтового героторного механизма 1 перемещают ее в нагнетательную полость 6 винтового героторного механизма 1, а затем по трубопроводу высокого давления 13 во всасывающую полость 9 винтового героторного механизма 2. После этого рабочие органы 7 винтового героторного механизма перемещают находящуюся под давлением перекачиваемую среду 21 из всасывающей полости 9 в нагнетательную полость 10 винтовой насосной секции 2. Затем перекачиваемая жидкость выводится из винтовой насосной секции 2 по выходной линии 8. При работе мультифазной винтовой насосной установки управляющее устройство 20 получает сигналы от электродвигателей 12 и 15 и согласовывает частоту вращения их валов.

По первому варианту давление перекачиваемой среды создается двумя винтовыми героторными механизмами, которые имеют один общий привод, включающий редуктор и электродвигатель. Поскольку напорная полость одной винтовой насосной секции соединена трубопроводом с всасывающей полостью другой винтовой насосной секции, давление, развиваемое установкой, равняется сумме значений давления двух винтовых героторных механизмов.

По второму варианту давление перекачиваемой среды создается двумя винтовыми героторными механизмами, каждый из которых имеет свой собственный привод, включающий редуктор и электродвигатель. Поскольку напорная полость одного винтового героторного механизма соединена трубопроводом с всасывающей полостью другого винтового героторного механизма, давление, развиваемое установкой, равняется сумме значений давления двух винтовых героторных механизмов.

Таким образом, предлагаемые варианты мультифазной винтовой насосной установки для перекачки водогазонефтяных смесей и закачки водных и водогазовых смесей в систему поддер-

жания пластового давления позволяют повысить давление, развиваемое мультифазной установкой, и упростить технологию ее изготовления за счет возможности уменьшения длины винтовых насосных секций.

Список литературы

1. Балденко Д.Ф., Балденко Ф.Д., Гноевых А.Н. Одновинтовые гидравлические машины: в 2 т. / ООО «ИРЦ Газпром». – М., 2005–2007. – 858 с.
2. Коротаев Ю.А., Чудаков Г.Ф., Николаев В.Ю. Винтовые насосные секции и насосные установки Пермского филиала ВНИИБТ // Строительство нефтяных скважин на суше и на море / ВНИИОЭНГ. – М., 2003. – № 9. – С. 17–19.
3. Мультифазные насосные установки повышенной производительности для перекачки нефтегазовых смесей / Ю.А. Коротаев, Д.А. Голдобин, Н.Ю. Мялицин, А.Ю. Субботин // Oil & Gas Eurasia. – 2014. – No. 6–7. – P. 64–65.
4. Компонировка винтового героторного насоса: пат. 132504 Рос. Федерация: МПК F04C2/107 / Коротаев Ю.А., Голдобин Д.А. – № 2013116558/06; заявл. 11.04.2013; опубл. 20.09.2013, Бюл. № 29.
5. Установка для перекачки мультифазных жидкостей с большим содержанием газа: пат. 145326 Рос. Федерация: F04B47/00 / Голдобин Д.А., Коротаев Ю.А., Субботин А.Ю. – № 2014112127/06; заявл. 28.03.2014; опубл. 20.09.2014, Бюл. № 26.
6. Устройство защиты мультифазного насоса: пат. 2539214 Рос. Федерация: МПК F04C 2/16 / Голдобин Д.А., Коротаев Ю.А., Мялицин Н.Ю. – № 2013151483/06; заявл. 19.11.2013; опубл. 20.01.2015, Бюл. № 2.
7. Многозаходный героторный механизм винтовой гидравлической машины: пат. 2194880 Рос. Федерация / Коротаев Ю.А., Цепков А.В., Кочнев А.М., Бобров М.Г., Суслов В.Ф. – № 2001103176/06; заявл. 02.02.2001; опубл. 20.12.2002, Бюл. № 35.
8. Коротаев Ю.А., Голдобин Д.А. Особенности проектирования и расчета многозаходных героторных механизмов мультифазных насосов // Изв. ТулГУ. Технические науки. – 2016. – Вып. 8, ч. 2. – С. 175–183.
9. Новые направления в развитии винтовых мультифазных насосов / Д.А. Голдобин, Ю.А. Коротаев, Н.Ю. Мялицин, А. Субботин // Экспозиция НефтьГаз. – 2015. – № 6. – С. 67–71.
10. Коротаев Ю.А., Пьянков А.Ю. Новая конструкция многозаходного героторного механизма мультифазного насоса // MASTER JOURNAL. – 2015. – № 1. – С. 37–42.
11. Коротаев Ю.А. Технологическое обеспечение долговечности многозаходных винтовых героторных механизмов гидравлических забойных двигателей / ОАО «ВНИИОЭНГ». – М., 2003. – 260 с.
12. Зотин В.Н., Кочнев А.М. Исследование напряженного состояния обкладки статора винтового забойного двигателя // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1986. – № 5. – С. 20–24.
13. Коротких Н.И., Коротаев Ю.А., Хохлов В.В. Повышение надежности резинометаллических статоров

винтовых забойных двигателей // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2001. – № 4. – С. 8–11.

