

УДК 621.311

ТРЕНАЖЕР ERS 5000 TECHSIM ФИРМЫ ТРАНЗАС В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ АСПИРАНТА**Хватов Олег Станиславович**¹, доктор технических наук, профессор*e-mail:* khvatov_oleg@mail.ru**Марков Дмитрий Константинович**¹, аспирант*e-mail:* markov0priz@gmail.com**Билялетдинов Тимур Закарияевич**¹, аспирант*e-mail:* tim.bil.99@mail.ru¹ Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Использование виртуальных моделей тренажера судовой энергетической установки ERS 5000 компании «Транзас» в научно-исследовательской работе аспирантов представляется перспективным, но одновременно с этим требует подтверждения адекватности предлагаемых тренажером виртуальных моделей. Проведена оценка адекватности модели электропривода «Преобразователь частоты ACS6000 - асинхронный двигатель переменного тока ВРК «Азипод». По результатам сравнения естественной и искусственных механических характеристик асинхронного двигателя в составе частотно-регулируемого электропривода главного движения судна полученных методом аналитического расчета и средствами виртуального моделирования, модель признана адекватной для исследования судовых систем электродвижения на переменном токе.

Ключевые слова: естественная механическая характеристика, искусственная механическая характеристика, асинхронный двигатель переменного тока, преобразователь частоты, судовой пропульсивный комплекс.

THE ERS 5000 TECHSIM SIMULATOR BY TRANSAS IN THE RESEARCH WORK OF DOCTORAL STUDENT**Khvatov Oleg Stanislavovich**¹, Doctor of Technical Sciences, Professor*e-mail:* khvatov_oleg@mail.ru**Markov Dmitriy Konstantinovich**¹, Doctoral Student*e-mail:* markov0priz@gmail.com**Bilyaletdinov Timur Zakariyaevich**¹, Doctoral Student*e-mail:* tim.bil.99@mail.ru¹ Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. The use of virtual models of the simulator of the ERS 5000 marine power plant of the Transas Company in the research work of graduate students seems promising, but at the same time requires confirmation of the adequacy of the virtual models offered by the simulator. The adequacy of the electric drive model "ACS 6000 frequency converter – asynchronous AC motor VRK "Azipod" has been assessed. Based on the results of comparing the natural and artificial

mechanical characteristics of an asynchronous motor as part of a frequency-controlled electric drive of the main motion of the vessel obtained by analytical calculation and virtual modeling tools, the model is recognized as adequate for the study of ship's alternating current electric propulsion systems.

Keywords: natural mechanical characteristic, artificial mechanical characteristic, asynchronous AC motor, frequency converter, ship propulsion system.

Введение

Системы электродвижения на судах морского и речного флота получили мощный импульс развития в связи с достижениями в области силовой преобразовательной техники – созданием полупроводниковых преобразователей частоты параметров электроэнергии. Исследование и разработка систем электродвижения транспортных объектов, в том числе судов морского и речного флота, на основе частотно-регулируемых электроприводов главного движения важное научно-техническое направление [1–5].

С 2018 года в Волжском государственном университете водного транспорта эксплуатируется тренажер судовой энергетической установки ERS 5000 компании «Транзас».

Функциональность тренажера, реалистичность систем и механизмов его моделей представляет интерес в различных сферах образования и профессиональной подготовки.

На тренажер установлены пять моделей современных морских судов. Одной из этих моделей является модель круизного лайнера. Пропульсивный комплекс данной модели представлен системой электродвижения с двумя движителями типа «Азипод». Преимуществом данной модели является соответствие структуры и состава пропульсивного комплекса реальному пассажирскому судну «Zuiderdam», 2002 года постройки, что позволяет осуществлять моделирование различных режимов работы виртуальных судовых систем максимально приближенно к реальным условиям эксплуатации судна.

Ключевой особенностью модели пропульсивного комплекса судна «Zuiderdam» является наличие винторулевой колонкой (ВРК) «Азипод», поэтому наибольший интерес для проверки адекватности модели представляют электромеханические процессы, протекающие в звене «Преобразователь частоты ACS6000 - асинхронный двигатель переменного тока ВРК «Азипод», а также механические характеристики асинхронного двигателя в составе частотно-регулируемого электропривода ВРК.

