ООО "РЕАМ-РТИ"

Использование композитной втулки промежуточного подшипника для снижения виброактивности и увеличения ресурса ЭЛН

Докладчик: Руководитель лаборатории ООО «РЕАМ-РТИ» Шершень Ю. Н.

Наш адрес:
Московская область, г. Балашиха
ул. Советская д.36
тел/факс: (495)544-66-30
www.ream-rti.ru
e-mail: info@ream-rti.ru
reamrti@mail.ru

Импортозамещающее производство с 1991 года

Актуальность применения втулки - демпфера

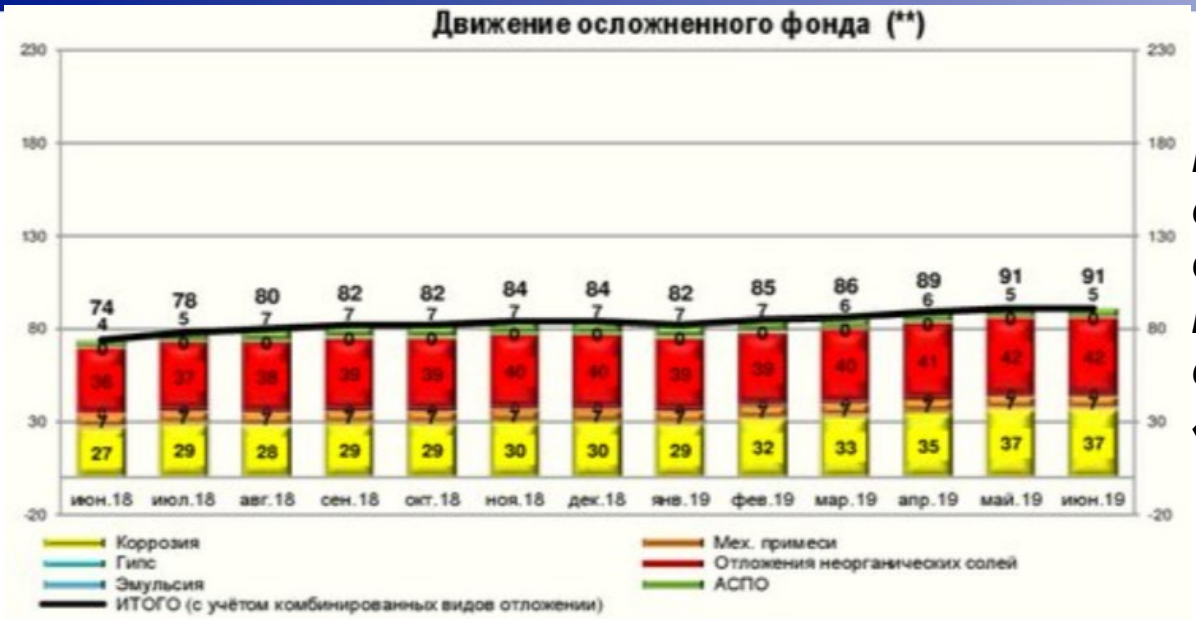


Рис. 1

На рисунке 1 изображена диаграмма динамика движения осложнённого фонда скважин за период с 07.2018 г. по 07.2019 г. по отчёту РосНефть НГДУ «УфаНефть».

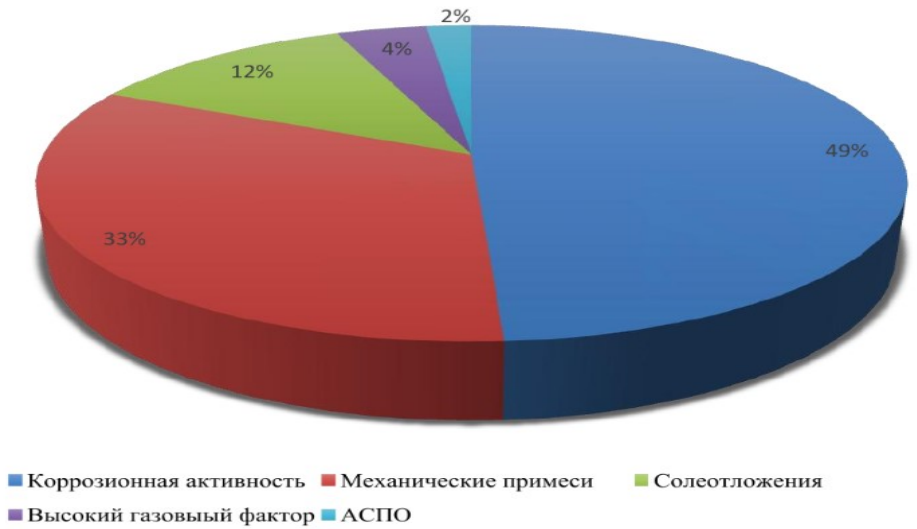
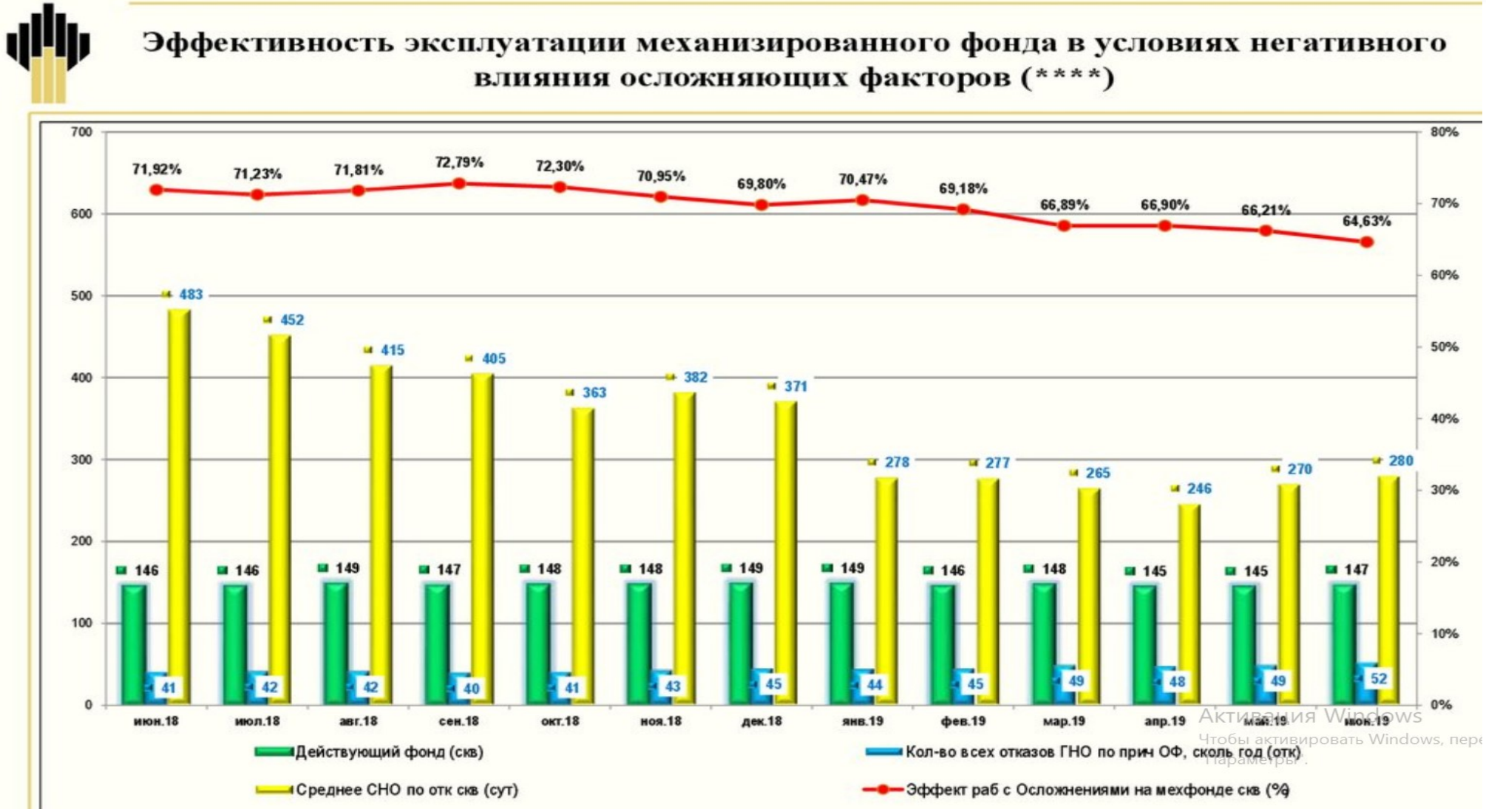


