

БОРБОР ЧЕТТИК КОРОГОЙ СОРКЫСКИЧТЫН ИШТЕШИН ЭКСПЕРИМЕНТАЛДЫК ИЗИЛДӨӨЛӨР

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОНСОЛЬНОГО НАСОСА

EXPERIMENTAL RESEARCH INTO THE OPERATION OF A CENTRIFUGAL CANTILEVER PUMP

А.К. Тулешов., А.А., Джомартов, М.Ж. Куатова

A.K. Tuleshov, A.A. Dzhomartov, M.Zh. Kumatova

Иште борбордон четтөөчү корогой соркыскычтын эксперименталдык изилдөөлөрү жүргүзүлгөн. Эксперименталдык изилдөөлөр үчүн борбордон четтөөчү корогой соркыскычы менен жабдылган: акселерометрлер, микрофон, ылдамдык билгизгичи, басым өлчөгүчтөр, вакуум өлчөгүч жана суунун чыгымын өлчөгүч. Эксперименттик маалыматтарды чогултуу үчүн 2 киргизүү каналы жана ZETLAB программасы менен ZET 017-U2 спектр талдагычы колдонулат. СНР 32-160 центрифугалуу корогой соркыскычтын эксперименталдык изилдөөлөрүнүн натыйжалары келтирилген. Борбордон корогой соркыскычтын ок толгооч бурчтук ылдамдыгынын тереңдигине эксперименталдык изилдөөлөр жүргүзүлдү. Борбордон четтөөчү корогой соркыскычтын муунак жаздыктардын радиалдык термелүү ылдамдыгынын орточо чарчылык маанилери аныкталып, аларга талдоо жүргүзүлүп, сунуштар берилди. Борбордон четтөөчү корогой соркыскычтын үн басымынын спектри аныкталды. Спектрдик талдоо борбордон четтөөчү корогой соркыскычтын кавитациялык кубулуштарын аныктады жана аларды жоюу боюнча сунуштар берилди.

В работе проведены экспериментальные исследования центробежного консольного насоса. Для экспериментальных исследований на центробежный консольный насос установлены: акселерометры, микрофон, датчик оборотов, манометры, вакуумметр и расходомер воды. Для сбора экспериментальных данных применяется анализатор спектра ZET 017-U2 с двумя входными каналами и с программным обеспечением компании ZETLAB. Приведены результаты экспериментальных исследований центробежного консольного насоса СНР 32-160. Проведены экспериментальные исследования колебаний угловой скорости вала центробежного консольного насоса. Определены среднеквадратичные значения радиальной виброскорости подшипников центробежного консольного насоса, проведен их анализ и выданы рекомендации. Определен спектр звукового давления центробежного консольного насоса. Анализ спектра выявил ка-

витационные явления в центробежном консольном насосе, даны рекомендации по их устранению.

The paper presents experimental researches of a centrifugal cantilever pump. For the experimental studies, the following were installed on the centrifugal cantilever pump: accelerometers, a microphone, a speed sensor, pressure gauges, a vacuum gauge, and a water flow meter. The ZET 017-U2 spectrum analyzer with 2 input channels and ZETLAB software was used to collect experimental data. The paper presents the results of experimental studies of the SNR 32-160 centrifugal cantilever pump. Experimental studies of shaft angular velocity oscillations in the centrifugal cantilever pump were conducted. The root-mean-square values of the radial vibration velocity of the centrifugal cantilever pump bearings were determined, their analysis was performed, and recommendations were given. The sound pressure spectrum of the centrifugal cantilever pump was determined. The spectrum analysis revealed cavitation phenomena in the centrifugal cantilever pump, and recommendations were given for their elimination.

