

3. Junaid M., Khan F.N., Rahman K., Baig M.N. Effect of laser welding process on the microstructure, mechanical properties and residual stresses in Ti-5Al-2.5 Sn alloy. // Optics and laser technology. 2017. V.97. Pp. 405-419.
4. Huang H., Tsutsumi S., Wang JD., Li LQ., Murakawa H. High performance computation of residual stress and distortion in laser welded 301L stainless sheets // Finite elements in analysis and design. 2017. V.135. Pp. 1-10.
5. Vasileiou A.N., Smith M.C., Balakrishnan J., Francis J.A., Hamelin C.J. The impact of transformation plasticity on the electron beam welding of thick-section ferritic steel components // Nuclear engineering and design. 2017. V.323. Pp. 309-316.
6. Seo S., Huang EW., Woo W., Lee S.Y. // Neutron diffraction residual stress analysis during fatigue crack growth retardation of stainless steel // International journal of fatigue. 2017. V.104. Pp. 408-415.

УДК 621.431.74

DOI: 10.34046/aumsuomt101/17

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ НОРМАТИВНЫХ ДОКУМЕНТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИИ СУДОВЫХ ВЫСОКООБОРОТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

В.В. Герасиди, кандидат технических наук, доцент

А.В. Лисаченко, преподаватель

В статье рассматриваются судовые высокооборотные двигатели пропульсивных комплексов морских судов. В настоящее время Классификационные общества и производители судовых двигателей уделяют большое внимание нормам вибрации, как самих двигателей, так и их приводного оборудования. Контроль технического состояния двигателей по параметрам вибрации в эксплуатации позволяет выявить как на ранней стадии, так и уже сформировавшихся неисправностей элементов так и самого двигателя в целом. Например, выявление и развитие (распространение) некачественного процесса сгорания топлива, балансировки двигателя и прикрепленного (приводного) оборудования, неисправности подшипников скольжения коленчатого вала, потеря жесткости конструкции, целостность опор двигателя и демпфера крутильных колебаний и т.д. В связи с этим, нормирование значений различных параметров вибрации современных судовых высокооборотных двигателей в эксплуатации является актуальной задачей.

В работе выполнен анализ критерии оценки параметров и значений вибрации в соответствии с нормативными документами международных стандартов, Классификационных обществ и производителей судовых высокооборотных двигателей.

Ключевые слова: электрические машины, контроль, параметры вибрации, диагностика, подшипниковые узлы, производители, стандарты, Классификационные общества.

ANALYSIS OF MODERN REGULATORY DOCUMENTS FOR VIBRATION CONTROL OF MARINE HIGH-SPEED ENGINES

V.V. Gerasidi, A.V. Lisachenko

The article deals with marine high-speed propulsion engines of propulsion systems of marine vessels. Currently, Classification societies and manufacturers of marine engines pay great attention to the vibration standards of both the engines themselves and their drive equipment. Monitoring of the technical condition of the engines by vibration parameters in operation allows you to identify both at an early stage and already formed malfunctions of the elements and the engine itself as a whole. For example, the identification and development (spread) of a poor-quality fuel combustion process, balancing of the engine and attached (drive) equipment, malfunctions of the crankshaft sliding bearings, loss of structural rigidity, the integrity of the engine supports and the torsional vibration damper, etc. In this regard, the normalization of the values of various vibration parameters of modern marine high-speed engines in operation is an urgent task.

The paper analyzes the criteria for evaluating vibration parameters and values in accordance with the normative documents of international standards, Classification societies and manufacturers of marine high-speed engines.

Key words: electrical machines, control, vibration parameters, diagnostics, bearing assemblies, manufacturers, standards, Classification societies.

В настоящее время, на морских судах устанавливаются 4-х тактные среднеоборотные (СОД) и высокооборотные двигатели (ВОД) в качестве главных и вспомогательных установок мощностью от 100 кВт до 6000 кВт. Частота вращения коленчатого вала ВОД составляет $n_0 > 1300$ мин⁻¹. Фирмы производители такие как,

MANInc., MTUInc., PerkinsInc., DetroitInc, CUMMINSInc., CATERPILLARInc. и т.д. оснащаются современными локальными диагностическими системами мониторинга. Например, крупный производитель судовых ВОД фирма "Caterpillar" использует переносные комплексы для управления и контроля технического состояния этих

электронно-управляемых двигателей в эксплуатации, уменьшая время простоя судна в целом.

