

Научная статья

УДК 621.314

<https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-3-80-88>

EDN EXVOYW

Практические рекомендации по определению мощности согласующего трансформатора для работы якорно-швартовых механизмов

***Сергей Васильевич Попов, Юрий Сергеевич Малышев[✉],
Олег Анатольевич Бурмакин***

*Волжский государственный университет водного транспорта,
Нижний Новгород, Россия, elektrikasp@mail.ru[✉]*

Аннотация. Предложен метод подбора якорно-швартовых механизмов по полученным в результате расчета обобщенным характеристикам в условиях дефицита судового оборудования. Рассмотрены электроприводы якорно-швартовых механизмов, выполненные на основе асинхронных электродвигателей, и выявлено, что часть из них не имеют возможности переключения схемы соединения статорных обмоток в клеммной коробке. Предложено подключение электропривода лебедки через согласующий трансформатор в случае несовпадения величины питающего напряжения электропривода и судовой сети. Приведена однолинейная схема, включающая судовой генератор с нагрузкой, согласующий трансформатор и электродвигатель привода лебедки. Проанализированы режимы работы электропривода лебедки – тянуть/выбирать, стоянка под током, а также дано пояснение по расчету и моделированию системы электроснабжения привода лебедки. Указано, что моделирование системы выполнялось с использованием разработанной авторами ранее имитационной модели. Приведены диапазоны мощностей генераторов, согласующих трансформаторов и электродвигателей, для которых было проведено моделирование. Определены значения предельных величин провала напряжения при пуске электропривода как для напряжения судовой сети, так и для питающего напряжения электродвигателя. Приведены построенные согласно результатам анализа переходных процессов зависимости для системы электроснабжения с различными значениями мощности электродвигателя и трансформатора при различной загрузке генератора. Даны обобщенная оценка полученных зависимостей, рекомендации для их применения при выборе мощности лебедки и определения необходимой мощности согласующего трансформатора с учетом установленных проектантами и Российским классификационным обществом требований. Сделаны выводы и обоснована практическая ценность работы на этапе конструирования при модернизации якорно-швартовых лебедок.

Ключевые слова: якорно-швартовые механизмы, электропривод лебедки, асинхронный электродвигатель, схема соединения обмоток, судовая сеть, имитационная модель, согласующий трансформатор, мощность трансформатора, моделирование системы

Для цитирования: Попов С. В., Малышев Ю. С., Бурмакин О. А. Практические рекомендации по определению мощности согласующего трансформатора для работы якорно-швартовых механизмов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2025. № 3. С. 80–88. <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-3-80-88>. EDN EXVOYW.

Original article

Practical recommendations for determining the power of a matching transformer for the operation of anchor-mooring mechanisms

Sergey V. Popov, Yuriy S. Malyshev[✉], Oleg A. Burmakin

*Volga State University of Water Transport,
Nizhny Novgorod, Russia, elektrikasp@mail.ru[✉]*

Abstract. A method for selecting anchor-mooring mechanisms based on the generalized characteristics obtained as a result of calculation is proposed, in conditions of a shortage of ship equipment. The article considers electric drives of anchor-mooring mechanisms based on asynchronous electric motors and reveals that some of them do not have the ability to switch the stator winding connection scheme in the terminal box. It is proposed to connect the winch electric drive through a matching transformer in case of a mismatch between the supply voltage of the electric drive and the ship's network. A single-line diagram is given, including a ship generator with a load, a matching transformer and an electric motor of the winch drive. The operating modes of the winch electric drive are analyzed: lose/take in and park under current, and an explanation is given regarding the calculation and modeling of the winch drive power supply system. It is said that the modeling of the system was performed using a simulation model previously developed by the authors. The power ranges of generators, matching transformers and electric motors for which the simulation was performed are given. The values of the maximum voltage drop at the start of the electric drive are determined, both for the ship's network voltage and for the supply voltage of the electric motor. The dependences for the power supply system with different values of the electric motor and transformer power at different generator loads, constructed based on the results of the analysis of transient processes, are given. A generalized assessment of the obtained dependencies is given, as well as recommendations for their application when selecting the winch power and determining the required power of the matching transformer, taking into account the requirements established by the designer and the Russian Classification Society. Conclusions are made and the practical value of the work at the design stage during the modernization of anchor and mooring winches is substantiated.

Keywords: anchor and mooring mechanisms, winch electric drive, asynchronous electric motor, winding connection circuit, ship's network, simulation model, matching transformer, transformer power, system modeling

For citation: Popov S. V., Malyshev Yu. S., Burmakin O. A. Practical recommendations for determining the power of a matching transformer for the operation of anchor-mooring mechanisms. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies.* 2025;3:80-88. (In Russ.). <https://doi.org/10.24143/2073-1574-2025-3-80-88>. EDN EXVOYW.

