



УДК.622.276.53

## ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ПОТОКА ПЛАСТОВОЙ ЖИДКОСТИ В КЛАПАНЕ УЗЛЕ УСТАНОВКИ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНОГО НАСОСА



### STUDY OF A MODEL FLUID FLOW IN THE VALVE ASSEMBLY OF A SUBMERSIBLE ELECTRIC CENTRIFUGAL PUMP

**Думлер Елена Борисовна**

кандидат технических наук,  
ассистент кафедры машины  
и оборудование нефтегазовых промыслов,  
Уфимский государственный  
нефтяной технический университет  
dumler08@mail.ru

**Зинатуллина Эльмира Якуповна**

кандидат технических наук,  
доцент кафедры машины  
и оборудование нефтегазовых промыслов,  
Уфимский государственный  
нефтяной технический университет  
zinatullina@perfobur.com

**Вахитова Роза Ильгизовна**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры электро- и теплоэнергетики,  
Альметьевский государственный  
нефтяной институт  
roza-w@mail.ru

**Аннотация.** В статье проанализированы спектры потока перекачиваемой жидкости в клапанных узлах с разными геометрическими формами, пришли к выводу, что более обтекаемая форма профиля тела с плавно закругленной нижней частью и более длинной клинообразной верхней частью, позволяет максимально сгладить поток перекачиваемой жидкости. Предложена усовершенствованная конструкция обратного клапана установка электроцентробежного насоса путем изменения формы тела тарелки клапана на более обтекаемую.

**Ключевые слова:** нефтяная скважина, обратный клапан, коэффициент гидравлического сопротивления, УЭЦН, ANSYS.

**Dumler Elena Borisovna**

Candidate of Technical Sciences,  
machine assistant and oil  
and gas field equipment,  
Ufa state oil technical university  
dumler08@mail.ru

**Zinatullina Elmira Yakupovna**

Candidate of Technical Sciences,  
Assistant Professor of machine science  
and oil and gas field equipment,  
Ufa state oil technical university  
zinatullina@perfobur.com

**Vakhitova Rosa Ilgizovna**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Associate Professor of the Department  
of Electric and Heat Power Industry,  
Almetyevsk state oil institute,  
roza-w@mail.ru

**Annotation.** The article analyzes the spectra of the pumped fluid flow in valve assemblies with different geometric shapes, concluded that a more streamlined body profile with a smoothly rounded lower part and a longer wedge-shaped upper part allows to smooth out the pumped fluid flow as much as possible. An improved design of the check valve is proposed. Installation of an electric centrifugal pump by changing the shape of the valve disc body to a more streamlined one.

**Keywords:** oil well, non-return valve, coefficient of hydraulic resistance, ESP, ANSYS.

## Введение

Электроцентробежные погружные насосные установки (УЭЦН), появившись на нефтяных промыслах России в середине прошлого века, по сегодняшний день остаются основным наиболее распространенным оборудованием для добычи нефти. При эксплуатации скважин, оборудованных УЭЦН, одним из главных показателей, характеризующих процесс эксплуатации, является межремонтный период работы погружного насосного оборудования [1–3]. Основными видами отказов (рис. 1) насосного оборудования в добывающих скважинах являются: отказ погружного электродвигателя (ПЭД), обратных клапанов, насосно-компрессорных труб (НКТ), электроцентробежного насоса, кабельной линии.

Из структуры отказов УЭЦН по аварийным узлам нефтяного фонда рассматриваемых скважин видно, что значительная часть отказов связана с негерметичностью резьбовых соединений колонны насосно-компрессорных труб, износом узла обратного клапана, а также нарушением целостности внутренней поверхности НКТ в зоне над обратным клапаном. Это вызвано, в первую очередь, абразивным и агрессивным износом, возникающим в результате воздействия турбулентного течения потока пластовой жидкости, в составе которой находятся: мехпримеси, вода, мелкие пузырьки газа [4–7]. Особая



опасность заключается в том, что турбулентный режим течения, связанный с неоднородностью добываемой среды на выкидной линии насоса, влечет за собой повышение уровня вибрации, которая в свою очередь, значительно увеличивает число преждевременных внезапных отказов в погружном оборудовании. [8–10] В настоящее время имеются разработки клапанных узлов, что подтверждает патентная проработка [11–13]. Тем не менее, имеющиеся конструктивные исполнения клапанов не решают проблему в полной мере, так как в них турбулентный режим течения сохраняется. Решить эту проблему возможно путем снижения вихреобразования, сглаживания потока перекачиваемой среды. Для этого рекомендуется использовать в УЭЦН обратный клапанный узел с формой тела клапана более обтекаемой «каплевидной» формы.

