

ESTIMATION OF ELECTRICITY QUALITY AT THE VESSEL IN THE OPERATION PROCESS

S. E. Kuznetsov, Yu. V. Kudryavtsev, A. A. Vinogradov

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
St. Petersburg, Russian Federation

The scheme for the distribution of electric power of the tanker “Ligovsky Prospekt” containing three diesel generator sets with brushless three-phase synchronous generators with an active capacity of 750 kW, a total power of 937.5 kVA, a voltage of 440 V, a frequency of 60 Hz, a rated current of 1203 A, a power factor of 0,8. The main power quality indicators and the requirements for them of the IEC and the Russian Maritime Register of Shipping are given. The characteristics two devices “Energotester PKE-06” of domestic production are described with the help of which the main energy indicators (phase and line voltages, phase and linear currents, active, reactive and full power, load power factor, load factor) and power quality indicators (voltage deviation, frequency deviation, non-sinusoidal coefficient and others) on a tank with single operation of diesel-generator sets (DGA) and with parallel (running, maneuvering, parking in the roadstead) in the electric circuits of generators and receivers (electric drives: electric drive of ballast pump No. 2, power 315 kW, electric drive of inert gas fan, power 126 kW, electric drive of ballast pump No. 1, the power of 160 kW). The duration of the measurement for running, maneuvering and parking mode in the roadstead was at least 24 hours with 30 minutes averaging. The analysis of power quality indicators based on their measured values and graphical dependencies on time showed the compliance of the quality of electricity with the requirements of the IEC and the Russian Maritime Register of Shipping.

Keywords: vessel, electro-power supply system, power quality indicators, “Energotester PCE-06” instrument, measuring and recording, electric generators and receivers.

For citation:

Kuznetsov, Sergey Ye., Yuri V. Kudryavtsev, and Andrei A. Vinogradov. “Estimation of electricity quality at the vessel in the operation process.” *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admiral S. O. Mararova* 9.6 (2017): 1320–1329. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1320-1329.

УДК 621.317:629.12083.72

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА СУДНЕ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

С. Е. Кузнецов, Ю. В. Кудрявцев, А. А. Виноградов

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени адмирала С. О. Макарова»,
Санкт-Петербург, Российская Федерация

*Рассмотрена схема распределения электроэнергии танкера «Лиговский проспект», содержащая три дизель-генераторных агрегата с бесщёточными трехфазными синхронными генераторами активной мощностью 750 кВт, полной мощностью 937,5 кВА, напряжением 440 В, частотой 60 Гц, номинальным током 1203 А, коэффициентом мощности — 0,8. Приведены основные показатели качества электроэнергии и требования к ним Международной электротехнической комиссией и Российского морского регистра судоходства. Описаны характеристики двух приборов «Энерготестер ПКЭ-06» отечественного производства, с помощью которых произведены измерение и регистрация основных энергетических показателей (фазные и линейные напряжения, фазные и линейные токи, активная, реактивная и полная мощность, коэффициент мощности нагрузки, коэффициент нагрузки) и показателей качества электроэнергии (отклонение напряжения, отклонение частоты, коэффициент несинусоидальности и др.) на танкере при оди-
ночной работе дизель-генераторных агрегатов (ДГА) и при параллельной работе двух ДГА в различных эксплуатационных режимах судна (ходовой, маневренный, стоянка на рейде) в электроцепях генераторов и приемников (электроприводов: электропривод балластного насоса № 2 мощностью 315 кВт, электропривод вентилятора инертных газов мощностью 126 кВт, электропривод балластного насоса № 1 мощ-*

ностью 160 кВт и др.). Продолжительность измерения для ходового, маневренного режимов и режима стоянки на рейде составляла не менее 24 ч с 30-минутным усреднением. Анализ показателей качества электроэнергии по их измеренным значениям и графическим зависимостям от времени показал соответствие качества электроэнергии требованиям МЭК и Российского морского регистра судоходства.

Ключевые слова: судно, система электроснабжения, показатели качества электроэнергии, прибор «Энерготестер ПКЭ-06», измерения и регистрация, электроцепи генераторов и приемников.

Для цитирования:

Кузнецов С. Е. Оценка качества электроэнергии на судне в процессе эксплуатации / С. Е. Кузнецов, Ю. В. Кудрявцев, А. А. Виноградов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2017. — Т. 9. — № 6. — С. 1320–1329. DOI: 10.21821/2309-5180-2017-9-6-1320-1329.

