

ЭКСПЛУАТАЦИЯ ОБЪЕКТОВ
АТОМНОЙ ОТРАСЛИ

УДК 621.039

**ВИБРОАКУСТИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ И
ТЕПЛОВИЗИОННЫЙ КОНТРОЛЬ ПРИ ДИАГНОСТИРОВАНИИ
ДИЗЕЛЯ 12ZV40/48**

© 2016 Е.А. Абидова, В.И. Соловьёв, О.Ю. Пугачёва, Р.И. Ремизов

Волгодонский инженерно-технический институт – филиал Национального исследовательского ядерного университета «МИФИ», Волгодонск, Ростовская обл., Россия

С целью оценки технического состояния двух дизель-генераторных установок Ростовской АЭС в 2015 году было проведено измерение уровня вибрации и тепловизионный контроль. В работе приводятся основные положения методики диагностирования технического состояния, включая использование масок спектров виброакустических сигналов. Состояние оборудования оценивается как по температурным, так и вибрационным параметрам. Диагностирование показало, что по результатам измерения акустических сигналов и тепловизионного контроля 20.05.2015 и 15.06.2015 установки 2РДЭС-2 и 2РДЭС-3 Ростовской АЭС могут быть признаны работоспособными и функционально пригодными к дальнейшей эксплуатации в составе систем безопасности энергоблока №2.

Ключевые слова: резервная дизельная электростанция, тепловизионный контроль, виброакустический анализ, огибающая, спектральный анализ, топливный насос высокого давления, масляный насос, АЭС.

Поступила в редакцию 14.05.2016 г.

Для проведения диагностирования с целью оценки технического состояния в 2015 году было представлено 2 единицы дизель-генераторных установок РoАЭС – 2РДЭС-2 и 2РДЭС-3 входящих в состав резервных дизельных электростанций (РДЭС). Дизель-генераторная установка состоит из дизеля типа 12ZV40/48: четырехтактный, V-образным расположением цилиндров, системой наддува и промежуточным охлаждением надувочного воздуха; число цилиндров 12.

Порядок проведения работ включал в себя следующие этапы:

- предварительная обработка зарегистрированных акустических сигналов дизель-генераторного оборудования с использованием программы PowerGraph;
- анализ термограмм зарегистрированных на поверхности дизель-генераторного оборудования с использованием программы SmartView;
- полный расчет и углубленный анализ диагностических параметров, сопоставление результатов с паспортными данными, нормативными документами; построение графиков огибающих во временных и полярных координатах, амплитудно-частотных спектров акустических сигналов, сравнение с эталонными огибающими и спектрами;
- проведение расчетов с указанием выявленных отклонений диагностических параметров;
- дополнение и корректировка базы данных технического состояния дизель-генераторного оборудования;
- оформление технического заключения;
- согласование и сдача в установленном порядке отчетной документации.

Метод технического диагностирования дизель-генераторного оборудования

основан на измерениях виброакустических и температурных параметров при работе оборудования на мощности и сравнении их со значениями параметров, приведенными в нормативно-технической документации, а также со значениями этих же параметров для однотипных дизелей [1].

Согласно регламенту строятся графики огибающих акустического сигнала. По графикам производится расшифровка характерных временных точек амплитуд сигнала. Важное значение имеет составление эталонов огибающих для исправных работоспособных дизелей с использованием средств программного обеспечения и с занесением их в базу данных, что дает возможность проведения оперативного сравнительного анализа фактических результатов измерений с оценкой технического состояния на момент диагностирования [1,2].

Оценка формы огибающих акустических сигналов включает следующие процедуры:

1) Выявление периодичности т.е. повторения формы сигнала на периоде оборота вала (0,1 с) или на периоде рабочего хода дизеля (равного двум периодам оборота вала 0,2 секунды).

2) Усреднение записанного сигнала на периоде оборота вала или рабочего хода.

3) Представление усредненной огибающей в полярных координатах.

