

УДК 62-83, 621.313

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СУДОВЫХ ЛЕБЕДОК

**Попов Сергей Васильевич<sup>1</sup>**, доцент, кандидат технических наук

*e-mail:* [popovsev3@yandex.ru](mailto:popovsev3@yandex.ru)

**Бурмакин Олег Анатольевич<sup>1</sup>**, доцент, кандидат технических наук

*e-mail:* [boa\\_71@mail.ru](mailto:boa_71@mail.ru)

**Малышев Юрий Сергеевич<sup>1</sup>**, доцент, кандидат технических наук

*e-mail:* [elektrikasp@mail.ru](mailto:elektrikasp@mail.ru)

<sup>1</sup> Волжский государственный университет водного транспорта, Нижний Новгород, Россия

**Аннотация.** В докладе проанализированы варианты электроприводов судовых лебедок с точки зрения диапазона регулирования, массогабаритных и стоимостных показателей. Рассмотрены многоскоростные электродвигатели серии МАП, электродвигатели стандартного общепромышленного исполнения (ЭДСИ) и двигатели для частотного управления АДЧР. Приведены механические характеристики электродвигателей при различных способах регулирования скорости. Сделаны выводы о возможности снижения мощности электродвигателя при частотном двухзонном регулировании.

**Ключевые слова:** многоскоростной электропривод, частотное управление, двухзонное регулирование.

## COMPARATIVE ANALYSIS OF ADJUSTABLE ELECTRIC DRIVES SHIP WINCHES

**Popov Sergey Vasilievich<sup>1</sup>**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

*e-mail:* [popovsev3@yandex.ru](mailto:popovsev3@yandex.ru)

**Burmakin Oleg Anatolievich<sup>1</sup>**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

*e-mail:* [boa\\_71@mail.ru](mailto:boa_71@mail.ru)

**Malyshev Yuri Sergeevich<sup>1</sup>**, Associate Professor, Candidate of Technical Sciences

*e-mail:* [elektrikasp@mail.ru](mailto:elektrikasp@mail.ru)

<sup>1</sup> Volga State University of Water Transport, Nizhny Novgorod, Russia

**Abstract.** The report analyzes the options for electric drives of marine winches in terms of the range of regulation, weight, size and cost indicators. Multi-speed electric motors of the MAP series, electric motors of standard general industrial design (EDSI) and motors for frequency control of the ADCR are considered. The mechanical characteristics of electric motors with various methods of speed control are given. Conclusions are drawn about the possibility of reducing the power of the electric motor with frequency two-zone regulation.

**Keywords:** multi-speed electric drive, frequency control, two-zone regulation.

Основу электроприводов судовых швартовых и якорных лебедок составляют многоскоростные электродвигатели серии МАП – электродвигатели предназначены для тяжелых условий работы, в том числе длительной стоянке под током [1]. Эти двигатели имеют несколько обмоток, которые обеспечивают работу лебедок в различных режимах. На рис. 1 показаны механические характеристики трехскоростного электродвигателя. Однако эти двигатели обладают следующими недостатками: ограниченное количество скоростей; броски тока при переключении обмоток; значительные массогабаритные показатели; высокая стоимость и сопутствующие эксплуатационные расходы.

Указанные недостатки многоскоростных электроприводов, в последнее время, переориентируют разработчиков тяговых устройств в сторону регулируемого электропривода с применением преобразователей электрической энергии и более простых по исполнению электродвигателей. При этом возникает вопрос в выборе мощности электродвигателя, который должен обеспечить необходимые характеристики при работе электропривода на различных скоростях.

Рассмотрим электропривод с механическими характеристиками, показанными на рис. 1. С целью сокращения коммутационного оборудования необходимо использовать одну из обмоток электродвигателя для ее подключения к преобразователю частоты (ПЧ). Очевидно, что работа электродвигателя на обмотках статора с характеристиками 1 и 3 не обеспечивает необходимый тяговый момент (характеристика 2).