Введение

Основные энергетические показатели и показатели качества электроэнергии измерялись и регистрировались на танкере «Лиговский проспект». На рис. 1 представлена однолинейная схема распределения электроэнергии танкера от источников — судовых бесщёточных синхронных генераторов, до основных приемников и распределительных щитов судна. Распределение электроэнергии осуществляется по фидерному методу, что повышает надежность электроснабжения.

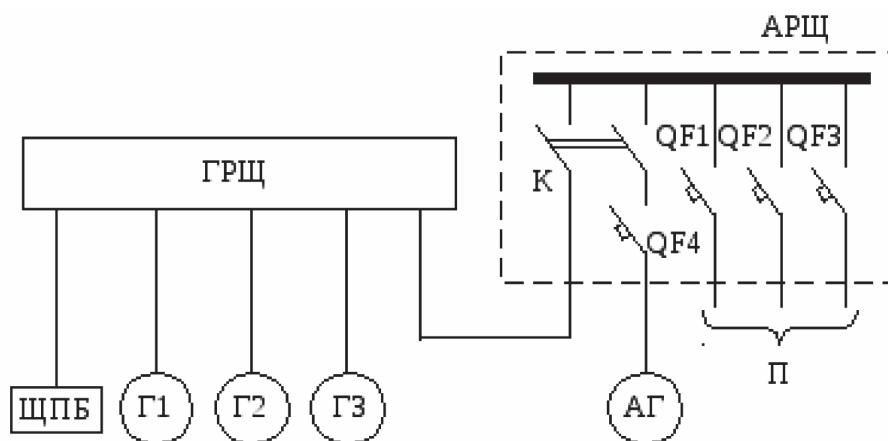


Рис. 1. Однолинейная схема распределения электроэнергии танкера «Лиговский проспект»

В состав судовой электроэнергетической системы судна входят две электростанции: основная и аварийная. Основные параметры электроэнергии: трехфазный переменный ток напряжением 450 В, частотой 60 Гц. Основные источники электроэнергии — три дизель-генераторных агрегата (ДГА) с номинальными параметрами генераторов: мощность $P = 750$ кВт, $S = 937,5$ кВ·А, ток $I = 1203$ А, коэффициент мощности $\cos \varphi = 0,8$. Аварийный источник электроэнергии: один ДГА, $P = 120$ кВт, $S = 150$ кВ·А, ток $I = 192$ А, $\cos \varphi = 0,8$.

Основная электростанция состоит из главного распределительного щита (ГРЩ) и трех дизель-генераторов. ГРЩ содержит три генераторные секции, секцию управления, 13 силовых секций и одну секцию приемников 220 В. Шины ГРЩ разделены на две секции секционным автоматическим выключателем. К секции управления ГРЩ кабельной перемычкой подключены аварийный распределительный щит (АРЩ) и щит питания с берега.

Надежность электроснабжения основных приемников электроэнергии, которые осуществляют движение, управление и безопасность судна обеспечивается резервированием и подключением их к разным секциям шин ГРЩ или к шинам АРЩ.

Аварийная электростанция состоит из АРЩ и аварийного дизель-генератора мощностью 120 кВт. АРЩ состоит из генераторной секции, секций приемников 440 В и 220 В. Питание приемников электроэнергии 220 В осуществляется с помощью силового трансформатора 440/220 В.

Наиболее энергоёмкими приёмниками электроэнергии являются электроприводы нагнетателей с асинхронными двигателями: балластный насос № 2 ($P = 315$ кВт), балластный насос № 1 ($P = 160$ кВт), вентилятор инертных газов ($P = 126$ кВт), основной масляный насос ($P = 95$ кВт), основной насос питательной воды вспомогательного котла ($P = 60$ кВт), пожарный насос ($P = 85$ кВт).

Методы и материалы

Качество электрической энергии, под которым понимается совокупность свойств электроэнергии, характеризующих её пригодность для питания судового электрооборудования, на судах определяется в соответствии с требованиями Международной электротехнической комиссии (МЭК) и классификационных обществ [1]. Вопросы качества электроэнергии рассматривались в [2].

Качество электроэнергии характеризуется показателями, для которых определён допустимый диапазон отклонения от их номинальных значений, выраженный в процентах.

Основными показателями качества электроэнергии являются:

- отклонения напряжения $dU = (U - U_n) / U_n \cdot 100 \%$;
- отклонения частоты $df = (f - f_n) / f_n \cdot 100 \%$;
- коэффициент несинусоидальности линейного напряжения $K_U, \%$:

$$K_U = \frac{\sqrt{2 \sum_{v=2}^{200} U_v^2}}{U_1} \cdot 100 \%;$$

где U и f — соответственно текущие значения напряжения и частоты; U_n и f_n — соответственно номинальные значения напряжения и частоты; U_1 — напряжение первой гармоники; v — порядок высшей гармоники.