Введение

Санкционный режим последних лет отразился в дефиците оборудования, что создало определенные трудности в области судостроения на этапах конструирования и насыщения судов. При подборе оборудования по расчетным параметрам возникает проблема его выбора, что зачастую приводит к необходимости выполнения дополнительных расчетов и внесения изменений в конструкции. Так, при подборе палубного оборудования, исходя из номинальных данных, необходимо учитывать различные параметры, а в силу ограниченности стандартных устройств предлагаемой серии приходится идти на увеличение мощности изделий. Соответственно, увеличиваются массогабаритные параметры и значения пусковых токов электродвигателей (ЭД), что в общем итоге может привести к необходимости увеличения мощности источника электроэнергии.

Потребительский спрос сформировал определенную зависимость, что стандартный ряд палубных механизмов, имеющих электрическое питание напряжением 380 В, более широкий по сравнению с рядом устройств, работающих от 220 В. Кроме того, устройства, имеющие малую мощность (единицы киловатт), имеют обмотки ЭД, собранные по стандартной схеме соединения без возможности ее коммутации. Исходя из вышесказанного, следует отметить, что подбор палубного механизма с оптимальными параметрами возможен из серии, рассчитанной на работу от сети напряжением 380 В,

а в случае, если номинальное напряжение судовой сети равно 220 В, подбор будет затруднен. Самым простым решением возникшей проблемы является согласование напряжений судовой сети и питания электропривода посредством силового трансформатора [1, 2].

Постановка задачи

Реализация такого технического решения обусловлена всего лишь установкой трансформатора, однако неизвестным параметром трансформатора является его мощность. Структурная схема электроснабжения электропривода якорно-швартовой лебедки (ЯШЛ) приведена на рис. 1.

Выбор мощности согласующего трансформатора (СТ) зависит от нескольких параметров: от мощности ЭД, режима работы электропривода, мощности дизель-генератора (ДГ), питающей трансформатор, и т. д. [3, 4]. Следует отметить, что синхронный генератор имеет напряжение 220 В, а используемая ЯШЛ оснащена ЭД с напряжением питания 380 В. Известно множество методик расчета параметров трансформаторов и ЭД, но комплексные расчеты или эмпирические зависимости для получения приблизительных данных при изменении мощностей трансформаторов и ЭД в виде таблиц или графических зависимостей в опубликованных источниках отсутствуют. Выполнение полных расчетов электроэнергетической системы судна на этапе конструкторского подбора оборудования не представляется возможным.

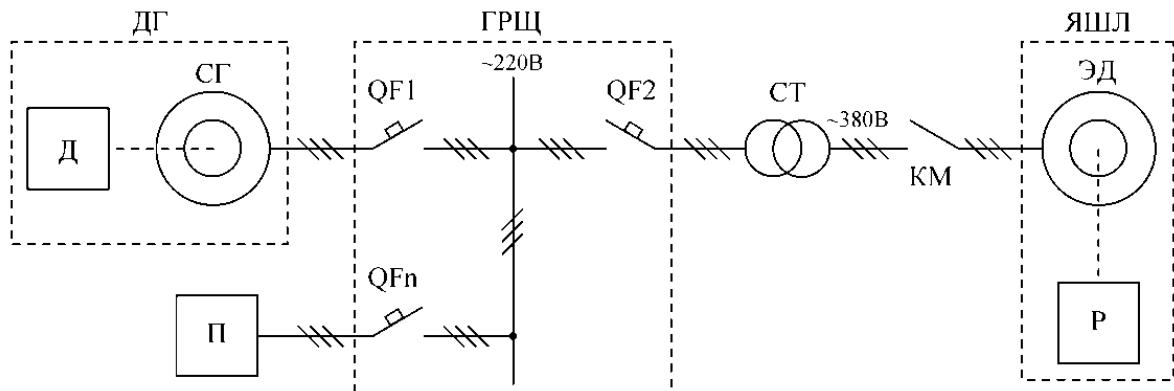


Рис. 1. Структурная схема электроснабжения

Fig. 1. Structural diagram of power supply

Методы исследований

Ранее было обосновано, что метод математического расчета системы электроснабжения электропривода лебедки при изменении нескольких параметров и режимов имеет высокую степень сложности, однако более удобным и наглядным является метод имитационного моделирования [1, 3, 5]. Предложенная имитационная модель позволила сформулировать главные требования к параметрам, которые должны учитываться при выборе мощности СТ, а также наглядно показать, каким образом будут изменяться электрические параметры электропривода и питающей сети при изменении соотношений мощностей трансформатора и ЭД с целью определения соответствия требованиям Российского классификационного общества (РКО) [6].

Описание системы

Целью имитационного моделирования системы электропитания электропривода палубного механизма является формирование зависимостей главных параметров для удобного выбора мощности СТ при заданных параметрах мощности электропривода лебедки и желаемых параметрах в динамических и статических режимах работы механизма. При моделировании обязательным условием является работа механизма в тяговом режиме и режиме стоянки электропривода под током.

