

СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

SHIP POWER GENERATING COMPLEXES AND SYSTEMS

Научная статья
УДК 621.313.333.2
<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2024-3-74-81>
EDN IUGWON

Диагностика обмоток трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором

Андрей Александрович Виноградов[✉], Елена Юрьевна Сусленникова

*Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова,
Санкт-Петербург, Россия, Eric_esseker@mail.ru[✉]*

Аннотация. Вопросы технической эксплуатации, диагностики и ремонта электрооборудования всегда актуальны, в особенности для судов торгового флота, т. к. для достижения экономического результата от деятельности судоходных компаний важна бесперебойная работа судовых механизмов, устройств и систем. Для обеспечения бесперебойной работы необходимы надлежащая техническая эксплуатация судового электрооборудования, профилактика типовых неисправностей, достоверная диагностика электрооборудования и своевременный ремонт. Приведены схемы соединения статорной обмотки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором «звездой». Рассматривается метод диагностики технического состояния статорных обмоток трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, не предполагающий разборки двигателя, путем поочередного измерения сопротивлений между фазами двигателя. При этом рассматривается трехфазный асинхронный двигатель с фазным ротором в составе простой системы, в которой не предусмотрены ограничения пусковых токов, реверс, изменение оборотов двигателя, переключение обмоток. Для анализа данного метода использовался комплект учебно-лабораторного оборудования «Трехфазный асинхронный двигатель с имитатором неисправностей», с помощью которого можно задавать типовые для трехфазного асинхронного двигателя неисправности. Рассматриваются варианты комбинаций неисправностей. Отмечено, что заключение о техническом состоянии двигателя следует производить, в частности, согласно значениям омического сопротивления обмоток двигателя. Проведены необходимые измерения при различных видах неисправностей; на основании полученных результатов измерений сделано заключение о предлагаемом методе.

Ключевые слова: трехфазный асинхронный двигатель, статорная обмотка, неисправность, обрыв фазы, межвитковое замыкание, короткое замыкание, схема «звезда»

Для цитирования: Виноградов А. А., Сусленникова Е. Ю. Диагностика обмоток трехфазного асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2024. № 3. С. 74–81. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2024-3-74-81>. EDN IUGWON.

Original article

Diagnostics of windings of a three-phase induction motor with a square rotor

Andrei A. Vinogradov[✉], Elena Yu. Suslennikova

Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping,
Saint Petersburg, Russia, Eric_esseker@mail.ru[✉]

Abstract. The issues of technical operation, diagnostics and repair of electrical equipment are always relevant, especially for merchant ships, because to achieve an economic result from the activities of shipping companies, the uninterrupted operation of ship mechanisms, devices and systems is important. To ensure uninterrupted operation, proper technical operation of shipboard electrical equipment, prevention of typical malfunctions, reliable diagnostics of electrical equipment and timely repairs are necessary. The diagrams of the connection of the stator winding of an asynchronous motor with a short-circuited rotor “Star” are given. A method for diagnosing the technical condition of the stator windings of a three-phase asynchronous motor with a short-circuited rotor, which does not involve disassembling the motor, by alternately measuring the resistances between the phases of the motor, is considered. In this case, a three-phase asynchronous motor with a phase rotor is considered as part of a simple system in which there are no restrictions on starting currents, reverse, changing engine speed, switching windings. To analyze this method, a set of educational and laboratory equipment “Three-phase asynchronous motor with fault simulator” was used, with which it is possible to set typical faults for a three-phase asynchronous motor. Variants of fault combinations are being considered. It is noted that the conclusion on the technical condition of the engine should be made, in particular, according to the values of the ohmic resistance of the engine windings. The necessary measurements were carried out for various types of malfunctions; based on the obtained measurement results, a conclusion was made about the proposed method.

Keywords: three-phase asynchronous motor, stator winding, malfunction, phase interruption, inter-turn circuit, short circuit, “Star” diagram

For citation: Vinogradov A. A., Suslennikova E. Yu. Diagnostics of windings of a three-phase induction motor with a square rotor. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2024;3:74-81. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2024-3-74-81>. EDN IUGWON.

