

УДК. 622.692.4.053: 621.65

## ДИАГНОСТИКА НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ МАГИСТРАЛЬНОГО НЕФТЕПРОВОДА

### DIAGNOSTICS OF PUMPS OF THE MAIN OIL PIPELINE

Цхадая Н.Д., Ягубов З.Х., Гапанков С.В.  
ФГБОУ ВПО «Ухтинский государственный технический университет»,  
г. Ухта, Российская Федерация

N.D. Tskhadaya, Z.H. Yagubov, S.V. Gapankov  
FSBEI NPE Ukhta state technical university, Ukhta, Russian Federation  
e-mail: zyagubov@yandex.ru

**Аннотация.** В процессе эксплуатации центробежные насосные агрегаты, установленные в магистральных нефтепроводах, постоянно находятся в напряженно деформированном состоянии, колеса и лопасти насосных агрегатов подвергаются комплексному воздействию со стороны транспортируемой нефти. Поэтому предлагаемый способ по сравнению с известными техническими решениями является значительно усовершенствованным вариантом диагностики состояния насосных агрегатов.

В статье приводится разработанный способ диагностики насосных агрегатов, где необходимый сигнал о состоянии колеса и лопастей снимают не с подшипников вала электродвигателя насосного агрегата, а непосредственно с нефтепровода, который является каналом распространения колебаний.

Представлено устройство для реализации данного способа. Устройство также позволяет определить вязкость нефти по амплитуде колебаний, указаны временные характеристики работы насосных агрегатов в результате моделирования.

**Abstract.** In the operation centrifugal pumps installed in the main oil pipelines are constantly in stress strain state, wheels and pumps blades are exposed to complex influence from transported oil. Therefore, the proposed method as compared to the prior art is a much improved version of the diagnostics of the pumping units.

The article provides a method of diagnosing designed pumping units, where necessary signal about the state of the wheel and the blades do not remove the bearings from the shaft of the motor pump unit, and directly from the pipeline, which is a distribution channel fluctuations.

The device for implementing this method is presented. The device also allows you to determine the viscosity of the oil in the amplitude of the oscillations, are the temporal characteristics of the pump units as a result of the simulation.

**Ключевые слова:** напряжённо деформированное состояние, диагностика неисправности лопастей и колёс, колебание жидкости, временная характеристика насосного агрегата, вязкость нефти.

**Keywords:** stress strain behavior, fault diagnosis of the blades and wheels, fluid swing, time response of the pump unit, the viscosity of oil.

Одной из актуальных задач для нефтетранспортной отрасли является ранняя диагностика неисправности лопастей и колёс насосного агрегата. Необходимость оценки технического состояния и остаточного ресурса (срока службы) оборудования нефтеперекачивающих станций обусловлена большой его энергоёмкостью и значительным влиянием на надёжность и эффективность работы нефтепроводного транспорта. Проблема обеспечения эффективной, надёжной и безопасной эксплуатации магистральных нефтепроводов становится весьма актуальной в связи с изменившимися условиями и длительными сроками эксплуатации, износом основного технологического оборудования, в частности, магистральных и подпорных насосных агрегатов, как наиболее энергоёмкого оборудования НПС.

Вся система нефтеснабжения и каждый её элемент должны надёжно отработать от начала эксплуатации до предельного состояния. Предельным состоянием называется состояние оборудования при котором его дальнейшая эксплуатация технически невозможна или целесообразна из-за несоответствия требованиям безопасности или неустранимого снижения эффективности работы [1]. Поэтому, в ходе эксплуатации магистральных и подпорных насосов необходим контроль размеров и технического состояния посадочных и резьбовых поверхностей вала, лопаток и дисков рабочего колеса, рабочее колесо насоса не должно иметь трещин любого размера и расположения, посадочные места и торцевые поверхности должны быть без забоин, заусенцев и т.д., не должны иметь износа лопаток и дисков от коррозии и эрозии более 25 % номинальной толщины. Изгиб лопаток не допускается. Все неисправности связанные с лопастями и колесами приводят к изменению характеристик насоса в зависимости от выработки его эксплуатационного ресурса [2,3].

Для обеспечения наилучшей эффективности работы насосного оборудования применяют различные способы диагностики и контроля установки.