Отсутствие периодичности может говорить о неравномерности работы отдельных рабочих цилиндров или дизеля в целом [3]. Отсутствие периодичности в отдельных случаях, если одновременно не выявлены отклонения других диагностических параметров (большие размах сигнала, СКЗ или пик-фактор, повышенная амплитуда частотных полос в спектре), наблюдается при некорректно снятом сигнале. Отклонение от периодичности оценивается по форме огибающей, представленной в полярных координатах. Нечеткая форма, приближение формы к окружности говорит о той или иной степени неравномерности работы цилиндропоршневой группы.

Измеренные и расчетные диагностические параметры, спектральные характеристики с указанием оценочных критериев и выявленных отклонений, также заносятся в протоколы диагностического обследования РДЭС.

Метод спектрального анализа акустического сигнала применяется для углубленного исследования результатов диагностирования. Спектральный анализ позволяет выявить дефекты, которые не были обнаружены в результате анализа диагностических параметров временного сигнала и дает возможность уточнения оценки технического состояния [3,4]. Спектры фактически зарегистрированного сигнала могут быть использованы для сравнения с предыдущими результатами, занесенными в электронную базу данных, для установления тенденций и прогнозирования изменений технического состояния РДЭС в процессе эксплуатации.

Проведение анализа амплитудно-частотного спектра акустического сигнала позволяет выявить отклонения в спектре анализируемых сигналов в сравнении с опорными спектрами (масками), полученными для аналогичного бездефектного оборудования. По результатам диагностирования дизеля типа 12ZV40 выявлено, что в спектре его акустического сигнала, измеренного в процессе работы, наблюдается повышение амплитуды в следующих частотных полосах: 60-80; 270-380; 1300-1800; 2500-3500; 4300-5300; 5700-8600 Гц. Значения амплитуд в данных полосах заносятся в формуляр. Спектры сигналов, определенные на одних и тех же точках обследуемых дизелей, сравниваются между собой. Относительное превышение в типовой группе отдельных амплитуд частотных полос указывает на отклонения в работе деталей, вблизи которых был измерен сигнал. Появление в спектре дополнительных составляющих, а также боковых составляющих и “горбов белого шума” в исследуемых пяти частотных полосах также указывают на отклонения в работе

деталей, вблизи которых был измерен сигнал.

Составление спектральных масок с использованием средств программного обеспечения для исправных работоспособных дизелей и занесение их в базу данных дает возможность проведения оперативного сравнительного анализа результатов измерений с оценкой фактического технического состояния на момент диагностирования [4].

Методика оценки технического состояния РДЭС по результатам диагностирования предусматривает статистический анализ содержащихся в базе данных, основанный на сравнении параметров сигнала с допустимыми значениями на эти параметры для исправных однотипных дизелей. Результаты расчётов доверительных интервалов на диагностические параметры заносятся в таблицы для последующего использования при оценке фактического технического состояния оборудования путём сравнения его параметров с полями допусков на эти же параметры.

С использованием средств программного обеспечения ВИТИ НИЯУ МИФИ проведен полный расчет и анализ диагностических параметров по виброакустическим сигналам для каждой установки при её работе на мощности. Наблюдалось определенное соответствие при сравнении уровней вибрации на одних и тех же точках двух дизелей (см. таблицы 1-3).

Таблица 1. – Уровень сигнала на поперечной анкерной связи

№ n/n	сто- рона	2РДЭС-2		сто- рона	2РДЭС-3	
		точка	СКЗ		точка	СКЗ
1	правая	1	26	правая	1	26,34
2		2	17,34		2	17,4
3		3	23		3	22,94
4		4	16,72		4	16,62
5		5	35	левая	1	12,4
6		6	29		2	14,69
7		7	21		3	20,93
8		8	12,5		4	6,128

Таблица 2. – Уровень сигнала на ТНВД

№ n/n	сто- рона	2РДЭС-2		сто- рона	2РДЭС-3	
		точка	СКЗ		точка	СКЗ
1	правая	1	18,8	правая	1	15,82
2		2	20,15		2	17,34
3		3	20,27		3	18,8
4		4	13,22		4	13,07
5				левая	1	21,51
6					2	17,76
7					3	18,68
8					4	12,87