Для получения итоговых характеристик выполнено моделирование системы при следующих параметрах оборудования и условиях:

- мощность ЭД палубного механизма – от 1,2; 5; 13,5 кВт;
- мощность СТ – 2,5; 6,3; 10; 63; 100 кВА;
- мощность судовых генераторов при загрузке 0–60 % – 60; 85 кВА;

– максимальное значение времени разгона ЭД палубного механизма до номинального значения на холостом ходу – не более 1,7 с;

– максимальное значение времени разгона ЭД палубного механизма до номинального значения под нагрузкой – не более 2,2 с;

– максимальное значение провала напряжения питания ЭД – не более 40 %;

– максимальное значение провала напряжения судовой сети – не более 6 %.

Для получения более наглядных характеристик условия моделирования установлены шире допустимых РКО.

В результате моделирования системы электроснабжения электропривода лебедки с большим количеством различных соотношений получены диаграммы переходных процессов, по которым определены максимальные и минимальные значения параметров, сведенные в базу данных. По итоговым значениям построены характеристики нескольких параметров в зависимости от единого параметра – загрузки генератора. На характеристиках параметр загрузки генератора представлен в виде коэффициента $K_{зг}$, %. Это объясняется тем, что зависимости будут иметь универсальный масштаб мощности при различных соотношениях мощностей генератора и ЭД привода лебедки.

На рис. 2 представлены зависимости максимальных значений падения напряжения судовой сети ΔU_r и электродвигателя $\Delta U_{ЭД}$ при его пуске для различных соотношений мощностей трансформатора $P_{тр}$ и электродвигателя $P_{ЭД}$ при изменении загрузки генератора ($K_{зг}$). Полученные зависимости справедливы для мощностей генератора P_r и мощности электродвигателя $P_{ЭД}$, взятых в соотношении $P_r / P_{ЭД} = 5$.

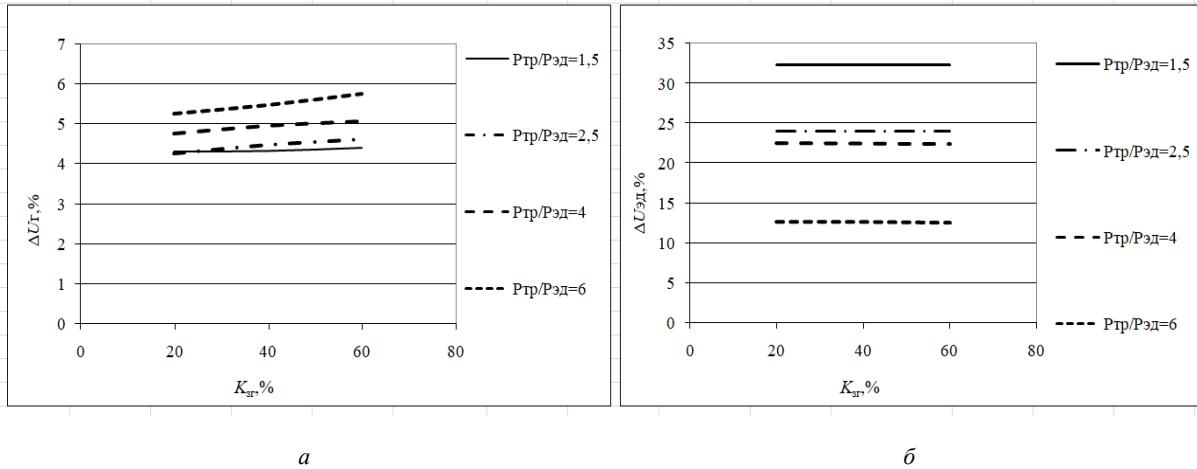


Рис. 2. Зависимости величины падения напряжения генератора ΔU_r (а) и двигателя ΔU_{3d} (б) от загрузки генератора K_{3r} для различных соотношений мощностей трансформатора и электродвигателя при соотношении мощностей генератора P_r и электродвигателя P_{3d} ($P_r / P_{3d} = 5$)

Fig. 2. Dependences of the voltage drop of the generator ΔU_r (a) and the motor ΔU_{3d} (b) on the load of the generator K_{3r} for different power ratios of the transformer and the electric motor with the power ratio of the generator P_r and the electric motor P_{3d} ($P_r / P_{3d} = 5$)

На рис. 3 и 4 представлены зависимости тех же параметров, но соотношения мощностей генератора P_r и электродвигателя P_{3d} равны 9 и 35 соответственно. При сравнении зависимостей рис. 2 с зависимостями рис. 3 следует отметить, что последние характеристики имеют нелинейный характер,

причем чем меньше соотношение мощностей, тем нелинейность более выраженная. И наоборот, на рис. 4 большая нелинейность наблюдается при большем значении соотношения мощностей трансформатора и ЭД.

