

Р. Р. ЯХИН, С. Г. ЗУБАИРОВ, А. Н. ЕРМОЛЕНКО

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕМПФИРУЮЩИХ СВОЙСТВ КОМПЕНСАТОРА КОЛЕБАНИЙ УЭЦН НА СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫХ СТЕНДАХ

Приведены результаты испытаний компенсатора колебаний установок электроцентробежных насосных (УЭЦН) с демпфирующим элементом из резины на вибрационном стенде. Графически показаны зависимости вибрации от частоты, искусственно созданного дисбаланса и плотности материала резины. На базе динамической испытательной машины «Инстрон 8801» в режиме заданной гармонической деформации получены динамические свойства материалов резин в широком диапазоне частот. Эти динамические свойства (тангенс угла механических потерь  $\operatorname{tg} \delta$ ) представлены в виде зависимости от частоты. На основании полученных результатов даны рекомендации по выбору материала для демпфирующего элемента компенсатора колебаний УЭЦН. *Установка электроцентробежная насосная; компенсатор колебаний; вибрация; стенд; динамический модуль упругости; резина*

После небольшого периода фонтанирования скважин наступает этап разработки месторождений с применением механизированной добычи нефти. При этом наиболее эффективно и оперативно обеспечивается добыча нефти с применением установок электроцентробежных насосных (УЭЦН). На многих месторождениях нефтяными компаниями посредством применения УЭЦН добывается до 80 и более процентов от всей добычи нефти на эксплуатируемых объектах [1].

С переходом в 1990-х г. от немодульной конструкции ЭЦН к модульной, появился особый вид отказа, получивший название «полет УЭЦН».

Полет УЭЦН – отказ, проявляющийся в самопроизвольном распадении скважинного оборудования на части (колонны НКТ, частей погружного насоса, электродвигателя и гидрозащиты) и падении их на забой скважины. Этот вид отказа является наиболее опасным видом отказа, так как падение скважинного оборудования на забой скважины сопровождается повреждением агрегатов, узлов, заклиниванием упавшего оборудования в обсадной колонне, что делает его неремонтопригодным. Ликвидация таких аварий характеризуется значительными затратами на подъем упавшего оборудования и восстановление забоя скважины, при этом существенно возрастают экономические потери, связанные с увеличением объема работ и времени вынужденного простоя скважины [2].

Анализ аварийных отказов типа «полет» показал, что основными (по количеству отказов) местами расчленения являются: насосно-компрессорные трубы в непосредственной бли-

зости от места подвески насосного агрегата и корпуса секций насоса из-за разрушения шпилек в фланцевых соединениях. Визуальное рассмотрение мест расчленений показало на усталостное разрушение металла под воздействием переменных вибрационных нагрузок [3].

В данной работе амплитуду вибрационных колебаний предлагается уменьшить с помощью применения для соединений модулей УЭЦН виброизолирующего устройства (компенсатора колебаний) [4] с резиновым демпфирующим элементом.

Для изучения демпфирующих свойств компенсатора с целью выдачи рекомендаций по выбору материала резины, применяемого в качестве виброгасящего элемента, были проведены испытания с использованием вибрационного стенда [5]. При этом были выбраны материалы резин с разными физическими свойствами, которые показали хорошую работоспособность в агрессивных скважинных средах, состоящих из нефти и пластовой воды, сочетающихся при высокой температуре. Физические свойства материалов резин показаны в таблице.

**Физические свойства материалов резин**

Параметр	Материал резины		
	Дх-23	Г-9304	Р-12
Твердость, ед. Шора	60–90	62–72	70–80
Плотность, г/см <sup>3</sup>	1,23 ± 0,02	1,15 ± 0,01	2,20 ± 0,02
Температурный диапазон работоспособности резины, °С	–30...+100	–45...+150, кратковременно до +180	–20...+250

Испытания проводились в диапазоне возмущающих частот от 13,5 Гц до 47,5 Гц. Были построены зависимости вибрации от частоты для трех искусственно созданных дисбалансов: 1500 г×мм, 2720 г×мм, 3940 г×мм (рис. 1–3).

Результаты испытаний на вибрационном стенде показали, что:

– величины вибрации с возрастанием частоты колебаний увеличиваются;

– увеличение вибрации происходит нелинейно, есть экстремум на 34,6 Гц, что свидетельствует о режиме близком к резонансному;

– с увеличением дисбаланса величина вибрации увеличивается;

– на низких частотах от 13,5 до 23 Гц лучшие демпфирующие свойства показывает материал с более высокой плотностью (Р-12), а на высоких частотах от 23 до 47,5 Гц материал с меньшей плотностью (Г-9304).