Производители судовых современных ВОД рекомендуют в процессе эксплуатации применять безразборные методы контроля, а также во время сервисного обслуживания для оценки технического состояния в период ремонтного и межремонтного интервала [11].

Целью контроля технического состояния двигателя по параметрам вибрации в эксплуатации является выявление и развитие (распространение) некачественного процесса сгорания топлива, балансировки двигателя и прикрепленного (приводного) оборудования, подшипников скольжения коленчатого вала, потеря жесткости конструкции, целостность опор двигателя и демпфера крутильных колебаний.

Например, как показывают экспериментальные исследования влияния параметров вибрации и их значений на техническую эксплуатацию ВОД для идентификации неисправностей элементов топливной аппаратуры и газыпускного тракта, является контроль процесса сгорания топлива в цилиндрах, который обуславливается высокими уровнями вибрация, возникающими на полуоборотной частоте вращения коленчатого вала двигателя $\frac{1}{2} f_0$, или превышающие вибрацию первого порядка $f_0 \leq \frac{1}{2} f_0$, особенно проявляющиеся на режимах холостого хода двигателя.

В связи с этим, нормирование значений различных параметров вибрации современных судовых ВОД в эксплуатации является актуальной задачей.

Нормы вибрации судовых 4-тактных двигателей регламентируются современными нормативными документами по контролю технического состояния и диагностики:

- Классификационными обществами членов МАКО [1-4];
- национальными и международными стандартами [5-8];
- рекомендациями крупных производителей.

Во всех перечисленных выше документах [1-11] рассматриваются критерии для оценки вибрации судовых 4-тактных двигателей в местах установки датчиков, представленных на рисунках 1-3.

На рисунках 1-3 видно, что измерения вибрации проводятся в трех направлениях: в вертикальном z, горизонтальном y и в осевом x на различных уровнях и точках контроля, например: на рисунке 1, 3 представлены 2 уровня измерения вибрации; на рисунке 2 представлены 3 уровня измерения вибрации. Однако количество точек, указанных на рисунках 1-3, может изменяться согласно требованиям изготовителя.

Проведение измерений вибрации на судовых 4-тактных двигателях следует проводить при установившихся режимах эксплуатации, разрешенной для нормальной работы [9,10].

Например, фирма Caterpillar, производитель судовых ВОД мощностью от 100 кВт до 2200 кВт, указывает точки измерения вибрации только на уровне коленчатого вала двигателя и, в зависимости от компоновки двигателя, разрешается на опорах двигателя (рисунок 1). Режимы, начиная с холостого хода и нескольких установившихся, работая на увеличение и уменьшение нагрузки двигателя. [CAT].