Түйүн сөздөр: борбор четтик корогой соркыскыч; титирөө; кавитация; билгизгичтер: спектр талдагыч

Ключевые слова: центробежный консольный насос; вибрация; кавитация; датчики: анализатор спектра

Keywords: centrifugal cantilever pump; vibration; cavitation; sensors: spectrum analyzer

1. Введение

Центробежные консольные насосы предназначены для перекачки воды и жидкостей с аналогичными свойствами плотности, текучести и химической инертности. Центробежные консольные насосы применяют в жилищно-коммунальных хозяйствах, водоснабжении частных жилых объектов, в оросительных системах, на химическом производстве [1-4]. На рисунке 1 показана схема типового центробежного консольного насоса [5]. В центробежном консольном насосе (рисунок 1) основным элементом является рабочее колесо, установленное в корпусе спирального отвода. Рабочее колесо с односторонним входом жидкости состоит из переднего (наружного) диска, заднего (внутреннего) диска со ступицей и лопастей, расположенных между дисками. Рабочее колесо непосредственно осуществляет силовое воздействие на протекающую жидкость, и тем самым передает ей энергию двигателя. Электродвигатель соединен через муфту с валом, установленным на двух опорах с подшипни-

ками, который передает вращательный момент, рабочему колесу, зафиксированному на валу. Через входной патрубок жидкость всасывается внутрь. Ее подхватывают лопасти рабочего колеса и подают на выходной патрубок. К патрубкам подключены трубы. Насос устанавливают на твердом основании.

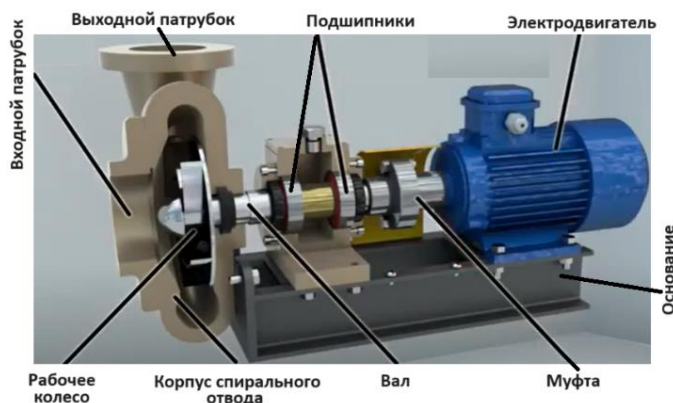


Рисунок 1 – Схема типового центробежного консольного насоса

Центробежные консольные насосы относятся к лопастным динамическим гидромашинам. В связи с подачей больших объемов воды работа этих насосов подвержена большим динамическим нагрузкам, которые вызывают большие вибрации его узлов. Недопустимо высокие уровни вибрации центробежных консольных насосов приводят к выходу их из строя. Поэтому экспериментальные исследования, направленные на оценку вибрации центробежного консольного насоса с целью повышения его работоспособности, являются актуальными.

2. Экспериментальное исследование центробежного консольного насоса

В ИММаш им. У.А. Джолдасбекова собрана установка, состоящая из центробежного консольного насоса, соединенного с электродвигателем (компания Karlskrona, Казахстан, модель: СНР 32-160, 0,75 кВт, 1500 об/мин, 3-фазный, 380 В, напор 5 м и расход 4800 л/час), панели управления с регулятором скорости Nietz модели NZ2200-1r5g [6] (частотно-регулируемый привод с регулятором

скорости, переключателем (ВЫКЛ/ВКЛ) и аварийным отключением), расходомером воды модели CASCAD WM-CW32 Ду32мм Класс С, манометров, вакуумметра, кранов, труб из ПВХ. Для сбора экспериментальных данных применяется анализатор спектра ZET 017-U2 с двумя входными каналами и с программным обеспечением компании ZETLAB [7].

На установке имеются следующие датчики:

1) Акселерометр BC 110 для измерения уровня вибраций с чувствительностью 1000 мВ/г и диапазоном частот от 3,4 до 18 кГц для ($\pm 10\%$) [7].

2) Бесконтактный оптический датчик оборотов ZET 402 для измерения угловой скорости. Диапазон измерения угловой скорости: 0...50000 об/мин [7].

3) Микрофон ZET 501 для измерения уровней звукового давления с чувствительностью 100 мВ/Па и диапазоном частот 50 Гц...13 кГц [7].

Для сбора сигналов от акселерометра, микрофона, датчика оборотов используется анализатор спектра ZET- 17U2 [7].

На рисунках 2 и 3 показаны схема и собранная установка. На рисунке 4 показаны установленные на установке датчики: акселерометр BC 110, бесконтактный оптический датчик оборотов ZET 402, микрофон ZET 501.

3. Экспериментальные результаты

Испытания проводились при следующих параметрах центробежного консольного насоса, обороты вала насоса $n=1414$ об/мин (24 Гц.), расход воды 80 л/мин, давление подачи 0.45 бар.