Требования к показателям качества электроэнергии — параметрам электрической энергии, которые характеризуют работу ДГА в установившемся и динамическом (набросе и сбросе нагрузки) режиме работы и параметрам электрической энергии, которые характеризуют её пригодность для питания судовых приёмников электроэнергии в установившемся и динамическом режимах работы.

Для дизеля:

- при мгновенном сбросе 100 % нагрузки или двухступенчатом набросе 100 % кратковременное изменение частоты вращения двигателя не должно превышать 10 % расчётной частоты вращения, а установившаяся частота вращения должна достигаться в течение не более 5 с;
- установившаяся частота вращения не должна колебаться более чем на $\pm 1 \%$ частоты вращения, соответствующей конкретной установившейся нагрузке генератора.

Для генератора:

- генераторы переменного тока должны иметь системы автоматического регулирования напряжения, обеспечивающие поддержание напряжения в пределах $\pm 2,5 \%$ от номинального при изменении нагрузки от нуля до номинальной при номинальном коэффициенте мощности;
- внезапное изменение симметричной нагрузки генератора, работающего при номинальной частоте вращения и номинальном напряжении, при имеющихся токе и коэффициенте мощности, не должно вызывать снижения напряжения ниже 85 % и повышения выше 120 % от номинального значения;
- по окончании переходных процессов напряжение генератора должно восстанавливаться в течение не более 1,5 с с отклонением от номинального значения в пределах $\pm 3 \%$;
- отклонение от синусоидальной формы напряжения не должно превышать 5 % от пикового значения его основной гармонической составляющей.

При этом допустимые отклонения параметров питания судовых приёмников электроэнергии следующие:

1) установившееся отклонение напряжения по отношению к номинальному значению $+6 \dots -10 \%$ и частоты $\pm 5 \%$.

2) кратковременное отклонение напряжения $\pm 20 \%$ с временем восстановления не более 1,5 с и частоты $\pm 10 \%$ с временем восстановления не более 5 с.

Отклонения от синусоидальной формы напряжения на клеммах приёмников электроэнергии не должно превышать 10 % от пикового значения его основной гармонической составляющей.

Исходя из ранее указанных требований, во время энергетического обследования были измерены основные показатели качества электроэнергии на шинах работавших генераторов и приёмников электроэнергии.

Методика оценки показателей качества электроэнергии

Для измерения электроэнергетических величин показателей качества электрической энергии использовалось два прибора «Энерготестер ПКЭ-06» [3] отечественного производства фирмы «Марс-Энерго» (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид прибора «Энерготестер ПКЭ-06»

Приборы для измерения электроэнергетических величин и показателей качества электрической энергии «Энерготестер-ПКЭ-06» предназначены для следующих целей:

- измерения и регистрации основных показателей качества электроэнергии (ПКЭ), установленных ГОСТ 13109-97 и EN 50160;
- измерения и регистрации основных параметров электрической энергии в однофазных и трехфазных электрических сетях: действующих значений напряжений и токов при синусоидальной и искаженной форме кривых; активной, реактивной и полной электрической мощности;
- поверки однофазных и трехфазных счетчиков активной и реактивной электрической энергии на месте эксплуатации, а также для контроля метрологических характеристик счетчиков и правильности их подключения без разрыва токовых цепей;
- поверки измерительных трансформаторов напряжения и тока на местах их эксплуатации;
- измерения параметров вторичных цепей (мощности нагрузки) в системах учета электрической энергии;
- поверки электроизмерительных приборов, энергетических измерительных преобразователей напряжения, тока, активной и реактивной мощности на месте их эксплуатации;
- измерения амплитудных и пиковых значений переменного напряжения частотой до 500 Гц по одному/трем каналам и по разностному каналу для поверки и калибровки амплитудных и пиковых вольтметров.

Основные технические характеристики прибора:

- диапазон измерения напряжения 0,06 ... 360 В;
- номинальный ток $I_{ном}$ равен 0,1; 0,5; 1; 5; 10; 50; 100; 300; 500; 1000; 3000 А;
- ПКЭ по ГОСТ 13109;
- диапазон рабочих температур: $-20 \dots 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$;
- масса прибора 2 кг.

Штатные судовые приборы, ввиду их относительно большой погрешности измерений, использовались только для контроля параметров электрической энергии, результаты которых в расчетах и анализе не использовались.

