

## СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ И ЭЛЕКТРОЭНЕРGETИКА

УДК 621.315.05+621.311:629.5  
EDN: OVPVEQ

А.Б. Вольский, К.А. Новоселов   
Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

### ПРОБЛЕМА ПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ С БЕРЕГА ДЛЯ СУДОВ ИНОСТРАННОГО ПРОИЗВОДСТВА

**Объект и цель научной работы.** Объектом является судовая электростанция судна иностранного производства. Цель – исследовать проблему адаптации параметров отечественной сети к параметрам судовой электростанции иностранных судов при осуществлении электропитания с берега.

**Материалы и методы.** Сбор и анализ данных эксплуатации судов иностранной постройки.

**Основные результаты.** Проведен анализ типовой схемы судовой электростанции и схемы питания с берега. Выявлены недостатки преобразования электроэнергии по схеме «двигатель – генератор».

**Закключение.** В настоящей статье описаны особенности системы питания судовой сети с европейскими стандартами с берега, подтверждена необходимость наличия промежуточного преобразователя при электроснабжении судна от береговой сети.

**Ключевые слова:** статический преобразователь частоты, электромашинный преобразователь, модернизация, автоматический регулятор напряжения, питание с берега, иностранные суда.

*Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.*

## SHIP POWERING AND ELECTRIC GENERATION SYSTEMS

UDC 621.315.05+621.311:629.5  
EDN: OVPVEQ

A.B. Volsky, K.A. Novoselov   
Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

### PROBLEM OF SHORE POWER SUPPLY ISSUES FOR FOREIGN-BUILT SHIPS

**Object and purpose of research.** The object of this study is ship's electric power plants of foreign-built vessels. The purpose is to investigate the issues in adapting parameters of the domestic network to the electric power plants of foreign vessel supplied from shore.

**Materials and methods.** Collection and analysis of data on operation of foreign-built vessels.

**Main results.** Typical schemes of ship's electric power plant and shore power supply are analyzed. Disadvantages of electric power conversion according to the engine-generator scheme are revealed.

**Conclusion.** This paper described the specifics of the power supply scheme for the European standard vessels, confirms the need for an intermediate converter in the shore-to-ship power supply system.

**Keywords:** static frequency converter, electric machine converter, modernization, automatic voltage regulator, power supply from shore, foreign vessels.

*The authors declare no conflicts of interest.*

*Для цитирования:* Вольский А.Б., Новоселов К.А. Проблема передачи электроэнергии с берега для судов иностранного производства. Труды Крыловского государственного научного центра. 2024; 2(408): 71–80.

*For citations:* Volsky A.B., Novoselov K.A. Problem of shore power supply issues for foreign-built ships. Transactions of the Krylov State Research Centre. 2024; 2(408): 71–80 (in Russian).

## Введение

### Introduction

Системы питания электрических сетей на судах, в зависимости от стандартов, принятых в стране – производителе судна, могут различаться по напряжению, частоте и роду тока. Например, в России и Европе принято, что напряжение однофазной сети составляет 220–240 В с частотой 50 Гц; у трехфазной сети – напряжение 380 В при частоте 50 Гц. В США стандарт другой: для однофазной сети напряжение составляет 110–127 В с частотой 60 Гц; для трехфазных сетей – напряжение 440–480 В при частоте 60 Гц.

Таким образом, на российских судах оборудование настроено на работу при частоте переменного тока 50 Гц, а на иностранных принята частота 60 Гц [13]. В связи с этим возникает проблема, связанная с необходимостью электропитания судна с берега: частоты электрических сетей «на берегу» и на судне могут различаться, что приводит к необходимости использования промежуточных преобразователей [14].

Расходимость частот или напряжений негативно сказывается на работе электрооборудования. Например, повышенная частота заставит электродвигатель работать быстрее, что приводит к перегреву, перегрузкам. Повышенное напряжение вызовет превышение тока, поступившего к оборудованию. При пониженном напряжении вращающиеся механизмы будут работать медленнее.

Выработка электроэнергии на судах происходит в виде трехфазного переменного тока с определенными параметрами. Для питания судовых потребителей иногда требуется электроэнергия других параметров по напряжению, частоте и другого рода тока. Чтобы получить необходимые параметры энергии судовой сети – одного рода тока, с од-

ними напряжениями и частотой – применяют разного типа электромашинные и статические преобразователи.

В связи с вышесказанным цель исследования – усовершенствовать систему питания с берега путем установки современного полупроводникового преобразователя для адаптации параметров электросети.

## Тактико-технические характеристики судна

### Ship design specification

В качестве судна, на котором рассматривалась возможность усовершенствования системы электропитания с берега, был взят азимутальный буксир «Шторм» (постройка: США, Техас, 1982 г.). Предназначение судна – буксировка самоходных и несамоходных судов в пределах внутриворотной акватории с возможностью выхода за ее пределы; сопровождение судов через каналы; проведение швартовых операций крупногабаритных судов.

Наличие азимутальной колонки и небольшой размер позволяют буксиру превосходно маневрировать в портах, узких районах и каналах. Система Z-drive обеспечивает вращение винта на 360°, что дает возможность быстро менять направление движения. Буксир оснащен гидравлической буксирной лебедкой, порт приписки – Калининград.