Известен способ контроля технического состояния насоса [4], при котором изменяют скорость нарастания давления в гидравлической системе. Полученное значение сопоставляют с минимально допустимым. Недостатком данного способа является невозможность конкретизации вида неисправности.

Известен способ виброакустической диагностики [5] машин периодического действия, включающий выделения периодических

составляющих виброакустического сигнала и построение виброакустического вектора, по направлению и величине которого судят о виде и степени дефекта.

Однако известный способ не позволяет диагностировать дефекты, приводящие к непериодическим (случайным) соударениям деталей машин, а также разделять дефекты, приводящие к росту одних и тех же периодических компонент.

Нами предлагается способ диагностики насосных агрегатов магистрального нефтепровода, включающий посылку сигнала, использование отраженной информации и её интерпретацию, отличающийся тем, что необходимый сигнал, соответствующий колебаниям жидкости нефтепровода, зафиксированный вибродатчиком, снимают не с подшипников вала электродвигателя насосного агрегата, а непосредственно с нефтепровода, который является каналом распространения колебаний [6].

В процессе эксплуатации центробежные насосные агрегаты, установленные в магистральных нефтепроводах, постоянно находятся в напряженно деформированном состоянии, колеса и лопасти насосных агрегатов подвергаются комплексному воздействию со стороны транспортируемой нефти. Поэтому предлагаемый способ по сравнению с известными техническими решениями является значительно усовершенствованным вариантом диагностики состояния насосных агрегатов.

Предлагаемый способ реализуется с помощью устройства: устройство частотной диагностики насосных агрегатов 1, установленное на нефтепроводе 2, состоит из первичного преобразователя 3 (кварцевого или пьезокерамического), преобразующего колебания жидкой среды (нефти) в электрические колебания, приёмника-компенсатора 4 для приёма и преобразования полученных электрических колебаний, аналого-цифрового преобразователя 5, реализующего один из типовых интерфейсов и персонального компьютера 6.

АЦП и компьютер необходимы для реализации полученного спектра колебаний с помощью специального программного обеспечения, которое позволяет выявить большую часть полезной информации.

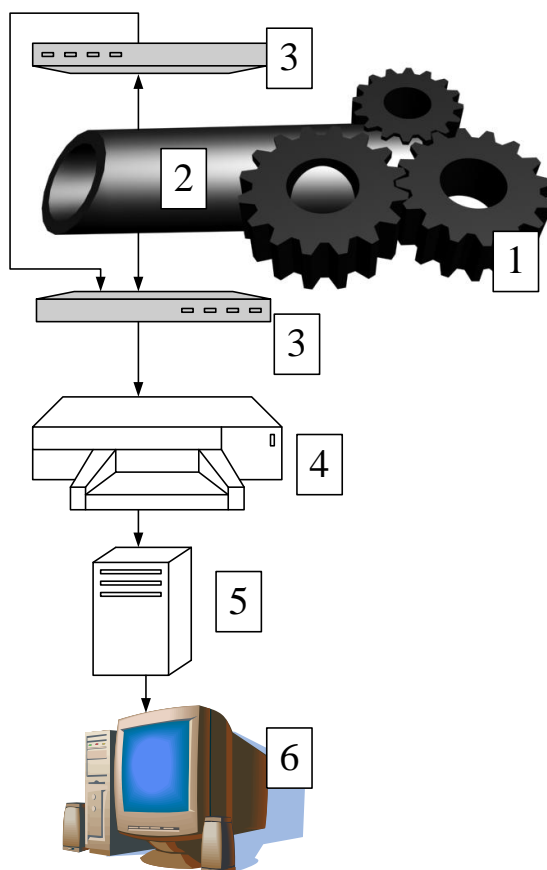


Рисунок 1. Структурная схема предлагаемого устройства

Одним из важнейших факторов, влияющих на амплитуду колебаний сигнала, а в дальнейшем и на получаемый спектр является вязкость нефти. Вязкость жидкостей обычно убывает с повышением температуры. Это естественно, так как при этом облегчается взаимное перемещение молекул.

Зависимость вязкости от давления ощутимо, если давление превышает 4 МПа. В области высоких давлений от 100 до 400 Мпа вязкость жидкости увеличивается линейно с возрастанием давления. При более высоких значениях давлений эта зависимость становится логарифмической.