Проведено измерение угловой скорости вала насоса. На рисунке 5 показан график угловой скорости вала насоса в об/мин.

На рисунке 6 показан график колебаний угловой скорости вала насоса в об/мин

Из анализа графика колебаний угловой скорости вала насоса (рисунок 6) видно, что неравномерность вращения вала насоса низкая и насос работает стабильно.

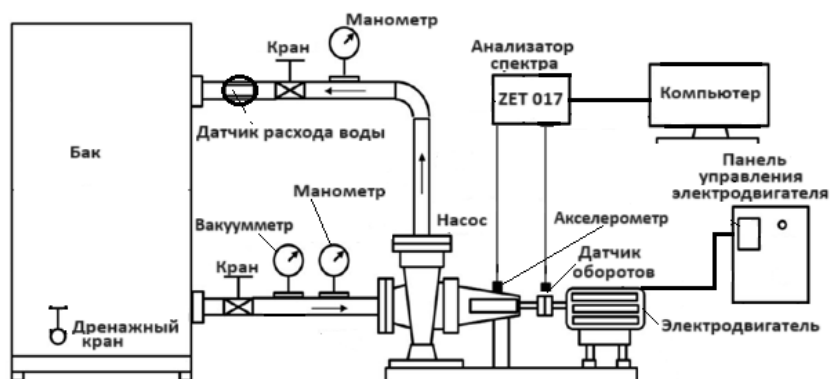


Рисунок 2 – Схема установки для экспериментального исследования центробежного консольного насоса

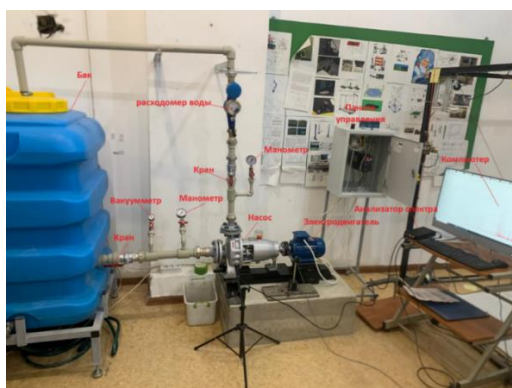


Рисунок 3 – Установка для экспериментального исследования центробежного консольного насоса



Рисунок 4 – Датчики на установке для экспериментального исследования центробежного консольного насоса