Характеристики судна: валовая вместимость 194 рег. т., чистая вместимость 132 рег. т., длина (наибольшая) 28,85 м, ширина 10,36 м, высота борта 3,81 м, осадка 3,28 м, осадка по летнюю грузовую марку 5,2 м, водоизмещение (полное) 582,5 т, дедвейт 337 т, максимальная скорость 11,5 уз, мощность главных двигателей 2×1104 кВт.

## Главная энергетическая установка

### Main power plant

GM EMD 12-645-E6 – двухтактный дизельный двигатель V-образной конструкции, с нагнетателем типа Roots, с жидкостным охлаждением (табл. 1).

Основная судовая электростанция состоит из главного распределительного щита (ГРЩ) и двух дизель-генераторов (рис. 1). ГРЩ имеет две генераторные (ГС) и одну распределительную секции (РС).

**Таблица 1.** Характеристики двигателя

**Table 1.** Engine characteristics

Число цилиндров	12
Диаметр цилиндров, мм	230
Длина хода поршня, мм	254
Степень сжатия	14,5:1
Мощность, кВт	2208
Частота вращения, об/мин	900
Управление	Механическое

ГС предназначены для контроля, защиты и управления работой генераторов, а также передачи электроэнергии от генераторов на сборные шины ГРЩ. На них устанавливают контрольно-измерительные приборы (амперметры, вольтметры, частотомер, автоматический выключатель для защиты генератора от внешних коротких замыканий и перегрузок, блок управления).

РС предназначены для контроля, защиты, управления и распределения электроэнергии от шин ГРЩ к потребителям. На них размещают амперметр и вольтметр для контроля нагрузки наиболее мощных и ответственных потребителей электроэнергии, потребители и автоматические выключатели для защиты и переключений фидеров. Переход на береговое питание осуществляется непосредственно выключением кнопки «автоматический выключатель» и включением кнопки «береговое питание». Генераторы рассчитаны на рабочее напряжение 380–690 В и частотой тока – 60 Гц.

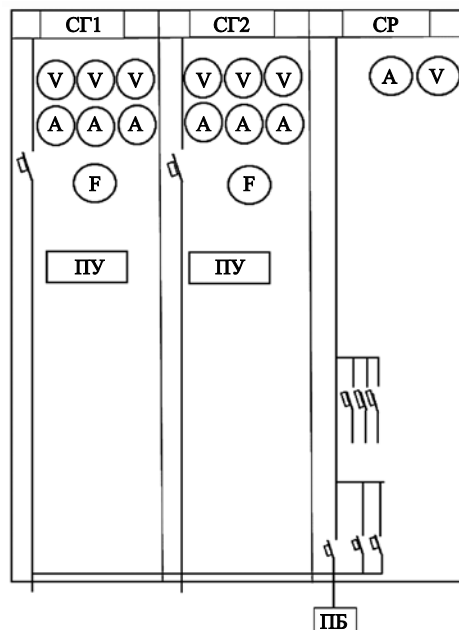
Согласно требованиям РМРС в судовых электроэнергетических системах (СЭЭС) допускают применение следующих номинальных напряжений:

- при переменном трехфазном токе: не более 400 В при частоте 50 Гц или 460 В при частоте 60 Гц;
- при переменном однофазном токе: на зажимах потребителей электрической энергии не более 230 В при частоте 50 Гц и не более 270 В при частоте 60 Гц.

Электрическое оборудование должно выдерживать работу в условиях относительной влажности воздуха  $75 \pm 3 \%$  при температуре  $+45 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $80 \pm 3 \%$  при температуре  $+40 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ;  $95 \pm 3 \%$  при температуре  $+25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Кроме вышеуказанных номинальных значений напряжений судовой сети, приняты другие номинальные напряжения: 120 В и 208 В (при схеме соединения «звезда») и 120 В и 240 В (при схеме «треугольник»). В состав преобразователей входят понижающие трансформаторы напряжения и автотрансформатор.

Генераторы – самовозбуждающиеся, 4-полюсные, бесщеточные, вырабатывают электроэнергию с параметрами 460 В, 60 Гц. Передача осуществляется по электрическим сетям на шины ГРЩ. В качестве защиты предусмотрены тепловые реле, трехполюсные автоматические выключатели. В качестве электромагнитных преобразователей напряжения переменного тока на судне применяют трансформаторы. От шин ГРЩ электроэнергия с параметрами судовой сети понижается трансфор-



**Рис. 1.** Схема основной судовой электростанции  
**Fig. 1.** Layout of ship's main electric power plant

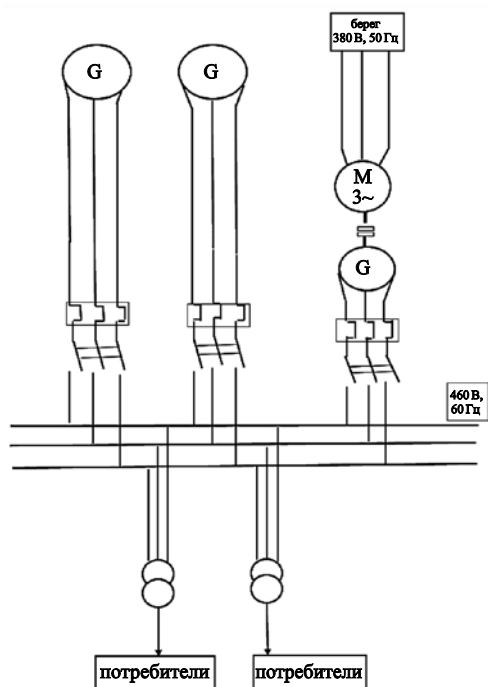
маторами до необходимых показателей для питания потребителей (рис. 2, табл. 2).