Рис . 2 - Структура осложненного фонда скважин в ООО «РН-Пурнефтегаз»

На рисунке 2 изображена диаграмма структуры осложнённого фонда скважин.

Актуальность применения втулки - демпфера



На рисунке 1 изображена диаграмма изменения СНО в условиях осложнённого фонда скважин за период с 07.2018 г. по 07.2019 г. по отчёту РосНефть НГДУ «УфаНефть».

Актуальность применения втулки - демпфера

Из анализа диаграммы причин выхода из строя скважин, оборудованных установками электроцентробежных насосов (рисунок 1.), следует, что около трети отказов оборудования происходит из-за влияния вибрации.

Рисунок 1. – Диаграмма причин отказов по нефтяному фонду скважин, оборудованных установками электроцентробежных насосов

Актуальность применения втулки - демпфера

Основные причины увеличения вибрации, при эксплуатации ЭЛН:

- Эксплуатация насоса в осложнённых условиях (наличие свободного газа на приёме, высокое содержание абразивных включений в пластовой жидкости, высокая минирализация и температура способствующей к отложению солей на рабочих органах).

- Некачественная сборка ротора ЭЛН при производстве и ремонте.

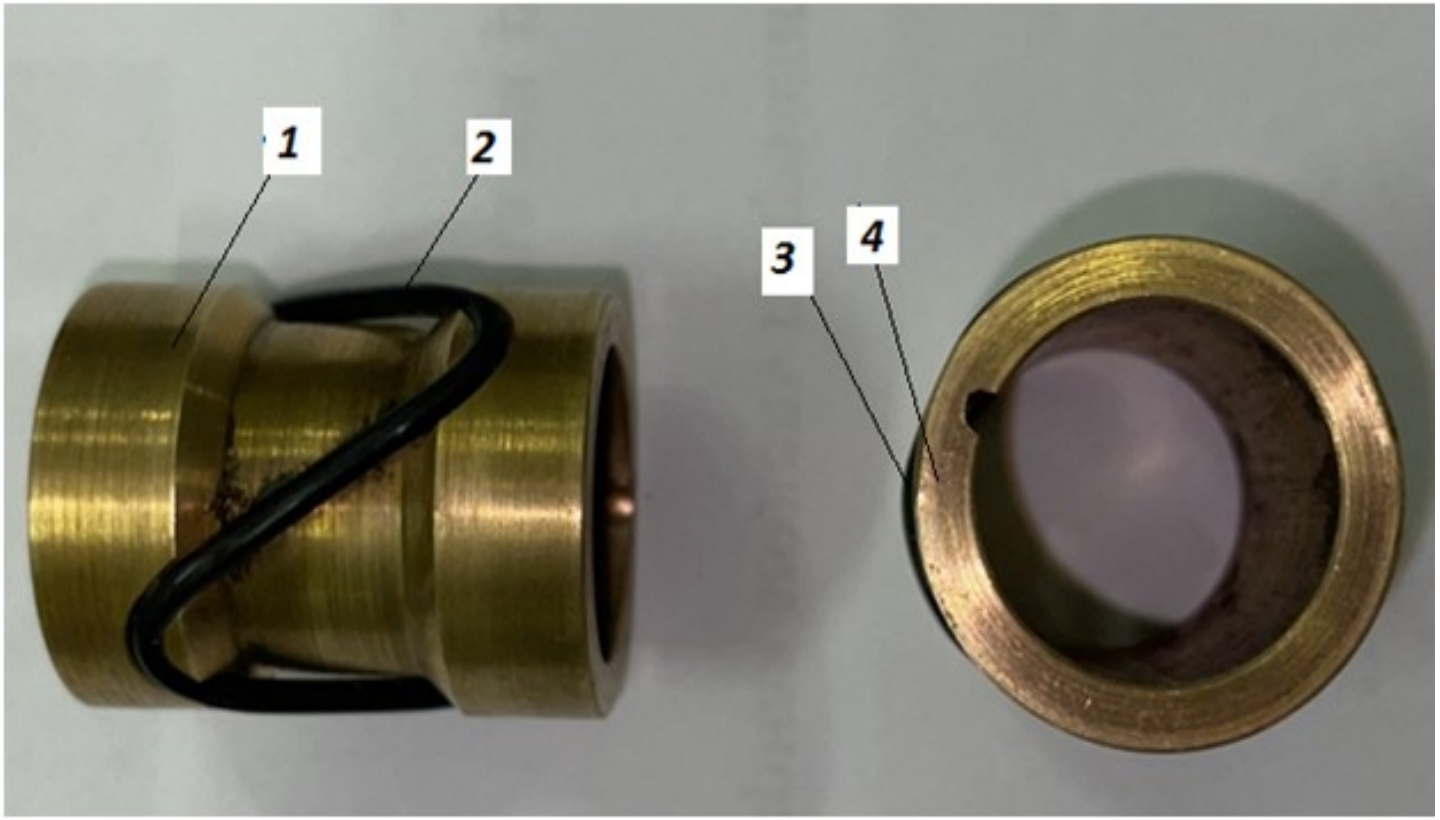
- Пульсация давления на входе и выкиде.

- Высокая кривизна ствола скважины.