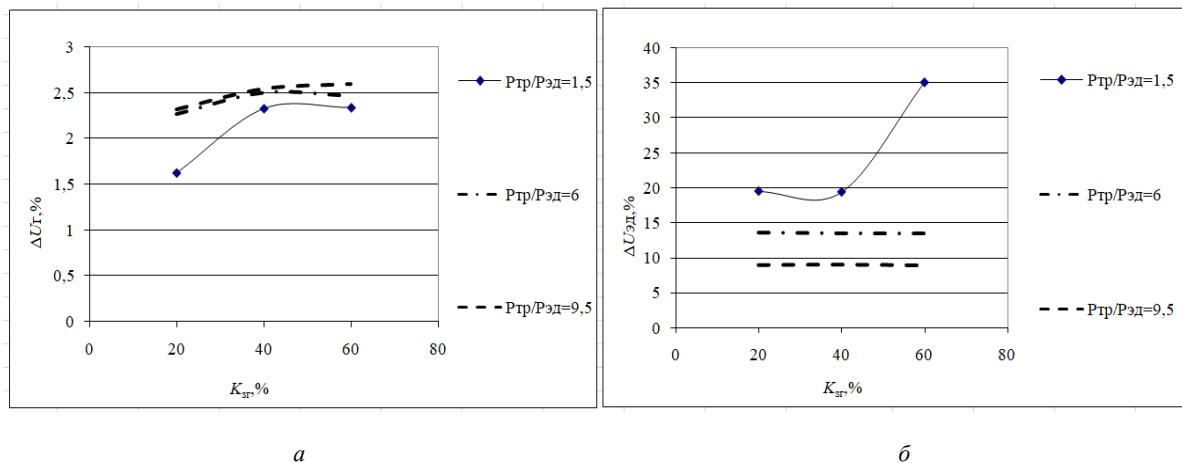


Рис. 3. Зависимости величины падения напряжения генератора ΔU_r (а) и двигателя ΔU_{3d} (б) от загрузки генератора K_{3r} для различных соотношений мощностей трансформатора и электродвигателя при соотношении мощностей генератора P_r и электродвигателя P_{3d} ($P_r / P_{3d} = 9$)

Fig. 3. Dependences of the voltage drop of the generator ΔU_r (a) and the motor ΔU_{3d} (b) on the load of the generator K_{3r} for different power ratios of the transformer and the electric motor with the power ratio of the generator P_r and the electric motor P_{3d} ($P_r / P_{3d} = 9$)

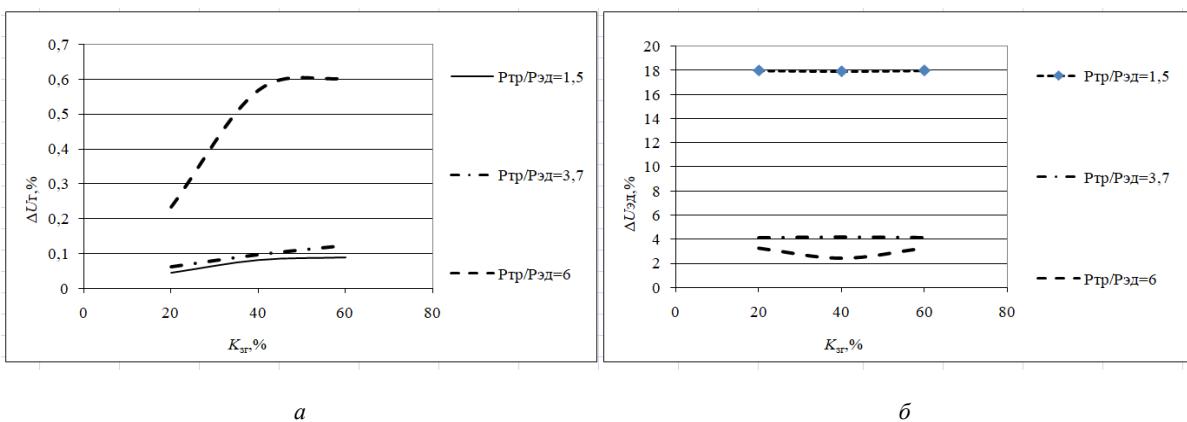


Рис. 4. Зависимости величины падения напряжения генератора ΔU_r (а) и двигателя ΔU_{3d} (б) от загрузки генератора K_{3r} для различных соотношений мощностей трансформатора и электродвигателя при соотношении мощностей генератора P_g и электродвигателя P_{3d} ($P_g / P_{3d} = 35$)

Fig. 4. Dependences of the voltage drop of the generator ΔU_r (a) and the motor ΔU_{3d} (b) on the load of the generator K_{3r} for different power ratios of the transformer and the electric motor with the power ratio of the generator P_g and the electric motor P_{3d} ($P_g / P_{3d} = 35$)

Зависимости отношений пусковых M_n и критических M_k моментов ЭД к их значениям при номинальном напряжении $M_{U_{nom}}$ от загрузки генератора K_{3r} при различных соотношениях мощностей трансформатора P_{tr} и электродвигателя P_{3d} приведены на рис. 5. На рис. 5, а зависимости построены при моделировании системы с соотношением мощностей генератора и ЭД, равным $P_g / P_{3d} = 5$. Следует отметить, что показатель соотношения $M / M_{U_{nom}}$ определяет расхождение значений моментов, которые определены как при снижении питающего напряжения на ЭД, так и при номи-

нальном напряжении (эталонное значение момента) [7–9]. Таким образом, чем ближе значение расчетного момента (пускового M_n или критического M_k) при сниженном напряжении питания ЭД к единице ($M / M_{U_{nom}} = 1$), тем ближе это значение будет к эталонному, т. е. рассчитанному параметру момента при номинальном значении питающего напряжения U_{nom} . Зависимости моментов при соотношениях мощностей генератора P_g и электродвигателя P_{3d} , равные 9 и 35, представлены на рис. 5, б и 5, в соответственно.