Измерение параметров электрической энергии работающих ДГА производилось при работе под нагрузкой в характерных режимах. Такими режимами являлись:

- ходовой режим при работе одного ДГА (№ 2);
- маневренный режим при параллельной работе двух ДГА (№ 2 и 3);
- режим дрейфа (стоянка на рейде) при работе одного ДГА (№ 3);
- режим швартовки в порту при параллельной работе двух ДГА (№ 2 и 3);
- режим выгрузки нефтепродуктов своими средствами при параллельной работе двух ДГА: (№ 2 и 3).

ДГА № 1 в работе не использовался и находился в резерве.

Продолжительность измерения для ходового, маневренного режимов и режима дрейфа составляла не менее 24 ч с тридцатиминутным усреднением. Для режимов швартовки и выгрузки продолжительность измерений составила около двух часов с 3-секундным усреднением для определения максимальных значений мощности ДГА. Измерения параметров электрической нагрузки электроприводов на 0,45 кВт проводились только на работающем в момент обследования оборудовании. Режим измерения выбирался кратковременный с усреднением 3 с или 1 мин. Перечень электроприводов, на которых производились измерения, выбирался из таблицы нагрузок судовой электростанции.

Измерения электрических параметров и ПКЭ проводились без отклонения нагрузки и разрыва электрических цепей с применением гибких токовых клещей (0 ... 300 А; 0 ... 3000 А) и проводов с зажимами типа «крокодил» для измерения напряжения. Схема подключения прибора при измерении в сети 0,45 кВт (в общем виде) показана на рис. 3.

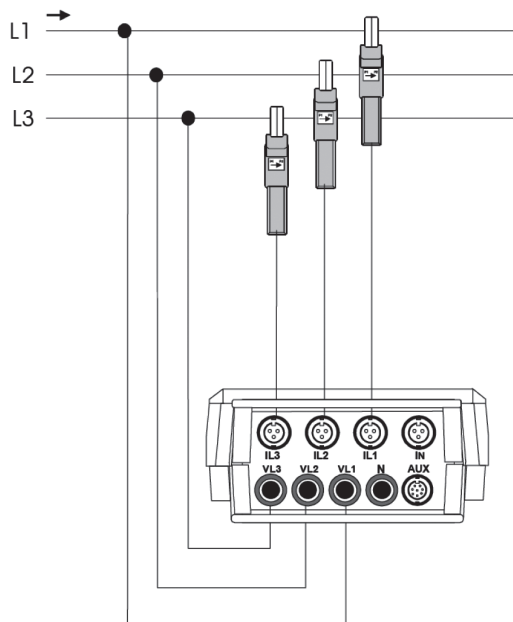


Рис. 3. Схема подключения переносного прибора «Энерготестер ПКЭ-06»

Непосредственное подключение приборов осуществлялось на отходящих фидерах главного распределительного щита (ГРЩ) (для ДГА и наиболее важных электроприводов) или на местных постах в станциях управления электроприводами. Все результаты измерений оформлялись в табличной форме в виде соответствующих протоколов.

По результатам измерений были выполнены графики изменения активной, реактивной мощности и коэффициента мощности во времени работающих ДГА. Полученные результаты сравни-

вались с паспортными данными ДГА и соответствующими допустимыми значениями параметров. Результаты сравнения были проанализированы и сделан вывод о качестве электроэнергии.

Результаты измерений для электроприводов (ЭП) в дальнейшем использованы для расчётов коэффициента нагрузки электродвигателя ($K_{\text{нагр}}$). Выполненные расчёты позволяют сделать вывод о правильности выбора мощности электродвигателя для привода, оценить потери и сделать предложения по их снижению (это в том случае, если электродвигатели выбраны неправильно, имеют низкий коэффициент нагрузки менее 50 % и, соответственно, повышенные потери), что непосредственно отразится на уменьшении удельного расхода топлива ДГА [4] – [6].

Результаты измерений

При измерениях в ходовом режиме использовался ДГА № 2. Обобщённые результаты измерений электрических параметров, выполненные в течение суток, представлены в табл. 1.