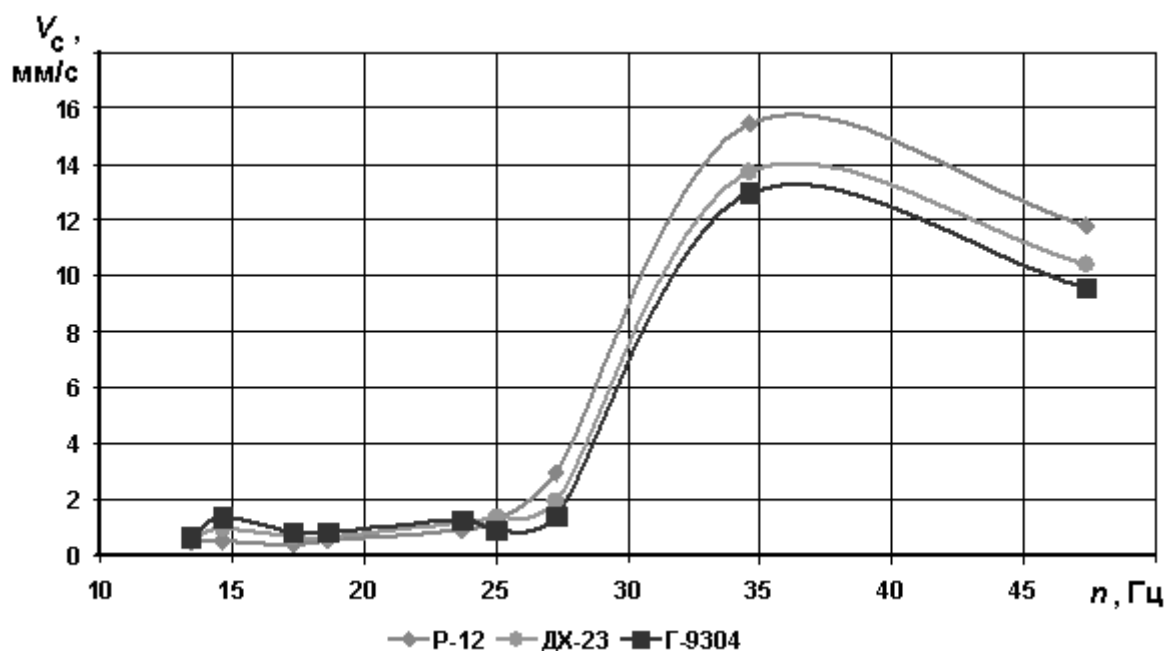


Рис. 1. Зависимость вибрации компенсатора колебаний при дисбалансе равном 1500 г×мм