В соответствии с ГОСТ Р 55265.7—2012 «Вибрация КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ МАШИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ВИБРАЦИИ НА НЕВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАСТЯХ Часть 7 Насосы динамические промышленные» (ISO 10816-7:2009) допускается эксплуатация ЭЛН мощностью до 200 кВт до СКЗ виброскорости 8,5 мм/с. В диапазоне 8,5мм/с...10,5 мм/с разрешена кратковременная эксплуатация. При значении СКЗ виброскорости выше 10,5 мм/с ЭЛН должна быть выведена из эксплуатации

Предлагаемая конструкция втулки - демпфера

Одним из направлений снижения вероятности отказов по этим причинам является использования демпфирующих устройств в составе ЭЛН. В качестве такого устройства предлагается использования демпфирующей втулки промежуточного подшипника ЭЛН.

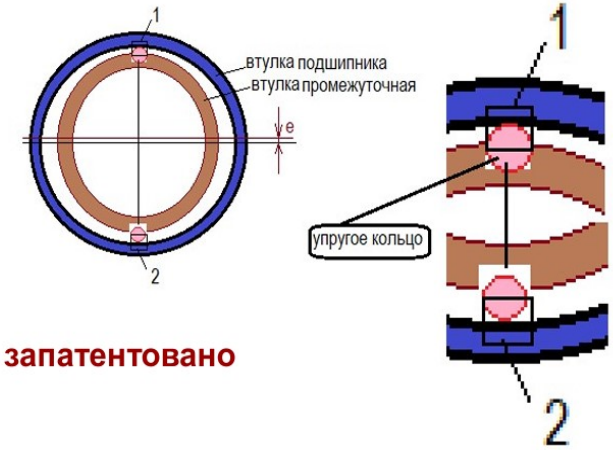


В первой версии втулка опорная промежуточного подшипника выглядела в виде латунной втулки с выполненными на ней канавками для монтажа эластомерного кольца (на рисунке изображены: 1, 4 — несущая втулка, 2, 3 — эластомерное кольцо, смонтированное на втулке).

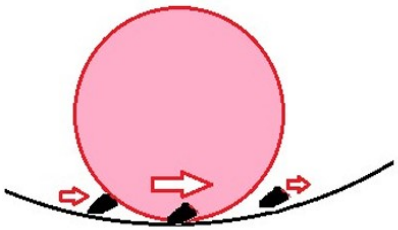
Предлагаемая конструкция втулки - демпфера

Особенности концепции конструкции втулки подшипника для обеспечения несущей способности, стойкости к абразивному изнашиванию:

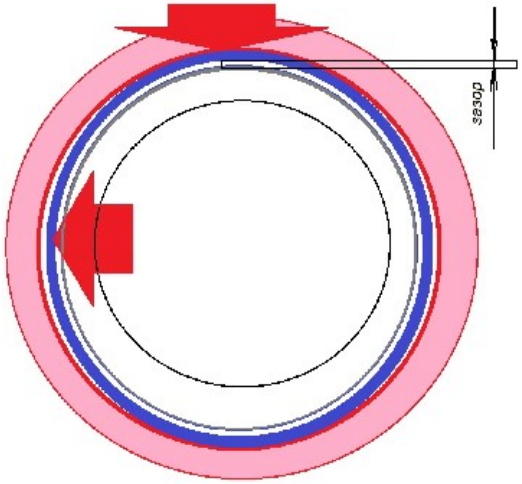
1. Применение упругого эластомерного кольца круглого сечения.
2. Минимизация контактного взаимодействия кольца с опорной поверхностью втулки подшипника (1 и 2).
3. Вынесение абразивных частиц из зоны упругого контакта с кольцом за счет их прокатывания



Решение запатентовано



вынос частиц из зоны контакта с упругим кольцом



Предлагаемая конструкция втулки - демпфера

Конструкция и установка втулки в подшипнике предусматривает беззазорное её положение.

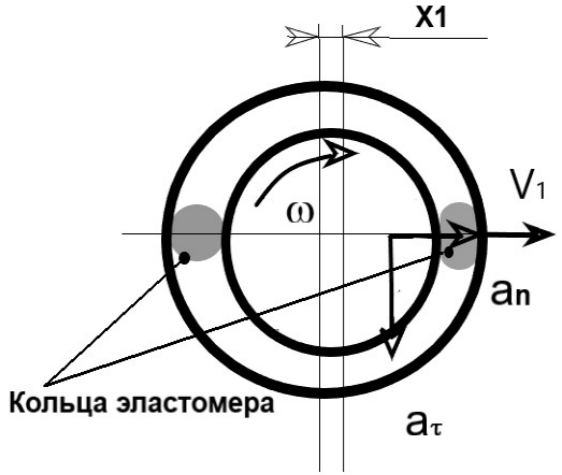
Это обеспечивает центрирование ротора насоса, и безударное демпфирование радиальных усилий, возникающих при дисбалансе. В этом случае надо рассматривать приращение кинетической энергии поступательного движения центра масс ротора в радиальном направлении, которая будет равна:

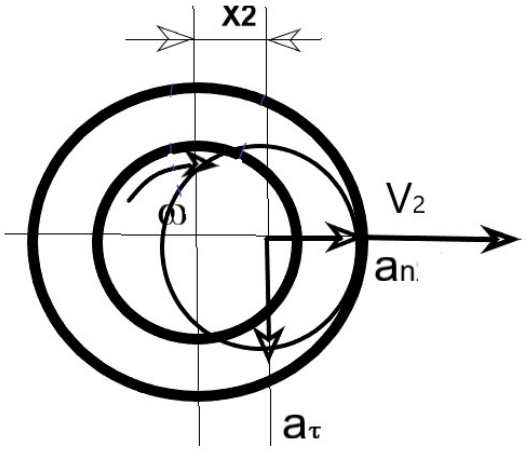
$$Ei=(mi*Vi^2)/2, \text{ Дж}$$

Где:- mi (кг) масса i-го участка ротора;

-Vi (м/с) радиальная скорость i-го участка ротора на конечном участке перемещения (X1 (м) для случая демпфирования втулкой, X2 (м) для случая твёрдосплавной втулкой).

Допускаем для обоих случаев начальную радиальную скорость V0 равную нулю. Конечная скорость перемещения ротора в радиальном направлении V1 (V2), в месте с его массой m определяет величину кинетической энергии, которая может быть сдемпфирована эластомерным кольцом втулки (для первого случая), или оказывает повреждающий эффект в случае жёсткого соударения с контр телом (для второго случая).





Предлагаемая конструкция втулки - демпфера

Конструкция и установка втулки в подшипнике предусматривает беззазорное её положение.