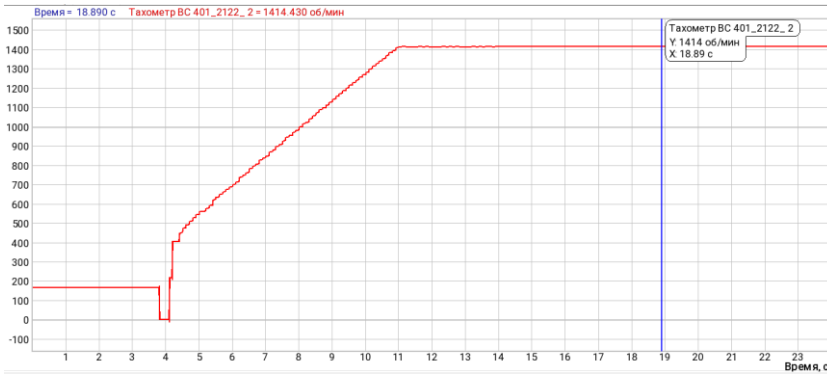


Рисунок 5 – Угловая скорость вала насоса в об/мин

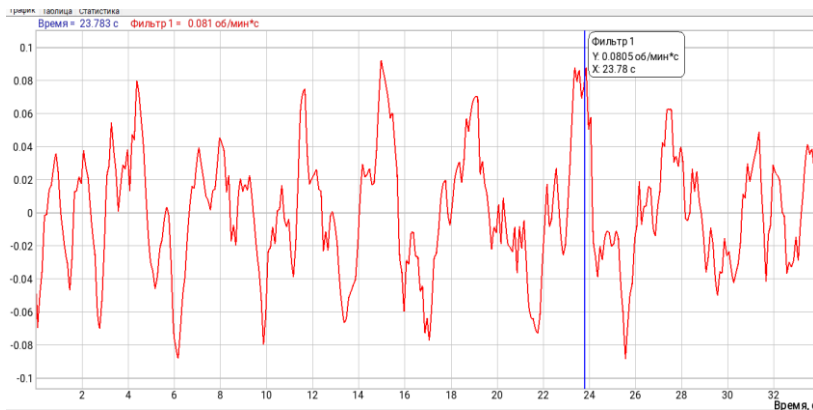


Рисунок 6 – График колебаний угловой скорости вала насоса в об/мин

На рисунке 7 показан график радиальной виброскорости левого подшипника насоса. Из графика было определено СКЗ (средне-квадратичное значение) виброскорости, равное 1.6 мм/с. Значение СКЗ радиальной виброскорости левого подшипника насоса лежит в допустимой зоне значений виброскорости, которая ограничена значением 2.5 мм/с [8].

Для спектрального анализа вибрации используем метод быстрого преобразования Фурье (БПФ). Алгоритмы (БПФ) применяются для преобразования временного сигнала в частотный спектр вибрации [9,10]. Спектральный анализ насоса разделяет общий уровень вибрации на амплитуды на дискретных частотах и помогает определить причину вибрации.

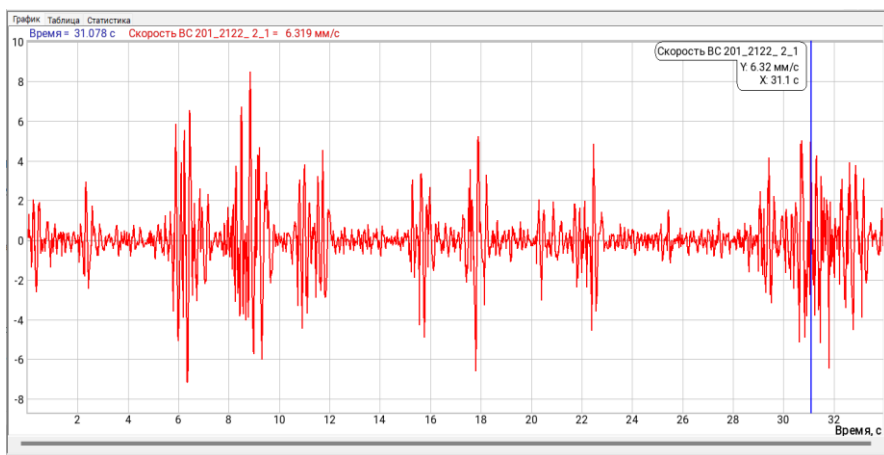


Рисунок 7 – График радиальной виброскорости левого подшипника насоса

На рисунке 8 показан спектр левого подшипника по радиальному виброускорению. Как видно из рисунка 8, имеются характерные пики виброускорения на частотах 462 Гц, 2300 Гц и 4000 Гц. Пик на частоте 462 Гц появляется из-за вибрации подшипника, а пики на частотах 2300 Гц и 4000 Гц из-за гидродинамических эффектов насоса.

На рисунке 9 показан график радиальной виброскорости правого подшипника насоса. Из графика было определено СКЗ виброскорости, равное 2.998 мм/с. Значение СКЗ радиальной виброскорости правого подшипника насоса превышает допустимую зону значений виброскорости, которая ограничена значением 2.5 мм/с [8]. Превышение допустимого значения СКЗ говорит о наличии дефекта в правом подшипнике.

На рисунке 10 показан спектр правого подшипника по радиальному виброускорению. Как видно из рисунка, имеются большой пик виброускорения 1.906 g на частоте 436 Гц из-за наличия дефекта правого подшипника.

При помощи микрофона определен спектр звукового давления насоса, который показан на рисунке 11. На графике спектра виден характерный всплеск амплитуды звукового давления на частотах с 2100 Гц по 2500 Гц, что свидетельствует о кавитационных явлениях в насосе.