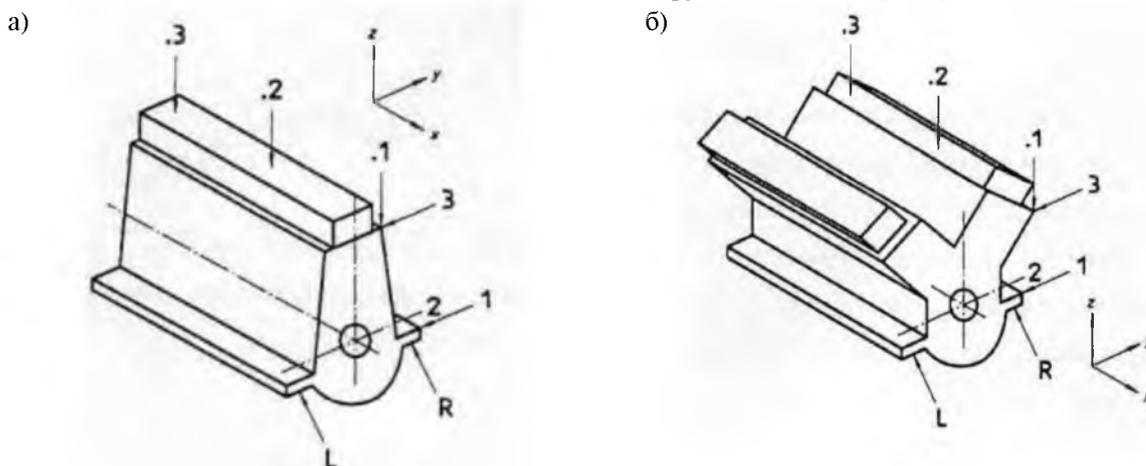


Рисунок 1 – Точки установки датчиков вибрации на многоцилиндровом в соответствии [6]: а) рядном; б) V-образном ВОД с расположением: стороны измерений – слева и справа при взгляде на фланец сопряжения; уровни измерений 1 – фундамент крепления машины на опорах, 2 – уровень коленчатого вала, 3 – верхняя кромка блока цилиндров; точки измерений по длине машины 1 – фланец отбора мощности, 2 – середина машины, 3 – сторона демпфера крутильных колебаний

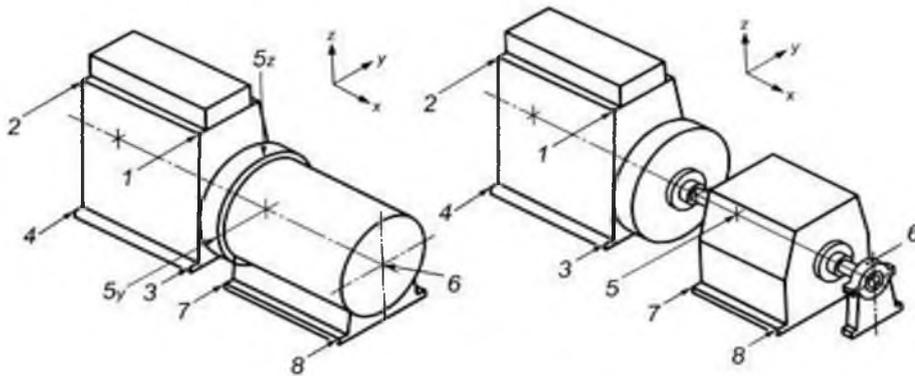


Рисунок 2 – Компоновка ДГ и расположение точек измерения в соответствии [7]

а) Электроагрегат с приводом от вертикального однорядного двигателя, соединенного с генератором через фланцевый щит; б) Электроагрегат с приводом от вертикального однорядного двигателя со стоячковыми подшипниками
 1, 2 - передняя и задняя верхние грани кожуха двигателя; 3, 4 - передняя и задние части основания двигателя;
 5, 6 - корпус главного подшипника генератора; 7, 8 - основание генератора

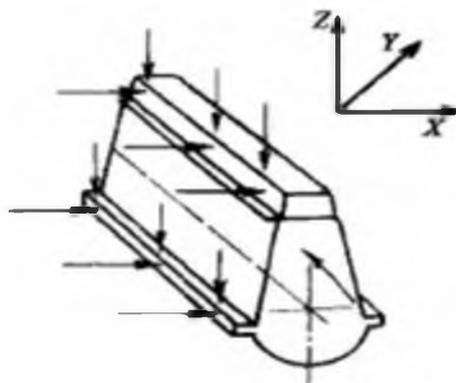


Рисунок 3 – Точки контроля вибрации в соответствии [1]

Критериями, принятыми для оценки вибрации контроля технического состояния судовых ВОД, являются следующие величины [1, 2, 4-8, 11]:

– среднеквадратичные значения С.К.З. (R.M.S) перемещения $S_{с.к.з}$ мкм; скорости $v_{с.к.з}$ мм/с; ускорения $a_{с.к.з}$ м/с², измеренные в широком диапазоне частот в соответствии с требованиями [1, 2, 4-8, 11];