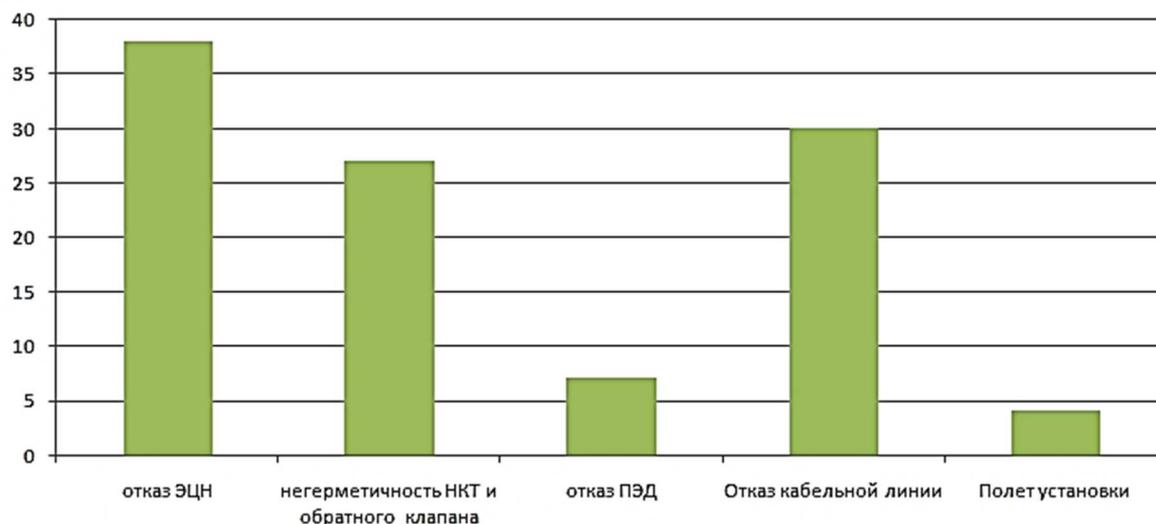


Рисунок 1 – Структура отказов УЭЦН

Исследования. Обратный клапан в УЭЦН используют для облегчения запуска погружных установок [2]. Конструктивной основой клапанного узла является клапан, состоящий из рабочей пары: посадочный элемент (тело) – седло. Важным фактором, влияющим на коэффициент гидравлического сопротивления тела, является форма его профиля. При прохождении через каналы клапанного узла перекачиваемая жидкость изменяет направление при движении, отрываясь от поверхности соприкосновения с телом клапана, что способствует образованию вихревых потоков. Проанализировав спектры потока перекачиваемой жидкости в клапанах с разными геометрическими формами (рис. 2) пришли к выводу, что при более обтекаемой каплевидной форме профиля тела (рис. 2, в), характеризующейся плавной закругленной нижней частью и более длинной клинообразной верхней частью, поток максимально сглажен.

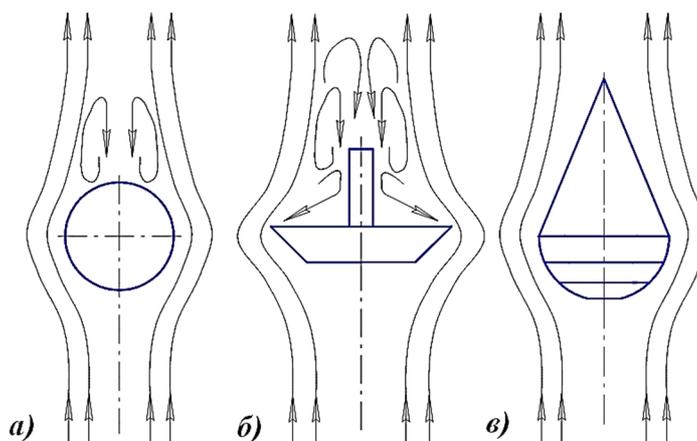
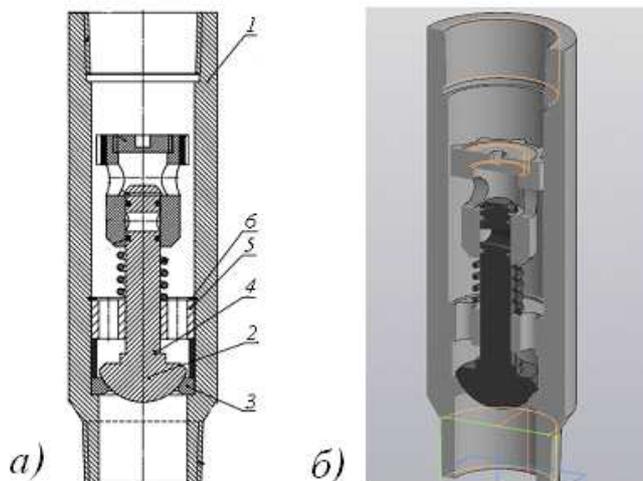