Аварийными источниками электроэнергии являются стояночный генератор и три батареи. В случае несовместимости стандартов судовой электрической сети с электрическими сетями на берегу

**Таблица 2.** Характеристики генератора

**Table 2.** Generator characteristics

Маркировка	Stamford
Тип	UC274E
Количество фаз	3
Род тока	переменный
Полная мощность, кВА	140
Частота, Гц	60
Напряжение, В	380–690
Максимальная частота вращения, об/мин	2250
Ток, А	200
cos φ	0,8
Класс защиты	IP23
Степень изоляции	Н
Тип обмотки	Winding 311



**Рис. 2.** Схема распределения энергии судовой электростанции

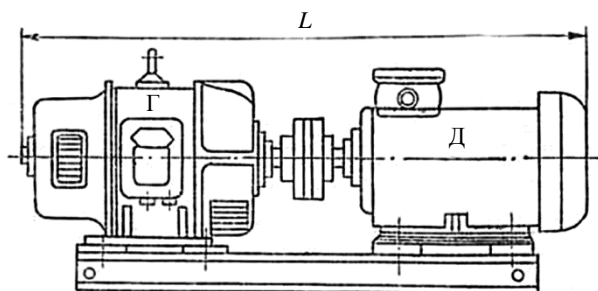
**Fig. 2.** Power distribution schematic of ship's electric power plant

электропитание с берега осуществляется при помощи электромашинного преобразователя по схеме «двигатель-генератор».

## Анализ работы электромашинного преобразователя

Analysis of electric machine converter

Конструктивно преобразователь состоит из двух машин (рис. 3): асинхронного трехфазного электро-



**Рис. 3.** Электромашинный преобразователь: Г – генератор; Д – приводной двигатель

**Fig. 3.** Electric machine converter: Г – generator; Д – drive engine

двигателя (табл. 3) и синхронного трехфазного генератора. Между собой они соединены ременной передачей, преимущество которой в сравнении с другими – бесшумность работы. У данного вида преобразователей параметры преобразуемой и получаемой энергии независимы.

Статор трехфазной машины представляет собой станину с сердечником с пазами, внутрь которых уложены три разные обмотки (рис. 4). Обмотки сдвинуты относительно друг друга на  $2/3$  полюсного деления по окружности, а их выводы (начало –  $A, B, C$ ; конец –  $X, Y, Z$ ) выводятся на специальный щиток на наружной поверхности статора.

Ротор состоит из вала, сердечника (набранного из листов электротехнической стали толщиной 0,35–0,5 мм) и обмотки. У торцов ротора располагаются кольца и лопасти вентилятора.

Пуск электродвигателя производится напрямую включением в сеть статорной обмотки. Электродвигатель питается от 380 В, 50 Гц. Обмотки статора могут быть соединены «треугольником» с напряжением 380 В и током 58 А; 420 В и 57,3 А; 480 В и 53,2 А. Другой вариант – соединение «звезда» с напряжением 660 В и 33,5 А; 720 В и 33 А; 830 В и 30 А.

Запуск электродвигателя путем переключения обмотки статора позволяет снизить пусковой ток в три раза и выполняется следующим образом: переключатель ставят в положение «пуск» (по схеме «звезда») и замыкают автоматический выключатель; при достижении номинальной частоты вращения переключатель переводят в режим «работа» (по схеме «треугольник»).

**Таблица 3.** Характеристики электродвигателя

**Table 3.** Motor characteristics

Маркировка	200L-4
Тип	асинхронный
Количество фаз	3
Количество полюсов	4
Частота, Гц	50–60
Мощность электродвигателя, кВт	30
Мощность электродвигателя, л.с.	40
Частота вращения, об/мин	1480
Класс изоляции	F
Степень защиты	IP55
Типовой режим работы	S1

При прямом пуске асинхронного электродвигателя (табл. 4) важно выполнение условий:

1. Пусковой вращающий момент должен удовлетворять условию

$$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}} \geq 0,9.$$

2. Пусковой ток должен быть ограничен

$$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}} < 7,5.$$

Если пусковой вращающий момент будет меньше момента на валу, двигатель работать не будет. К тому же важным фактором является и то, что мощность приводного двигателя не превосходит 30 % мощности генератора.