Амплитуда колебаний при прочих равных условиях зависит от вязкости жидкости. Чем больше вязкость, тем меньше амплитуда колебаний и чем меньше вязкость, тем больше амплитуда колебаний. Затухание колебаний будет протекать тем быстрее, чем выше вязкость жидкости. Изменение вязкости не влияет на изменение частоты.

Амплитуда колебаний преобразуется в пропорциональное значение тока или напряжения, которые могут быть измерены вторичным прибором (миллиамперметром или милливольтметром со шкалой, отградуированной в единицах вязкости).

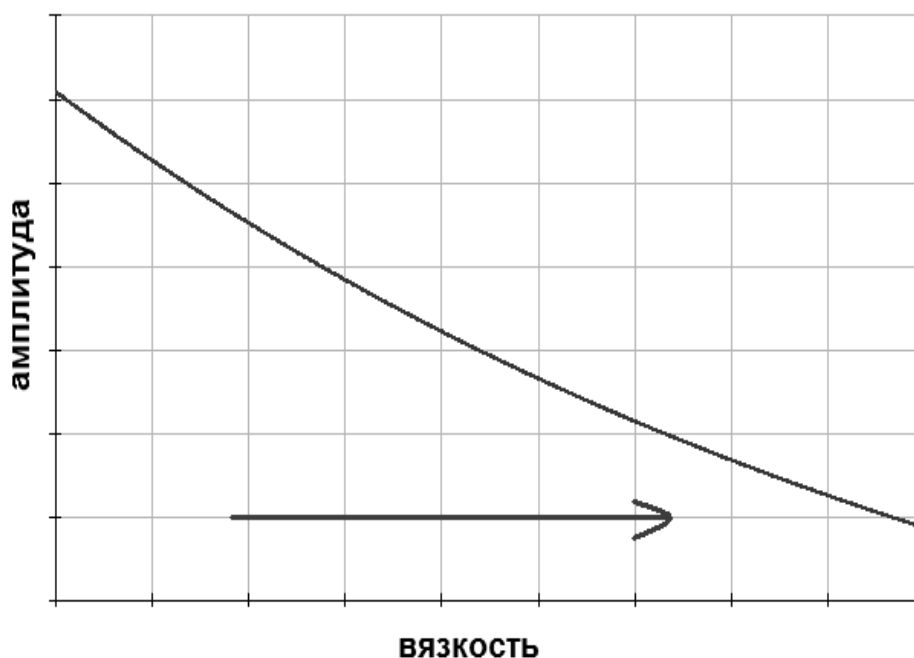


Рисунок 2. Зависимость амплитуды колебания нефти от вязкости

В состав нефтеперекачивающей станции входит несколько магистральных насосных агрегатов, размещаемых в одном помещении и устанавливаемых каждый на своём отдельном фундаменте. Фундамент магистрального насосного агрегата представляет собой сплошной железобетонный массив, опирающийся на грунт. При проектировании массогабаритные характеристики фундаментов подбирают таким образом, чтобы максимально снизить вибрацию, передаваемую работающим агрегатом на грунт, и далее на соседние строительные конструкции и агрегаты.

Однако, поскольку все насосные агрегаты связаны между собой и с коллектором приёмо-выкидными трубопроводами, то по этим не опорным связям вибрация, возникающая при работе каждого насоса, передаётся на другие агрегаты и линейный трубопровод.

Для выявления вышедшего из строя насосного агрегата из группы насосов, продолжающих работать, необходимо записать спектр каждого насоса. При совместной работе насосных агрегатов по принципу суперпозиции, амплитуды сигналов каждого агрегата будут складываться, т.е. получим общий шумовой спектр сигнала. При обработке получившегося сигнала с помощью программных средств, его можно принять за эталонный. При эталонном спектре все насосы находятся в рабочем состоянии [7].

В зависимости от температуры и вязкости нефти общий спектр будет изменяться в небольших пределах. Поэтому целесообразно использовать коридор, в пределах которого изменение спектра будет говорить о нормальной работе всех насосных агрегатов. При какой-либо неполадке, либо полном выходе из строя шумовой спектр выйдет за пределы этого коридора.

Данное устройство также позволяет отслеживать динамику изменения картины полученных сигналов в моменты пуска и остановки насосного агрегата, постепенно наполняя банк данных различных спектральных составляющих полученного сигнала, облегчая интерпретацию и повышая ее точность за счет сравнения полученного сигнала и динамики его изменения в режиме пуска и остановки в установившемся режиме.