Описание, аппаратная база тренажера судовой энергетической установки ERS 5000 компании «Транзас»

В университете установлена последняя версия тренажера ERS 5000 TechSim. ERS 5000 TechSim – версия тренажера, модели которой являются точными и подробными копиями современных судов: их систем, механизмов и оборудования. Эта версия тренажера предназначена для проведения углубленной и расширенной подготовки в условиях штатной или аварийной ситуаций.

Тренажер построен на архитектуре локальной компьютерной сети, в состав которой входят модели постов управления, вычислительный сервер рабочее место инструктора.

Для обеспечения доступа к управлению каждым элементом системы используется сенсорный экран типа «видеостена».



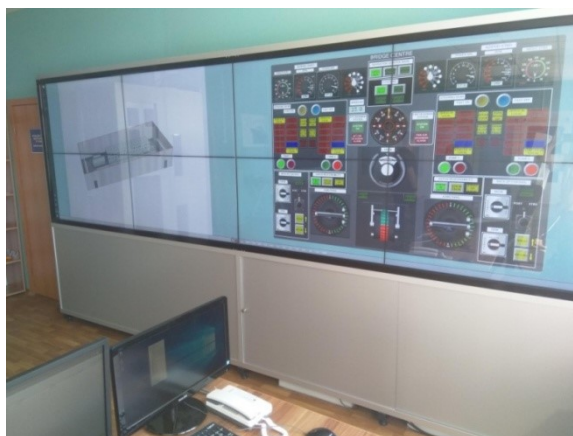


Рисунок 1 – Рабочее место аспиранта на тренажере ERS 5000 TechSim

Описание виртуальной модели пропульсивного комплекса пассажирского судна «Zuiderdam»

Пропульсивный комплекс данной модели представлен системой электродвижения с двумя двигателями типа «Азипод». На рис. 2 показана однолинейная схема подключения системы Азипод к судовой сети. Источниками электроэнергии служат четыре главных генератора переменного тока, с выходной мощностью 6825 кВА, напряжением 6600 В и с заземленной на корпус нейтралью. Все четыре генератора подключены на главный распределительный щит (6600В), от которого через трансформатор запитаны преобразователи частоты установок Azipod. Главный распределительный щит можно разделить на две отдельные сети посредством шиносоединительных выключателей для повышения резервирования силовой установки [2].

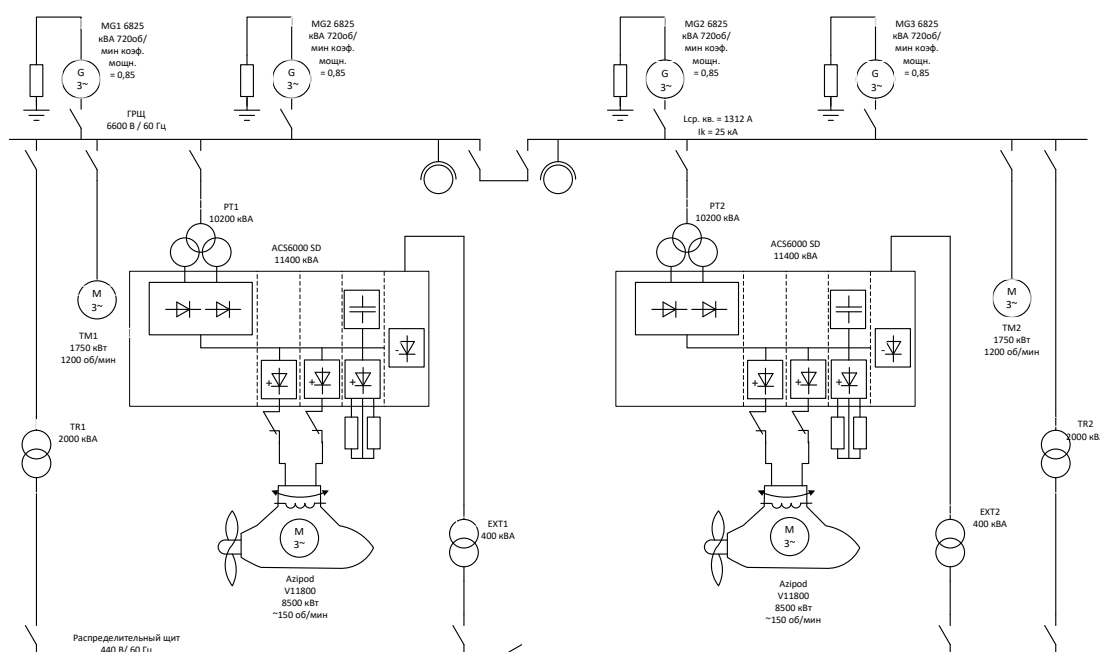


Рисунок 2 – Типовая однолинейная схема судовой силовой установки с использованием системы Azipod