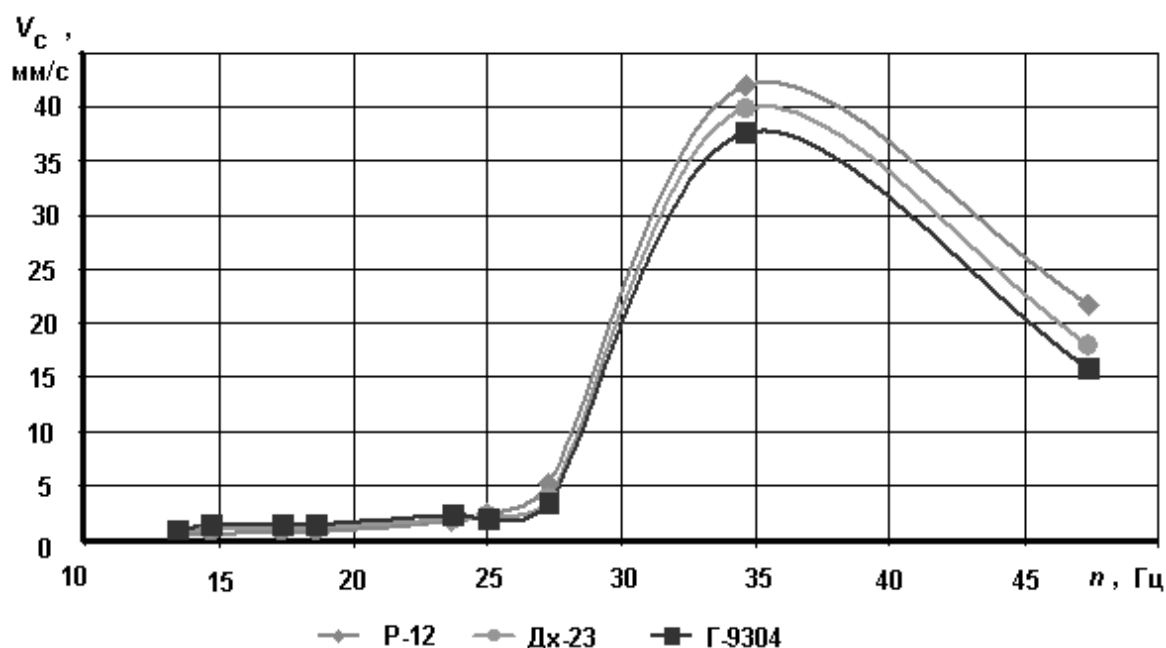


Рис. 2. Зависимость вибрации компенсатора колебаний при дисбалансе равном 2720 г×мм

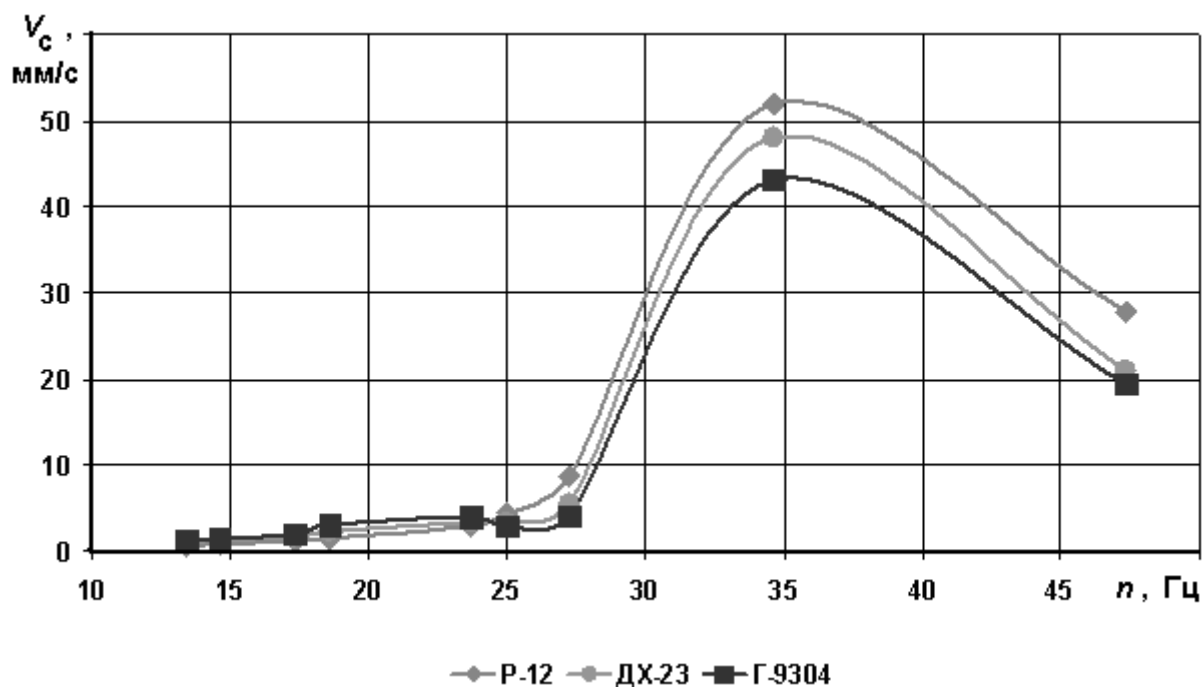


Рис. 3. Зависимость вибрации компенсатора колебаний при дисбалансе равном 3940 г×мм

Для определения механических потерь резины проведены испытания на базе динамической испытательной машины «Инстрон 8801». Испытания проводились в режиме заданной гармонической деформации с применением методики из [6] в диапазоне частот от 1 до 50 Гц. Найден тангенс угла механических потерь (фактор потерь). Результаты представлены в виде зависимости тангенса угла механических потерь от частоты деформации (рис. 4).