Экономическая эффективность получается за счет уменьшения количества аварийных ситуаций и снижения суммы ущерба в случаях их возникновения при неисправности лопасти за счёт оперативного контроля на ранней стадии неисправности.

Временные характеристики, полученные в результате моделирования представлены на рисунках 3 – 11.

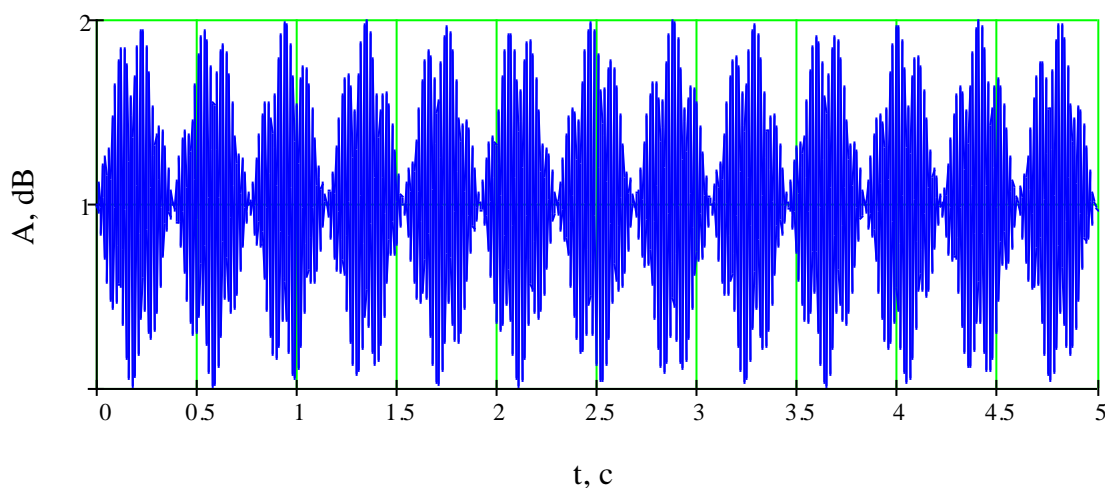