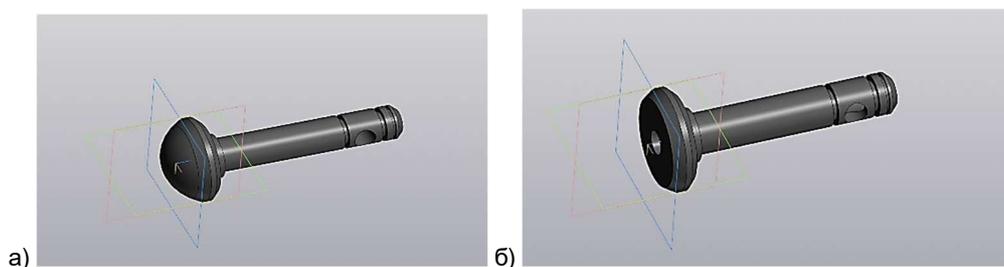
Рисунок 2 – Спектры потока в следе

Модернизированная конструкция обратного клапанного узла УЭЦН с обтекаемой формой клапана представлена на рисунке 3, а), а полученная модель усовершенствованной конструкции обратного клапанного узла насосной установки при 3D-проектировании – на рисунке 3, б).



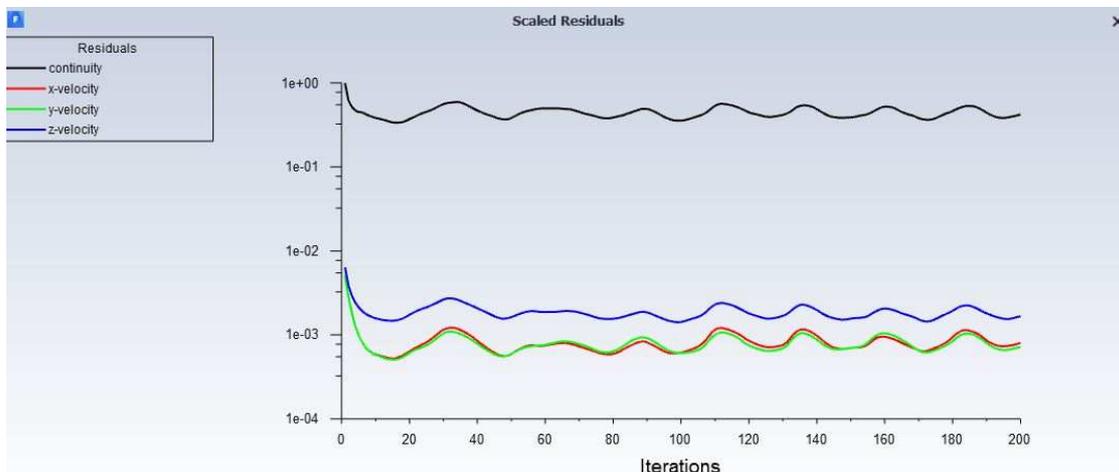
**Рисунок 3** – Обратный клапанный узел с каплевидной формой тарелки:  
 а) клапанный узел с каплевидной формой тарелки:  
 1 – корпус; 2 – тарелка каплевидной формы; 3 – седло; 4 – шток;  
 5 – втулка направляющая; 6 – стопорное кольцо;  
 б) обратный клапанный узел (3D-модель)

В программе Компас 3D смоделированы клапаны с каплевидной (рис. 4) тарельчатой (рис. 4) формой тела для проведения сравнительного анализа влияния формы тела клапана на вихревые потоки перекачиваемой жидкости.