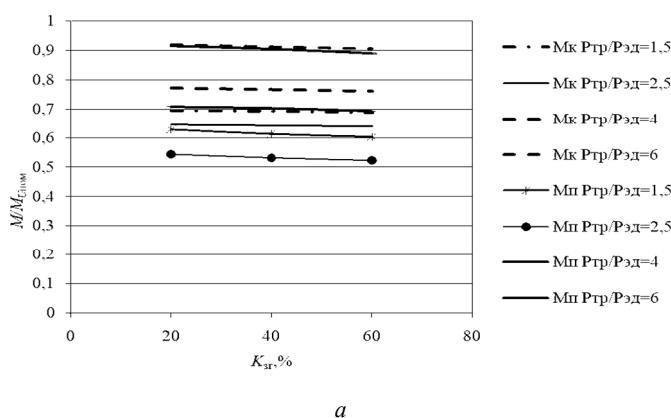
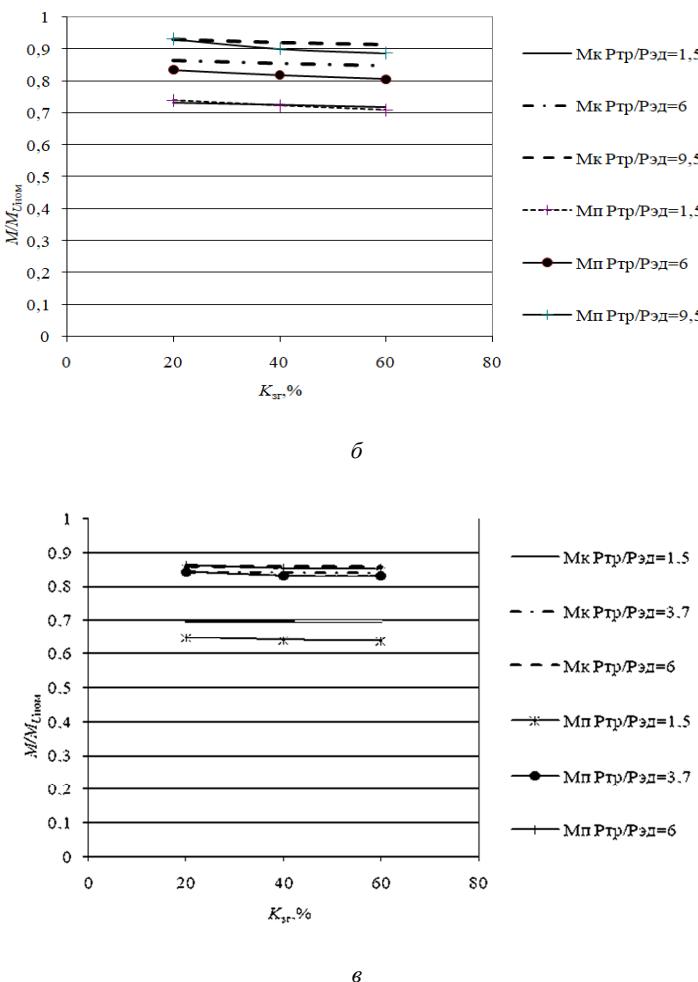


Рис. 5. Зависимости отношений пусковых M_n и критических M_k моментов электродвигателя к их значениям при номинальном напряжении $M_{U_{nom}}$ от загрузки генератора K_{3r} для различных соотношений мощностей трансформатора P_{tr} и электродвигателя P_{3d} при соотношении мощностей генератора P_g и электродвигателя P_{3d} : а – $P_g / P_{3d} = 5$

Fig. 5. Dependences of the ratios of the starting M_n and critical M_k moments of the electric motor to their values at rated voltage $M_{U_{nom}}$ on the load of the generator K_{3r} for different power ratios of the P_{tr} transformer and the P_{3d} electric motor with the ratio of the power of the P_g generator and the P_{3d} electric motor: а – $P_g / P_{3d} = 5$



Окончание рис. 5. Зависимости отношений пусковых M_n и критических M_k моментов электродвигателя к их значениям при номинальном напряжении $M_{U_{\text{ном}}}$ от загрузки генератора K_{3r} для различных соотношений мощностей трансформатора $P_{\text{тр}}$ и электродвигателя P_{3d} при соотношении мощностей генератора P_r и электродвигателя P_{3d} : $\delta = P_r / P_{3d} = 9$; $\epsilon = P_r / P_{3d} = 35$