Введение

На судах торгового флота приемниками электрической энергии преимущественно являются асинхронные электродвигатели. Их количество в зависимости от типа судна может колебаться от 20 до 100. Для каждого асинхронного двигателя (АД), находящегося в ведении судовой электромеханической группы, предусмотрены мероприятия по техническому обслуживанию и ремонту согласно правилам технической эксплуатации судового электрооборудования [1], Правилам классификации и постройки судов Российского морского регистра судоходства (РМРС) [2] и локальным документам судоходной компании. В отношении АД это оценка технического состояния узлов и деталей электрических машин, производимая на основании данных о величине и изменении сопротивления изоляции, нагрева, увлажненности, вибрации, шума, зазоров в подшипниках скольжения, биения коллекторов (колец), осевых разбегов валов роторов, воздушных зазоров, а также состояния коллекторов (колец), щеток, подшипников, бандажей, вентиляционных крылаток и т. д., определяемых при осмотрах без разборки, с частичной или полной разбор-

кой электрических машин. Нормы предельно допустимых величин сопротивления изоляции, воздушных зазоров, собственной вибрации электрических машин и смещения вала в осевом направлении в подшипниках скольжения определяются инструкциями по эксплуатации, заводскими формулярами и Руководством по техническому надзору за судами, находящимися в эксплуатации, РМРС.

В работе рассматривается способ определения технического состояния статорной обмотки трехфазного АД с короткозамкнутым ротором (КЗР).

Материалы исследования

Традиционно для того чтобы определить состояние обмоток АД, у него разбирают клеммную коробку, от машины отпускают провода, снимают перемычки, обеспечивающие соединение обмоток в «звезду» или «треугольник», и с помощью электроизмерительных приборов (омметры, мегомметры) делают необходимые замеры [3–5]. Такой способ диагностики требует определенного времени, а в ходе перечисленных выше процедур возникает вероятность совершения ошибки (при обратной сборке).

В зависимости от назначения судового механизма, в состав которого входит АД, для отдельных электроприводов могут быть предусмотрены переключения обмоток статора со «звезды» на «треугольник» и наоборот для ограничения пусковых токов или изменения скорости вращения ротора, также в цепь статора могут быть введены пусковые реостаты для снижения всплеска тока в момент пуска, которые впоследствии шунтируются. Предлагаемый в статье метод применим для АД, у которых не предусмотрены какие-либо манипуляции со статорной обмоткой, а обмотка собрана в «звезду» или «треугольник» в клеммной коробке.

Рассмотрим трехфазный АД с КЗР простого судового механизма, для которого не предусмотрены скоростные режимы работы, реверс или ограничение пускового тока и статорная обмотка которого собрана «звездой».

На рис. 1 приведена схема соединения статорной обмотки АД с КЗР «звездой».

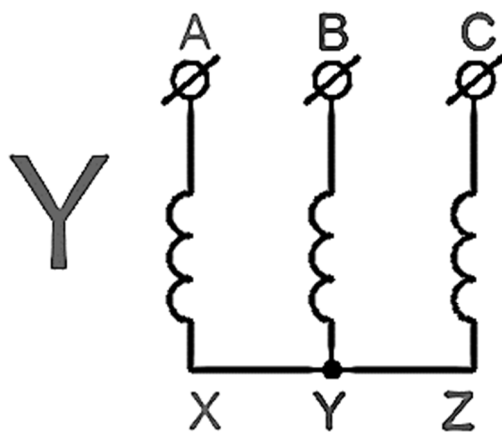


Рис. 1. Схема соединения статорной обмотки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором «звездой»

Fig. 1. Diagram of the connection of the stator winding of an asynchronous motor with a short-circuited rotor “Star”

Согласно рис. 1 $A-X$, $B-Y$ и $C-Z$ – концы обмоток статора АД (Z_1 , Z_2 , Z_3), причем концы X , Y , Z соединяются в общую точку, так называемый «центр звезды».

На рис. 2 показано, как будет реализовано соединение статорной обмотки АД с КЗР «звездой» в клеммной коробке машины.

Метод предполагает поочередное измерение сопротивления постоянному току между фазами АД – A и B , B и C , A и C – без разбора статорной обмотки. В процессе измерения сопротивления между двумя точками, например фазами A и B , к этим точкам подводится напряжение постоянно-

го тока, возникает электрический сигнал, пропорциональный подведенному напряжению и обратно пропорциональный суммарному сопротивлению двух обмоток Z_1 и Z_2 , т. к. в полученной электрической цепи они соединены последовательно, обмотка Z_3 никакого участия не принимает.