Таблица 1

Обобщённые результаты измерения электрических параметров ДГА № 2 в ходовом режиме

Электрические параметры	f , Гц	I_A , А	I_B , А	I_C , А	U_{AB} , В	U_{BC} , В	U_{CA} , В	$\cos \varphi$, о.е.	S_{Σ} , кВ·А	P_{Σ} , кВт	Q_{Σ} , кВ·А	$K_{\text{нагр}}$, о.е.
ДГА № 2 ($P = 750$ кВт)												
Максимальные значения	60,05	813,67	813,37	798,09	445,89	446,25	446,15	0,84	620,17	519,25	338,98	0,69
Минимальные значения	59,89	678,00	675,67	663,08	444,26	444,37	444,37	0,82	517,95	430,86	286,81	0,52
Средние значения	59,99	729,53	728,55	713,59	445,13	445,36	445,21	0,83	556,41	460,33	310,67	0,62

По результатам измерений построены графики изменения активной, реактивной мощности и $\cos \varphi$, которые представлены на рис. 4.

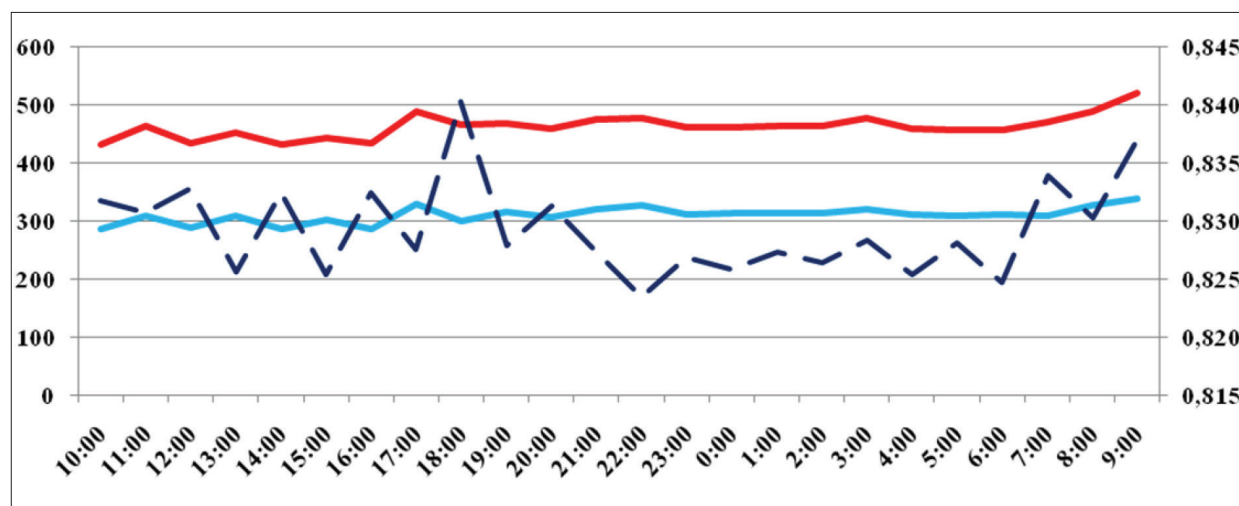


Рис. 4. Активная (P), реактивная (Q) мощности и коэффициент мощности $\cos \varphi$ ДГА № 2 в ходовом режиме:
 P_{Σ} , кВт — красная линия; Q_{Σ} , кВ·А — голубая линия; $\cos \varphi$ — пунктирная линия

Из анализа табл. 1 и графиков на рис. 4 можно сделать вывод о том, что активная нагрузка ДГА в ходовом режиме изменялась от 430 кВт до 519 кВт и в среднем составила 460 кВт. При этом $\cos \varphi$ находился в пределах 0,82 – 0,84, а коэффициент электрической нагрузки изменялся от 0,52 до 0,69 и в среднем составил 0,62, что указывает на вполне допустимое использование одного ДГА установленной номинальной активной мощности 750 кВт в ходовом режиме.

В процессе проведения исследований ДГА № 3 использовался для питания судовой электро-энергетической установки в режиме стоянки на рейде.

Из анализа полученных результатов измерений и соответствующих графиков можно сделать вывод, что активная нагрузка ДГА № 3 в режиме дрейфа изменялась в пределах 386 ... 444 кВт и в среднем составила 420 кВт. При этом $\cos \varphi$ находился в пределах 0,79 – 0,84, а коэффициент нагрузки изменялся от 0,51 до 0,59 и в среднем составил 0,56, что указывает на допустимое использование одного ДГА установленной номинальной активной мощности 750 кВт в режиме дрейфа.

ДГА № 2 и 3 использовались для параллельной работы в маневренном режиме.

По данным измерения электрических параметров при параллельной работе ДГА № 2 и 3, обобщенные результаты которых представлены в табл. 2, построенные графики изменения активной, реактивной нагрузки и $\cos \varphi$ обоих ДГА приведены на рис. 5.