Ending of fig. 5. Dependences of the ratios of the starting M_n and critical M_k moments of the electric motor to their values at rated voltage $M_{U_{\text{ном}}}$ on the load of the generator K_{3r} for different power ratios of the $P_{\text{тр}}$ transformer and the P_{3d} electric motor with the ratio of the power of the P_r generator and the P_{3d} electric motor: $\delta = P_r / P_{3d} = 9$; $\epsilon = P_r / P_{3d} = 35$

На рис. 6 приведены зависимости отношения времени пуска электродвигателя t_n к значениям времени пуска при номинальном напряжении $t_{nU_{\text{ном}}}$ от загрузки генератора K_{3r} на холостом ходу ($t_{n\text{ппх}}$) и под нагрузкой ($t_{n\text{н}}$). По аналогии с предыдущими зависимостями параметр соотношения времен получен при пуске с номинальным напряжением питания ЭД и при сниженном значении напряжения [10, 11]. Так же: чем ближе значение этого показателя к единице, тем ближе это значение к эталонному, рассчитанному при номинальном напряжении.

Зависимости времени пуска при соотношениях мощностей генератора P_r и электродвигателя P_{3d} , равных 5, 9 и 35, представлены на рис. 6, а–в соответственно.

Исходя из построенных зависимостей, можно дать оценку изменения параметров с учетом загрузки генератора:

– чем выше мощность трансформатора, тем больше провал напряжения генератора при пуске ЭД, но тем меньше провал напряжения на ЭД, что влияет на значение момента на валу и в конечном счете приводит к сокращению времени пуска;

– чем больше соотношение мощностей генератора и ЭД, тем меньше провал напряжения генератора и питания ЭД;

– поведение характеристик может быть как линейным, так и нелинейным и в основном зависит от загрузки генератора, т. е. от запаса его мощности.

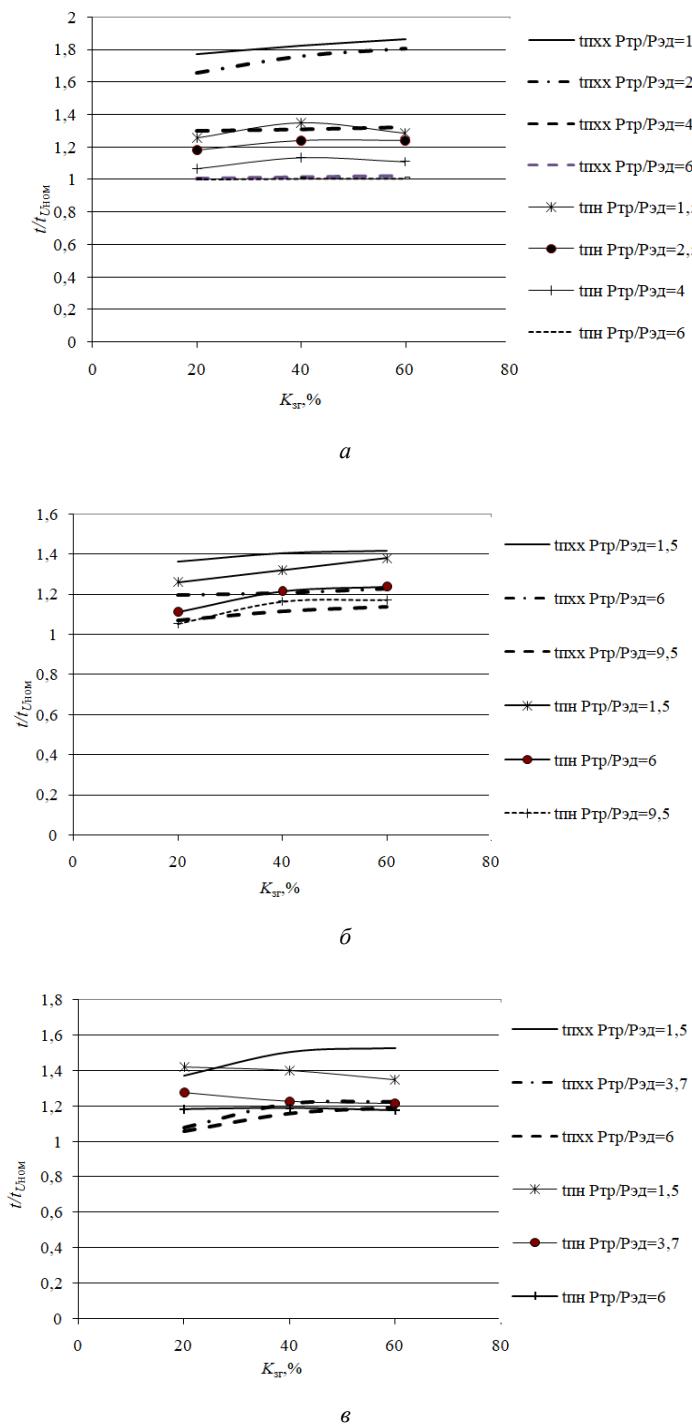


Рис. 6. Зависимости отношений времени пуска электродвигателя на холостом ходу $t_{\text{пхх}}$ и под нагрузкой $t_{\text{пн}}$ к их значениям при номинальном напряжении $t_{U_{\text{ном}}}$ от загрузки генератора $K_{\text{зг}}$ для различных соотношений мощностей трансформатора $P_{\text{тр}}$ и электродвигателя $P_{\text{эд}}$ при соотношении мощностей генератора $P_{\text{г}}$ и электродвигателя $P_{\text{эд}}$: а – $P_{\text{г}} / P_{\text{эд}} = 5$; б – $P_{\text{г}} / P_{\text{эд}} = 9$; в – $P_{\text{г}} / P_{\text{эд}} = 35$