Таблица 3. – Уровень сигнала на блоке

№ n/n	Сто- рона	Направление	2РДЭС-2		Сто- рона	2РДЭС-3	
			точка	СКЗ		точка	СКЗ
1	правая	продольно	1	12,41	правая	1	13,98
2		вертикально	2	14,72		2	19,21
3		поперечно	3	20,89		3	21,68
4		вертикально				4	18
5		поперечно	5	20,49	левая	1	20,14
6		вертикально	6	11,93		2	20,81
7		поперечно	7	11,72		3	24,19
8		продольно				4	23,71

По температурным сигналам для 2РДЭС-2 и 2РДЭС-3 при их работе на мощности в параллель с сетью (N=5 МВт) были получены термограммы. В таблице 4 приведены max и min температуры одноименных деталей и агрегатов дизеля.

Остов дизеля. Анализируя результаты выполненных измерений установлено, что температурное поле остова дизеля распределено равномерно: макс. разность температур замеренная на смотровых лючках остова дизеля составляет 3,5 и 2,0 °С, т.е. отсутствуют локальные места с резко выраженными изменениями температурного поля. Это указывает на отсутствие механических сопротивлений в отдельных узлах и механизмах сопрягаемых с остовом дизеля или находящиеся в непосредственной близости от него. И что особенно важно, одинаковая температура на поверхности лючков остова дизеля, характеризует исправную работу подшипников коленчатого вала [5]. Таким образом, интенсивность теплового излучения поверхностей, распределение температур, температурные градиенты и другие параметры тепловых полей на наружной поверхности дизеля, при работе его на максимальной мощности, находятся в безопасных пределах и соответствуют нормативным показателям работы дизеля.

Температуры выпускных газов контролировались по штатным приборам и косвенно непосредственно на выпускных патрубках каждого цилиндра, т.к. выхлопные патрубки имеют теплоизоляцию, замеренная температура будет занижена (см. рис. 1). Анализ температур выпускных газов свидетельствует, что температуры выпускных газов всех цилиндров, соответствуют допустимым значениям, близки к значениям «Протокола заводских испытаний». Разности температур выхлопных газов по цилиндрам также находятся в допустимых пределах. (46 и 43 °С соответственно 2РДЭС-2 и 2РДЭС-3) при Макс допустимой разности 120 °С. Температура выпускного патрубка 1-го правого цилиндра дизеля 2РДЭС-3 равная 236гр. Считаем, замерена некорректно, так как другие показатели теплотехнического контроля 1-го правого цилиндра находятся в допустимых пределах.



Рис. 1. – Выпускной патрубок 6-го цилиндра правая сторона:
а – 2РДЭС-3; б – 2РДЭС-3

Таблица 4. – Макс и Мин температуры одноименных деталей и агрегатов дизеля

№ n/n	Точка замера температуры	2РДЭС-2		2РДЭС-3	
		Max/ Min температура	Max- Min	Max/ Min температура	Max- Min
1	Смотровые лючки картера дизеля	73.3	3.5	76	2
		69.8		74	
2	Выхлопные патрубки цилиндров	366	46	366	43
		320		323	

Продолжение таблицы 4

3	ТНВД	45	6	46	3
		39		43	
4	Навесной насос масла	75	-	72	-
5	Навесной насос воды внутреннего контура	84.5	-	80	-
6	Навесной насос воды промежуточного контура	42	-	43	-
7	Топливный насос	33	-	39	-
8	Подшипник генератора	48	-	50	-
9	Щеточный механизм генератора	57	-	61	-

Температура корпусов ТНВД. Замеры температуры корпусов ТНВД 2РДЭС-2: Max=45°C, Min=39 °C, Max-Min=6 °C. 2РДЭС-3: Max=46 °C, Min=43 °C, Max-Min=3°C свидетельствуют об одинаковой производительности топливных насосов. Максимальное давление сгорания по цилиндрам $P_{zmax}=125$ $P_{zmin}=122$, разность по цилиндрам составляет 3 кг/см² при максимальной допустимой разности 6 кг/см². Замеры производились ремонтным персоналом РоАЭС, штатным прибором (максиметр) поставляемым в комплекте с дизелем. Таким образом, нахождение диагностируемых параметров в пределах близких к параметрам протокола заводских испытаний говорит о правильной организации теплового процесса в дизеле, полноте сгорании топлива, равномерности работы цилиндров и как результат этого получение максимальных мощностных и экономических показателей работы дизеля [5].