Таблица 2

**Обобщённые результаты измерения электрических параметров ДГА № 2 и 3
при их совместной работе (параллельной) в маневренном режиме**

Электрические параметры	f , Гц	I_A , А	I_B , А	I_C , А	U_{AB} , В	U_{BC} , В	U_{CA} , В	$\cos \varphi$, о.е.	S_{Σ} , кВт·А	P_{Σ} , кВт	Q_{Σ} , кВт·А	$K_{нагр}$, о.е.
ДГА № 2 ($P = 750$ кВт)												
Максимальные значения	60	406	407	410	450	450	450	0,79	318	249	198	
Минимальные значения	60	347	346	349	449	449	449	0,76	271	211	167	
Средние значения	60	373	372	375	450	450	450	0,77	291	225	185	
ДГА № 3 ($P = 750$ кВт)												
Максимальные значения	60	371	374	373	450	450	450	0,82	290	229	178	
Минимальные значения	60	310	310	310	449	449	449	0,78	242	195	143	
Средние значения	60	335	335	336	450	450	450	0,80	261	208	158	

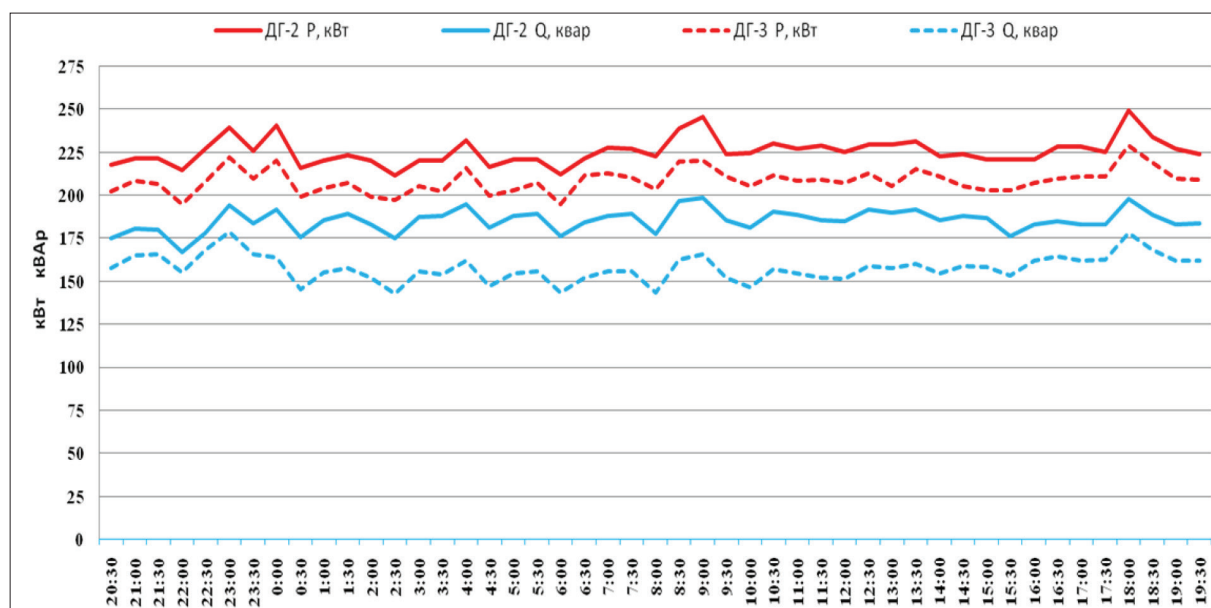


Рис. 5. Активная (P), реактивная (Q) мощности ДГА № 2 и 3 в маневренном режиме

Анализ полученных данных по распределению активной и реактивной мощности параллельно работающих ДГА № 2 и 3 указывает на то, что максимальная неравномерность распределения активной мощности составляет 5,42 % (при норме 15 %) от мощности генераторов, что соответствует требованиям Международной электротехнической комиссии.

Суммарная активная нагрузка двух ДГА в маневренном режиме изменялась от 406 кВт до 478 кВт и в среднем составила 433 кВт, что составляет 28,9 % от суммарной номинальной мощности ДГА. При этом $\cos \varphi$ находился в пределах 0,76 – 0,82, а коэффициент нагрузки изменялся от 0,27 до 0,32 и в среднем составил 0,29, что указывает, как и следовало предполагать в соответствии с требованиями Правил Российского морского регистра судоходства, на низкую эффективность использования установленной мощности двух ДГА в маневренном режиме.