Преобразователи частоты типа ASC6000 рассчитаны на мощность до 11400 кВА и служат регуляторами скорости вращения главных электродвигателей переменного тока за счет изменения частоты питающих статорные обмотки двигателя напряжения. Так как главные двигатели соединены с двигателем (винтом) непосредственно без использования

редуктора, целесообразно для главных двигателей используют двигатели переменного тока низкой частоты вращения (до 150 об/мин). Низковольтный распределительный щит получает питание от судовых трансформаторов собственных нужд (TR1, TR2).

Построение механических характеристик асинхронного двигателя посредством выполнения математических расчетов

Для построения механических характеристик асинхронного двигателя при частотном регулировании следует руководствоваться Т-образной схемой замещения асинхронного двигателя (рис. 3) [6].

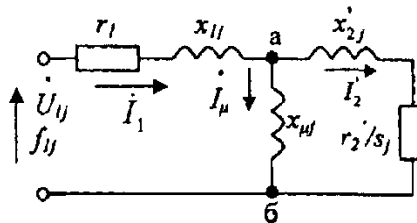


Рисунок 3 – Схема замещения асинхронного двигателя

Схема замещения (рис. 3) имеет следующие обозначения:

U_{1j}, f_{1j} – соответственно, регулируемые значения величины и частоты питающего напряжения;

I_{μ} – ток намагничивания;

I_2, r_2' – приведенные к статору, соответственно, ток и активное сопротивление ротора;

$x_{\mu j}$ – индуктивное сопротивление контура намагничивания.

Формула для расчета скорости электромагнитного поля статора:

$$\omega_{0j} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{1j}}{p} \quad (1)$$

Формула для расчета электромагнитного момента асинхронного двигателя при частотном управлении:

$$M = \frac{3 \cdot U_{1j}^2 \cdot r_2'}{\omega_{0j} \cdot s_j \cdot \left[x_{к.н.}^2 \cdot f_{1*}^2 + \left(r_1 + \frac{r_2'}{s_j} \right)^2 + \left(\frac{r_1 \cdot r_2'}{s_j \cdot x_{\mu j} \cdot f_{1*}} \right)^2 \right]} \quad (2)$$

где ω_{0j}, s_j – регулируемые частота вращения электромагнитного поля и скольжение;

$x_{к.н.}, x_{\mu j}$ – номинальные индуктивные сопротивления короткого замыкания и контура намагничивания;

r_1, r_2' – сопротивление статора и приведенное сопротивление ротора соответственно;

f_{1*} – относительная частота питающего напряжения, рассчитываемая по формуле:

$$f_{1*} = \frac{f_{1j}}{f_{1н}} \quad (3)$$

где $f_{1н}$ – номинальная частота питающего напряжения.

Формула для расчета критического момента двигателя при переменных значениях частоты и величины напряжения питания асинхронного двигателя:

$$M_k = \frac{3 \cdot U_{1j}^2}{2 \cdot \omega_{0j} \cdot \left[r_1 \pm \sqrt{\left(r_1^2 + x_{к.н.}^2 \cdot f_{1*}^2 \right) \cdot \left(1 + \frac{r_1^2}{x_{\mu н.}^2 \cdot f_{1*}^2} \right)} \right]} \quad (4)$$

Формула для расчета критического скольжения при переменных значениях частоты и величины напряжения питания асинхронного двигателя:

$$s_{kj} = \pm r_2' \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{r_1}{x_{\mu н.} \cdot f_{1*}} \right)^2}{r_1^2 + x_{к.н.}^2 \cdot f_{1*}^2}} \quad (5)$$

В соответствии с вышеприведенными формулами (1 – 5) по паспортным данным асинхронного двигателя [7] (в табл. 1 приведены только некоторые из них) производим расчет и построение механических характеристики асинхронного двигателя при частотном регулировании (рис. 4).