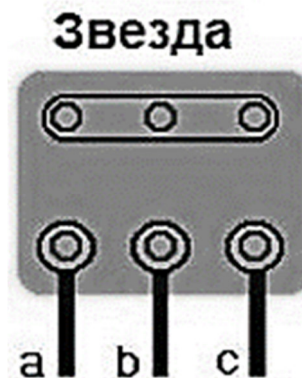


Рис. 2. Соединение статорной обмотки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором «звездой» в клеммной коробке

Fig. 2. Connection of the stator winding of an asynchronous motor with a short-circuited rotor “Star” in the terminal box

Измерительное устройство покажет, если отсутствуют какие-либо неисправности в этих двух обмотках, общее омическое сопротивление двух последовательно соединенных обмоток Z_{12} . Аналогично производя измерения между фазами B и C и A и C , можно получить значения Z_{23} – общее сопротивление последовательно соединенных обмоток Z_2 и Z_3 ; Z_{13} – общее сопротивление последовательно соединенных обмоток Z_1 и Z_3 . По значениям Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} можно найти омические сопротивления обмоток Z_1 , Z_2 , Z_3 , решив систему линейных уравнений:

$$\begin{pmatrix} Z_1 \\ Z_2 \\ Z_3 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{12} \\ Z_{23} \\ Z_{13} \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Значительные отклонения значений омических сопротивлений друг от друга будут свидетельствовать о наличии межвитковых замыканий или замыканиях между обмотками.

Оборудование

Для реализации и проверки метода использовался комплект учебно-лабораторного оборудования «Трехфазный асинхронный двигатель с имитатором неисправностей» (рис. 3).



Рис. 3. Трехфазный асинхронный двигатель с имитатором неисправностей

Fig. 3. Three-phase asynchronous motor with fault simulator

В состав комплекта входит АД с КЗР, имитатор неисправностей, комплект проводов. На установке есть возможность имитации следующих типовых неисправностей АД с КЗР: короткое замыкание между фазой и корпусом, короткое замыкание между двумя любыми фазами или между тремя фазами одновременно, обрыв обмотки, межвитковые замыкания. Омическое сопротивление каждой обмотки АД составляет 81 Ом. При отсутствии неисправностей в обмотках значения Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} должны быть равны (или приблизительно равны) и составлять 162 Ом (рис. 4).

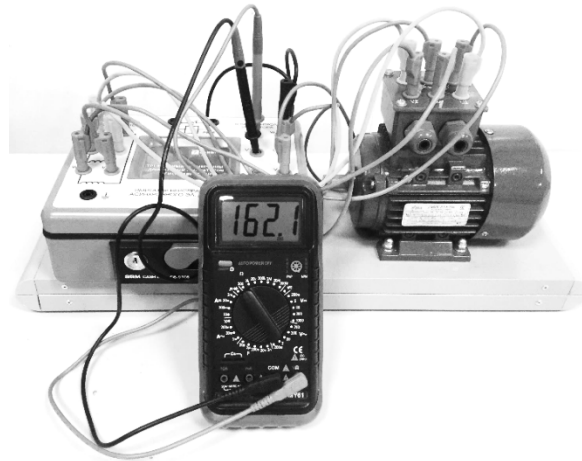


Рис. 4. Измерение сопротивления между фазами А и В

Fig. 4. Measurement of resistance between phases A and B

При неисправности (НИ₁) – обрыв фазной обмотки Z_1 – поочередные измерения между фазами показали: $Z_{12} = \infty$, $Z_{23} = 162$ Ом, $Z_{13} = \infty$. Аналогично при неисправности (НИ₂) – обрыв фазной обмотки Z_2 – имеем $Z_{12} = \infty$, $Z_{23} = \infty$, $Z_{13} = 162$ Ом; при неисправности (НИ₃) – обрыв фазной обмотки Z_3 – имеем $Z_{12} = 162$ Ом, $Z_{23} = \infty$, $Z_{13} = \infty$.

Вычисления

Решив систему уравнений (1) для каждой из неисправностей НИ₁, НИ₂, НИ₃, получим следующие данные (табл. 1).