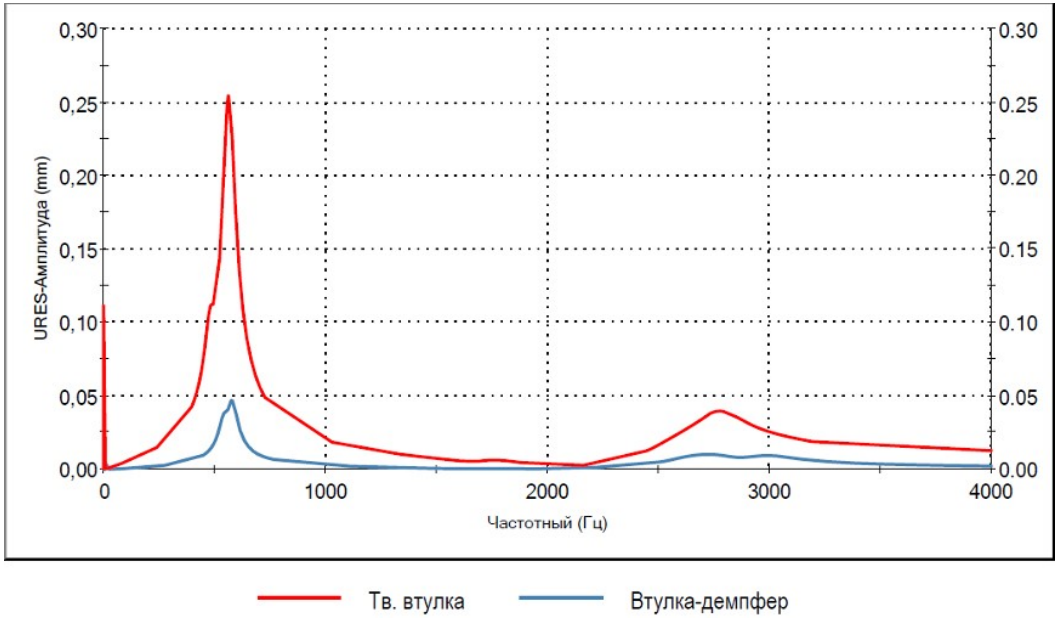


Рис. 1 График зависимости виброперемещения от частоты

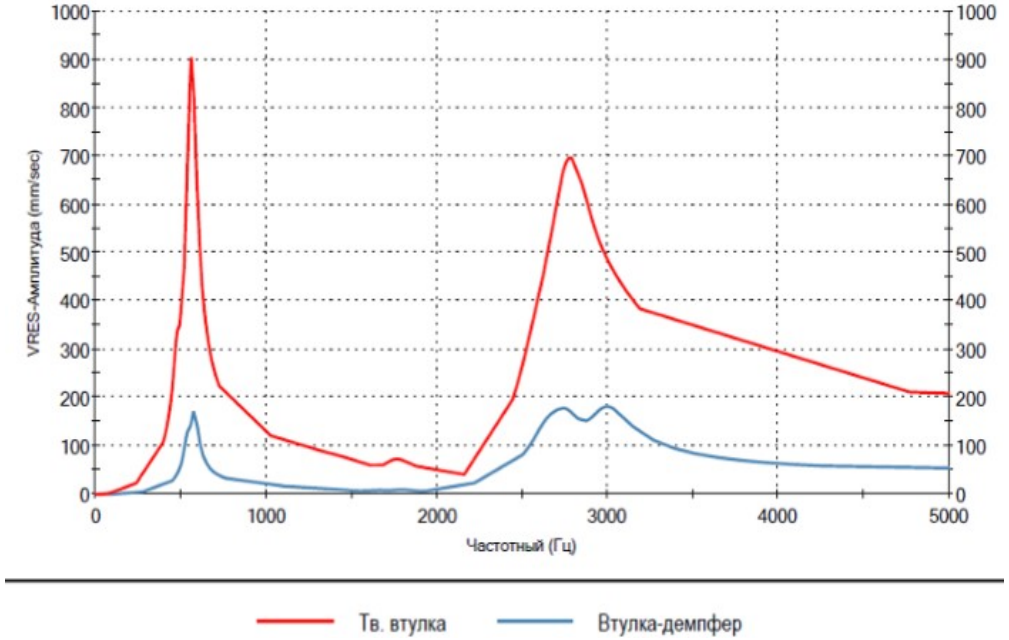


Рис. 2 График зависимости виброскорости от частоты

Проведённые расчётные работы, с использованием математического моделирования, и натурные испытания в научно-исследовательской лаборатории машин и оборудования нефти и газа РГУ им. И. М. Губкина подтверждают снижение вибрационной активности и хорошую способность к демпфированию в составе ЭЛН с использованием втулок с эластомерным кольцом.

Испытания втулки — демпфера

Испытание на изнашиваемость и определения свойств демпфера

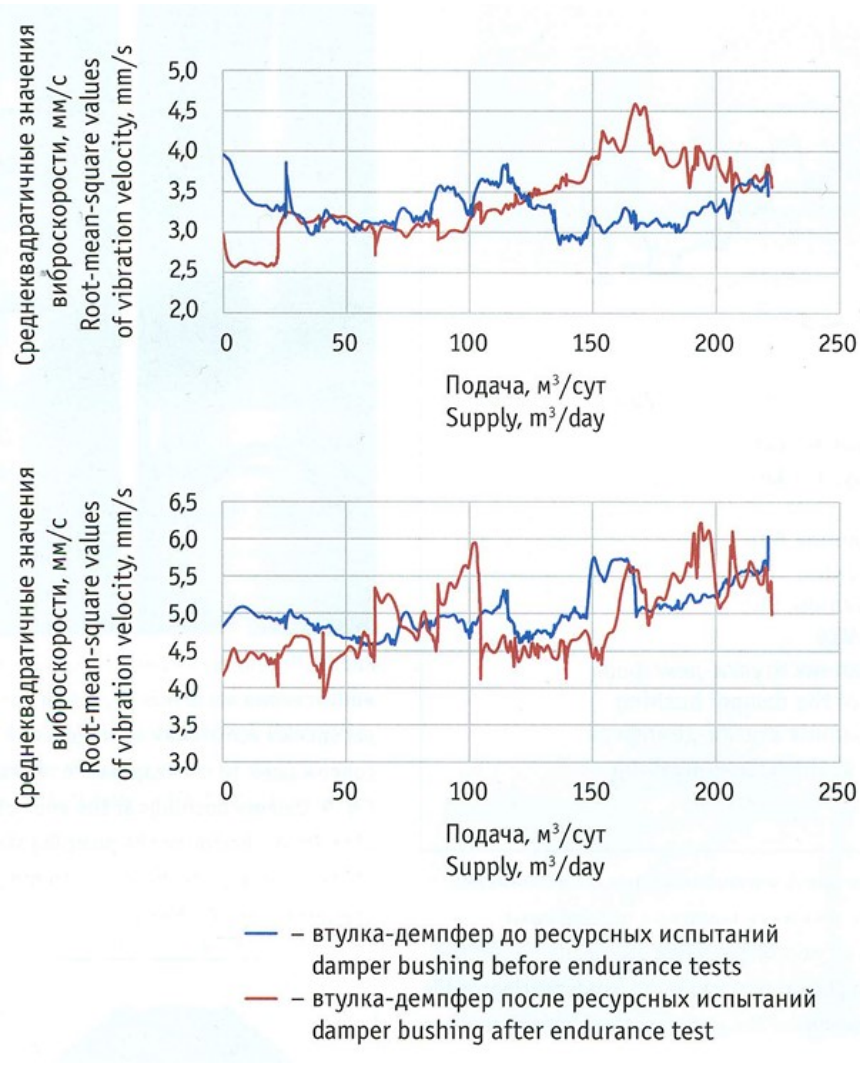


Рис.3 Показатели виброскорости в зависимости от расхода при частоте вращения ротора 3000 об/мин для верхнего и нижнего подшипника