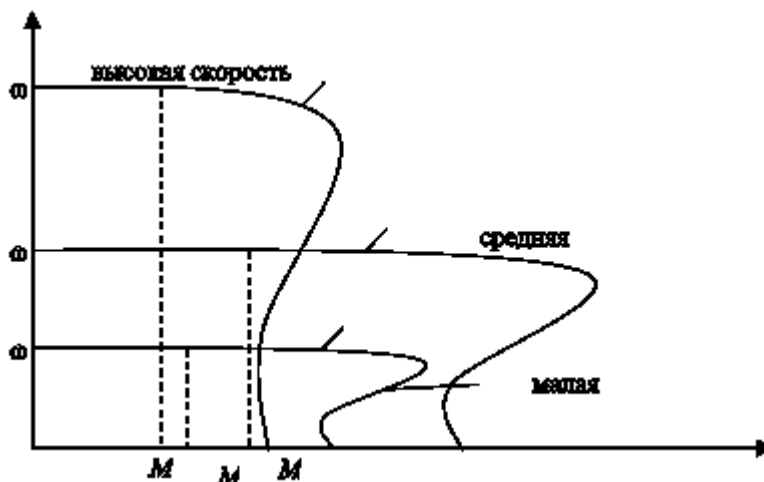


Рисунок 1 – Механические характеристики трехскоростного электродвигателя

Использование обмотки, обеспечивающей характеристику 2, позволяет получить скорости вращения механизма не выше средней. Повышение частоты с помощью ПЧ позволит увеличить скорость вращения электродвигателя. При постоянстве напряжения на статоре критический момент электродвигателя будет снижаться с ростом скорости вращения. При этом граничная характеристика и полный диапазон регулирования будут иметь вид, показанный на рис. 2, а. Максимальная скорость  $\omega_{\text{макс}}$ , которая может быть получена электродвигателя МАП, ограничена допустимой рабочей скоростью подшипников, составляющей около 2 крат номинальной скорости ( $\omega_{\text{ном2}}$ ) и жесткостью конструкции ротора.

В случае замены многоскоростного электродвигателя на (ЭДСИ) для получения номинальной скорости  $\omega_{\text{ном3}}$  механической характеристики 3 (при частоте напряжения  $f=50$  Гц) с номинальным моментом  $M_{\text{ном2}}$  (характеристика 2), мощность электродвигателя должна быть повышена. Это следует из:

$$P_{\text{ЭДСИ}} = M_{\text{ном2}} \cdot \omega_{\text{ном3}}, \quad (1)$$

где  $P_{\text{ЭДСИ}}$  – мощность электродвигателя ЭДСИ,  $M_{\text{ном}2}$  – номинальный момент двигателя при работе на обмотке средней скорости,  $\omega_{\text{ном}3}$  – номинальная скорость вращения электродвигателя при работе на обмотке высокой скорости.

Поскольку максимальная мощность электродвигателя МАП  $P_{\text{эд}2}$  определяется при работе на обмотке средней скорости  $\omega_{\text{ном}2}$ :

$$P_{\text{эд}2} = M_{\text{ном}2} \cdot \omega_{\text{ном}2}, \quad (2)$$

тогда кратность увеличения мощности ЭДСИ будет определяться из соотношения:

$$P_{\text{ЭДСИ}} / P_{\text{эд}2} = \omega_{\text{ном}3} / \omega_{\text{ном}2} \quad (\text{при } M_{\text{ном. ЭДСИ}} = M_{\text{ном}2}), \quad (3)$$

где  $M_{\text{ном. ЭДСИ}}$  – номинальный момент электродвигателя ЭДСИ.

Более перспективным вариантом, с точки зрения сокращения экономических затрат и снижения массогабаритных показателей, будет применение электродвигателя типа АДЧР с получением повышенных скоростей вращения за счет повышения частоты питающего напряжения.

