ISBN 978-5-901722-00-8

УДК 621.314

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМЫ ТРАНСФОРМАТОР – АСИНХРОННЫЙ ДВИГАТЕЛЬ С РАСШИРЕННЫМ РЯДОМ МОЩНОСТЕЙ ЯКОРНО-ШВАРТОВНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Попов Сергей Васильевич[1], кандидат технических наук, доцент
e-mail: popovsev3@yandex.ru
Малышев Юрий Сергеевич[1], кандидат технических наук, доцент
e-mail: elektrikasp@mail.ru
Бурмакин Олег Анатольевич[1], кандидат технических наук, доцент
e-mail: boa_71@mail.ru

[1] Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

Аннотация. Предложен вариант подбора палубных механизмов необходимой мощности в период дефицита и импортозамещения. Рассмотрен трансформаторный способ согласования напряжений судовой сети и питания электроприводов палубных механизмов при их выборе из стандартного ограниченного ряда мощностей. Показана разработанная схема имитационной модели системы электроснабжения для питания электропривода якорно-швартовой лебедки, работающей в различных режимах. Предложены обобщенные зависимости для определения мощности согласующего трансформатора при подборе палубных механизмов с требуемыми параметрами.

Ключевые слова: электропривод судовой лебедки, якорно-швартовная лебедка, имитационная модель электропривода, согласующий трансформатор, выбор электродвигателя.

SUMMARIZATION OF RESULTS OF MODELING THE TRANSFORMER - ASYNCHRONOUS MOTOR SYSTEM WITH AN EXTENDED RANGE OF POWERS OF ANCHOR-MOORING MECHANISMS

Sergey V. Popov[1], Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
e-mail: popovsev3@yandex.ru
Yuri S. Malyshev[1], Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
e-mail: elektrikasp@mail.ru
Oleg A. Burmakin[1], Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
e-mail: boa_71@mail.ru

[1] Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

Abstract. A variant of selection of deck mechanisms of the required capacity during the period of deficit and import substitution is proposed. A transformer method of matching the voltages of the ship's network and the power supply of electric drives of deck mechanisms is considered when they are selected from a standard limited range of capacities. The developed scheme of the

simulation model of the power supply system for powering the electric drive of the anchor-mooring winch operating in various modes is shown. Generalized dependencies are proposed for determining the power of the matching transformer when selecting deck mechanisms with the required parameters.

Keywords: electric drive of ship winch, anchor-mooring winch, simulation model of electric drive, matching transformer, selection of electric motor.

В последние годы с усилением санкционного режима наблюдается дефицит промышленного оборудования для ряда отраслей. Исключением не стала и область судостроения, что создало определенные трудности, как при ремонте судов, так и на этапе конструирования и выбора комплектующих. В текущих условиях подбор электрооборудования палубных механизмов по расчетным параметрам вызывает необходимость внесение изменений в конструкции либо выполнения дополнительных расчетов. Для обеспечения номинальных значений вращающего момента при заданной скорости приводного электродвигателя, учитывая ограниченность ряда стандартных устройств предлагаемой серии, приходится идти на увеличение мощности изделий. Повышение мощности ведет к увеличению стоимостных, массогабаритных показателей, а также пусковых токов, что, в общем итоге, может привести к необходимости увеличения мощности судовой электростанции.

Анализ имеющихся на рынке палубных механизмов показывает, что стандартный ряд устройств, имеющих электрическое питание напряжением 380 В, более широкий, по сравнению с рядом устройств, работающих с напряжением электропитания 220 В. В ряде случаев обмотки электродвигателей описанного оборудования собранные по стандартной схеме соединения без возможности ее изменения, особенно это касается маломощных (единицы киловатт) устройств. Поэтому подбор палубных механизмов, выполненных на напряжение питания 220 В затруднителен. Для решения указанной проблемы, как правило, выполняют согласование напряжений питания электропривода с питающей сетью через силовой трансформатор [1, 2].

Установка трансформатора согласует напряжения электродвигателя и судовой сети, однако расчет его мощности является не простой инженерной задачей, так как зависит от ряда параметров: мощности электродвигателя палубного механизма, режима работы электропривода, мощности сети, питающей трансформатор и т.д. [3]. Известны методики расчета параметров электродвигателей и трансформаторов, по заданным параметрам для конкретных задач. Однако комплексные расчеты, а тем более обобщенные зависимости мощностей трансформаторов и электродвигателей в наглядном виде, в известных источниках отсутствуют. Производить полный расчет СЭЭС при модернизации единичных механизмов – очень трудоемкий процесс.