– среднеквадратичные значения С.К.З. (R.M.S) скорости $v_{с.к.з}$ мм/с, измеренные в узком диапазоне частот в 1/3 октаве $v_{1/3с.к.з}$, в соответствии с требованиями [1] и 1/8 октаве $v_{1/8с.к.з}$, в соответствии с требованиями изготовителя [11];

– размах (двойная амплитуда колебаний) виброперемещения S_f Пик-Пик (S_{p-p} Реакторпик) [8, 11];

– пиковые значения виброскорости на оборотной частоте вращения v_{o-p} Пик (Peak), среднеквадратичные значения виброскорости на оборотной частоте вращения $v_{o,с.к.з}$ [DNV-GL, CAT].

В нормативных документах членов МАКО [1-4] указываются нормы вибрации различных параметров четырехтактных судовых двигателей (таблица 1).

В стандарте [1] регламентирует предельно допустимые уровни вибрации (нормы вибрации) двигателей внутреннего сгорания мощностью 55

кВт и более с частотой вращения ≤ 3000 мин⁻¹ в зависимости от величины хода поршня. Нормы предусматривают три категории технического состояния механизмов и оборудования судов:

А – состояние механизмов и оборудования после изготовления (постройки судна) или ремонта при вводе в эксплуатацию;

В – состояние механизмов и оборудования во время нормальной эксплуатации;

С – состояние механизмов и оборудования, при котором оно требует проведения технического обслуживания или ремонта.

Нормы определяют верхние границы категорий А и В.

Значения основного нормируемого параметра находятся в диапазоне $16 \leq v_{1/3с.к.з} \leq 22$ мм/с. При установке двигателей внутреннего сгорания на податливых опорах (главные среднеоборотные дизели и дизели дизель-генераторов) нормы допустимой вибрации в направлениях по осям x, y и z, увеличиваются в 1,4 раза.

В качестве дополнительного параметра контроля вибрации могут использоваться нормированные среднеквадратические значения виброскорости в диапазоне частот 2 – 1000 Гц, указанные в нормативных документах производителей судовых 4-тактных двигателей [6-8].

В стандартах [6-8] указываются нормы вибрации ДВС различных типов компоновки (таблица 1):

1) Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Значения нормируемого параметра составляет $v_{с.к.з} (2-300 Гц) \leq 45$ мм/с. [7].

2) Машины с возвратно-поступательным движением номинальной мощностью свыше 100 кВт. В рекомендациях производители судовых ВОД указываются значения нормируемого параметра судовых двигателей составляет $18 \leq v_{с.к.з} (10-250 Гц) \leq 45$ мм/с. [6].

3) Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частотах. В рекомендациях производители судовых ВОД указываются значения нормируемого параметра судовых двигателей составляет $11,2 \leq v_{с.к.з} (10-1000 Гц) \leq 28$ мм/с. [8].

В стандарте DNVGL [2] рассматриваются пределы вибрации и критерии оценки пределов значений параметров вибрации судовых дизелей с частотой вращения коленчатого вала более 200 мин⁻¹, установленных в качестве главных двигателей на различных типах опор и в привод электрических машин и подруливающих устройств.

Значения нормируемых параметров в соответствии стандарта DNVGL:

1. Главные двигатели: $15 \leq v_{с.к.з}(4-200)$ и $25 \leq v_{с.к.з}(4-200)$ установленных жестко на основании и на мягких опорах;

2. Дизель-генераторы $18 \leq v_{с.к.з}(4-200)$ и $7 \leq v_{о.с.к.з}$.

В стандарте ABS [3] указываются пределы вибрации и критерии оценки пределов значений параметров вибрации судовых дизелей в соответствии [5, 6, 8].

В стандарте Lloyd's Register [4] указываются пределы вибрации и критерии оценки пределов значений параметров вибрации судовых дизелей в соответствии [8].

Значения нормируемых параметров судовых двигателей в соответствии с ABS, Lloyd's Register составляет $11,2 \leq v_{с.к.з} (10-1000 Гц) \leq 28$ мм/с.