Значения температур навешенных на дизель насосов масла, воды внутреннего и промежуточного контуров и топлива также находятся в допустимых пределах, не превышают температур своих рабочих сред, что также характеризует их исправную работу.

Температуры подшипниковых узлов генераторов 2РДЭС-2,3, а также их щеточных механизмов не превышают значений обозначенных в технико-эксплуатационной документации на генератор.

Спектральный анализ фактически зарегистрированных акустических сигналов проводился на основании сравнения спектральных параметров внутри типовых групп. В типовые группы объединяются параметры, определенные для одних и тех же точек обследуемых дизелей, либо для аналогичных точек одного дизеля. Наблюдалось сходство спектров сигналов, измеренных на одних и тех же точках двух дизелей, при этом спектры, полученные по сигналам на других точках, явно отличаются (см. рис. 2).

Был проведен *анализ формы огибающих акустических сигналов*. По сигналам, измеренным на анкерных связях и блоках дизелей, были построены усредненные огибающие в векторных координатах. Наблюдалось сходство огибающих сигналов, измеренных на одних и тех же точках двух дизелей, при этом огибающие, полученные по сигналам на других точках, явно отличаются (см. рис. 3).

Диагностирование показало, что по результатам измерения акустических сигналов и тепловизионного контроля 20.05.2015 и 15.06.2015 установки 2РДЭС-2 и 2РДЭС-3 РоАЭС могут быть признаны *работоспособными и функционально пригодными* к дальнейшей эксплуатации в составе систем безопасности энергоблока 2.

Полученные в результате первого диагностирования виброакустические сигналы могут быть использованы в качестве эталонов для сравнения с последующими измерениями. Особенности сигналов, выявленные при измерении на определенных точках оборудования, будут учтены при формировании методики диагностирования дизеля конструкции 12ZV40.