Учитывая, что математические расчеты при изменении нескольких параметров имеют высокую степень сложности, выбран метод имитационного моделирования [1, 2, 4], для чего разработана имитационная модель в среде matlab simulink, проведены расчеты и получены необходимые зависимости, преобразованные в наглядный вид с помощью пакета Microsoft excel.

Разработанная имитационная модель позволяет определить основные требования к соотношению установленных мощностей электродвигателей и согласующего трансформатора и наглядно демонстрирует влияние их на показатели качества электроэнергии [5] судовой сети.

Обобщенные характеристики были получены для следующих мощностей:

- электродвигателей (кВт) – от 1,2; 5; 13,5;

- согласующих трансформаторов (кВА) – 2,5; 6,3; 10; 63;100;
- судовых генераторов, (кВА) – 60; 85 при коэффициенте загрузки Кз= 0-0,6.

В процессе моделирования получены следующие результаты:

- максимальный провал напряжения на электродвигателе – не более 40%
- максимальный провал напряжения судовой сети – не более 35%
- время разгона электродвигателя на холостом ходу – не более 1,7 сек.
- время разгона электродвигателя под нагрузкой – не более 2,2 сек.

Полученные обобщенные характеристики приведены на диаграммах 1-3. На рисунке 1 Показаны зависимости падений напряжений на выходе генератора ΔUг и на входе электродвигателя ΔUд в момент запуска электропривода от загрузки генератора, при различных соотношениях мощностей трансформатора и электродвигателя Ртр/Рэд.

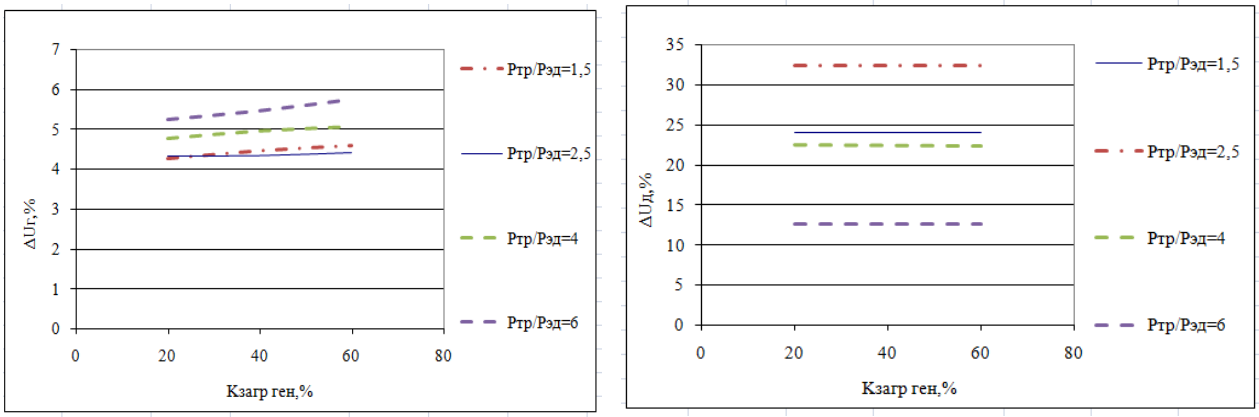

Рисунок 1 – Зависимости значений падения напряжения судовой сети ΔUг и электродвигателя ΔUд

Обобщенные характеристики зависимостей относительных критических и пусковых моментов от загрузки генератора приведены на рисунке 2. За базовые значения были приняты соответствующие моменты при номинальном напряжении. Значение этого показателя должно стремиться к единице.

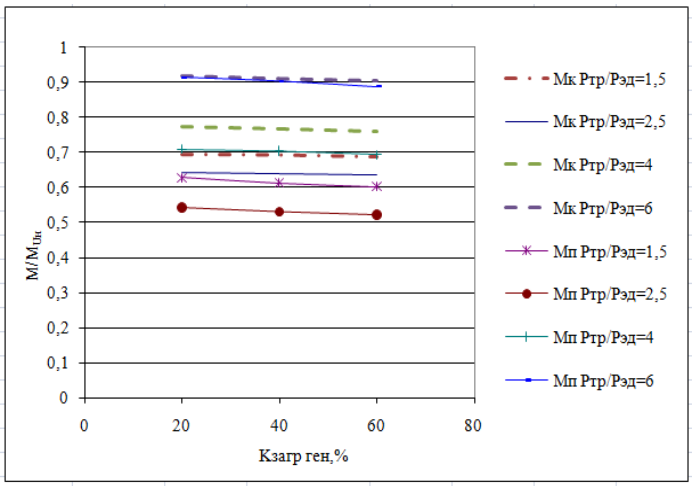

Рисунок 2 – Зависимости отношений пусковых и критических моментов электродвигателя к их значениям при номинальном напряжении