Отношение пускового крутящего момента к номинальному моменту:

$$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}} = \frac{425,9}{193,6} = 2,2. \quad (1)$$

Отношение пускового тока к номинальному:

$$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}} = \frac{385,07}{53,5} = 7,2. \quad (2)$$

Перегрузочная способность электродвигателя  $k_m$  – это отношение максимального момента к номинальному:

$$k_m = \frac{M_{\text{м}}}{M_{\text{п}}} = \frac{445,25}{193,6} = 2,3. \quad (3)$$

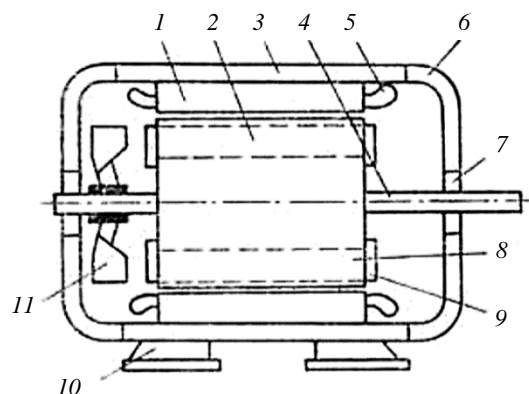
Регулировать частоту вращения асинхронного трехфазного электродвигателя можно изменением числа пар полюсов:

$$n_1 = \frac{60 \cdot f_1}{p}, \quad (4)$$

где  $n_1$  – количество оборотов, об/мин;  $f_1$  – частота напряжения сети, Гц;  $p$  – число пар полюсов статора.

При изменении числа пар полюсов происходит изменение частоты вращения магнитного поля, что приводит к изменению частоты вращения ротора. Таким образом, при числе пар полюсов равным 2, частота вращения будет:

$$n_1 = \frac{60 \cdot 50}{2} = 1500.$$



**Рис. 4.** Устройство асинхронного электродвигателя: 1 – сердечник статора; 2 – сердечник ротора; 3 – станина; 4 – вал; 5 – обмотка переменного тока; 6 – подшипниковые щиты; 7 – подшипники; 8 – обмотка короткозамкнутого ротора; 9 – кольца; 10 – лапы; 11 – вентилятор

**Fig. 4.** Induction motor layout. 1 – stator core, 2 – rotor core, 3 – bed plate, 4 – shaft, 5 – AC winding, 6 – end shields, 7 – bearings, 8 – winding of squirrel-cage motor, 9 – rings, 10 – arms, 11 – fan

**Таблица 4.** Параметры электродвигателя

**Table 4.** Motor parameters

Номинальный крутящий момент, Н·м	193,6
Пусковой крутящий момент, Н·м	425,9
Отношение стартового крутящего момента к номинальному крутящему моменту	2,2
Максимальный крутящий момент, Н·м	445,24
Отношение максимального крутящего момента к номинальному крутящему моменту	2,3
Номинальный ток, А	53,5
Номинальный пусковой ток, А	385,07
Отношение стартового тока двигателя к номинальному току	7,2
КПД при 100 % загрузки	93,6
КПД при 75 % загрузки	93,8
КПД при 50 % загрузки	92,8
cos φ при 100 %	0,865
cos φ при 70 %	0,818
cos φ при 50 %	0,767
ΔT, °C	80
Шум, дБ	79
Масса электродвигателя, кг	245

**Таблица 5.** Характеристики генератора  
**Table 5.** Alternator characteristics

Маркировка	Stamford
Тип	BC1184E26
Количество фаз	3
Мощность, кВА	34
Частота, Гц	60
Напряжение, В	460/266
Частота вращения, об/мин	1800
Ток, А	43
cos φ	0,8
Типовой режим работы	S1
Класс защиты	IP23
Степень изоляции	H
Возбудитель тока, А	2.00
Возбудитель напряжения, В	43