14. Писаренко Г.С., Яковлев А.П., Матвеев В.В. Справочник по сопротивлению материалов / под ред. Г.С. Писаренко. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: Наукова думка, 1988. – 736 с.

15. Плотников В.М., Фуфачев О.И. Тепловой расчет резиновой обкладки статоров винтовых забойных двигателей // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 9. – С. 3–6.

16. Кочнев А.М., Голдобин В.Б. Винтовой забойный двигатель с облегченным ротором // Нефтяное хозяйство. – 1989. – № 9. – С. 14–16.

17. Коротаев Ю.А., Иванов В.А., Голдобин Д.А. Технология изготовления рабочих органов винтовых забойных двигателей с облегченными роторами и армированными статорами // Вестник Ижев. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 3.

18. Голдобин Д.А., Коротаев Ю.А. Особенности конструкции и технологии изготовления статоров винтовых забойных двигателей ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент», армированных стальной тонкостенной винтовой оболочкой // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2010. – № 11.

19. Голдобин Д.А., Коротаев Ю.А., Фуфачев О.И. Повышение точности изготовления гидроштампованных облегченных роторов и энергетических характеристик винтовых забойных двигателей // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2010. – № 2. – С. 35–37.

20. Голдобин Д.А., Коротаев Ю.А., Плотников В.М. Компьютерное моделирование процесса формообразования тонкостенных винтовых оболочек для роторов и статоров винтовых забойных двигателей // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2012. – № 8. – С. 4–8.

21. Плотников В.М., Голдобин Д.А., Фуфачев О.И. Совершенствование технологии изготовления облегченных роторов винтовых забойных двигателей // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – 2007. – № 2. – С. 13–15.

22. Способ изготовления трубчатой оболочки ротора винтового забойного двигателя: пат. 2187616 Рос. Федерация / Кочнев А.М., Коротаев Ю.А., Дмитриев В.П. – № 2001104270/03; завл. 14.02.01; опубл. в БИ, Бюл. № 23.

23. Голдобин Д.А., Коротаев Ю.А., Фуфачев О.И. Повышение точности изготовления гидроштампованных облегченных роторов и энергетических характеристик винтовых забойных двигателей // Вестник Ассоциации буровых подрядчиков. – 2010. – № 2. – С. 35–37.

24. Коротаев Ю.А., Голдобин Д.А., Алпатов А.Н. Особенности технологии гидроштамповки зубчатых оболочек для роторов и статоров винтовых двигателей и насосов // Изв. ТулГУ. Технические науки. – 2013. – Вып. 8. – С. 48–55.

Refereces

1. Baldenko D.F., Baldenko F.D., Gnoevykh A.N. Odnovintovye gidravlicheskie mashiny [Single screw hydraulic machines]. ООО «IRTs Gazprom». Moscow, 2005, 2007, 858 p.