Таблица 1

Паспортные данные двигателя

Номинальная мощность, Р _н	Номинальная частота вращения, n _н	Число пар полюсов, р	Перегрузочная способность двигателя, λ	Кратность пускового момента, λ _{пуск}
8500 кВт	190 об/мин	15	2,2	1,8

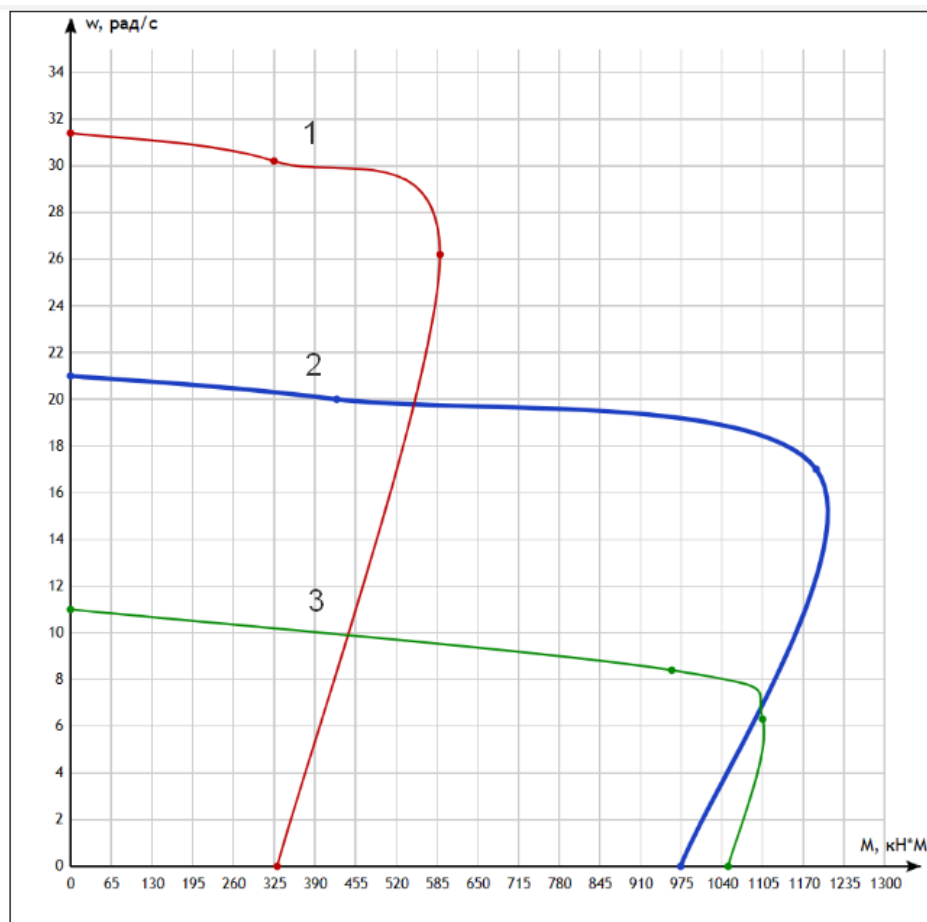


Рисунок 4 – Механические характеристики асинхронного двигателя

На рис. 4 изображены механические характеристики асинхронного двигателя в составе частотно-регулируемого электропривода ВПК:

- характеристика 1: искусственная механическая характеристика двигателя для закона частотного управления:

$$f_{1j} > f_{1n}, U_{1j} = U_{1n} = const \quad (6)$$

- характеристика 2: естественная механическая характеристика двигателя при номинальной частоте и номинальной величине питающего напряжения:

$$f_{1j} = f_{1n}, U_{1j} = U_{1n} \quad (7)$$

- характеристики 3: искусственная механическая характеристика двигателя для закона частотного управления:

$$f_{1j} < f_{1n}, \frac{U_{1j}}{f_{1j}} = const \quad (8)$$

где U_{1j} , f_{1j} – текущие значения величины и частоты напряжения питания обмотки статора соответственно.