**Рисунок 4** – 3D-модели клапанов с различной формой тела:  
 а) 3D-модель тела клапана каплевидной формы;  
 б) 3D-модель тела клапана тарельчатой формы

Из Компаса в ANSYS проведена интеграция 3D модели, создана модель в ANSYS, которой присвоена геометрия клапану с каплевидной формой тела. Для снижения гидравлических сопротивлений потоку среды подобраны и присвоены материалы для поршня, жидкости и произведены расчеты потока для клапанов с разными формами тела (рис. 5, 6).



**Рисунок 5** – Расчет потока для клапана с каплевидной формой тела

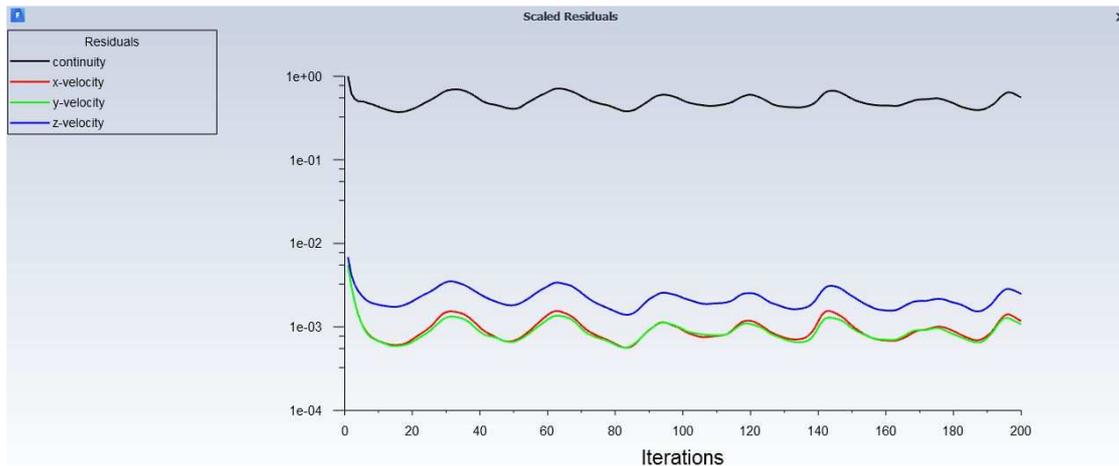


Рисунок 6 – Расчет потока для клапана с тарельчатой формой тела

Анализ потока (рис. 7, 8) позволил определить степень гидравлического сопротивления движения жидкости при различной геометрии формы тела клапана. Затем в рабочем модуле ANSYS Fluent произведено компьютерное моделирование вихревых потоков жидкости в обратном клапанном узле с различной формой тела клапана (рис. 9).