Рисунок 3. Временная характеристика первого насосного агрегата

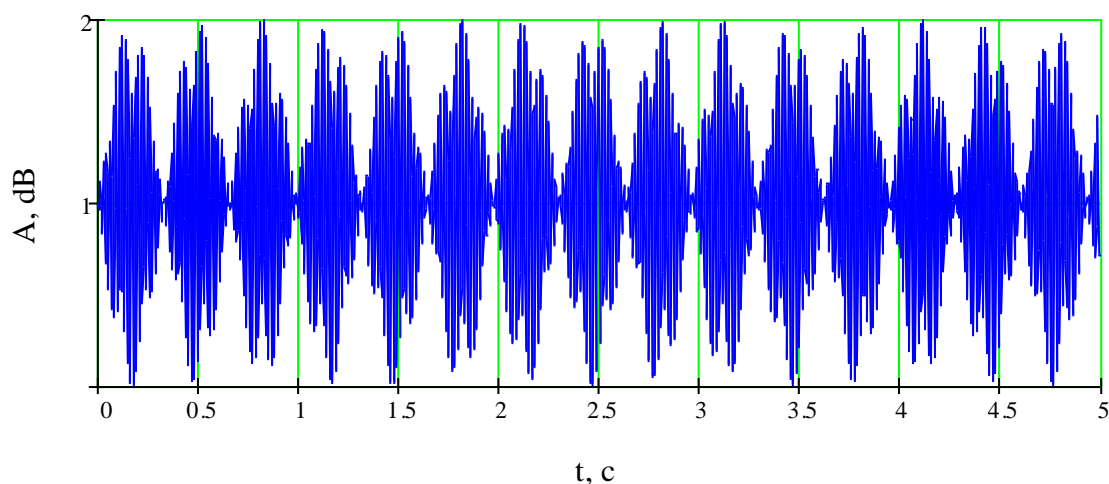


Рисунок 4. Временная характеристика второго насосного агрегата

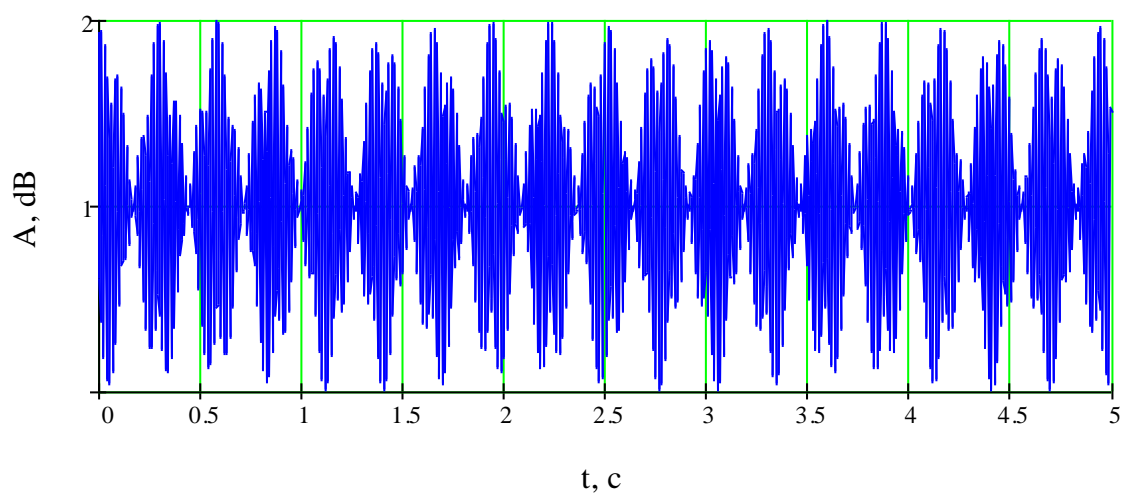


Рисунок 5. Временная характеристика третьего насосного агрегата

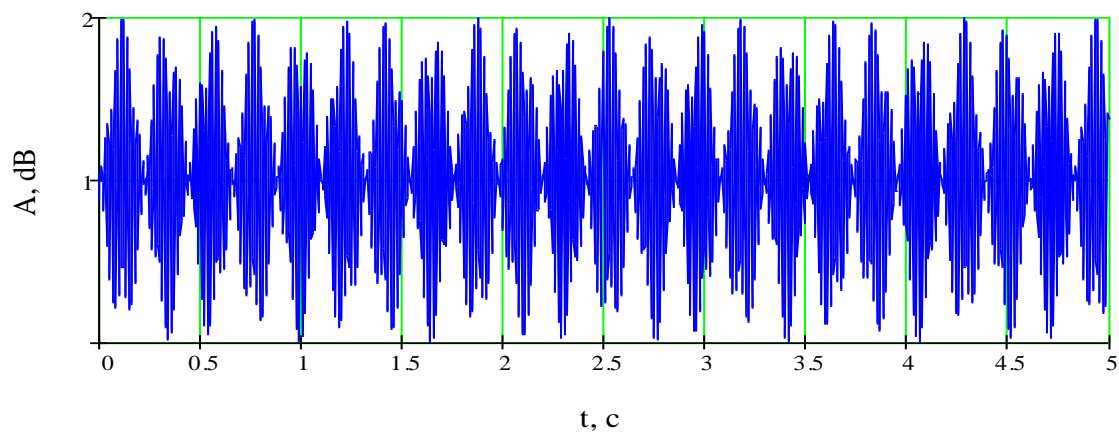


Рисунок 6. Временная характеристика четвёртого насосного агрегата