Построение механических характеристик двигателя посредством выполнения лабораторных испытаний на тренажере ERS 5000 TechSim

Возможности тренажера позволяют провести аналогичные построения механических характеристик асинхронного двигателя в составе частотно-регулируемого электропривода ВПК. В рассматриваемой системе пропульсивной установки судна регулирование скорости вращения главных электродвигателей переменного тока осуществляется преобразователями частоты (ПЧ) типа ASC6000 (рис. 5).

Данные преобразователи частоты позволяют осуществлять регулирование скорости двигателя за счет непосредственного изменения частоты и величины питающего напряжения [5].

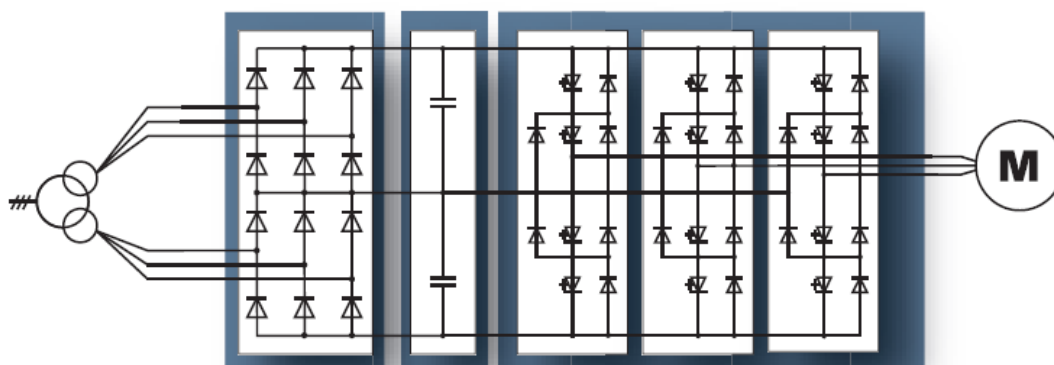


Рисунок 5 – Электрическая схема ПЧ типа ASC6000

Для получения механических характеристик асинхронного двигателя переменного тока на тренажере судового электромеханика ERS 5000 TechSim был проведен ряд лабораторных испытаний, состоящих из:

- установки начальных параметров питающей сети (величины и частоты напряжения) в соответствии с законами частотного управления;

- снятия показаний звена «Преобразователь частоты ACS6000 - асинхронный двигатель переменного тока ВПК «Азипод» виртуальной модели тренажера, необходимых для построения искусственных механических характеристик;

- построения искусственных механических характеристик по лабораторным данным, полученным при частотном управлении асинхронного двигателя ВПК.