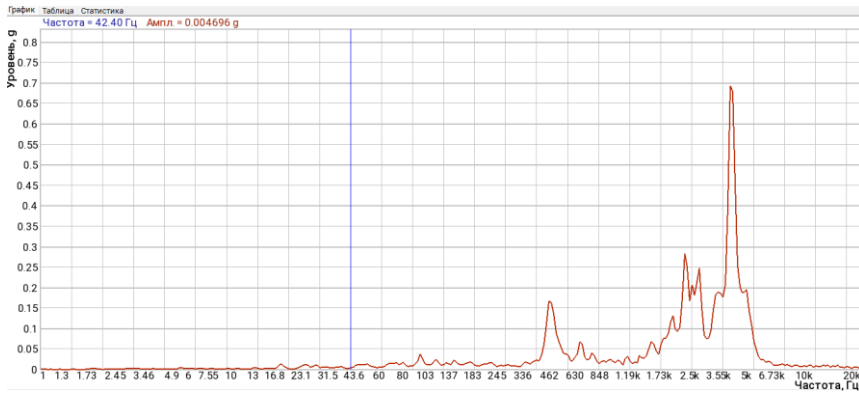


Рисунок 8 – Спектр левого подшипника по радиальному виброускорению

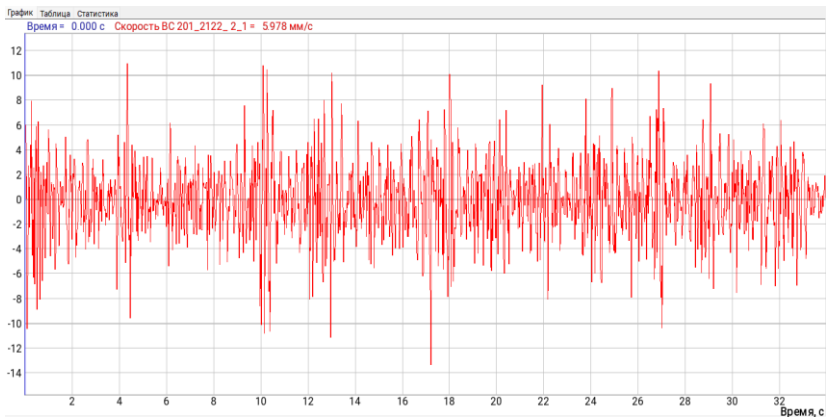


Рисунок 9 – График радиальной виброскорости правого подшипника насоса

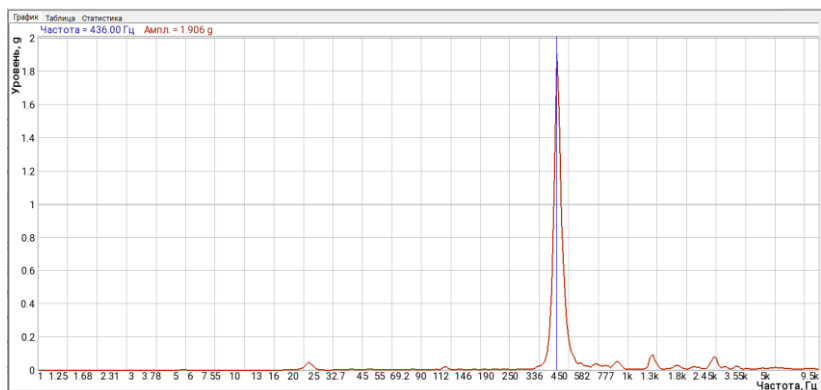


Рисунок 10 – Спектр правого подшипника по радиальному виброускорению

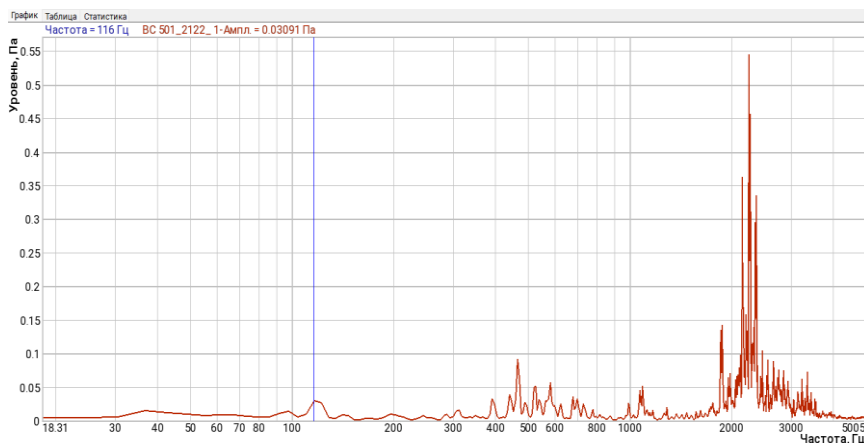


Рисунок 11 – Спектр насоса по звуковому давлению

Выводы

Проведены экспериментальные исследования центробежного консольного насоса СНР 32-160 компании Karlskrona.