Таблица 1

Table 1

Омические сопротивления фазных обмоток статора, вычисленные по значениям Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} для неисправностей НИ₁, НИ₂, НИ₃

Ohmic resistances of the phase windings of the stator, calculated from the values Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} for faults 1, 2, 3

Неисправность	Измеренные значения, Ом	Вычисления		
		Сопротивление обмотки Z_1	Сопротивление обмотки Z_2	Сопротивление обмотки Z_3
НИ ₁ – обрыв обмотки Z_1	$Z_{12} = \infty$, $Z_{23} = 162$, $Z_{13} = \infty$	∞ (отклонение от нормы)	81	81
НИ ₂ – обрыв обмотки Z_2	$Z_{12} = \infty$, $Z_{23} = \infty$, $Z_{13} = 162$	81	∞ (отклонение от нормы)	81
НИ ₃ – обрыв обмотки Z_3	$Z_{12} = 162$, $Z_{23} = \infty$, $Z_{13} = \infty$	81	81	∞ (отклонение от нормы)

Рассмотрим неисправность – короткое замыкание фазной обмотки (или межвитковые замыкания в фазной обмотке). С помощью учебно-лабораторного комплекта «Трехфазный асинхронный двигатель с имитатором неисправностей» поочередно были имитированы короткое замыкание

в каждой обмотке по отдельности: НИ₄ – короткое замыкание фазной обмотки Z_1 , НИ₅ – короткое замыкание фазной обмотки Z_2 , НИ₆ – короткое замыкание фазной обмотки Z_3 . Для каждой из неисправностей (НИ₄, НИ₅, НИ₆) сделаны замеры сопротивлений между фазами (табл. 2).

Таблица 2

Table 2

**Замеры сопротивлений между фазами
Measurements of resistance between phases**

Неисправность	Измерения, Ом		
	Z_{12}	Z_{23}	Z_{13}
НИ ₄	81	162	81
НИ ₅	121	121	162
НИ ₆	162	100	100

Решив систему уравнений (1) для каждой из неисправностей (НИ₄, НИ₅, НИ₆), получим следующие данные (табл. 3).

Таблица 3

Table 3

Омические сопротивления фазных обмоток статора, вычисленные по значениям Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} для неисправностей НИ₄, НИ₅, НИ₆

Ohmic resistances of the phase windings of the stator, calculated from the values Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} for faults 4, 5, 6

Неисправность	Измеренные значения, Ом	Вычисления		
		Сопротивление обмотки Z_1	Сопротивление обмотки Z_2	Сопротивление обмотки Z_3
НИ ₄ – короткое замыкание фазной обмотки Z_1	$Z_{12} = 81, Z_{23} = 162, Z_{13} = 81$	0 (отклонение от нормы)	81	81
НИ ₅ – короткое замыкание фазной обмотки Z_2	$Z_{12} = 121, Z_{23} = 121, Z_{13} = 162$	81	40 (отклонение от нормы)	81
НИ ₆ – короткое замыкание фазной обмотки Z_3	$Z_{12} = 162, Z_{23} = 100, Z_{13} = 100$	81	81	19 (отклонение от нормы)

Существенные отклонения омического сопротивления фазных обмоток электродвигателя (сопротивление ниже паспортного сопротивления) указывают на наличие межвитковых замыканий в обмотках, в связи с чем дальнейшая эксплуатация до устранения неисправности невозможна [6–8].

С помощью установки «Трехфазный асинхронный двигатель с имитатором неисправностей» можно задавать комбинации неисправностей, например межвитковые замыкания в двух фазных

обмотках одновременно или замыкание в одной из фазных обмоток и обрыв в другой.

Рассмотрим две комбинации неисправностей:

1. Обрыв в фазной обмотке Z_1 и межвитковое замыкание в фазной обмотке Z_3 (НИ₁ + НИ₆).
2. Межвитковое замыкание в фазных обмотках Z_1 и Z_2 (НИ₄ + НИ₅).

Для комбинации неисправностей НИ₁ + НИ₆ после измерений между фазами получены следующие данные (табл. 4).