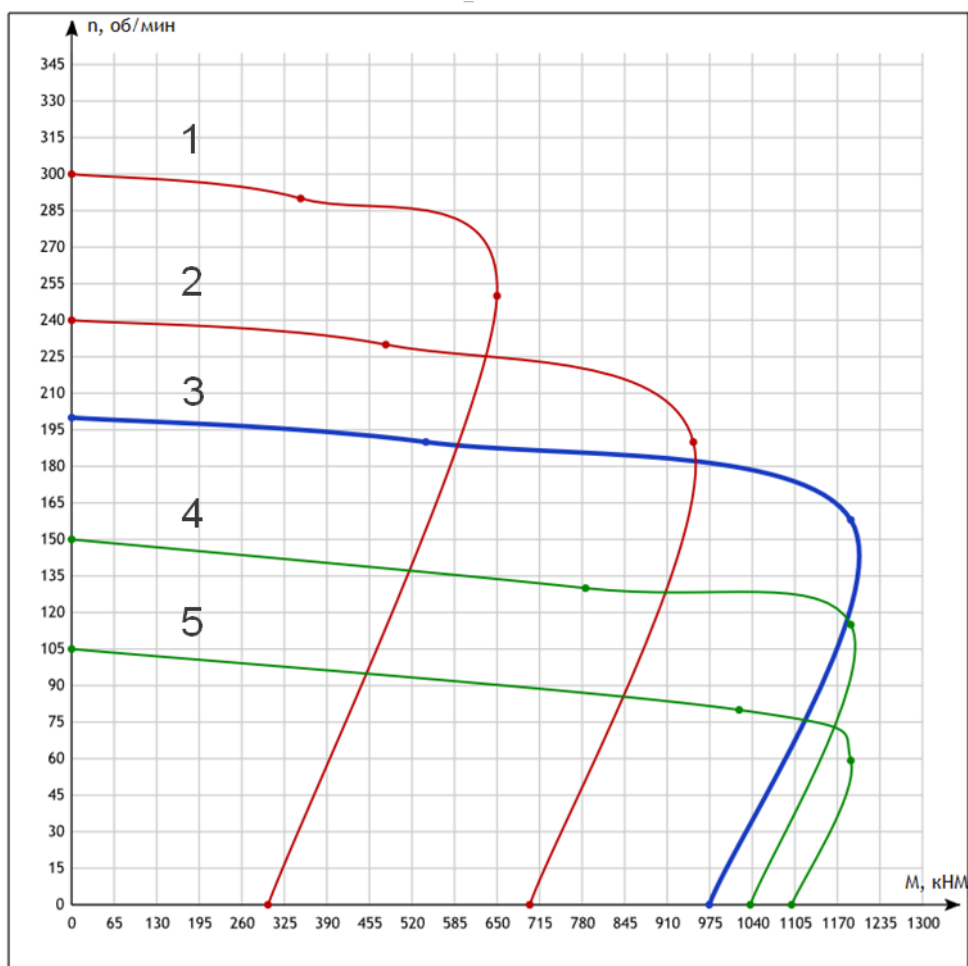


Рисунок 6 – Механические характеристики асинхронного двигателя (лабораторные испытания на тренажере).

На рис. 6 изображены механические характеристики асинхронного двигателя в составе частотно-регулируемого электропривода ВРК:

- характеристики 1 и 2: искусственные механические характеристики двигателя для закона частотного управления:

$$f_{1j} > f_{1n}, U_{1j} = U_{1n} = const \quad (9)$$

- характеристика 3: естественная механическая характеристика двигателя при номинальной частоте и номинальной величине питающего напряжения:

$$f_{1j} = f_{1n}, U_{1j} = U_{1n} \quad (10)$$

- характеристики 4 и 5: искусственные механические характеристики двигателя для закона частотного управления:

$$f_{1j} < f_{1n}, \frac{U_{1j}}{f_{1j}} = const, \quad (11)$$

где U_{1j} , f_{1j} – текущие значения величины и частоты напряжения питания обмотки статора соответственно.

Заключение

Сравнение результатов лабораторных испытаний электромеханических процессов, протекающих в звене «Преобразователь частоты ACS6000 – асинхронный двигатель

переменного тока ВРК «Азипод» на тренажере (рис.6) с математическим расчетом механических характеристик частотно-регулируемого электропривода (рис.4), подтверждают их высокую степень совпадения. Поэтому, представляется целесообразным и перспективным использовать возможности тренажера в научной работе аспирантов кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта ВГУВТ.

Список литературы:

1. Хватов, О.С. Вариант единой электростанции колесного судна с электродвижением (статья) / О.С. Хватов, Е.М. Бурда, И.А. Тарпанов, Н.И. Кшталтный – Вестник АГТУ. Морская техника и технологии, №2, 2016, с.102 – 108.
2. Гребные электрические установки: справочник / Ю.М. Гилерович, [и др.]. – Л: Судостроение, 1985.
3. Хватов, О.С. Исследование режимов работы гребной электрической установки (ГЭУ) колесного судна «Доброход» / О.С. Хватов, Е.М. Бурда, Н.И. Кшталтный – Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2016. – Вып. 5.
4. Рукавишников, С.Б. Автоматизированные гребные электрические установки / С.Б. Рукавишников. – Л: Судостроение, 1976.
5. Рукавишников, С.Б. Справочник по преобразовательной технике / С.Б. Рукавишников; под ред. И.М. Чиженко – М.: Техника, 1978.
6. Ключев В.И. Теория электропривода : учеб. для вузов / В. И. Ключев. – М. : Энергоатомиздат, 1998, 704 с.
7. Представление двигателей Azipod® серии VI / Интернет-издание фирмы ABB Oy, 2010, 36 с. – URL: <http://www.abb.com/marine> (дата обращения: 01.04.2024)