2. Korotaev Iu.A., Chudakov G.F., Nikolaev V.Iu. Vintovye nasosnye sektsii i nasosnye ustanovki Perm-skogo filiala VNIIBT [Screw pumping sections and pumping units of the Perm branch of VNIIBT]. *Stroitel'stvo nef'tianykh skvazhin na sushe i na more*. VNIIOENG. Moscow, 2003, no. 9, pp. 17–19.
3. Korotaev Iu.A., Goldobin D.A., Mialitsin N.Iu., Subbotin A.Iu. Mul'tifaznye nasosnye ustanovki povyshennoi proizvoditel'nosti dlia perekachki nef'tegazovykh smesei [High-performance multiphase pumping units for pumping oil and gas mixtures]. *Oil & Gas Eurasia*, 2014, no. 6–7, pp. 64–65.
4. Korotaev Iu.A., Goldobin D.A. Komponovka vintovogo gerotornogo nasosa [Screw gerotor pump layout]: Patent Rossiskaia Federatsiia no. 132504 (2013).
5. Goldobin D.A., Korotaev Iu.A., Subbotin A.Iu. Ustanovka dlia perekachki mul'tifaznykh zhidko-stei s bol'shim soderzhaniiem gaza [Multiphase pumping unit for multiphase liquids with high gas content]. Patent Rossiskaia Federatsiia no. 145326 (2014).
6. Goldobin D.A., Korotaev Iu.A., Mialitsin N.Iu. Ustroistvo zashchity mul'tifaznogo nasosa [Multiphase pump protection device]. Patent Rossiskaia Federatsiia no. 2539214 (2015).
7. Korotaev Iu.A., Tsepkov A.V., Kochnev A.M., Bobrov M.G., Suslov V.F. Mnozozakhodnyi gerotorny mekhanizm vintovoi gidravlicheskoii mashiny [Multistage gerotor mechanism of screw hydraulic machine]. Patent Rossiskaia Federatsiia no. (2002).
8. Korotaev Iu.A., Goldobin D.A. Osobennosti proektirovaniia i rascheta mnozozakhodnykh gerotornykh mekhanizmov mul'tifaznykh nasosov [Features of design and calculation of multistage gerotor mechanisms of multiphase pumps]. *Izv. TulGU. Tekh-nicheskie nauki*, 2016, iss. 8, pach 2, pp. 175–183.
9. Goldobin D.A., Korotaev Iu.A., Mialitsin N.Iu., Subbotin A. Novee napravleniia v razvitii vintovykh mul'tifaznykh nasosov [New directions in development of screw multiphase pumps]. *Ekspozitsiia Nef't' Gaz*, 2015, no. 6, pp. 67–71.
10. Korotaev Iu.A., P'iankov A.Iu. Novaia konst-ruktsiia mnozozakhodnogo gerotornogo mekhanizma mul'ti-faznogo nasosa [New design of multistage gerotor mechanism of multiphase pump]. *MASTER JOURNAL*, 2015, no. 1, pp. 37–42
11. Korotaev Iu.A. Tekhnologicheskoe obespechenie dolgovechnosti mnozozakhodnykh vintovykh gerotornykh mekhanizmov gidravlicheskiikh zaboinykh dvigatelei [Technological maintenance of durability of multistage gerotor screw mechanisms of hydraulic downhole motors]. OAO «VNIIOENG». Moscow, 2003, 260 p.
12. Zotin V.N., Kochnev A.M. Issledovanie napriazhenno-go sostoianiia obkladki statora vintovogo zaboinogo dvigatel'ia [Investigation of the stress state of the screw downhole motor stator cover]. *Khimicheskoe i nef'tianoe mashinostroenie*, 1986, no. 5, pp. 20–24.
13. Korotkiikh N.I., Korotaev Iu.A., Khokhlov V.V. Povyshenie nadezhnosti rezinometallicheskiikh statorov vintovykh zaboinykh dvigatelei [Increase of reliability of rubber-metal stators of screw downhole motors]. *Vestnik Assotsiatsii burovnykh podriadchikov*, 2001, no. 4, pp. 8–11.
14. Pisarenko G.S., Iakovlev A.P., Matveev V.V. Spravochnik po soprotivleniiu materialov [Material Resistance Handbook]. Ed. G.S. Pisarenko. 2nd. Kiev: Naukova dumka, 1988, 736 p.
15. Plotnikov V.M., Fufachev O.I. Teplovoi raschet rezinovoi obkladki statorov vintovykh zaboinykh dvigatelei [Thermal calculation of the rubber cladding of downhole motor stators]. *Stroitel'stvo nef'tianykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2010, no. 9, pp. 3–6.
16. Kochnev A.M., Goldobin V.B. Vintovoi zaboi-nyi dvigatel' s oblegchennym rotorom [Screw downhole motor with lightweight rotor]. *Nef'tianoe khoz-vo*, 1989, no. 9, pp. 14–16.
17. Korotaev Iu.A., Ivanov V.A., Goldobin D.A. Tekhnologiia izgotovleniia rabochikh organov vintovykh za-boinykh dvigatelei s oblegchennymi rotorami i armirovannymi statorami [Technology of manufacturing of working elements of screw-breaking motors with lightweight rotors and armored bath stators]. *Vestnik Izhev. gos. tekhn. un-ta*, 2011, no. 3.
18. Goldobin D.A., Korotaev Iu.A. Osobennosti konstrukt-sii i tekhnologii izgotovleniia statorov vin-tovykh zaboinykh dvigatelei OOO «VNIIBT-Burovoi instrument», armirovannykh stal'noi tonkostennoi vintovoi obolochkoi [Features of design and manufacturing technology of down-hole motor stators of LLC "VNIIBT-Burovoy Instrument" reinforced with thin-walled steel screw casing]. *Stroitel'stvo nef'tianykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2010, no. 11.
19. Goldobin D.A., Korotaev Iu.A., Fufachev O.I. Povyshenie tochnosti izgotovleniia gidroshtampovannykh oblegchennykh rotorov i energeticheskikh kharakteristik vintovykh zaboinykh dvigatelei [Increased precision in the manufacture of hydrostamped lightweight rotors and energy performance of downhole screw motors]. *Vestnik Assotsiatsii burovnykh podriadchikov*, 2010, no. 2, pp. 35–37.
20. Goldobin D.A., Korotaev Iu.A., Plotnikov V.M. Komp'uternoe modelirovanie protsessa formoobrazo-vaniia tonkostennykh vintovykh obolochek dlia rotorov i statorov vintovykh zaboinykh dvigatelei [Computer simulation of the thin-walled screw casing process for rotors and downhole motor stators]. *Stroitel'stvo nef'tianykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2012, no. 8, pp. 4–8.
21. Plotnikov V.M., Goldobin D.A., Fufachev O.I. Sovershenstvovanie tekhnologii izgotovleniia oblegchennykh rotorov vintovykh zaboinykh dvigatelei [Improvement of the lightweight rotors manufacturing technology of down-hole screw motors]. *Stroitel'stvo nef'tianykh i gazovykh skvazhin na sushe i na more*, 2007, no. 2, pp. 13–15.
22. Kochnev A.M., Korotaev Iu.A., Dmitriev V.P. Sposob izgotovleniia trubchatoi obolochki rotora vintovogo zaboinogo dvigatel'ia [Method of production of tubular casing Screw downhole motor rotor]. Patent Rossiskaia Federatsiia no. 2187616 (2001).
23. Goldobin D.A., Korotaev Iu.A., Fufachev O.I. Povyshenie tochnosti izgotovleniia gidroshtampovannykh oblegchennykh rotorov i energeticheskikh kharakteristik vintovykh zaboinykh dvigatelei [Increased precision in the manufacture of hydrostamped lightweight rotors and energy performance of downhole screw motors]. *Vestnik Assotsiatsii burovnykh podriadchikov*, 2010, no. 2, pp. 35–37.
24. Korotaev Iu.A., Goldobin D.A., Alpatov A.N. Osobennosti tekhnologii gidroshtampovki zubchatykh