Таблица 4

Table 4

**Замеры сопротивлений между фазами при НИ₁ + НИ₆
Measurements of resistance between phases at 1 and 6**

Неисправность	Измерения, Ом		
	Z_{12}	Z_{23}	Z_{13}
НИ ₁ + НИ ₆	∞	100	∞

Для комбинации неисправностей НИ₄ + НИ₅ после измерений между фазами получены следующие данные (табл. 5).

Таблица 5

Table 5

Замеры сопротивлений между фазами при НИ₄ + НИ₅
Measurements of resistance between phases at 4 and 5

Неисправность	Измерения, Ом		
	Z_{12}	Z_{23}	Z_{13}
НИ ₄ + НИ ₅	45,4	126	81

Решив систему уравнений (1) для каждой из комбинаций неисправностей (НИ₁ + НИ₆, НИ₄ + НИ₅) получены следующие данные (табл. 6).

Таблица 6

Table 6

Омические сопротивления фазных обмоток статора, вычисленные по значениям Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} для неисправностей НИ₁ + НИ₆, НИ₄ + НИ₅

Ohmic resistances of the phase windings of the stator, calculated from the values Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} for faults 1 and 6, 4 and 5

Неисправность	Измеренные значения, Ом	Вычисления		
		Сопротивление обмотки Z_1	Сопротивление обмотки Z_2	Сопротивление обмотки Z_3
НИ ₁ + НИ ₆	$Z_{12} = \infty, Z_{23} = 100, Z_{13} = \infty$	∞ (отклонение от нормы)	50 (отклонение от нормы)	50 (отклонение от нормы)
НИ ₄ + НИ ₅	$Z_{12} = 45,4, Z_{23} = 126, Z_{13} = 81$	0,2 (отклонение от нормы)	45 (отклонение от нормы)	81

Результаты исследования

Таким образом, по значениям Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} можно судить о состоянии статорной обмотки АД с КЗР, собранной «звездой», при этом нет необходимости в разборке клеммной коробки, измерения могут быть сделаны в щите электродвигателя. В работе

не была рассмотрена неисправность – короткое замыкание между фазными обмотками статора.

В табл. 7 приведены некоторые возможные состояния статорной обмотки АД с КЗР, определяемые по значениям Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} .

Таблица 7

Table 7

Состояния статорной обмотки асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, определяемые по значениям Z_{12} , Z_{23} , Z_{13}

The states of the stator winding of an asynchronous motor with a short-circuited rotor, determined by the values Z_{12} , Z_{23} , Z_{13}

Измерения, Ом			Предполагаемое техническое состояние статорной обмотки трехфазного АД с КЗР
Z_{12}	Z_{23}	Z_{13}	
162	162	162	Омическое сопротивление фазных обмоток статора в пределах нормы (по 81 Ом)
∞	162	∞	Наличие обрыва в фазной обмотке Z_1
∞	∞	162	Наличие обрыва в фазной обмотке Z_2
162	∞	∞	Наличие обрыва в фазной обмотке Z_3
81	162	81	Межвитковые замыкания в фазной обмотке Z_1
121	121	162	Межвитковые замыкания в фазной обмотке Z_2
162	100	100	Межвитковые замыкания в фазной обмотке Z_3
∞	100	∞	Явный обрыв в фазной обмотке Z_1 , наличие межвитковых замыканий в одной или двух фазных обмотках. Требуется дополнительная диагностика
45,4	126	81	Межвитковые замыкания в фазных обмотках Z_1 и Z_2 . Омическое сопротивление обмотки Z_3 в пределах нормы

Обсуждение

Значения Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} для статорной обмотки трехфазного АД с КЗР, собранной «звездой», могут быть рассмотрены как индикаторы состояния фазных обмоток статора. Равенство значений Z_{12} , Z_{23} , Z_{13} одному числу (как правило, в два раза большему, чем омическое сопротивление исправной обмотки) свидетельствует об удовлетворительном техническом состоянии (омическое сопротивление каждой обмотки в пределах нормы). Равенство двух показателей из трех (Z_{12} , Z_{23} , Z_{13}) бесконечности или бесконечно большому числу (относительно паспортному сопротивлению обмоток) свидетельствует об обрыве в одной из фазных обмоток. Равенство трех показателей из трех (Z_{12} , Z_{23} , Z_{13}) бесконечности или бесконечно большому числу свидетельствует об обрыве в двух или трех фазных обмотках. Если два из трех значений (Z_{12} , Z_{23} , Z_{13}) много меньше установленного значения (удвоенное сопротивление исправной фазной обмотки), то в одной из трех фазных обмоток имеются межвитковые замыкания. Если три из трех значений (Z_{12} , Z_{23} , Z_{13}) много меньше установленного значения, то межвитковые замыкания имеются в двух или трех фазных обмотках. Если два из трех значений (Z_{12} , Z_{23} , Z_{13}) равны нулю, а третье равно удвоенному сопротивлению исправной фазной обмотки, то имеет место замыкание двух фазных обмоток друг на друга по пути наименьшего сопротивления.