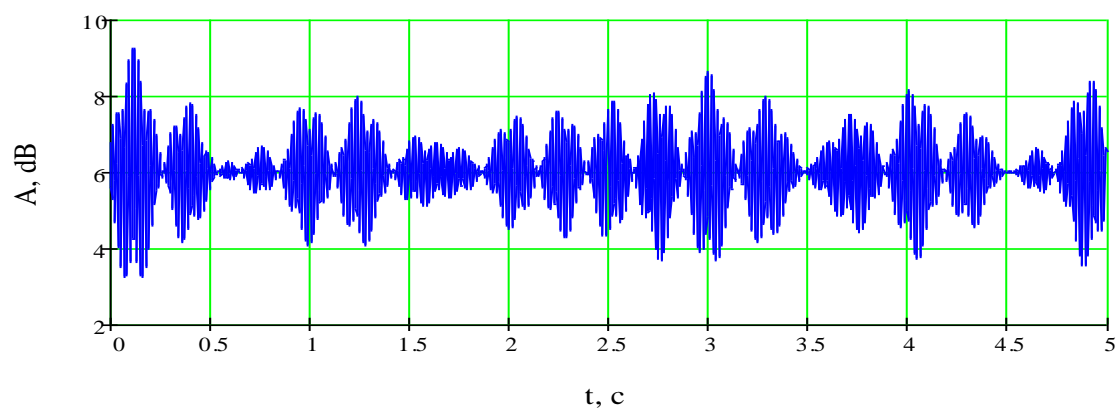


Рисунок 7. Общая временная характеристика, когда работают все четыре насоса

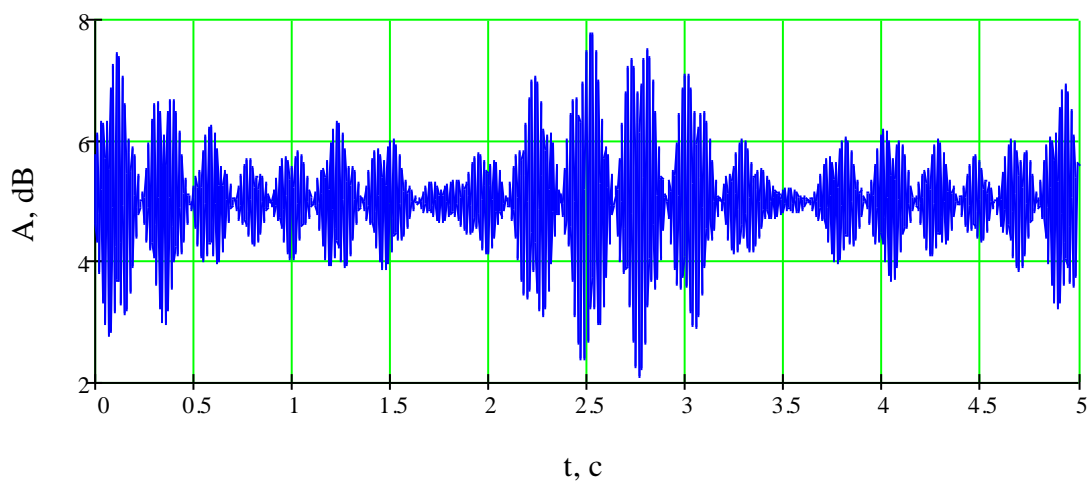


Рисунок 8. Общая временная характеристика, когда не работает первый насосный агрегат

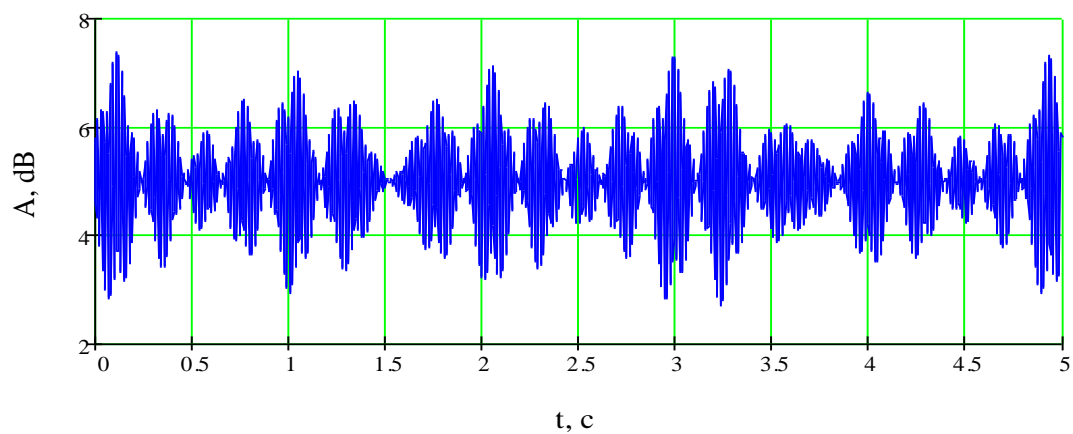


Рисунок 9. Общая временная характеристика, когда не работает второй насосный агрегат