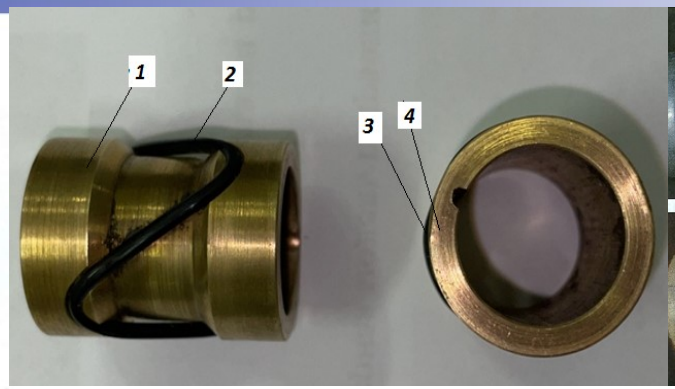


Рис.1

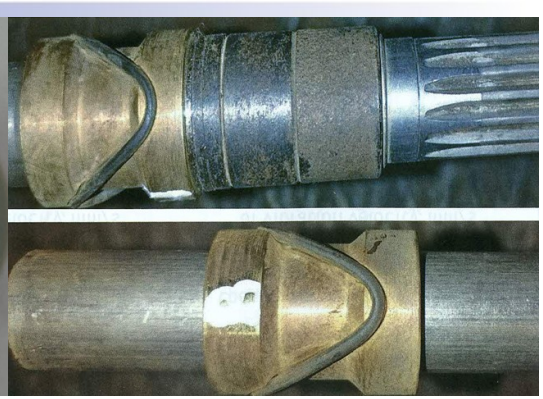


Рис. 2

Конструкция вращающейся втулки на начальных стадиях испытаний была монолитной, выполненной из латуни (рис.1 до испытания на изнашивания).

Стендовые испытания на изнашиваемость и определение демпфирующих свойств втулки проходили на стендах в учебно-научной лаборатории кафедры машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности РГУ нефти и газа (НИУ) имени И. М. Губкина.

Втулки показали показали свою работоспособность, возможность демпфирования динамических нагрузок, снижение виброскорости роторов насосных секций (рис. 3 показатели СКЗ виброскорости до и после испытаний на изнашиваемость) и высокую износостойкость (рис.2 втулки после испытания на изнашиваемость). Хотя использования пар трения «латунь — закалённая сталь или «латунь — твёрдый сплав в подшипниках скольжения ЭЛН при работе на жидкости с абразивными механическими примесями показали, что такие пары

Испытания втулки — демпфера

Испытание на изнашиваемость и определения свойств демпфера

Таблица 1 - Результаты испытаний резинометаллических подшипников

C_s, г/л	Частота вращения, об/мин	Время, мин	Изменение массы втулки, г	Скорость износа, г/мин	Изменение нижнего зазора, мм/мин	Изменение верхнего зазора, мм/мин	Материалы подшипника
2,6	2910	175	0,049	**$2{,}8\cdot10^{-4}$**	$2{,}9\cdot10^{-4}$	$3{,}4\cdot10^{-4}$	ХВГ
8,6	2910	265	0,057	**$2{,}1\cdot10^{-4}$**	$5{,}1\cdot10^{-4}$	$7{,}1\cdot10^{-4}$	ХВГ
17,6	2910	347	0,048	**$1{,}4\cdot10^{-4}$**	$1{,}9\cdot10^{-4}$	$3{,}7\cdot10^{-4}$	ХВГ
8,6	5820	160	0,019	**$1{,}2\cdot10^{-4}$**	$9{,}7\cdot10^{-4}$	$17\cdot10^{-4}$	ХВГ
8,6	2910	210	0,0025	$1{,}2\cdot10^{-5}$	$4{,}8\cdot10^{-4}$	$6{,}1\cdot10^{-4}$	ВК8
8,6	5820	230	0,004	$1{,}7\cdot10^{-5}$	$10{,}3\cdot10^{-4}$	$18{,}2\cdot10^{-4}$	ВК8

Параллельно, с испытаниями в РГУ им. И.М. Губкина, проводились испытания на изнашиваемость на стендах ИММАШ РАН Смирновым Николаем Ивановичем, которые также подтвердили высокую стойкость к изнашиванию втулки-демпфера как при частоте вращения ротора насоса 2910 об/мин, так и при частоте вращения 5820 об/мин, по сравнению с парами трения "бронза — сталь", и с парой трения "ВК8 – ВК8". Было подтверждено что за счет центрирования вала в подшипнике отсутствует односторонний износ и снижается динамика.