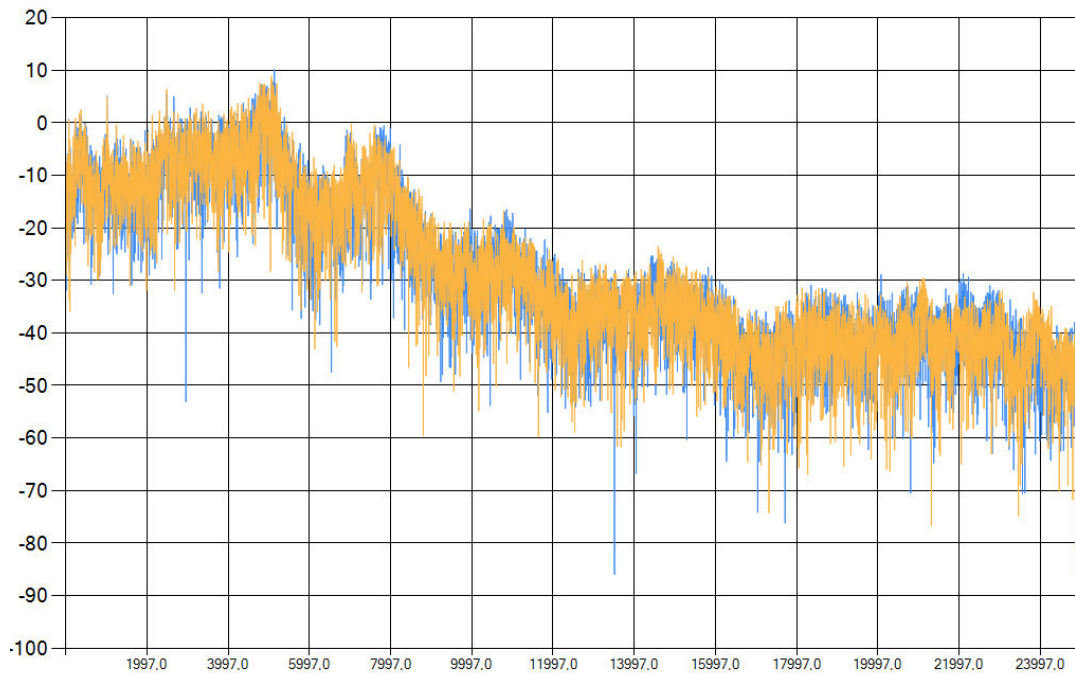


Рис. 2. – Наложение спектров сигналов 2РДЭС-2 и3 на анкерной связи в точке 2

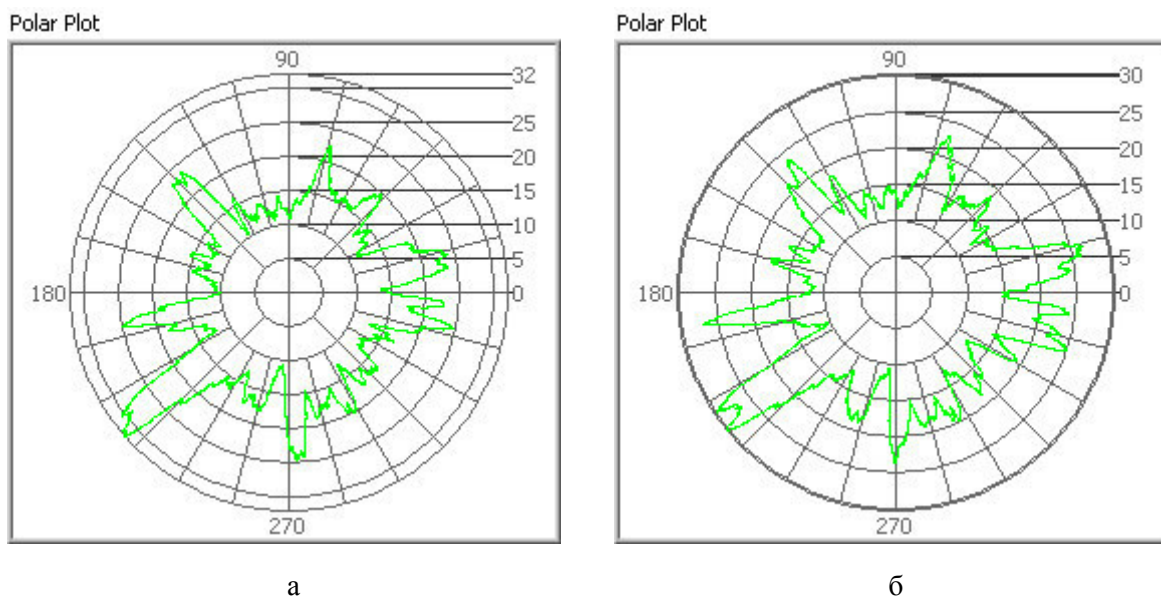


Рис. 3. – Огибающие в векторных координатах акустических сигналов на анкерной связи в точке 2: а - 2РДЭС-3; б - 2РДЭС-3

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Варбанец, Р.А. и др. Мониторинг рабочего процесса и параметрическая диагностика среднеоборотного тепловизионного дизеля К6S310DR [Текст] / Р.А. Варбанец, В.С. Губин, В.И. Кырнац, О.А. Россомаха, Н.И. Александровская // Вестник АГТУ. Сер.: Морская техника и технология. – 2014. – №2. – С. 52–60.
2. Varbanets R., Karianskiy A. Analyze of marine diesel engine performance // Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects. Gdansk: Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology. – 2012. – Vol. 7. – №1. – pp. 269–275.
3. Тихомиров, М.В. и др. Разработка диагностического комплекса для электронной системы