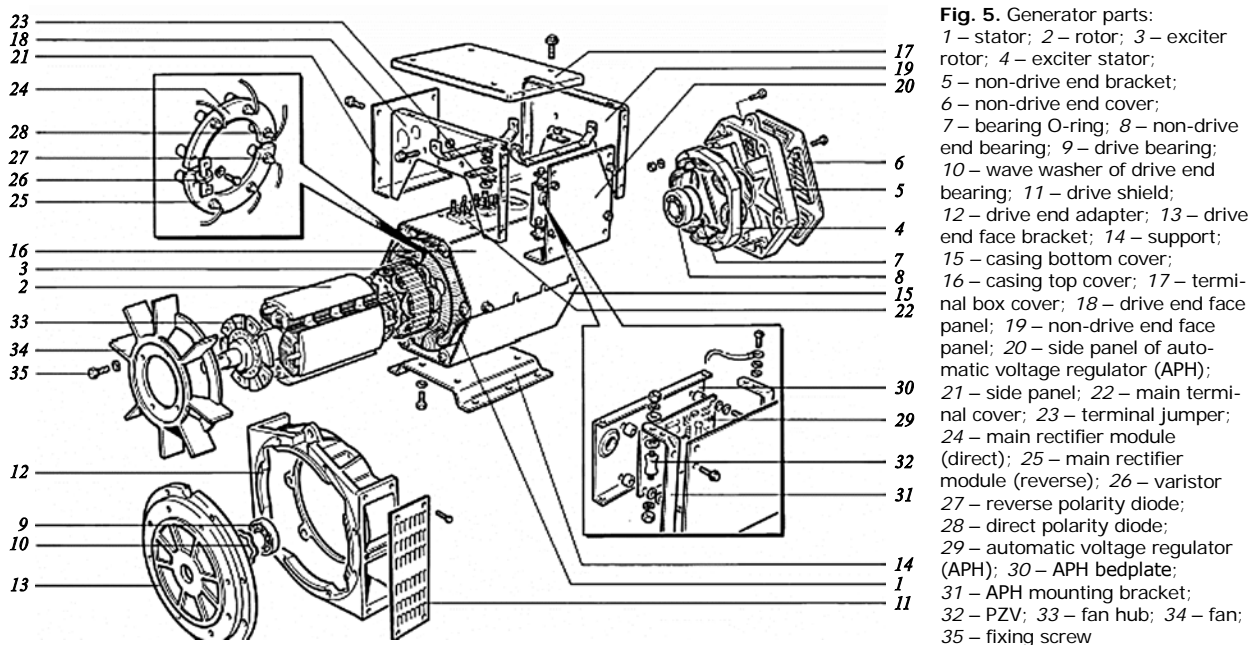
## Синхронный генератор

### Alternator

Вторая составная часть преобразователя – синхронный трехфазный генератор переменного тока (рис. 5). Генератор – бесщеточный, 4-полюсный, с автоматическим регулятором напряжения (табл. 5). Выходная стабилизация напряжения  $\pm 1,5\%$ .

Специальный возбудитель переменного тока создает возбуждение. Он состоит из трехфазной обмотки, расположенной на роторе генератора; электромагнитных полюсов, расположенных вблизи статорных обмоток. Обмотка возбуждения возбудителя питается постоянным током от автоматического регулятора напряжения (АРН). Генерирующийся в роторной обмотке трехфазный переменный ток выпрямляется с помощью трехфазного выпрямителя.

Как уже было отмечено, пуск асинхронного двигателя методом прямого включения в сеть ха-



**Fig. 5.** Generator parts:

- 1 – stator; 2 – rotor; 3 – exciter rotor; 4 – exciter stator;
- 5 – non-drive end bracket; 6 – non-drive end cover;
- 7 – bearing O-ring; 8 – non-drive end bearing; 9 – drive bearing;
- 10 – wave washer of drive end bearing; 11 – drive shield;
- 12 – drive end adapter; 13 – drive end face bracket; 14 – support;
- 15 – casing bottom cover; 16 – casing top cover; 17 – terminal box cover; 18 – drive end face panel; 19 – non-drive end face panel; 20 – side panel of automatic voltage regulator (AVR);
- 21 – side panel; 22 – main terminal cover; 23 – terminal jumper; 24 – main rectifier module (direct); 25 – main rectifier module (reverse); 26 – varistor;
- 27 – reverse polarity diode; 28 – direct polarity diode; 29 – automatic voltage regulator (AVR); 30 – AVR bedplate;
- 31 – AVR mounting bracket; 32 – PZV; 33 – fan hub; 34 – fan; 35 – fixing screw

**Рис. 5.** Составные части генератора: 1 – статор; 2 – ротор; 3 – ротор возбудителя; 4 – статор возбудителя; 5 – торцевой кронштейн неприводной стороны; 6 – крышка неприводная; 7 – кольцевое уплотнение подшипника; 8 – подшипник неприводной; 9 – подшипник приводной; 10 – волнистая шайба подшипника приводной стороны; 11 – экран приводной; 12 – переходник приводной стороны; 13 – торцевой кронштейн приводной стороны; 14 – опора; 15 – крышка корпуса нижняя; 16 – крышка корпуса верхняя; 17 – крышка клеммной коробки; 18 – торцевая панель приводной стороны; 19 – торцевая панель неприводной стороны; 20 – боковая панель автоматического регулятора напряжения (АРН); 21 – боковая панель; 22 – панель основных клемм; 23 – клеммная перемычка; 24 – основной выпрямительный модуль – прямой; 25 – основной выпрямительный модуль – обратный; 26 – варистор; 27 – диод с обратной полярностью; 28 – диод с прямой полярностью; 29 – автоматический регулятор напряжения; 30 – монтажная плита АРН; 31 – монтажный кронштейн АРН; 32 – пуско-зарядный выпрямитель; 33 – ступица вентилятора; 34 – вентилятор; 35 – винт крепления вентилятора

характеризуется большими пусковыми токами, если коэффициент мощности невелик. Особенно это присуще асинхронным двигателям, мощность которых сравнима с мощностью генератора. Это может привести к снижению напряжения генератора, тем самым отразится на работе электроприводных устройств, процесс разгона электродвигателей замедляется [15–17]. При частом пуске напряжение генератора будет снижаться еще больше, поскольку не успеет восстановиться.

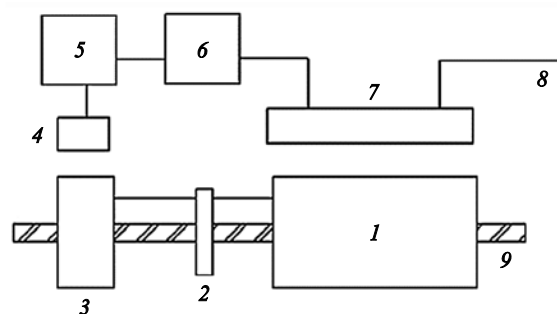
Описанные выше специфические свойства генераторов и приводных электродвигателей создали необходимость внедрения автоматического регулирования и стабилизации напряжения и частоты.