В рекомендациях завода изготовителя судовых ВОД фирмы "Caterpillar" [11] изложена методология вибрационного контроля и диагностирования судовых ВОД, в которую входят: общие положения; общие рекомендации по методологии диагностирования эксплуатируемых двигателей; спектральный анализ; анализ временной формы сигнала; анализ фазовых соотношений, "скорость развертки". Однако значения нормируемых параметров вибрации не разглашаются заводом изготовителем.

Представлены примеры из практики анализа вибрации судовых главных ВОД: неуравновешенность 1/2 порядка оборотной частоты вращения коленчатого вала, разбалансированность, несоосность, неисправность подшипников скольжения, опор двигателя и др (таблица 1).

Таблица 1 – Рекомендованные параметры вибрации судовых ВОД в соответствии с [1-11]

Параметр в соответствии		Члены МАКО				ISO	Производитель	Научные труды [12]	
		PMPC	DNVGL		Lloyd's Register				CAT
			ГД	ДГ					
Виброскорость v , мм/с	$v_{1/3с.к.з}$	$\leq 16^*/$ $\leq 22^{**}$							
	$v_{1/8с.к.з}$					v			
	$v_{о.с.к.з}$			≤ 7			v	≤ 7	
	$v_{с.к.з}$ (4-200 Гц)		$\leq 15^*/$ $\leq 25^{**}$	≤ 1 8					
	$v_{с.к.з}$ (2-300 Гц)					≤ 45			
	$v_{с.к.з}$ (10-250 Гц)					≤ 18	v		
						≤ 28			
						≤ 45			
	$v_{с.к.з}$ (10-1000 Гц)	$\leq 11,2^*/$ $\leq 18^{**}$			$\leq 11,2^*/$ $\leq 18^{**}$	$\leq 11,2^*/$ 18 $\leq 18^{**}$	v	≤ 20	
	$0,5v_{о-р}$						v		
	$v_{о-р}$			≤ 10			v	≤ 10	
$2v_{о-р}$						v	≤ 10		
$\sum_{0,5}^{10} v_{1/8 с.к.з}$						v			
S_f						v	≤ 150		

* – двигатели, установленные на жестких опорах; ** – мягких опорах; v – значения не разглашаются заводом изготовителем

В научных трудах [12] выполняется исследование параметров вибрации судовых СОД и ВОД различных технических состояний в соответствии [6]. Исследования показывают, что большое количество судовых двигателей с неисправностями находятся в допустимых к эксплуатации вибрационных зонах. В результатах научной статьи было сказано, что стандарт не учитывает крепление двигателей к корпусу судна, а значения нормируемых параметров вибрации завышены.

В научных трудах авторов выполняются экспериментальные исследования влияния значений параметров вибрации на техническое состояние деталей судовых ВОД. Анализ параметров вибрации и их значений, полученных в течение 15 лет на 48 ВОД фирмы «Caterpillar» на судах вспомогательного флота, дает возможность создать методику контроля технического состояния в процессе эксплуатации судовых ВОД, которая будет описана в следующих трудах авторов.

Литература

1. РМРС. Правила классификации и постройки морских судов часть VII «Механические установки». НД № 2-020101-138. Санкт-Петербург 2021. С.86.
2. DNVGL. Rules for classification ships. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2015-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch8.pdf> – С.32.
3. ABS. Noise and vibration control for inhabited spaces. September 2017 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/209_noisevibrationcontrolinhabitedspaces/Noise_and_Vibration_GN_e-Sept17.pdf. С.
4. Lloyd's Register. Ship Vibration and Noise. Guidance Notes. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.cdinfo.lr.org/information/Documents/LRGuidance/Vibration%20&%20Noise%20Guidance%20Notes%20.pdf>. July 2006. С.54.
5. Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р ИСО 20283-4-2017. Вибрация. Измерения вибрации на судах. Часть 4. Измерения и оценка вибрации судовой пропульсивной установки. Идентичен ISO 20283-4 Mechanical vibration – Measurement of vibration on ships, Part 4: measurement and evaluation of vibration of the ship propulsion machinery. М.: Стандартинформ, 2019.
6. Международный стандарт. ГОСТ ИСО 10816-6-95. Вибрация механическая. Оценка состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть 6. Машины с возвратно-поступательным движением номинальной мощностью свыше 100 кВт. Идентичен ISO 10816-6:1995. Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating

parts — Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW.

7. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 31349-2007. Электроагрегаты генераторные переменного тока с приводом от двигателя внутреннего сгорания. Измерение вибрации и оценка вибрационного состояния. Идентичен ISO 8528-9:2017 Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets – Part 9: Measurement and evaluation of mechanical vibrations. М.: Стандартинформ, 2008.
8. ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Часть I. Общие требования. М.: Издательство стандартов, 1998.
9. Межгосударственный стандарт. ГОСТ 32108-2013. Вибрация. Измерения вибрации, передаваемой машиной через упругие изоляторы. Двигатели внутреннего сгорания поршневые высокоскоростные и среднескоростные. Идентичен ISO 13332:2000. Mechanical vibration. Measurement of vibration transferred into resilient isolators. High-speed and medium-speed reciprocating internal combustion engines. М.: Стандартинформ, 2019.
10. Национальный стандарт Российской Федерации. ГОСТ Р ИСО 20283-3-2017. Вибрация. Измерения вибрации на судах. Часть 3. Измерения вибрации судового оборудования перед его установкой. Идентичен ISO 20283-3 Mechanical vibration – Measurement of vibration on ships, Part 3 preinstallation vibration measurement of shipboard equipment. М.: Стандартинформ, 2019.
11. Сергеевичев А.В., Порохня А.А., Гладкий П.П., Олисевиич О.В., Фотиади А.Ф., Цыганков А.Э., Мелешин В.В., Лебединцев С.Н., Максимов А.С. Устройство, функционирование и техническое обслуживание современной строительной техники CATERPILLAR: учебное пособие. – Ставрополь: СКГТУ, 2011. – 299 С.
12. Roger Arévalo Gómez. Measurement and analysis of vibrations - evaluation of the criteria of acceptance ISO Standard 10816-6. DOI: <https://doi.org/10.25043/19098642.196>. Ship Science & Technology - Vol. 13 - n.º 26 - (39-44) January 2020 - Cartagena (Colombia). С39-44. 2020.

References

1. RMRS. Pravila klassifikacii i postrojki morskikh sudov chast' VII «Mekhanicheskie ustanovki». ND № 2-020101-138. Sankt-Peterburg 2021. S.86.
2. DNVGL. Rules for classification ships. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://rules.dnvgl.com/docs/pdf/DNVGL/RU-SHIP/2015-10/DNVGL-RU-SHIP-Pt6Ch8.pdf> – С.32.
3. ABS. Noise and vibration control for inhabited spaces. September 2017 [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: https://www.eagle.org/content/dam/eagle/rules-and-guides/current/other/209_noisevibrationcontrolinhabitedspaces/Noise_and_Vibration_GN_e-Sept17.pdf. S.