- управления отечественных автомобильных дизелей [Текст] / М.В. Тихомиров, С.В. Овчинников, Ю.Е. Хрящев // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. "Машиностроение". – 2015. – №1. – С. 142–148. DOI: 10.18698/0236-3941-2015-1-142-148.
4. Крашенинников, С.В. Современные подходы к диагностированию дизельных двигателей внутреннего сгорания [Текст] / С.В. Крашенинников // Вестник Новосибирского государственного педагогического университета. 2013. – №2(12). – С. 59–68. DOI: 10.15293/2226-3365 ISSN 2226-3365
 5. Пугачева О.Ю., Пугачев А.К., Соловьев В.И., Абидова Е.А. Диагностика дизель-генератора 15Д-100 по показателям вибрации [Текст] / О.Ю. Пугачева, А.К. Пугачев, В.И. Соловьев, Е.А. Абидова // Глобальная ядерная безопасность. – 2014. – №2(11). – С. 91–97.

REFERENCES

1. Varbanets R.A., Gubin V.S., Kirnats V.I., Rossomakha O.A., Alexandrovskaya N.I. Monitoring of combustion and Parametric Diagnosis of K6S310DR Medium-Speed Locomotives diesel Engine]. Vestnik AGTU. Seriya: Morskaya tekhnika i tekhnologiya [Bulletin of Astrakhan State Technical University]. Series: Marine Engineering and Technologies, 2014, №2, ISSN 2073-1574, pp. 52–60 (in Russian)
2. Varbanets R., Karianskiy A. Analyze of marine diesel engine performance. Journal of Polish CIMAC. Energetic Aspects. Gdansk. Pub. Faculty of Ocean Engineering and Ship Technology Gdansk University of Technology, 2012, Vol. 7, No. 1, ISSN 1231-3998, pp. 269–275. (in English)
3. Tikhomirov M.V., Ovchinnikov S.V., Khryashev Yu.E. Razrabotka diagnosticheskogo kompleksa dlya elektronnoy sistemy upravleniya otechestvennykh avtomobilnykh dizeley [Development of Diagnostic complex for Domestic Automobile Diesel Engines Electronic Control system] Vestnik MSTU im. Bauman [Bulletin of Bauman MSTU]. Ser. "Mechanical Engineering", 2015, №1, ISSN 0236-3941, DOI: 10.18698/0236-3941-2015-1-142-148, pp. 142–148. (in Russian)
4. Krashennnikov S.V. Sovremennyye podkhody k diagnostirovaniyu dizelnykh dvigateley vnutrennego sgoraniya [Modern approaches to diagnosing of diesel internal combustion engines]. Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta [Bulletin of the Novosibirsk state pedagogical University], 2013, №2(12), ISSN 2226-3365, DOI: 10.15293/2226-3365, pp. 59–68. (in Russian)
5. Pugachyova O.J., Pugachyov A.K., Soloviev V.I., Abidova E.A. Diagnostika dizel-generatora 15D-100 po pokazatelyam vibratsii [15D-100 Diesel Generator Diagnostics on Vibration Indicators]. Global nuclear safety, 2014, №2(11), ISSN 2305-414X, eISSN 2499-9733, pp. 91–97. (in Russian)

Vibroacoustic Monitoring and Thermovision Control when Diagnosing Diesel 12zv40/48

E.A. Abidova, V.I. Solovjov, O.Yu. Pugachyova, R.I. Remizov

*Volgodonsk Engineering Technical Institute the branch of National Research Nuclear University «MEPhI»,
Lenin St., 73/94, Volgodonsk, Rostov region, Russia 347360
e-mail: nii_energomash@mail.ru*

Abstract – BACKGROUND In 2015 measurement of vibration level and thermovision control was carried out for technical condition assessment of two diesel-generator installations of the Rostov NPP.

METHODS Basic provisions of a diagnosing technique of technical condition, including use of masks of vibroacoustic signal ranges are given in work. The equipment condition is estimated as in temperature as vibration parameters.

RESULTS Diagnosing has shown that installations 2RDES-2 and 2RDES-3 of the Rostov NPP can be recognized efficient and functionally suitable for further operation as a part of power unit № 2 security systems by results of acoustic signal measurement and thermovision control (5/20/2015 and 6/15/2015).

Keywords: the reserve diesel power plant, thermovision control, vibroacoustic analysis, envelope, spectral analysis, the fuel pump of high pressure, the oil pump, the NPP.