Правила Российского морского регистра судоходства (РМРС) накладывают следующие требования к точности стабилизации напряжения:

- генераторы переменного тока должны иметь такие системы автоматического регулирования напряжения, чтобы при изменении нагрузки от холостого хода до номинальной при номинальном коэффициенте мощности поддерживалось номинальное напряжение с точностью  $\pm 2,5\%$ . Для основных генераторов разрешается поддержание номинального напряжения до  $\pm 3,5\%$  при  $\cos \varphi = 0,6 \div 0,9$ ;
- внезапное изменение симметричной нагрузки генератора, который работает при номинальных параметрах частоты вращения и напряжения, не должно вызывать снижение номинального напряжения ниже  $85\%$ , а повышения – выше  $120\%$ . Напряжение генератора должно в течение  $1,5$  с восстанавливаться;
- генераторы переменного тока должны обладать достаточным резервом возбуждения для поддержания номинального напряжения в течение  $2$  мин с отклонением  $\pm 10\%$  в случае перегрузки током.

Источником энергии возбуждения являются основные выходные обмотки с использованием АРН (рис. 6). Главный статор обеспечивает энергию возбуждения для создания поля возбуждения с помощью АРН, представляющего собой регулирующее устройство, которое управляет уровнем поля возбуждения, реагируя на уровень напряжения сигнала, который поступает с обмотки главного статора. За счет системы самовозбуждения главный статор подает питание через АРН к статору возбудителя. АРН обеспечивает плавное нарастание уровня остаточного напряжения.

Выходной сигнал ротора возбудителя подается на главный ротор через трехфазный мостовой вы-



**Рис. 6.** Возбуждение генератора:

- 1 – главный ротор; 2 – вращающиеся диоды; 3 – ротор возбудителя; 4 – статор возбудителя; 5 – автоматический регулятор напряжения; 6 – разделительный трансформатор (опционально); 7 – главный статор; 8 – выход; 9 – вал

**Fig. 6.** Generator excitation:

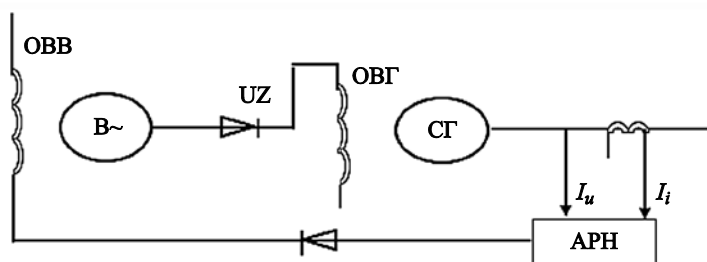
- 1 – main rotor; 2 – rotary diodes; 3 – exciter rotor; 4 – exciter stator; 5 – APN; 6 – isolating transformer (optional); 7 – main stator; 8 – output; 9 – shaft

прямитель. Выпрямитель защищен устройством, который подавляет перенапряжения, скачки напряжения, которые могут быть вызваны коротким замыканием.

АРН измеряет среднее напряжение на двух фазах, что обеспечивает точное регулирование; определяет скорость электродвигателя (частоту вращения, Гц) и в случае ее падения ниже заданного уровня понижает напряжение, предотвращая перевозбуждение при низких скоростях двигателя.

Питание обмотки возбуждения генератора (ОВГ) в режиме холостого хода происходит по каналу напряжения  $I_u$  (рис. 7) и по каналу тока нагрузки  $I_i$  (во время нагрузки, в дополнение к каналу напряжения). АРН воздействует на ОВГ через возбудитель переменного тока. У бесщеточного синхронного генератора (БСГ) на самом роторе расположены трехфазная обмотка возбудителя, вращающийся выпрямитель и обмотка ОВГ, вращающиеся вместе с ним. Генератор вырабатывает электрическую энергию с параметрами  $460$  В и  $60$  Гц, которые требуются для питания судовых потребителей.

В числе недостатков данного преобразователя можно отметить необходимость регулярного технического обслуживания. Основные трудности в техническом обслуживании БСГ связаны с отсутствием возможности контроля состояния элементов ротора. Отказ одного из диодов вращающегося выпрямителя чаще всего никак не проявляется внешне.



**Fig. 7.** Block diagram of automatic voltage regulation system of brushless synchronous generator: OBV – exciter’s excitation winding; OBГ – generator excitation winding; B~ – AC exciter; UZ – rotary rectifier; СГ – synchronous generator; APH – automatic voltage regulator;  $I_u$  – voltage channel;  $I_i$  – load channel

**Рис. 7.** Структурная схема системы автоматического регулирования напряжения бесщеточного синхронного генератора: OBV – обмотка возбуждения возбудителя; OBГ – обмотка возбуждения генератора; B~ – возбудитель переменного тока; UZ – вращающийся выпрямитель; СГ – синхронный генератор; APH – автоматический регулятор напряжения;  $I_u$  – канал напряжения;  $I_i$  – канал нагрузки

Еще один недостаток – низкий КПД,  $\eta = \eta_d \times \eta_r$ . Из графика (рис. 8) видно, что при максимальном коэффициенте мощности максимальный КПД не превышает 90 %.

Также следует отметить: существенный уровень вибрации и шума; громоздкость конструкции; вероятность скольжения ремня по шкивам; износ ремня, вследствие чего снижается надежность преобразователя в целом.