Испытания втулки - демпфера

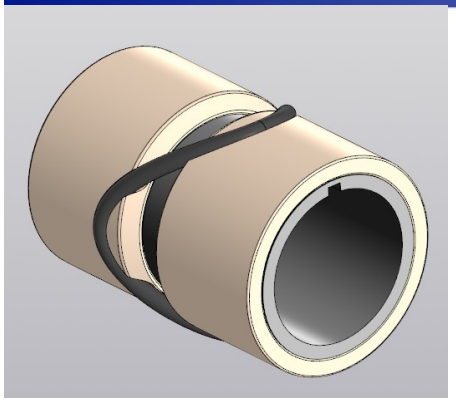


Рис. 1

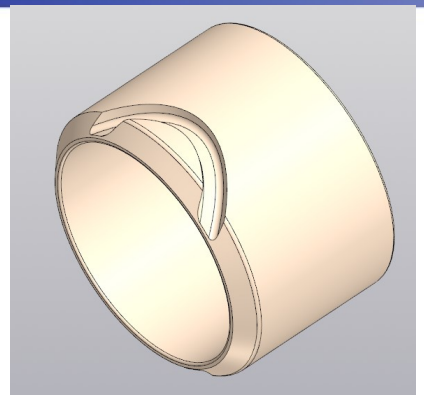


Рис. 2

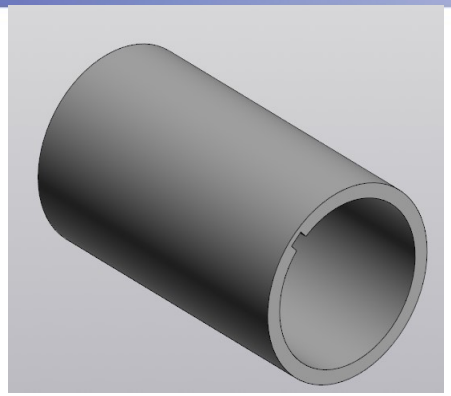


Рис. 3

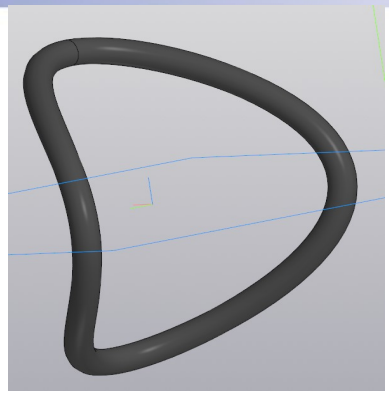


Рис. 4

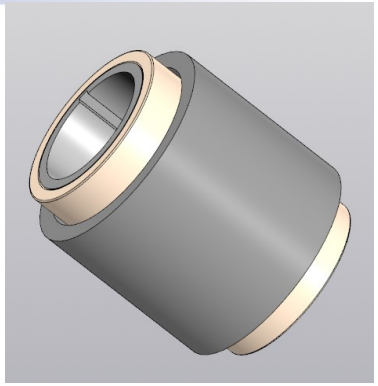


Рис. 5

Рисунок 1 Втулка подшипника
Рисунок 2 Втулка концевая (Карбул)
Рисунок 3 Втулка опорная (Ниризист)
Рисунок 4 Кольцо (Эластомер)
Рисунок 5 Подшипник в сборе

В настоящее время идёт подготовка к производству композитной втулки универсальной, для двух внутренних диаметров промежуточного подшипника 24 мм и 25 мм на вал диаметром 17 мм.

Испытания втулки - демпфера

Испытание на сопротивление к прокручиванию концевой втулки относительно втулки опорной

В ходе подготовки к производству были проведены испытания прототипа втулки на предмет проворачивания карбуловых концевых втулок относительно опорной втулки, для определения надёжности их фиксации заданном положении безклеевым методом.

Рис. 1

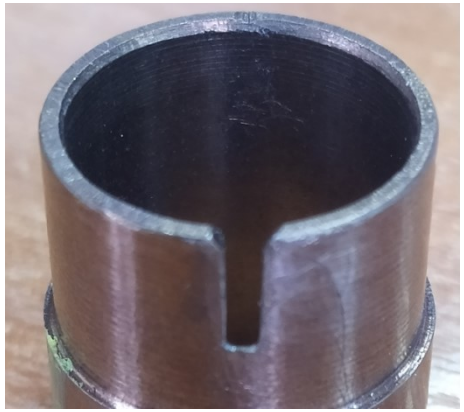


Рис. 2

Рис. 3

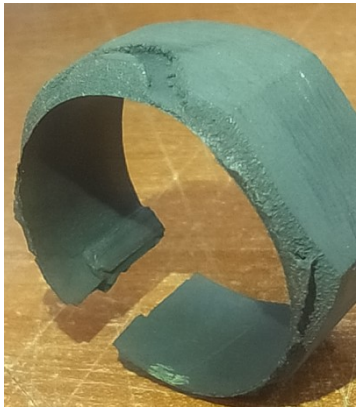


Рис. 4

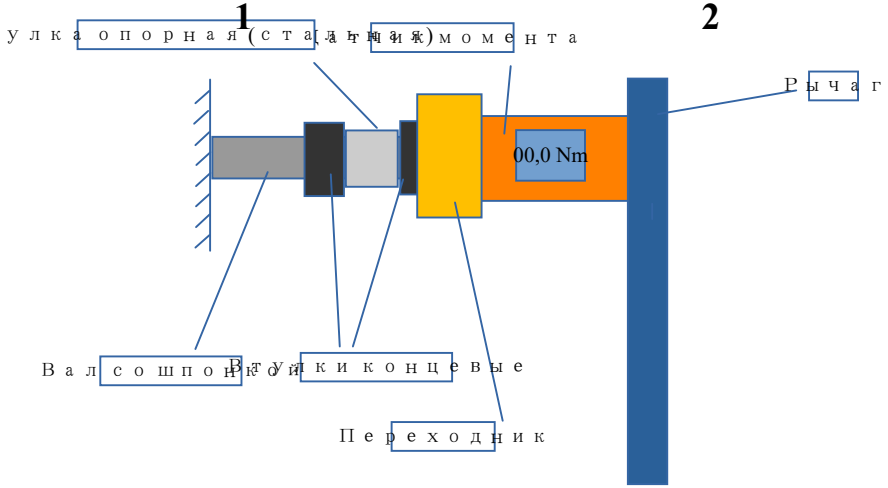


Рисунок 1. Втулка концевая после вулканизации.
Рисунок 2. Втулка опорная.

Рисунок 3. Втулка составная в сборе после карбонизации. Рисунок 4. Втулка после испытания.

В результате испытания был определён момент прокручивания, равный 5 Н*м. При этом сама втулка порвалась.

Слева изображена кинематическая схема испытания

Испытания втулки — демпфера

Испытание на изнашиваемость и определения свойств демпфера

Рис. 1 Состояние втулки до (слева) и после (справа) испытания на изнашивание

Рис. 2 Втулка твёрдосплавная после аналогичных испытаний на изнашивания

Дальнейшим развитием конструкции втулки, с целью улучшения свойств демпфирования, износостойкости, а также улучшения технологичности её промышленного производства, стала композитная (составная) втулка (см. рис. 1). На рис. 2 втулка ВК-6 после испытаний на износ

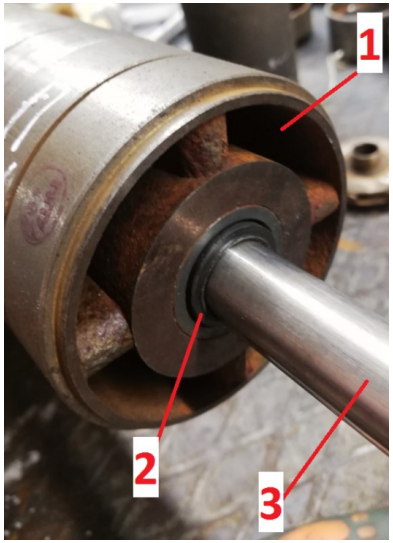


Рис. 3 Секция ЭЛН при разборе(1- корпус опоры, 2- втулка подшипника, 3 – вал)

Рис. 4 Втулка вала после демонтажа корпуса опоры подшипника

С целью подтверждения этих свойств для новой конструкции втулки проводились повторные испытания на изнашиваемость и определения демпфирующих свойств до и после испытания на изнашивание, с той разницей, что повторное испытание на определение демпфирующих свойств втулки проводились с рабочими органами ЭЛН (ступенями ЭЛН) после их испытания на изнашивание