На рисунке 3 приведены относительные зависимости изменения времени пуска электродвигателя к значениям времени пуска при номинальном напряжении от загрузки генератора на холостом ходу и под нагрузкой. По аналогии с предыдущими зависимостями

параметр соотношения времен получен при пуске с номинальным напряжением питания электродвигателя и при сниженном значении напряжения. Тем самым, значение этого показателя должно стремиться к нулю.

Для всех приведенных диаграмм моделирование выполнялось при условии соотношения мощностей генератора и электродвигателя соответственно Рген/Рэд=5.

В процессе исследования, моделирование проводилось для соотношений Рген/Рэд от 5 до 35, для получения полноты влияния параметра Рген/Рэд на характеристики электропривода. Такой диапазон соотношений мощностей позволяет охватить варианты организации электроснабжения большинства проектов судов.

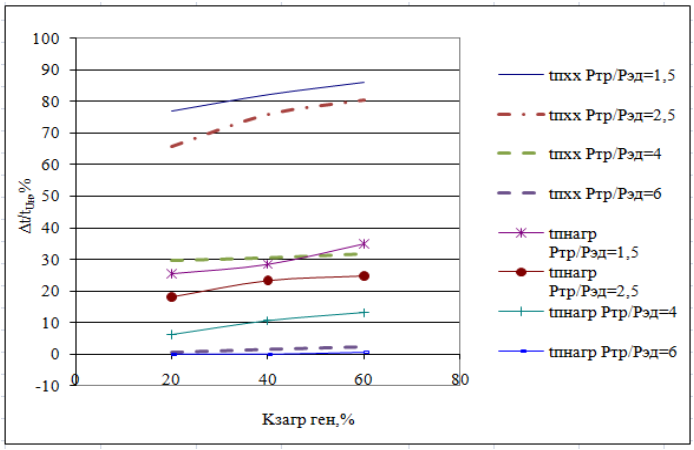

Рисунок 3 – Зависимости изменения времени пуска электродвигателя к значениям времени пуска при номинальном напряжении от загрузки генератора

В результате моделирования нескольких моделей с различными показателями мощностей генератора судовой электростанции, электродвигателя приводного механизма и согласующего трансформатора были сформированы зависимости, которые могут быть полезны и найти практическое применение при подборе палубных механизмов, задаваясь определенными ограничениями параметров, и определения мощности согласующего трансформатора.

Список литературы:

1. Попов С.В., Рекомендации по определению мощности согласующего трансформатора для питания электропривода якорно-швартового механизма / С. В. Попов, О. А. Бурмакин, Ю. С. Малышев // Интеллектуальная электротехника. 2025; 1 (29) – С. 70-80.

2. Шульга Р. Н., Петров А. Ю., Лабутин А. А. Рынок электрических машин и аппаратов: динамика и основные тенденции. РУМ, 4 [594], 2020

3. Попов С.В., Анализ результатов моделирования электропривода якорной лебедки при питании от судовой сети через согласующий трансформатор / С. В. Попов, О. А. Бурмакин, Ю. С. Малышев // Материалы Седьмой национальной (всероссийской) научно-технической конференции. Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития КГТУ Петропавловск-Камчатский, 2025. – С. 67-72.

4. Малышев Ю. С., Бурмакин О. А., Попов С. В. Имитационная модель электропривода якорной лебедки, работающей от судовой электростанции через согласующий трансформатор. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2024662262 от 27.05.24.

5. Правила классификации, постройки и освидетельствования судов ВВП, судов смешанного (река – море) плавания, плавучих объектов. [Электронный ресурс]. – URL: https://rfclass.ru/izdaniya-rko/pravila-klassifikatsii-postroyki-i-osvidetelstvova niya-sudov-vvp-sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya-pla vuchikh-obektov/ (дата обращения: 20.05.2023)