## Заключение

### Conclusion

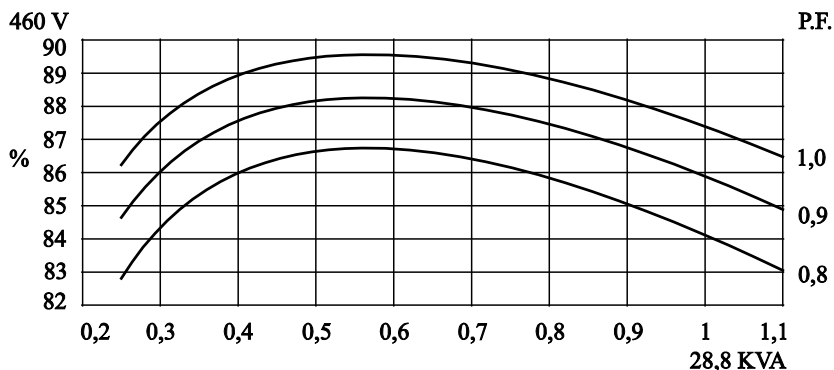
Напряжение, частота и род тока являются основными параметрами судовой электроэнергетической системы. Они характеризуют надежность и экономичность работы и условия эксплуатации судового электрооборудования, от них зависят особенности исполнения судовой электроэнергетической системы, они определяют стандарт судовой сети. Применение преобразователей по схеме «двигатель-генератор» экономически невыгодно из-за сложности технического обслуживания.

В работе проанализированы особенности системы питания судовой сети с берега, подтверждена

необходимость наличия промежуточного преобразователя при адаптации стандартов энергосистемы РФ со стандартами судовой сети судов иностранной постройки; выявлены недостатки электромашинного преобразователя электроэнергии.

## Список использованной литературы

1. Буксирные суда : (проектирование и конструкция) / Б.В. Богданов, А.В. Слуцкий, М.Г. Шмаков [и др.]. Ленинград : Судостроение, 1974. 280 с.
2. Верескун В.И., Сафонов А.С. Электротехника и электрооборудование судов. Ленинград : Судостроение, 1987. 278, [1] с.
3. Бараников В.К. Эксплуатация электрооборудования рыбопромысловых судов. Москва : Моркнига, 2013. 496 с.
4. Баранов А.П. Судовые автоматизированные электроэнергетические системы. Санкт-Петербург : Судостроение, 2005. 518, [7] с.
5. Мезин Е.К. Судовые электрические машины. Ленинград : Судостроение, 1985. 320 с.
6. Справочник судовой электротехники : В 3 т. Т. 2: Судовое электрооборудование / [Ю.П. Коськин, П.А. Гаврилова, Ф.П. Иванов и др.]. 2-е изд., перераб. и доп. Ленинград : Судостроение, 1980. 624 с.



**Рис. 8.** Зависимость коэффициента мощности от напряжения

**Fig. 8.** Power factor versus voltage



7. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. XI. Электрическое оборудование : НД № 2-020101-174 / Российский морской регистр судоходства. Санкт-Петербург, 2023. 428 с.
8. СПЧН 250 // НПП ЛМ Инвертор : [сайт]. Москва, 2023. URL: <https://www.lm-inverter.ru/produkcija-i-razrabotki/staticheskie-preobrazovateli-chastoty-dlya-ispytanij-transfo/spchn-250/> (дата обращения: 17.03.2024).
9. *Тумаева Е.В.* Преобразователи частоты : метод. Указания. Нижнекамск : Нижнекамский химико-технологический институт, 2015. 28 с.
10. *Гельман М.В., Дудкин М.М., Преображенский К.А.* Преобразовательная техника : учеб. пособие. Челябинск : ЮУрГУ, 2009. 425 с.
11. Преобразователи частоты // ВЕДА МК : [сайт]. URL: <https://drives.ru/stati/chastotnye-preobrazovateli/> (дата обращения: 17.03.2024).
12. *Вольский А.Б., Новоселов К.А.* Возможные пути адаптации судовой сети иностранных судов к питанию с берега в российских портах // Балтийский морской форум : материалы X Международного Балтийского морского форума : в 7 т. Калининград, 2022. Т. 2. С. 114–121.
13. *Смыков Ю.Н.* Оптимизация системы электроснабжения судна с берега // Россия молодая : сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Кемерово : Кузбасский государственный технический ун-т, 2019. С. 20141 (с. 1–7).
14. *Рак А.Н.* Особенности электроснабжения морских судов от береговых источников электрической энергии // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития : материалы Третьей международной научно-технической конференции. Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2021. С. 59–64.
15. *Смыков Ю.Н.* Современные аспекты обеспечения надежности и качества электроэнергии при электроснабжении судна с берега // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии : сборник докладов 4-й международной научно-практической конференции. Екатеринбург : УМЦ УПИ, 2015. С. 215–217.
16. *Смыков Ю.Н., Горелов С.В.* Технические решения повышения энергоэффективности САЭС // Актуальные проблемы и перспективы развития системы отраслевого транспортного образования : сборник статей V Всероссийской научно-практической конференции. Казань : Казанский филиал ВГУВТ, 2023. С. 96–101.
17. *Руди Д.Ю.* Проблема качества электроэнергии судовых электроэнергетических систем // Омский научный вестник. 2018. № 3(159). С. 40–43. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-159-40-43.