Испытания втулки — демпфера

Испытание на изнашиваемость и определения свойств демпфера

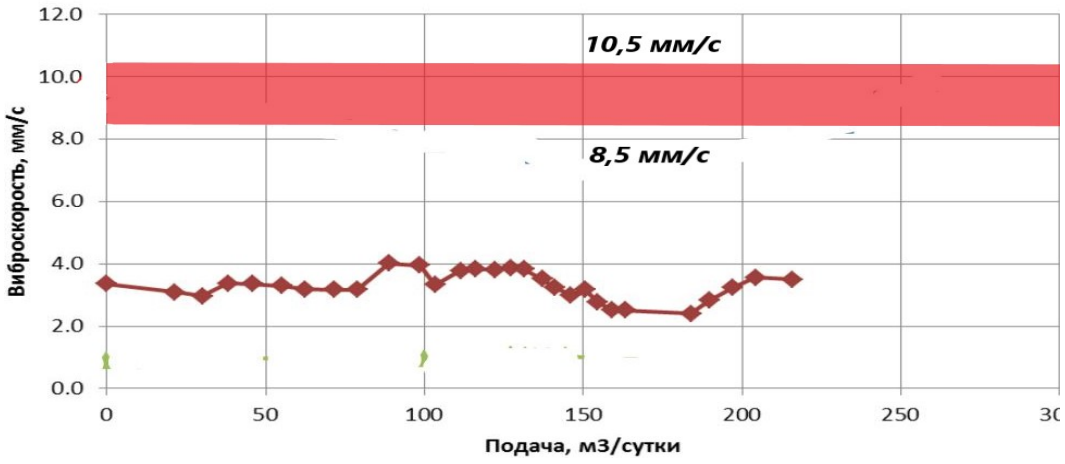


Рис. 1 Вибрационная характеристика секции ЭЛН при частоте вращения ротора 50 Гц, до испытания на изнашивание

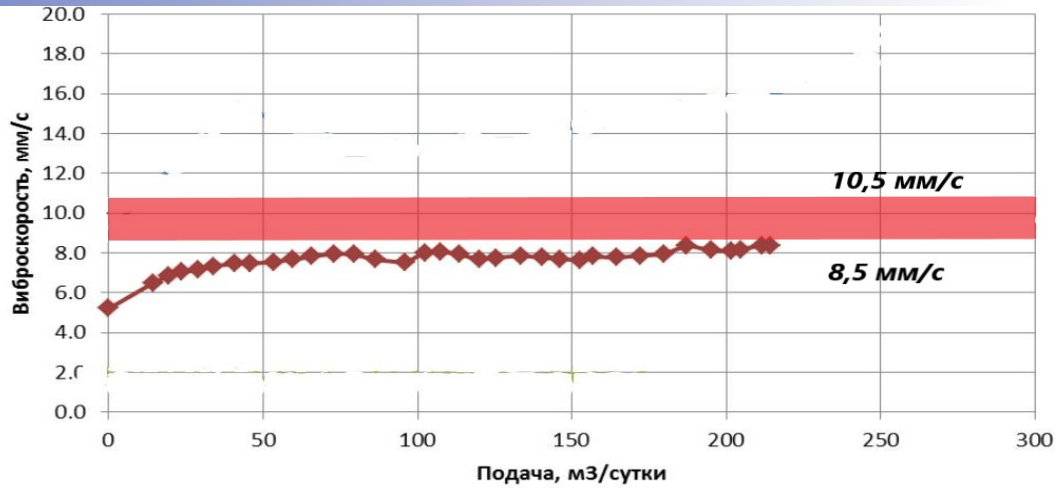


Рис. 2 Вибрационная характеристика секции ЭЛН при частоте вращения ротора 50 Гц, после испытания на изнашивание

На рисунках 1, 2 приведены СКЗ виброскорости до и после испытания на изнашивания с рабочими органами, которые также подвергались испытанию на изнашиваемость.

В соответствии с ГОСТ Р 55265.7—2012 «Вибрация КОНТРОЛЬ СОСТОЯНИЯ МАШИН ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИЗМЕРЕНИЙ ВИБРАЦИИ НА НЕВРАЩАЮЩИХСЯ ЧАСТЯХ Часть 7 Насосы динамические промышленные» (ISO 10816-7:2009) допускается эксплуатация ЭЛН мощностью до 200 кВт до СКЗ виброскорости 8,5 мм/с. В диапазоне 8,5мм/с...10,5 мм/с разрешена кратковременная эксплуатация. При значении СКЗ виброскорости выше 10,5 мм/с ЭЛН должна быть выведена из эксплуатации.

На Рис. 2 видно, что даже с изношенными рабочими колёсами ЭЛН, при использовании втулки — демпфера эксплуатировать данный ЭЛН допускается. При этом надо брать в расчёт, что при усреднённом дебите скважин в России на сегодняшний день 7-8 т/сут средняя стоимость добытой нефти за одни сутки (с учётом актуальной цены) составит от 400 тыс. руб до 500 тыс. руб.

Испытания втулки — демпфера

Испытание на изнашиваемость и определения свойств демпфера

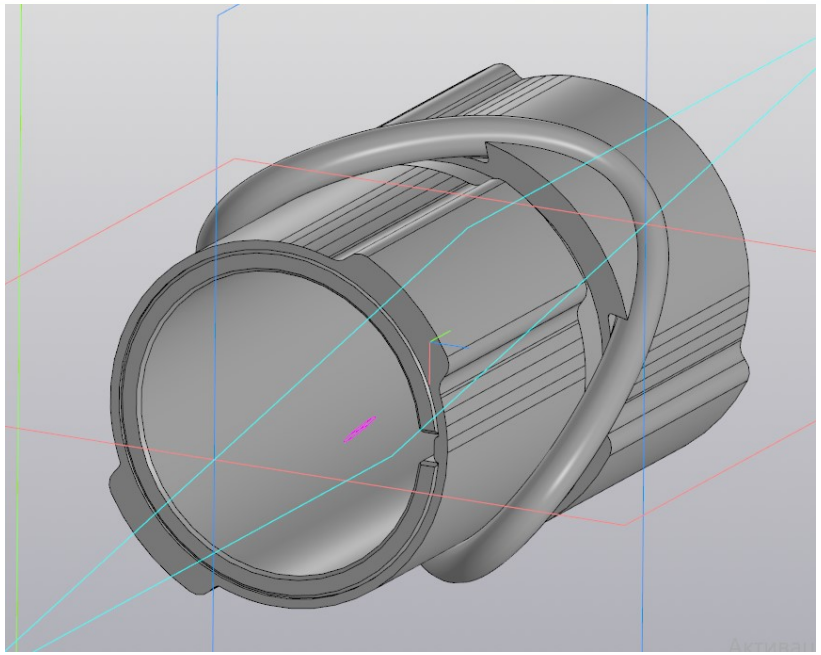
Выводы:

1. Радиальные подшипники с композитными составными втулками, разработанные в ООО «РЕАМ-РТИ», подтвердили свою работоспособность и износостойкость, как минимум, на уровне радиальных подшипников, выполненных из твёрдых сплавов, типа ВК-6.