Fig. 6. Dependences of the ratio of the start-up time of the electric motor at idle $t_{\text{пхх}}$ and under load $t_{\text{пн}}$ to their values at a rated voltage $t_{U_{\text{ном}}}$ depending on the load of the generator $K_{\text{зг}}$ for different power ratios of the $P_{\text{тр}}$ transformer and the $P_{\text{эд}}$ electric motor with the ratio of the power of the $P_{\text{г}}$ generator and the $P_{\text{эд}}$ electric motor:

$$\alpha - P_{\text{г}} / P_{\text{эд}} = 5; \beta - P_{\text{г}} / P_{\text{эд}} = 9; \gamma - P_{\text{г}} / P_{\text{эд}} = 35$$

Заключение

Приведенные зависимости могут найти применение при выборе судового палубного оборудования, в частности лебедочных механизмов, когда возникают трудности подбора из стандартного ряда. Применение трансформатора может являться простым решением согласования напряжений судовой сети и электропривода, а предложенные зависимости помогут определить мощность трансформатора. Для предварительного определения

параметров моментов и времени пуска ЭД лебедки, которые могут быть на реальном судне, необходимо подобрать параметры генератора и ЭД наиболее близкими к расчетным значениям. Если выполнить выбор наиболее соответствующих зависимостей, то можно дать примерную оценку влияния электропривода на судовую сеть и подобрать оптимальную мощность трансформатора, при которой параметры напряжения будут соответствовать требованиям РКО.

Список источников

1. Попов С. В., Бурмакин О. А., Малышев Ю. С. Рекомендации по определению мощности согласующего трансформатора для питания электропривода якорно-швартовного механизма // Интеллектуал. 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. 2020. № 4. С. 594.
3. Попов С. В., Бурмакин О. А., Малышев Ю. С. Анализ результатов моделирования электропривода якорной лебедки при питании от судовой сети через согласующий трансформатор // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: материалы VII Нац. (всерос.) науч.-техн. конф. (Петропавловск-Камчатский, 14–15 ноября 2024 г.). Петропавловск-Камчатский: Изд-во КГТУ, 2025. С. 67–72.
4. Бурков А. Ф., Веревкин В. Ф., Радченко П. М. Повышение энергоэффективности морского транспорта и транспортной инфраструктуры. СПб.: Лань, 2019. 132 с.
5. Свидетельство о регистрации программ для ЭВМ № 2024662262 Рос. Федерация. Имитационная модель электропривода якорной лебедки, работающей от судовой электростанции через согласующий трансформатор / Малышев Ю. С., Бурмакин О. А., Попов С. В.; 27.05.2024.
6. Правила классификации, постройки и освидетельствования судов ВВП, судов смешанного (река – море) плавания, плавучих объектов. URL: <https://rfclass.ru/izdaniya-rko/pravila-klassifikatsii-postroyki-i-osvidetelstvovaniya-sudov-vvp-sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya-plavuchikh-obektor/> (дата обращения: 20.05.2023).
7. Бурков А. Ф. Основы теории и эксплуатации судовых электроприводов. СПб.: Лань, 2023. 340 с.
8. Токарев П. Н. Стоянка судна на якоре в стесненных путевых условиях // Науч. проблемы вод. трансп. 2024. № 78. С. 234–244. DOI <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.442>.
9. Бурков А. Ф., Нгуен В. Теоретические положения технической эксплуатации для определения надежности судовых электроприводов // Надежность и безопасность энергетики. 2023. № 16 (3). С. 184–191. DOI <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2023-16-3-184-191>.
10. Бурков А. Ф., Миханошин В. В., Нгуен Ван Ха. Повышение энергетической эффективности асинхронных электроприводов // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. 2021. № 11. С. 7–11.
11. Савенко А. Е., Савенко П. С. Исследование работы мощного электропривода в автономном электротехническом комплексе // Вестн. Иванов. гос. энергет. ун-та. 2017. № 4. С. 44–49.