## References

1. Tug vessels: (design and structure) / *B.V. Bogdanov, A.V. Slutskiy, M.G. Shmakov* [et al.]. Leningrad : Sudostroenie, 1974. 280 p. (*in Russian*).
2. *Vereskun V.I., Safonov A.S.* Electric engineering and electric equipment of ships. Leningrad : Sudostroenie, 1987. 278, [1] p. (*in Russian*).
3. *Barannikov V.K.* Operation of electric equipment aboard fishing vessels. Moscow : Morkniga, 2013. 496 p. (*in Russian*).
4. *Baranov A.P.* Shipboard automatic electric power systems. St. Petersburg : Sudostroenie, 2005. 518, [7] p. (*in Russian*).
5. *Mezin E.K.* Ship electric machines. Leningrad : Sudostroenie, 1985. 320 p. (*in Russian*).
6. Handbook of ship electric engineer: in 3 v. Vol. 2 : Ship electric equipment / [*Yu.P. Koskin, P.A. Gavrilova, F.P. Ivanov* et al.] Leningrad : Sudostroenie, 1980. 624 p. (*in Russian*).
7. Rules of classification and construction of sea-going ships. Part XI. Electric Equipment : ND No. 2-020101-174 / Russian Maritime Register of Shipping. St. Petersburg, 2023, 428 p. (*in Russian*).
8. Frequency converter СПЧН 250 // NPP LM Inverter : (site). Moscow, 2023. URL: <https://www.lm-inverter.ru/produkcija-i-razrabotki/staticheskie-preobrazovateli-chastoty-dlya-ispytanij-transfo/spchn-250/> (Accessed: 17.03.2024) (*in Russian*).
9. *Tumaeva E.V.* Frequency converter: method, guidelines. Nizhnekamsk : Nizhnekamsk Chemical Technology Institute, 2015. 28 p. (*in Russian*).
10. *Gelman M.V., Dudkin M.M., Preobrazhensky K.A.* Converter technology : educational aid. Chelyabinsk : YuUrGU, 2009. 425 p. (*in Russian*).
11. Frequency converters // ВЕДА МК : [site]. URL: <https://drives.ru/stati/chastotnye-preobrazovateli/> (Accessed: 17.03.2024) (*in Russian*).
12. *Volskiy A.B., Novoselov K.A.* Possible ways of adapting foreign-built ships' power mains for shore supply in Russian ports // Proceedings of the X International Baltic Marine Forum : in 7 v. Kaliningrad, 2022. Vol. 2. P. 114–121 (*in Russian*).
13. *Smykov Yu.N.* Optimization of shore-to-ship power supply // Россия молодая : Proceedings of the XI National Science & Practice Conference with International Participation. Kemerovo : Kuzbass State Technical University, 2019. P. 20141 (p. 1–7) (*in Russian*).
14. *Rak A.N.* Specifics of electric power supply from shore to sea-going ships // Operation of water-borne transport:

- issues and ways of development : Proceedings of the Third International Science & Practice Conference. Petropavlovsk-Kamchatski : Kamchatka State Technical University, 2021. P. 59–64 (*in Russian*).
15. *Smykov Yu.N.* Modern aspects of electric power shore-to-ship supply reliability and quality // Effective and high-quality electric power supply and usage : Proceedings of the 4<sup>th</sup> International Science & Practice Conference. Yekaterinburg : UMTs UPI, 2015. P. 215–217 (*in Russian*).
16. *Smykov Yu.N., Gorelov S.V.* Technical solutions for performance improvement of ship's automated electric power systems // Current problems and outlook for development transport engineering education : Proceedings of the V National Science & Practice Conference. Kazan : Kazan branch of Volga State University of Water-Borne Transport, 2023. P. 96–101 (*in Russian*).
17. *Rudi D.Yu.* Quality issues of electric power generated by ship's power systems // Omsk Science Bulletin. 2018. No. 3(159). P. 40–43. DOI: 10.25206/1813-8225-2018-159-40-43 (*in Russian*).

---

#### Сведения об авторах

*Вольский Антон Борисович*, к.т.н., доцент кафедры электрооборудования и автоматики судов Морского института Балтийской государственной академии рыбопромыс-

лового флота ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет». Адрес: 236029, Россия, Калининград, Молодежная ул., д. 6. E-mail: koha73@yandex.ru.

*Новоселов Кирилл Андреевич*, старший преподаватель кафедры электрооборудования и автоматики судов Морского института Балтийской государственной академии рыбопромыслового флота ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический университет». Адрес: 236029, Россия, Калининград, Молодежная ул., д. 6. E-mail: kirill-n1996@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-4206-6150>.

#### About the authors

*Anton B. Volsky*, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor of the Department of Electrical Equipment and Automation of Ships of the Marine Institute of the Baltic Fishing Fleet State Academy of the Kaliningrad State Technical University. Address: 6, Molodezhnaya st., Kaliningrad, Russia, post code 236029. E-mail: koha73@yandex.ru.

*Kirill A. Novoselov*, Senior Lecturer of the Department of Electrical Equipment and Ship Automation of the Marine Institute of the Baltic Fishing Fleet State Academy of the Kaliningrad State Technical University. Address: 6, Molodezhnaya st., Kaliningrad, Russia, post code 236029. E-mail: kirill-n1996@mail.ru. <http://orcid.org/0000-0002-4206-6150>.

Поступила / Received: 17.04.24  
Принята в печать / Accepted: 15.05.24  
© Вольский А.Б., Новоселов К.А., 2024