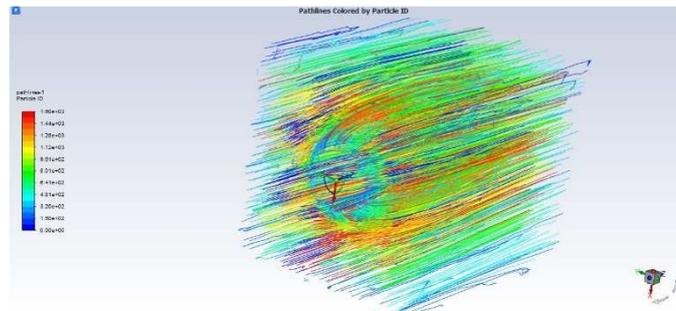


Рисунок 7 – Движение жидкости при геометрии клапана тарельчатой формы

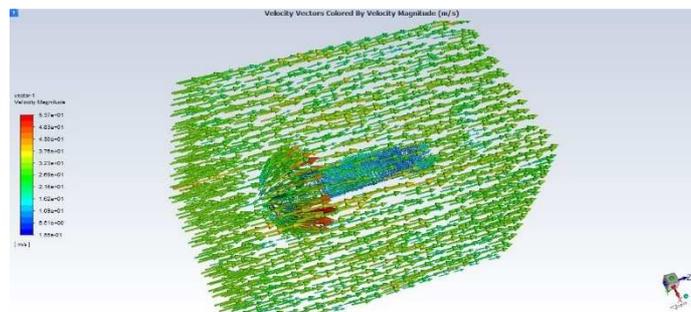


Рисунок 8 – Движение жидкости при геометрии клапана каплевидной формы

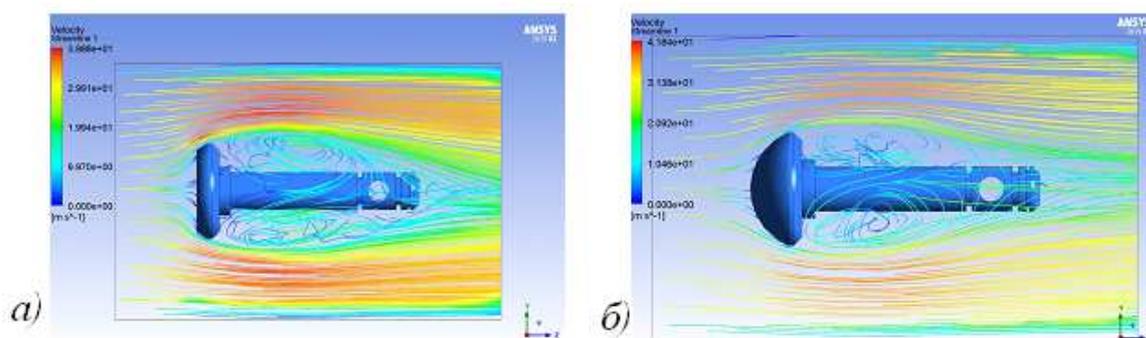


Рисунок 9 – Оценка потока вихреобразования в клапане: а – с тарельчатой формой тела; б – с каплевидной формой тела



Результатом расчета явилась оценка потока вихреобразований. Как видно из расчетов процесс вихреобразования в клапане с каплевидной формой тела значительно меньше, а поток наиболее стабильнее.

Через каплевидную форму тела клапана поток жидкости проходит со скоростью 4,2 м/с, а через тарельчатую – 3,9 м/с.

Выводы. Сравнительный анализ процессов вихреобразования при исследуемых формах тела клапана показал, что вихреобразования в клапане с каплевидной формой тела значительно меньше и поток наиболее стабилен.

## Литература

1. Вахитова Р.И. Повышение эффективности эксплуатации установок электроцентробежных насосов в наклонных и обводненных скважинах : дис. ... канд. техн. наук / Уфимский государственный технический нефтяной университет. – Уфа, 2006. – 114 с.
2. Думлер Е.Б. УЭЦН: погружные установки центробежных насосов : учеб. пособие / Е.Б. Думлер, К.Р. Уразаков, Р.И. Вахитова – Альметьевск : Изд-во АГНИ, 2017. – 44 с.
3. Думлер Е.Б. Исследование пневмопрусинного компенсатора колебаний давления с квазинулевой жесткостью для погружного электроцентробежного насоса : дис. ... канд. техн. наук. – Уфа, 2019. – 143 с.
4. Булчаев Н.Д. Разработка и исследование технологий и технических средств для поддержания пластового давления нефтяных месторождений : дисс. ... канд. техн. наук / Тюменский государственный нефтяной университет. – Тюмень, 2013.
5. Вахитова Р.И. Повышение эффективности работы погружных электроцентробежных установок при добыче нефти с высоким газосодержанием: монография / Р.И. Вахитова [и др.]. – Альметьевск : АГНИ, 2019. – 104 с. – ISBN 978-5-94454-038-6
6. Вахитова Р.И. Внутрискважинный перепуск затрубного газа в НКТ / Р.И. Вахитова, К.Р. Уразаков // Академический журнал Западной Сибири. – Тюмень, 2013. – Т. 9. – № 6 (49). – С. 29.
7. Сарачева Д.А. О повышении эффективности эксплуатации нефтяных скважин с высоким газовым фактором / Д.А. Сарачева, Р.И. Вахитова // Научно-технический журнал «Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов». – Уфа : ГУП «ИПТЭР», 2015. – Вып. 2 (100). – С. 91–99.
8. Думлер Е.Б. Методы диагностики состояния УЭЦН по вибрационным параметрам : Опыт, проблемы и перспективы развития неразрушающих методов контроля и диагностики машин и агрегатов / К.Р. Уразаков, Е.Б. Думлер, Р.И. Вахитова // сборник научных трудов международной научно-технической конференции. – Октябрьский : Изд-во УГНТУ, 2017. – С. 253–258.
9. Думлер Е.Б. Пути решения проблемы «полетов» ЭЦН в скважине / Е.Б. Думлер, В.И. Юдин, Р.М. Фатхудинова // Ученые записки АГНИ: сборник трудов. – Альметьевск : Изд-во АГНИ, 2015. – Т. 14. – С. 62–65.
10. Уразаков К.Р. Диагностирование технического состояния электроцентробежных насосных установок по уровню их вибрации / К.Р. Уразаков [и др.] // Нефтегазовое дело: науч. журн. УГНТУ. – 2017. – Т. 15. – № 1. – С. 103–107.
11. Уразаков К.Р. Влияние вибрации на работоспособность электропогружных центробежных насосных установок / Е.Б. Думлер, К.Р. Уразаков // Материалы научной сессии ученых Альметьевского государственного нефтяного института. – 2016. – Ч. 1. – С. 214–217.
12. Патент РФ 175262. Модуль – обратный клапан / Е.Б. Думлер, О.Ю. Думлер. – Опубл. 04.07.2016.
13. Патент РФ 2544930. Клапан обратный электроцентробежной установки и способ очистки фильтра на приеме насоса / М.Д. Валеев, Н.Д. Булчаев, С.М. Салимгареев, В.Я. Ведерников, В.З. Гаскаров – Опубл. 17.09.2013.