2. Радиальные подшипниковые узлы с композитной составной втулкой подшипника обеспечивают возможность работы как новых, так и изношенных насосных секций ЭЛН. При этом их использование обеспечивает демпфирование вибрационных нагрузок, возникающих при работе насосных секций в скважинах с осложнёнными условиями эксплуатации, что увеличивает межремонтный ресурс погружных ЭЛН установок.

3. Стоимость инновационных радиальных подшипников с втулками составного типа существенно ниже, чем стандартных подшипников, изготовленных из твёрдых сплавов.

Втулка — демпфер промышленного производства



На рисунке изображена модель универсальной композитной втулки радиального подшипника, для вала диаметром 17 мм и двух типов подшипников, с внутренним диаметром 24 мм и 25 мм, разработанная в ООО «РЕАМ-РТИ». Универсальность достигается сменой эластомерного кольца — демпфера, сечением 2,2 мм — для подшипника с внутренним диаметром 25 мм и 1,9 мм — для подшипника с внутренним диаметром 24 мм. Конструкция этой втулки адаптирована для массового промышленного производства.

Втулка — демпфер промышленного производства

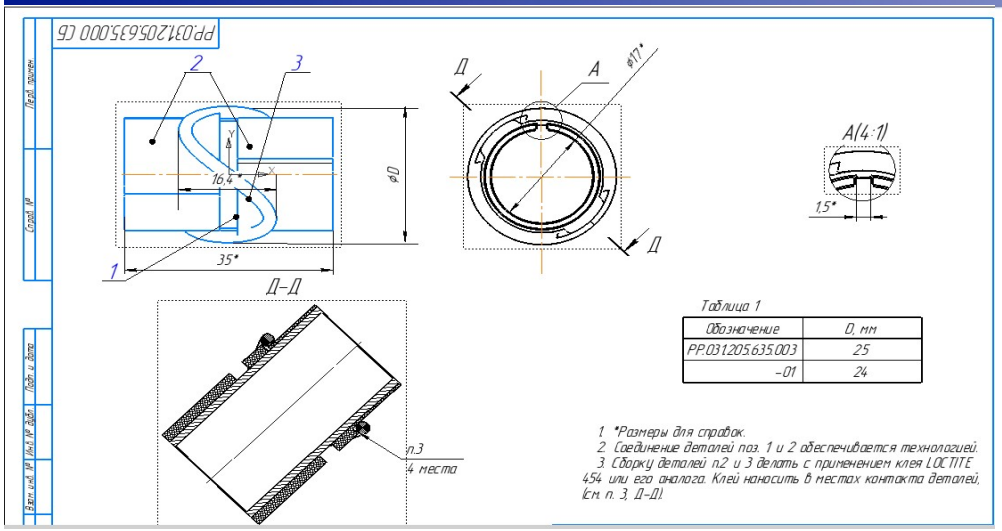
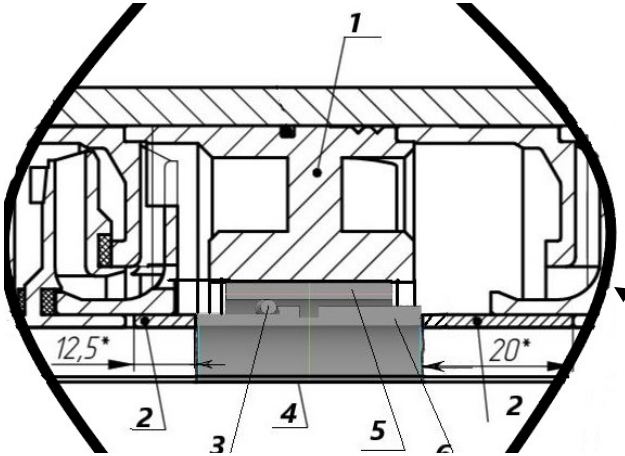


Рис. 1

На рисунке 1 изображен рабочий чертёж втулки подшипника составной универсальной (исполнение 003, и 003-01), где п. 1 опорная втулка на вал диаметром 17 мм, выполненная из нирезиста, п.2 концевые карбульные втулки (вставки), п. 3 эластомерное кольцо (для подшипника с внутренним диаметром 25 мм эластомерное кольцо в сечении 2,2 мм, для подшипника с внутренним диаметром 24 мм эластомерное кольцо в сечении 1,9 мм). На чертеже указан способ фиксации эластомернго кольца в «зацепах» втулки по аналогии подобных решений иностранных производителей.



На рисунке 2 изображен подшипник в сборе со втулкой подшипника, установленные в насосную секцию, где п. 1 корпус опоры промежуточного подшипника, п. 2. дистанционные втулки, п. 3 эластомерное кольцо, п. 4 шпоночный паз, п. 5 подшипник промежуточный, 6 защитная втулка вала подшипника промежуточного. Опоры с промежуточным подшипником, (в зависимости от исполнения насосной м1,0 м и 0,5

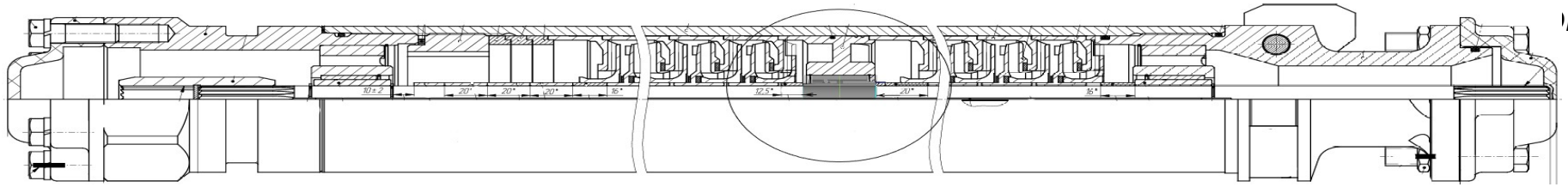


Рис. 2

Втулка — демпфер промышленного производства

К настоящему времени в производстве находится оснастка для изготовления втулок промежуточного подшипника.

Планируемое начало серийного изготовления и готовности к передачи опытной партии изделий для опытной эксплуатации в Апреле — Мае текущего года.

МЫ ГОТОВЫ К СОТРУДНИЧЕСТВУ!

Втулка — демпфер промышленного производства

ООО «РЕАМ-РТИ» выражает большую признательность сотрудникам кафедры машин и оборудования нефти и газа РГУ им. И. М. Губкина, под руководством Ивановского Владимира Николаевича и Руководителю ИММАШ РАН Смирнову Николаю Ивановичу, за неформальный интерес и большую работу, проведённую в исследовании свойств втулки — демпфера, производства ООО «РЕАМ-РТИ», позволившей отработать её конструкцию, для практического применения в погружных ЭЛН

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ !

Шершень Юрий Николаевич
Руководитель лаборатории ООО «РЕАМ-РТИ»

email: **YNS@ream-rti.ru**
тел.: **+7 (495) 149-00-90**
моб.: **+7 (906) 098-29-96**