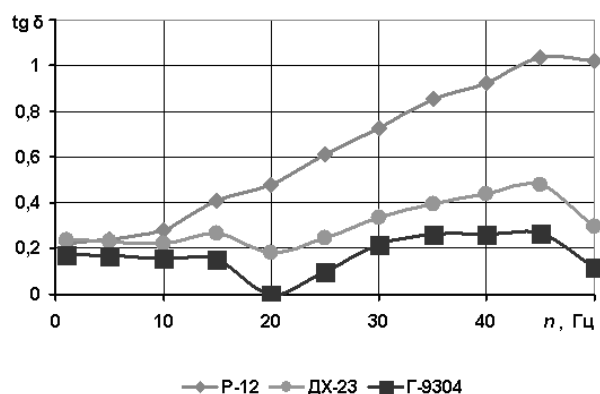


Рис. 4. Зависимость тангенса угла механических потерь от частоты деформации

Результаты испытаний на динамической испытательной машине «Инстрон 8801» показали, что величины факторов потерь разных материалов резины увеличиваются по мере увеличения плотности материалов во всем диапазоне изменений частоты деформации.

Рассмотрение изменений вибрации компенсатора колебаний (рис. 1–4) показывает, что величина тангенса угла механических потерь резины характеризует эффективность компенсатора практически во всем диапазоне частот. Как видно из результатов экспериментов, на низких частотах от 15 до 23 Гц желательно обеспечить высокий коэффициент потерь, чтобы уменьшить амплитуду колебаний. Для этого следует применить в качестве эластичного материала резину с более высоким динамическим модулем упругости. Лучшие демпфирующие свойства в этом случае показывает материал P-12, а худшие G-9304.

На высоких же частотах от 23 до 50 Гц видно, что для получения наилучших виброизолирующих свойств у компенсатора лучше использовать в качестве компенсирующего элемента резину с малым коэффициентом потерь: с более низким динамическим модулем упругости. Лучшие демпфирующие свойства в этом случае показывает материал G-9304.

## ВЫВОД

Установленная взаимосвязь фактора потерь и вибрации позволяет сделать вывод, что для выбора материала компенсатора колебаний достаточно руководствоваться величинами плотности материала и рабочей частоты, во всяком случае, в исследованном интервале плотности и частот.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Бриллиант С. Г.** Слабые звенья в оборудовании УЭЦН при эксплуатации и капитальном ремонте скважин в ОАО «Самаранефтегаз» // Нефть. Газ. Новации. 2010. №6. С. 33–35.
2. **Бочарников В. Ф.** Классификация отказов в скважинах, эксплуатируемых погружными центробежными электронасосами // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. 2003. №12. С. 19–22.
3. **Пахаруков Ю. В., Бочарников В. Ф., Петрухин В. В.** Механизм усталостного разрушения деталей погружных центробежных электронасосов для добычи нефти от вибрации // Известия вузов. Нефть и газ. 2001. №1. С. 51–55
4. Пат. 2386055 РФ. F04D 13/10, F04D 29/62. Установка электроцентробежная насосная / С. Г. Зубаиров, Р. Р. Яхин, И. А. Салихов, Ф. Г. Халимов, А. А. Умрихин. - № 2008122308; заявлено 10.12.2009; Опубл. 10.04.2010 // Бюл. 2010. №10. С 6.
5. Стенд для виброиспытаний компенсатора колебаний установок электроцентробежных насосных // С. Г. Зубаиров, Р. Р. Яхин, Ф. Г. Халимов, И. А. Салихов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». 2011. №3. URL: [http://www.ogbus.ru/authors/Zubairov/Zubairov\\_1.pdf](http://www.ogbus.ru/authors/Zubairov/Zubairov_1.pdf).
6. ГОСТ 23326-78 Резина. Методы динамических испытаний. Общие требования.

## ОБ АВТОРАХ

**Яхин Ренат Рустемович**, аспирант каф. механики и конструирования машин УГНТУ. Дипл. инж.-мех. (УГАТУ, 1999).

**Зубаиров Сибгат Гарифович**, проф., зав. каф. механики и конструирования машин УГНТУ. Дипл. инж.-мех. (УГНТУ, 1970). Д-р техн. наук по специальности машины и агрегаты нефтяной и газовой промышленности (2000). Иссл. в обл. техники и технологии эксплуатации скважин.

**Ермоленко Анатолий Николаевич**, ст. преп. каф. сопр. материалов УГАТУ. Дипл. инж. (УГАТУ, 2003). Канд. техн. наук по динамике и прочности машин и аппаратов (2009). Иссл. в обл. упругости, пластичности на основе современных программно-вычислительных комплексов.