References

1. Popov S. V., Burmakin O. A., Malyshev Yu. S. Rekomendatsii po opredeleniiu moshchnosti soglasuiushchego transformatora dlia pitaniiia elektroprivoda iakorno-shvartovnogo mekhanizma [Recommendations for determining the power of the matching transformer for powering the electric drive of the anchor-mooring mechanism]. *Intel'ektual'naya elektrotehnika*, 2025, no. 1 (29), pp. 70-80.
2. Shul'ga R. N., Petrov A. Iu., Labutin A. A. Rynok elektricheskikh mashin i apparatov: dinamika i osnovnye tendentsii [The market of electric machines and apparatuses: dynamics and main trends]. *RUM*, 2020, no. 4, p. 594.
3. Popov S. V., Burmakin O. A., Malyshev Yu. S. Analiz rezul'tatov modelirovaniia elektroprivoda iakornoi lebedki pri pitanii ot sudovoii seti cherez soglasuiushchii transformator. Tekhnicheskaiia ekspluatatsiia vodnogo transporta: problemy i puti razvitiia [Analysis of the simulation results of the electric drive of the anchor winch when powered from the ship's network through a matching transformer. Technical operation of water transport: problems and ways of development]. *Materialy VII Natsional'noi (vserossiiskoi) nauchno-tehnicheskoi konferentsii (Petropavlovsk-Kamchatskii, 14–15 noiabria 2024 g.). Petropavlovsk-Kamchatskii, Izd-vo KGTU, 2025. Pp. 67-72.*
4. Burkov A. F., Verevkin V. F., Radchenko P. M. Povyshenie energoeffektivnosti morskogo transporta i transportnoi infrastruktury [Improving the energy efficiency of maritime transport and transport infrastructure]. Saint Petersburg, Lan' Publ., 2019. 132 p.
5. Malyshev Yu. S., Burmakin O. A., Popov S. V. Imitatsionnaia model' elektroprivoda iakornoi lebedki, rabotaiushchei ot sudovoii elektrostantsii cherez soglasuiushchii transformator [Simulation model of the electric drive of an anchor winch powered by a marine power plant through a matching transformer]. Svidetel'stvo o registratsii programm dlia EVM № 2024662262 Rossiiskaia Federatsiia, 27.05.2024.
6. Pravila klassifikatsii, postroiki i osvidetel'stovaniia sudov VVP, sudov smeshannogo (reka – more) plavaniia, plavuchikh ob"ektorov [Rules for classification, construction and inspection of GDP vessels, vessels of mixed (river-sea) navigation, floating objects]. Available at: <https://rfclass.ru/izdaniya-rko/pravila-klassifikatsii-postroyki-i-osvidetelstvovan>

iya-sudov-vvp-sudov-smeshannogo-reka-more-plavaniya-plavuchikh-obektorov/ (accessed: 20.05.2023).

7. Burkov A. F. *Osnovy teorii i ekspluatatsii sudovykh elektroprivodov* [Fundamentals of theory and operation of marine electric drives]. Saint Petersburg, Lan' Publ., 2023. 340 p.

8. Tokarev P. N. Stoianka sudna na iakore v stesnenykh putevykh usloviakh [Anchoring of a vessel in cramped travel conditions]. *Nauchnye problemy vodnogo transporta*, 2024, no. 78, pp. 234-244. DOI <https://doi.org/10.37890/jwt.vi78.442>.

9. Burkov A. F., Nguen V. Teoreticheskie polozheniya tekhnicheskoi ekspluatatsii dlja opredelenija nadezhnosti sudovykh elektroprivodov [Theoretical provisions of technical operation for determining the reliability of marine electric

drives]. *Nadezhnost' i bezopasnost' energetiki*, 2023, no. 16 (3), pp. 184-191. DOI <https://doi.org/10.24223/1999-5555-2023-16-3-184-191>.

10. Burkov A. F., Mikhanoshin V. V., Nguen Van Kha. *Povyshenie energeticheskoi effektivnosti asinkhronnykh elektroprivodov* [Improving the energy efficiency of asynchronous electric drives]. *Elektrooborudovanie: ekspluatatsiya i remont*, 2021, no. 11, pp. 7-11.

11. Savenko A. E., Savenko P. S. *Issledovanie raboty moshchnogo elektroprivoda v avtonomnom elektrotekhnicheskem kompleksse* [Investigation of the operation of a powerful electric drive in an autonomous electrical complex]. *Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo energeticheskogo universiteta*, 2017, no. 4, pp. 44-49.

Статья поступила в редакцию 17.07.2025; одобрена после рецензирования 23.07.2025; принятa к публикации 13.08.2025
The article was submitted 17.07.2025; approved after reviewing 23.07.2025; accepted for publication 13.08.2025

Информация об авторах / Information about the authors

Сергей Васильевич Попов – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта; Волжский государственный университет водного транспорта; Popovsev3@ya.ru

Юрий Сергеевич Малышев – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта; Волжский государственный университет водного транспорта; elektrikasp@mail.ru

Олег Анатольевич Бурмакин – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры электротехники и электрооборудования объектов водного транспорта; Волжский государственный университет водного транспорта; boa_71@mail.ru

Sergey V. Popov – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects; Volga State University of Water Transport; Popovsev3@ya.ru

Yuriy S. Malyshev – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects; Volga State University of Water Transport; elektrikasp@mail.ru

Oleg A. Burmakin – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Electrical Engineering and Electrical Equipment of Water Transport Objects; Volga State University of Water Transport; boa_71@mail.ru