obolochek dlia rotorov i statorov vintovykh dvigatelei i nasosov [Features of gear casing hydroforming technology for rotors and stators of screw motors and pumps]. *Izvestiia TulGU. Tekhnicheskie nauki*, 2013, iss. 8, pp. 48–55.

Получено 26.09.19

Опубликовано 26.11.19

Сведения об авторах

Коротаев Юрий Арсеньевич (Пермь, Россия) – доктор технических наук, академик РАЕН, профессор кафедры сварочного производства, метрологии и технологии материалов Пермского национального исследовательского политехнического университета; e-mail: ykor1946@yandex.ru.

Голдобин Дмитрий Анатольевич (Пермь, Россия) – кандидат технических наук, ведущий инженер-конструктор ООО «Биттехника»; e-mail: dimural@mail.ru.

Субботин Анатолий Юрьевич (Пермь, Россия) – руководитель проектов, ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент»; e-mail: asubbotin@integra.ru.

Мялицин Николай Юрьевич (Пермь, Россия) – главный конструктор, ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент», e-mail: nmyalitsin@integra.ru.

Вишняков Сергей Георгиевич (Пермь, Россия) – начальник отдела разработки мультифазных насосных установок, ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент»; e-mail: svishnyakov@integra.ru.

About the authors

Yury A. Korotaev (Perm, Russian Federation) – Doctor of Engineering Science, Academician of the RANS, Professor, Department of Welding Production, Metrology and Materials Technology Perm National Research Polytechnic University; e-mail: ykor1946@yandex.ru.

Dmitry A. Goldobin (Perm, Russian Federation) – Ph.D. in Engineering Science, Leading Design Engineer, LLC "Bittechnika Ltd."; e-mail: dimural@mail.ru.

Anatoly Yu. Subbotin (Perm, Russian Federation) – Project Manager, LLC "VNIIBT-Drilling tools Ltd."; e-mail: asubbotin@integra.ru.

Nikolay Yu. Myalitsyn (Perm, Russian Federation) – Chief Design Engineer, LLC "VNIIBT-Drilling tools Ltd."; e-mail: nmyalitsin@integra.ru.

Sergey G. Vishnyakov (Perm, Russian Federation) – Head of the Department of Multiphase Pumping Units Development, LLC "VNIIBT-Drilling tools Ltd."; e-mail: svishnyakov@integra.ru.