Экспериментальные исследования колебаний угловой скорости вала центробежного консольного насоса показали его стабильную работу.

Определено СКЗ радиальной виброскорости левого подшипника центробежного консольного насоса, значение которого лежит в допустимой зоне. Спектральный анализ левого подшипника показал, что имеются небольшие пики виброускорения на частотах 462 Гц, 2300 Гц и 4000 Гц. Пик на частоте 462 Гц появляется из-за вибрации подшипника, а пики на частотах 2300 Гц и 4000 Гц из-за гидродинамических эффектов насоса.

Определено СКЗ радиальной виброскорости правого подшипника центробежного консольного насоса, значение которого превышает допустимое максимальное значение. Спектральный анализ правого подшипника показал, что имеется большой пик виброускорения на частоте 436 Гц из-за наличия дефекта подшипника. Все это говорит о наличии дефекта в правом подшипнике и необходимости дальнейшей его замены.

Анализ спектра звукового давления центробежного консольного насоса выявил небольшие кавитационные явления, которые

могут быть устранены повышением давления воды во входном патрубке.

Информация о финансировании

Работа выполнена в рамках программы BR18574035 «Разработка, развитие, применение научно-технологических методов и цифровых инструментов для повышения производительности и конкурентоспособности насосостроения в Казахстане на уровне Индустрии 4.0» ИММаш им. У.А. Джолдасбекова.

Литература

- 1 Han, X., Kang, Y., Li, D., Zhao, W. Impeller Optimized Design of the Centrifugal Pump: A Numerical and Experimental Investigation // *Energies* – 2018. – № 11(6). – P. 1444. – <https://doi.org/10.3390/en11061444>.
- 2 Kim, J. H., Lee, H. C., Kim, J. H., Kim, S., Yoon, J. Y., Choi, Y. S. Design techniques to improve the performance of a centrifugal pump using CFD // *J. Mech. Sci. Technol* – 2015. – № 29. – P. 215–225. - <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.11724.95368>
- 3 Yang, A. L., Lang, D. P., Li, G. P., Chen, E. Y., Dai, R. Numerical research about influence of blade outlet angel on flow-induced noise and vibration for centrifugal pump // *Adv. Mech. Eng.* – 2015. – № 6. – P. 1–11. – <http://dx.doi.org/10.1155/2014/583482>.
- 4 Zhou, L., Shi, W. D., Wu, S. Q. Performance optimization in a centrifugal pump impeller by orthogonal experiment and numerical simulation. // *Adv. Mech. Eng.* – 2013. – № 6. – P. 1–11. – <http://dx.doi.org/10.1155/2013/385809>.
- 5 Cheah, K. W., Lee, T. S., Winoto, S. H., Zhao, Z. M. Numerical flow simulation in a centrifugal pump at design and off-design conditions. // *Int. J. Rotating Mach.* – 2007. - № 2- P. 1–9. - <http://dx.doi.org/10.1155/2007/83641>
- 6 Сайт // *Nietz electronic*, – July, 2024. – [Электронный ресурс]. – <http://www.nietz.cn/English/Default.aspx>.
- 7 Сайт // *ZETLAB* – July, 2024. – [Электронный ресурс]. – <http://www.zetlab.com> (24.06.2024).

- 8 Сайт // BALTECH – July, 2024. – [Электронный ресурс]. – <http://vibrometer-vp.com/article8.html> (24.06.2024).
- 9 Kaiser, T., Osman, R. H., Dickan, R. O. Analysis Guide for Variable Frequency Drive Operated Centrifugal Pumps // Proceedings of the 24th International Pump User Symposium, Texas: Texas A&M University, USA. – 2008. – <https://doi.org/10.21423/R1M38X>.
- 10 Albraik, A., et al. Diagnosis of centrifugal pump faults using vibration methods // Journal of Physics: Conference Series. IOP Publishing. – 2012. – <http://dx.doi.org/10.1088/1742-6596/364/1/012139>.