Во время энергетического обследования были измерены основные показатели качества электроэнергии и в цепях питания судовых приемников электроэнергии — асинхронных электродвигателей. В табл. 3 приведены показатели качества электроэнергии (в том числе и для изменения тока $K_I = \frac{(I - I_n)}{I_n} \cdot 100 \%$) наиболее мощных электроприводов.

Таблица 3

Показатели качества электроэнергии в цепях приемников

Объект измерения	P_n , кВт	Значения параметров	df , %	dU , %	$K_{U_{AB}}$, %	$K_{U_{BC}}$, %	$K_{U_{CA}}$, %	K_{I_A} , %	K_{I_B} , %	K_{I_C} , %	$K_{\text{нар}}$, о. е.
Приёмники электроэнергии											
Электропривод балластного насоса № 1	160	Максимальные значения	–0,15%	0,37%	0,45	0,40	0,40	0,97	0,99	0,84	0,83
		Минимальные значения	–0,48%	0,04%	0,43	0,38	0,39	0,91	0,93	0,79	0,82
		Средние значения	–0,25%	0,30%	0,45	0,40	0,40	0,94	0,97	0,82	0,83
Электропривод балластного насоса № 2	315	Максимальные значения	–0,08%	0,52%	0,47	0,42	0,42	0,54	0,53	0,43	0,91
		Минимальные значения	–0,38%	0,26%	0,46	0,41	0,41	0,51	0,50	0,40	0,89
		Средние значения	–0,13%	0,49%	0,46	0,41	0,41	0,52	0,51	0,41	0,90
Электропривод вентилятора инертных газов	126	Максимальные значения	–0,11%	1,76%	0,59	0,54	0,55	2,30	2,27	2,17	1,25
		Минимальные значения	–0,55%	1,47%	0,51	0,44	0,46	1,35	1,45	1,36	0,39
		Средние значения	–0,34%	1,63%	0,54	0,47	0,49	1,64	1,71	1,60	0,83

Как видно из данных, представленных в табл. 3, а также из результатов обследования ЭП ни один из показателей качества электроэнергии не отклоняется за допустимые значения.

Вопросы, касающиеся повышения качества электроэнергии, контроля параметров качества электроэнергии в судовых электроэнергетических системах, также рассмотрены в работах [7] – [11].

Выводы

1. С использованием двух приборов «Энерготестер ПКЭ-06» отечественного производства фирмы «Марс-Энерго» по разработанной методике произведена оценка качества энергии в электрических цепях работающих синхронных генераторов и приемников электроэнергии.

2. Анализ показателей качества электроэнергии по их измеренным значениям и графическим зависимостям от времени показал, что качество электроэнергии в системе электроснабжения танкера соответствует требованиям Международной электротехнической комиссии и Российского морского регистра судоходства.

3. Дальнейшие исследования следует направить на оптимизацию электрической нагрузки синхронных генераторов с целью уменьшения удельного расхода топлива дизель-генератора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Правила классификации и постройки морских судов. — Ч. 2. — СПб.: Изд-во РМРС, 2015. — 807 с.
2. Шейнихович В. В. Качество электроэнергии на судах / В. В. Шейнихович, [и др.]. — Л.: Судостроение, 2004. — 160 с.
3. Сафонов Д. Г. Анализ основных характеристик современных средств измерения показателей качества электроэнергии / Д. Г. Сафонов, К. Х. Тураханов // Омский научный вестник. — 2010. — № 1 (87). — С. 144–149.
4. Кузнецов С. Е. Потери и коэффициент полезного действия судового синхронного генератора / С. Е. Кузнецов // Эксплуатация морского транспорта. — 2009. — № 3. — С. 67–71.
5. Кузнецов С. Е. Влияние нагрузки и коэффициента мощности на расход топлива судового дизель-генераторного агрегата / С. Е. Кузнецов, Ю. В. Кудрявцев // Судостроение. — 2011. — № 6. — С. 30–32.
6. Виноградов А. А. Удельный расход топлива судового дизель-генераторного агрегата / А. А. Виноградов, С. Е. Кузнецов // Тезисы докладов V МНК «Морская техника и технологии. Безопасность морской промышленности», 21 – 27 мая 2017. — Калининград: КГТУ, 2017. — С. 141–143.
7. Романовский В. В. Качество электроэнергии гребных электрических установок судов ледового плавания и ледоколов / В. В. Романовский, А. И. Лебедев, А. Г. Гостев // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2014. — № 6 (28). — С. 56–60.
8. Родимов Н. В. Анализ систем повышения качества электрической энергии при активной фильтрации гармонических искажений сети / Н. В. Родимов // Вестник Государственного университета морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова. — 2015. — № 2 (30). — С. 198–207.
9. Потапов А. И. Контроль, диагностика, обеспечение качества электроэнергии / А. И. Потапов, А. А. Пугачёв, И. А. Потапов. — СПб.: Изд-во ДЕАН, 2014. — 840 с.
10. Гриб О. Г. Актуальные задачи определения долевого участия в ответственности за нарушение качества электрической энергии / О. Г. Гриб, Г. А. Сендерович, П. Г. Щербакова // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Електротехніка і енергетика. — 2013. — № 1 (14). — С. 77–82.
11. Берлад Н. В. Повышение качества электроэнергии в судовых электрических сетях / Н. В. Берлад, О. М. Крастелёв, С. А. Татаренко // Водный транспорт. — 2012. — № 1 (13). — С. 57–59.