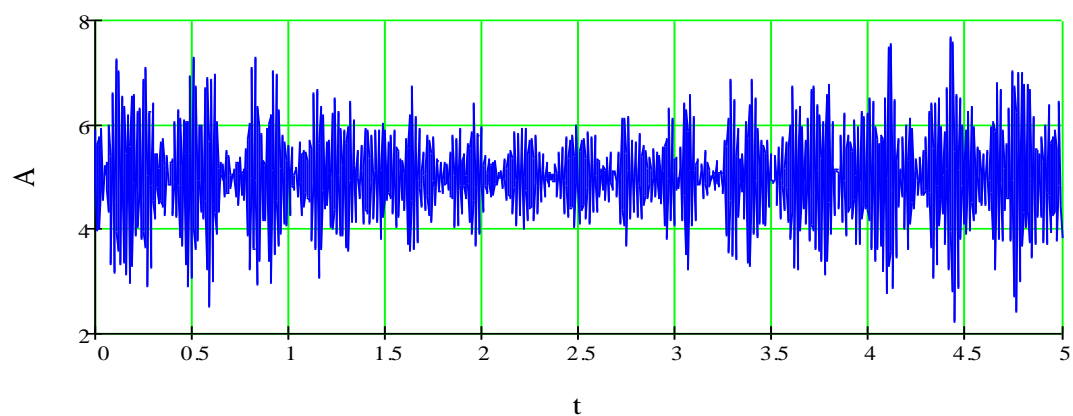


Рисунок 10. Общая временная характеристика, когда не работает третий насосный агрегат



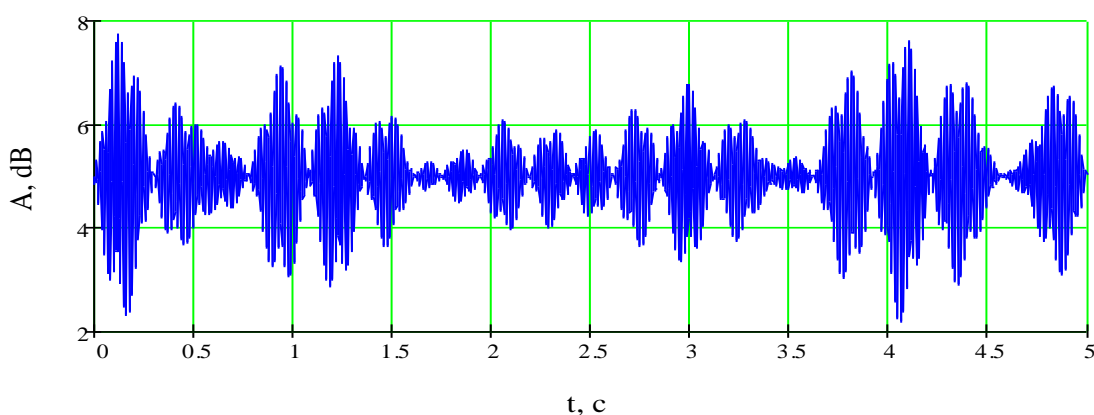


Рисунок 11. Общая временная характеристика, когда не работает четвёртый насосный агрегат

При полном выходе из строя, какого-либо из насосов, полученный спектр будет отличаться от эталонного. По форме получившегося сигнала можно определить вышедший из строя агрегат.

В зависимости от температуры и вязкости нефти общий спектр будет изменяться в небольших пределах. Поэтому целесообразно использовать коридор, в пределах которого изменение спектра будет говорить о нормальной работе всех насосных агрегатов. При какой-либо неполадке, либо полном выходе из строя шумовой спектр выйдет за пределы этого коридора.

### Выводы

Данное устройство позволяет отслеживать динамику изменения картины полученных сигналов в моменты пуска и остановки насосного агрегата, постепенно наполняя банк данных различных спектральных составляющих полученного сигнала, облегчая интерпретацию и повышая ее точность за счет сравнения полученного сигнала и динамики его изменения в режиме пуска и остановки в установившемся режиме.