Заключение

В работе изложен метод диагностирования технического состояния статорных обмоток трехфазного АД с КЗР путем последовательных измерений сопротивлений между фазами АД. Объект исследования – трехфазный АД с КЗР в составе простой

системы, не предполагающей ограничения пусковых токов, реверс, изменение оборотов двигателя, переключение обмоток. Суть метода заключается в определении трех значений сопротивлений между фазами АД, когда его обмотка собрана по схеме «звезда». Данные значения могут быть определены с помощью измерительного прибора (омметр, мультиметр). Полученные данные заносятся в математическую модель, которая определяет фактическое значение омического сопротивления каждой обмотки двигателя. По значениям омического сопротивления обмоток двигателя делается заключение о техническом состоянии двигателя и о дальнейших действиях в отношении него (двигателя): дополнительная детальная диагностика, ремонт или дальнейшая эксплуатация.

Для разработки метода был использован учебно-лабораторный комплекс «Трехфазный асинхронный двигатель с имитатором неисправностей», с помощью которого задавались типовые для АД неисправности или их комбинации.

Предлагаемый метод диагностики позволяет предварительно определить техническое состояние статорной обмотки двигателя без разбора электродвигателя, клеммной коробки, сделав необходимые измерения в щите электродвигателя, что упрощает процедуру диагностики, исключает вероятность совершения ошибки при обратной сборке. Данный метод можно рассматривать как предварительную диагностику, по результатам которой делается заключение о дальнейших действиях в отношении проверяемого электродвигателя. Кроме того, данный способ позволяет судить о техническом состоянии кабельной сети от щита электродвигателя до самого электродвигателя.

Список источников

1. Правила технической эксплуатации судовых технических средств и конструкций. СПб.: Изд-во ЦНИИМФ, 1997. 344 с.
2. Правила классификации и постройки морских судов. Ч. XI. Электрическое оборудование. СПб.: Изд-во РМРС, 2023. 430 с.
3. Пат. RU2716172C2, МПК G01R31/34. Способ диагностики асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором / Бельский И. О., Куприянов И. С., Лукьянов А. В.; заявл. 14.03.2018; опубл. 06.03.2020.
4. Шатохин А. С., Булгаков А. Г., Пыжов Д. А. Методы диагностирования технического состояния асинхронного двигателя // Молодежная наука – развитию агропромышленного комплекса: материалы Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. (Курск, 03–04 декабря 2020 г.). Курск: Изд-во КГСХА, 2020. С. 142–146.
5. Сафронов Р. И., Милютин С. А. Диагностика технического состояния электрооборудования // Электроэнергетика сегодня и завтра: материалы II Междунар. науч.-техн. конф. (Курск, 24 марта 2024 г.). Курск: Изд-во КГСХА, 2023. С. 109–113.
6. Зольников Д. Н. Способы диагностики и защиты асинхронных двигателей от неисправностей // Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы Нац. с междунар. участием науч.-практ. конф. (Тюмень, 20–22 декабря 2022 г.). Тюмень: Изд-во ТИУ, 2022. Т. 1. С. 165–168.
7. Самосейко В. Ф., Гуськов В. О. Управление электромагнитным моментом асинхронного двигателя с максимальным коэффициентом мощности // Вестн. гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2020. Т. 12. № 6. С. 1078–1086.
8. Саушев А. В., Смирнов В. И., Бова Е. В. Терминология, структура и модель процесса эксплуатации электротехнических систем // Вестн. Гос. ун-та мор. и реч. флота им. адм. С. О. Макарова. 2023. Т. 15. № 4. С. 666–679.