REFERENCES

1. *Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Chast' 2*. SPb.: Izd-vo RMRS, 2015.
2. Sheinikhovich, V.V., et al. *Kachestvo elektroenergii na sudakh*. L.: Sudostroenie, 2004.
3. Safonov, D.G., and K.Kh. Turakhanov. "Analiz osnovnykh kharakteristik sovremennykh sredstv izmereniya pokazatelei kachestva elektroenergii." *Omskii nauchnyi vestnik* 1(87) (2010): 144–149.
4. Kuznetsov, S. E. "Poteri i koeffitsient poleznogo deistviya sudovogo sinkhronnogo generator." *Ekspluatatsiya morskogo transporta* 3 (2009): 67–71.
5. Kuznetsov, S. E., and Yu. V. Kudryavtsev. "Effect of load and power factor on fuel consumption of marine diesel generator set." *Shipbuilding* 6 (2011): 30–32.
6. Vinogradov, A.A., and S. E. Kuznetsov. "Udel'nyi raskhod topliva sudovogo dizel'-generatornogo agregata." *Tezisy dokladov V MNK «Morskaya tekhnika i tekhnologii. Bezopasnost' morskoi industrii», 21-27 maya 2017*. Kaliningrad: KGTU, 2017: 141–143.
7. Romanovsky, V.V., A.I. Lebedev, and A.G. Gostev. "Electricity quality of rowing electrical installations of ice ships and icebreakers." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 6(28) (2014): 56–60.

8. Rodimov, N.V. "Analysis of improving the quality of electrical energy at active filtering of harmonic distortion of network." *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S.O. Makarova* 2(30) (2015): 198–207.

9. Potapov, A.I., A.A. Pugachev, and I.A. Potapov. *Kontrol', diagnostika, obespechenie kachestva elektroenergii*. SPb.: Izd-vo DEAN, 2014.

10. Gryb, O., G. Senderovich, and P. Shcherbakova. "Actual Tasks of Definition Individual Share Responsibility for Power Quality Violation." *Naukovi pratsi Donets'kogo natsional'nogo tekhnichnogo universitetu. Seriya: Elektrotekhnika i energetika* 1(14) (2013): 77–82.

11. Berlad, N.V., O.M. Krastelev, and S.A. Tatarenko. "Povyshenie kachestva elektroenergii v sudovykh elektricheskikh setyakh." *Vodnyi transport* 1(13) (2012): 57–59.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Кузнецов Сергей Емельянович —

доктор технических наук, профессор
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: kuznecovse@gumrf.ru

Кудрявцев Юрий Викторович —

кандидат технических наук, доцент
ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: uvk@rambler.ru, kaf_saees@gumrf.ru

Виноградов Андрей Александрович —
доцент

ФГБОУ ВО «ГУМРФ имени
адмирала С. О. Макарова»
198035, Российская Федерация,
Санкт-Петербург, ул. Двинская, 5/7
e-mail: eric_esseker@mail.ru, kaf_saees@gumrf.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Kuznetsov, Sergey Ye. —

Dr. of Technical Sciences, professor
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg,
198035, Russian Federation
e-mail: kuznecovse@gumrf.ru

Kudryavtsev, Yurii V. —

PhD, associate professor
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg,
198035, Russian Federation
e-mail: uvk@rambler.ru, kaf_saees@gumrf.ru

Vinogradov, Andrei A. —

associate professor
Admiral Makarov State University
of Maritime and Inland Shipping
5/7 Dvinskaya Str., St. Petersburg,
198035, Russian Federation
e-mail: eric_esseker@mail.ru, kaf_saees@gumrf.ru

Статья поступила в редакцию 15 ноября 2017 г.

Received: November 15, 2017.