### Литература

1. Трубопроводный транспорт нефти: учебник для ВУЗов/ Вайншток С.М. и др.- 2е стер. изд. М.:ООО «Недра-Бизнесцентр», 2006.-Т.2.- 621с.
2. Богданов Е.А. Основы технической диагностики нефтегазового оборудования: учебник для ВУЗов. М.: Высшая школа. 2006. 279 с.
3. Аварийно-восстановительный ремонт магистральных нефтепроводов / Гумеров А.Г. и др. М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 1998. 271 с.

4. Способ контроля технического состояния насоса / Феоктистов Е.И. и др.: пат. № 1622628 Рос. Федерация, МКИ. F04B51/00, заявл. 20.07.1988, опубл. 23.01.1991. Бюл. 1988. № 3.// freepatent.ru

5. Способ виброакустической диагностики машин периодического действия и устройство для его осуществления/ В.Н. Костюков: полезная модель № 1280961 Рос. Федерация, МКИ 6F04B51/00; заявл. № 3505038/06 от 22.10.1982, опубл. 20.08.1996. Бюл. 1996. № 23.// freepatent.ru

6. Способ диагностики насосных агрегатов магистрального нефтепровода / З.Х. Ягубов, и др.: пат. № 2478833 Рос. Федерация, МПК F04B 51/00 (2006.01), заявл. 2011117737/06, 03.05.2011, опубл. 10.04.2013. Бюл. 1996. №10.// freepatent.ru

7. Диагностика насосных агрегатов магистральных нефтепроводов / Ягубов З.Х. и др.: сб. науч. тр. / УГТУ. Ухта, 2010. 282 с.: ил.

## References

1. Truboprovodnyj transport nefti: uchebnik dlja VUZov/ Vajnshtok S.M. i dr.- 2e ster. izd. M.:ООО «Nedra-Biznescentr», 2006.-Т.2.- 621s. [in Russian].

2. Bogdanov E.A. Osnovy tehnicheckoj diagnostiki neftegazovogo oborudovanija: uchebnik dlja VUZov. M.: Vysshaja shkola. 2006. 279 s. [in Russian].

3. Avarijno-vosstanovitel'nyj remont magistral'nyh nefteprovodov / Gumerov A.G. i dr. M.: ООО «Nedra-Biznescentr», 1998. 271 s. [in Russian].

4. Sposob kontrolja tehnicheckogo sostojanija nasosa / Feoktistov E.I. i dr.: pat. № 1622628 Ros. Federacija, MКИ. F04B51/00, zajavl. 20.07.1988, opubl. 23.01.1991. Bjul. 1988. № 3.// freepatent.ru [in Russian].

5. Sposob vibroakustičeskoj diagnostiki mashin periodičeskogo dejstvija i ustrojstvo dlja ego osushhestvlenija/ V.N. Kostjukov: poleznaja model' № 1280961 Ros. Federacija, MКИ 6F04B51/00; zajavl. № 3505038/06 ot 22.10.1982, opubl. 20.08.1996. Bjul. 1996. № 23.// freepatent.ru [in Russian].

6. Sposob diagnostiki nasosnyh agregatov magistral'nogo nefteprovoda / Z.H. Jagubov, i dr.: pat. № 2478833 Ros. Federacija, MПК F04B 51/00 (2006.01), zajavl. 2011117737/06, 03.05.2011, opubl. 10.04.2013. Bjul. 1996. №10.// freepatent.ru [in Russian].

7. Diagnostika nasosnyh agregatov magistral'nyh nefteprovodov /Jagubov Z.H. i dr.: sb. nauch. tr. / UGTU. Uhta, 2010. 282 s.: il. [in Russian].

**Сведения об авторах**

Цхадая Н. Д., д-р техн. наук, проф., ректор ФГБОУ ВПО УГТУ, г. Ухта, Российская Федерация

N.D. Tslhadaya, Ph.D, prof., rector FSBEI HPE USTU, Ukhta, Russian Federation

Ягубов З. Х., д-р техн. наук, проф., заведующий кафедрой ЭАТП ФГБОУ ВПО УГТУ, г. Ухта, Российская Федерация

Z.H. Yagubov, Ph.D , prof., head of department EATP FSBEI HPE USTU, Ukhta, Russian Federation

Гапанков С.В., аспирант кафедры ЭАТП ФГБОУ ВПО УГТУ, г. Ухта, Российская Федерация

S.V. Gapankov, graduate department EATP FSBEI HPE USTU, Ukhta, Russian Federation

e-mail: zygubov@yandex.ru