## References

1. Vakhitova R.I. Increase of efficiency of electric submersible pump units operation in inclined and watered wells : discs. ... Cand. of Technical Sciences / Ufa State Technical Petroleum University. – Ufa, 2006. – 114 p.
2. Dumler E.B. ESPs: submersible centrifugal pump units : a tutorial / E.B. Dumler, K.R. Urazakov, R.I. Vakhitova – Almeteyevsk : Publications at AGNI, 2017. – 44 p.
3. Dumler E.B. Investigation of a pneumatic-spring pressure oscillation compensator with quasi-zero stiffness for a submersible electric centrifugal pump : discs. ... Cand. of Technical Sciences. – Ufa, 2019. – 143 p.
4. Bulchaev N.D. Development and research of technologies and technical means for reservoir pressure maintenance at oil fields : discs. ... Cand. of Technical Sciences / Tyumen State Oil University. – Tyumen, 2013.
5. Vakhitova R.I. Increasing the efficiency of submersible electric centrifugal units in oil production with high gas content: a monograph / R.I. Vakhitova [et al.]. – Almeteyevsk : AGNI, 2019. – 104 p. – ISBN 978-5-94454-038-6
6. Vakhitova R.I. Intrinsic well bypass of the annular gas in tubing string / R.I. Vakhitova, K.R. Urazakov // Academic journal of Western Siberia. – Tyumen, 2013. – Vol. 9. – № 6 (49). – P. 29.
7. Saracheva D.A. About efficiency increase of operation of oil wells with high gas factor / D.A. Saracheva, R.I. Vakhitova // Scientific and technical journal «Problems of gathering, preparation and transport of oil and oil products». – Ufa : State Unitary Enterprise «IPTEP», 2015. – Exhibit 2 (100). – P. 91–99.
8. Dumler E.B. Diagnostics methods of ESP installations state by vibration parameters : Experience, problems and prospects of development of non-destructive methods of control and diagnostics of machines and units / K.R. Urazakov, E.B. Dumler, R.I. Vakhitova // Collection of scientific papers of the international scientific and technical conference. – Okiyabrsky : USTU Publishing House, 2017. – P. 253–258.



9. Dumler E.B. Ways of solving the problem of «flight» of the ESP in a well / E.B. Dumler, V.I. Yudin, R.M. Fatkhutdinova // Scientists' notes of AGNI: Proceedings. – Almet'yevsk : AGNI Publishing House, 2015. – Vol. 14. – P. 62–65.
10. Urazakov K.R. Diagnosis of the technical state of the electric centrifugal pump units on the level of their vibration / K.R. Urazakov [et al.] // Petroleum business: scientific journal. USTU. – 2017. – Vol. 15. – № 1. – P. 103–107.
11. Urazakov K.R. Vibration influence on the serviceability of the electric submersible centrifugal pump units / E.B. Dumler, K.R. Urazakov // Materials of scientific session of Almet'yevsk State Oil Institute scientists. – 2016. – Part 1. – P. 214–217.
12. Patent RF 175262. Module – non-return valve / E.B. Dumler, O.Yu. Dumler. – Publication 04.07.2016.
13. Patent RF 2544930. Electric submersible reverse valve and filter cleaning method at pump acceptance / M.D. Valeyev, N.D. Bulchaev, S.M. Salimgareev, V.Y. Vedernikov, V.Z. Gaskarov – Publication 17.09.2013.