References

1. *Pravila tekhnicheskoi ekspluatatsii sudovykh tekhnicheskikh sredstv i konstruksii* [Rules of technical operation of ship's technical equipment and structures]. Saint Petersburg, Izd-vo TsNIIMF, 1997. 344 p.
2. *Pravila klassifikatsii i postroiki morskikh sudov. Part XI. Elektricheskoe oborudovanie* [Rules for the classification and construction of naval vessels. Part XI. Electrical equipment]. Saint Petersburg, Izd-vo RMRS, 2023. 430 p.
3. Bel'skii I. O., Kupriianov I. S., Luk'ianov A. V. *Sposob diagnostiki asinkhronnykh dvigatelei s korotkozamknutym rotorom* [A method for diagnosing asynchronous motors with a short-circuited rotor]. Patent RF, RU2716172C2, 06.03.2020.
4. Shatokhin A. S., Bulgakov A. G., Pyzhov D. A. *Metody diagnostirovaniia tekhnicheskogo sostoianiia asinkhronnogo dvigatel'ia*. *Molodezhnaia nauka – razvitiu agropromyshlennogo kompleksa* [Methods for diagnosing the technical condition of an asynchronous motor. Youth science – development of the agroindustrial complex]. *Materialy Vserossiiskoi (natsional'noi) nauchno-prakticheskoi konferentsii (Kursk, 03–04 dekabria 2020 g.)*. Kursk, Izd-vo KGSKhA, 2020. Pp. 142-146.
5. Safronov R. I., Miliutin S. A. *Diagnostika tekhnicheskogo sostoianiia elektrooborudovaniia*. *Elektroenergetika segodnia i zavtra* [Diagnostics of the technical condition of electrical equipment. Electric power industry today and tomorrow]. *Materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii (Kursk, 24 marta 2024 g.)*. Kursk, Izd-vo KGSKhA, 2023. Pp. 109-113.
6. Zol'nikov D. N. *Sposoby diagnostiki i zashchity asinkhronnykh dvigatelei ot neispravnostei*. *Energosberezhenie i innovatsionnye tekhnologii v toplivno-energeticheskom komplekse* [Methods for diagnosing and protecting asynchronous motors from malfunctions. Energy saving and innovative technologies in the fuel and energy complex]. *Materialy Natsional'noi s mezhdunarodnym uchastiem nauchno-prakticheskoi konferentsii (Tiumen', 20–22 dekabria 2022 g.)*. Tiumen', Izd-vo TIU, 2022. Vol. 1. Pp. 165-168.
7. Samoseiko V. F., Gus'kov V. O. *Upravlenie elektromagnitnym momentom asinkhronnogo dvigatel'ia s maksimal'nym koeffitsientom moshchnosti* [Electromagnetic torque control of asynchronous motor with maximum power factor]. *Vestnik gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota im. admirala S. O. Makarova*, 2020, vol. 12, no. 6, pp. 1078-1086.
8. Saushev A. V., Smirnov V. I., Bova E. V. *Terminologiya, struktura i model' protsessa ekspluatatsii elektrotekhnicheskikh sistem* [Terminology, structure and model of the process of operation of electrical systems]. *Vestnik Gosudarstvennogo universiteta morskogo i rechnogo flota imeni admirala S. O. Makarova*, 2023, vol. 15, no. 4, pp. 666-679.

Статья поступила в редакцию 13.03.2024; одобрена после рецензирования 16.05.2024; принята к публикации 21.06.2024
The article was submitted 13.03.2024; approved after reviewing 16.05.2024; accepted for publication 21.06.2024

Информация об авторах / Information about the authors

Андрей Александрович Виноградов – доцент кафедры судовых автоматизированных электроэнергетических систем; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; Eric_esseker@mail.ru

Andrei A. Vinogradov – Assistant Professor of the Department of Ship Automated Electric Power Systems; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; Eric_esseker@mail.ru

Елена Юрьевна Сусленикова – старший преподаватель кафедры основ судовой электроэнергетики; Государственный университет морского и речного флота имени адмирала С. О. Макарова; suslennikovae@mail.ru

Elena Yu. Suslennikova – Senior Lecturer of the Department of Basics of Marine Electric Power Engineering; Admiral Makarov State University of Maritime and Inland Shipping; suslennikovae@mail.ru