4. Lloyd's Register. Ship Vibration and Noise. GuidanceNotes. [Elektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <https://www.cdinfo.lr.org/information/Documents/LRGuidance/Vibration%20&%20Noise%20Guidance%20Notes%20.pdf>. July 2006. S.54.
5. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. GOST R ISO 20283-4-2017. Vibraciya. Izmereniya vibracii na sudah. CHast' 4. Izmereniyaocenkvibracii sudovojpropul'sivnojustanovkiIdentichenISO 20283-4 Mechanicalvibration – Measurementofvibrationonships, Part 4: measurementandevaluationofvibrationoftheshipp propulsionmachinery. M.: Standartinform, 2019.
6. Mezhdunarodnyj standart. GOST ISO 10816-6-95. Vibraciya mekhanicheskaya. Ocenka sostoyaniya mashin po rezul'tatam izmerenij vibracii na nevrashchayushchihsya chastyah. CHast' 6. Mashiny s vozvratno-postupatel'nym dvizheniem nominal'noj moshchnost'yu svyshe 100 kVt. Identichen ISO 10816-6:1995. Mechanical vibration — Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts — Part 6: Reciprocating machines with power ratings above 100 kW.
7. Mezghosudarstvennyj standart. GOST 31349-2007. Elektroagregaty generatornye peremennogo toka s privodom ot dvigatelya vnutrennego sgoraniya. Izmerenie vibracii i ocenka vibracionnogo sostoyaniya. IdentichenISO 8528-9:2017 Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets – Part 9: Measurement and evaluation of mechanical vibrations.M.: Standartinform, 2008.
8. GOST ISO 10816-1-97. Vibraciya. Kontrol' sostoyaniya mashin po rezul'tatam izmerenij vibracii na nevrashchayushchihsya chastyah. CHast'I. Obshchietrebovaniya. M.: Izdatel'stvo standartov, 1998.
9. Mezghosudarstvennyj standart. GOST 32108-2013. Vibraciya. Izmereniya vibracii, peredavaemoj mashinoy cherez uprugie izolyatory. Dvigateli vnutrennego sgoraniya porshnevyye vysokoskorostnyye i sredneskorostnyye. Identichen ISO 13332:2000. Mechanical vibration. Measurement of vibration transferred into resilient isolators. High-speed and medium-speed reciprocating internal combustion engines. M.: Standartinform, 2019.
10. Nacional'nyj standart Rossijskoj Federacii. GOST R ISO 20283-3-2017. Vibraciya. Izmereniya vibracii na sudah. CHast' 3. Izmereniya vibracii sudovogo oborudovaniya pered ego ustanovkoj. IdentichenISO 20283-3 Mechanicalvibration – Measurementofvibrationonships, Part 3 preinstallation vibrationmeasurementofshipboardequipment.M.: Standartinform, 2019.
11. Sergeevichev A.V., Porohnya A.A., Gladkij P.P., Olisevich O.V., Fotiadi A.F., Cygankov A.E., Meleshin V.V., Lebedincev S.N., Maksimov A.S. Ustrojstvo, funkcionirovanie i tekhnicheskoe obsluzhivanie sovremennoj stroitel'noj tekhnikiCATERPILLAR: uchebnoe posobie, Stavropol': SKGTU, 2011.–299 S.
12. Roger Arévalo Gómez. Measurement and analysis of vibrations - evaluation of the criteria of acceptance ISO Standard 10816-6. DOI: <https://doi.org/10.25043/19098642.196>. Ship Science & Technology - Vol. 13 - n.º 26 - (39-44) January 2020 - Cartagena (Colombia). S39-44. 2020.

УДК.629.7.051

DOI: 10.34046/aumsuomt101/18

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКЦИОННОГО ПЛОСКОГО ЛИНЕЙНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПОРТОВЫХ ПЕРЕГРУЗОЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ НАЛИВНЫХ ГРУЗОВ

Р.Г. Дубровин, кандидат технических наук

В.Н. Таламанов, кандидат технических наук

Г.Л. Козенкова, доцент

В соответствии с результатами проведенного анализа и оценки существующих видов нагрева и нагревательных устройств, установлено, что для рассматриваемых условий весьма эффективно применение бесконтактных индукционных нагревателей. На основе проведенных теоретических и экспериментальных исследований разработана экспериментальная модель индукционного плоского линейного нагревателя для обеспечения нормализации температурных режимов работы элементов технических систем и комплексов, осуществляющих перемещение различных видов грузов, включая обеспечение требуемого уровня температурных параметров конструктивных элементов и транспортируемых грузов. Выполненный в настоящей работе анализ вопросов создания специальных индукционных нагревателей представляется весьма актуальным и имеющим научный и практический интерес.

Ключевые слова: трубопроводный транспорт, индукционный нагреватель, технические системы и комплексы.

THE USE OF AN INDUCTION FLAT LINEAR HEATER IN THE OPERATION OF PORT TRANSSHIPMENT COMPLEXES FOR LIQUID CARGO

R.G. Dubrovin, V.N. Talamanov, G.L. Kozenkova,

In accordance with the results of the analysis and evaluation of existing types of heating and heating devices, it was found that the use of contactless induction heaters is very effective for the conditions under consideration.