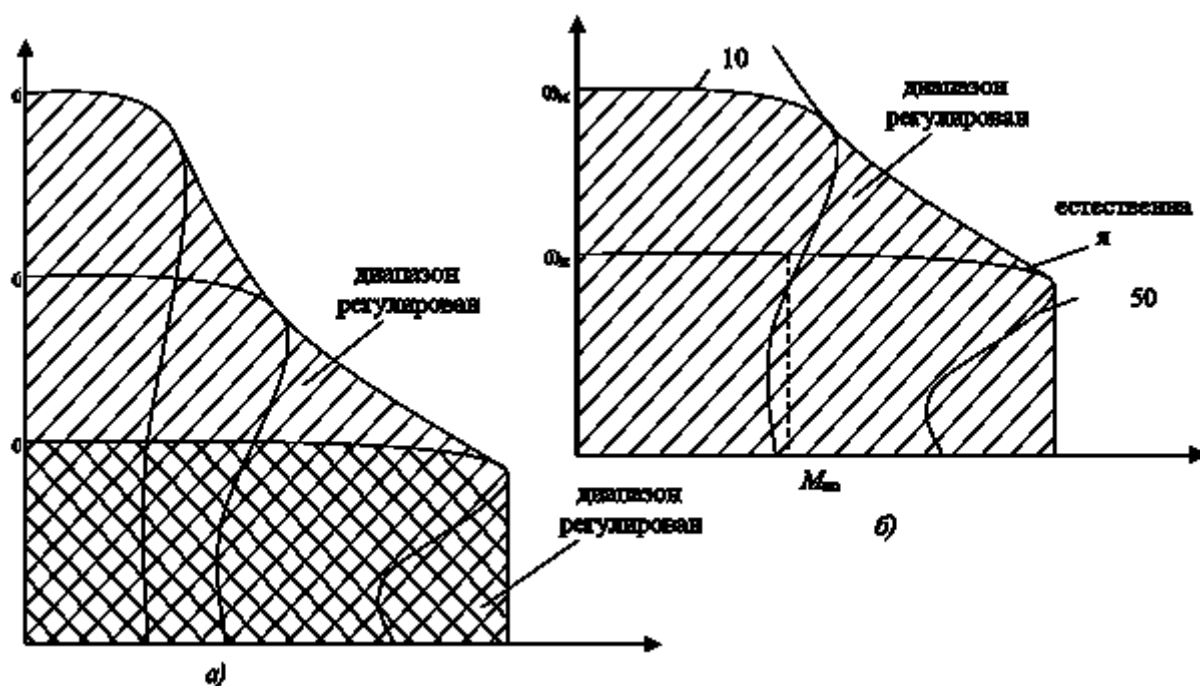


Рисунок 2: а) Механические характеристики и диапазоны при частотном регулировании для одной обмотки (средней скорости) электродвигателя на повышенной частоте напряжения и б) Механические характеристики электродвигателя типа АДЧР при двухзонном регулировании

На рис. 2, б показаны механические характеристики электродвигателя, где максимальный момент обеспечивается в первой зоне регулирования до естественной характеристики (50 Гц), а повышенная скорость при снижении критического момента (до 100 Гц), что обеспечит допустимое двукратное превышение скорости вращения. Кроме того, двухзонное регулирование, по сравнению с однозонным, позволит снизить мощность электродвигателя, поскольку работа привода на повышенных скоростях выполняется с моментами ниже номинального.

В режиме стоянки под током двигателя ЭДСИ при частотном регулировании, при условии векторного управления, возможно ограничение момента, на уровне пускового. При этом на статоре будет сформировано пониженное напряжение низкой частоты, а ток, при условии постоянства магнитного потока, не будет превышать значение в два раза выше номинального. Из-за ухудшения вентиляции на малых скоростях необходима установка внешнего вентилятора, имеющего независимое электропитание [2 – 4].

Для полной оценки электроприводов судовых лебедок был проведен сравнительный анализ массогабаритных и стоимостных показателей [2, 5, 6]. На рис. 5, а) приведены кривые изменения показателей габаритных размеров электродвигателей серии МАП и АДЧР в отношении к размерам ЭДСИ для судовых палубных механизмов в зависимости от мощности электродвигателей.

Исследования показали, что чем больше разница скоростей вращения тяговой характеристики и характеристики с высокой скоростью, тем ближе массогабаритные показатели. Причем, при определенном соотношении скоростей массогабаритные показатели ЭДСИ становятся больше, чем у МАП. Кроме того, при мощности электропривода близкой к 35 кВт наблюдается наибольшее значение относительной разности показателей с последующим снижением из-за увеличения массы дополнительного навесного оборудования (электромагнитный тормоз, внешний вентилятор) по сравнению с показателями ЭДСИ. Разница показателей ЭДСИ и АДЧР менее существенна, так как связана преимущественно с исполнением изоляции.

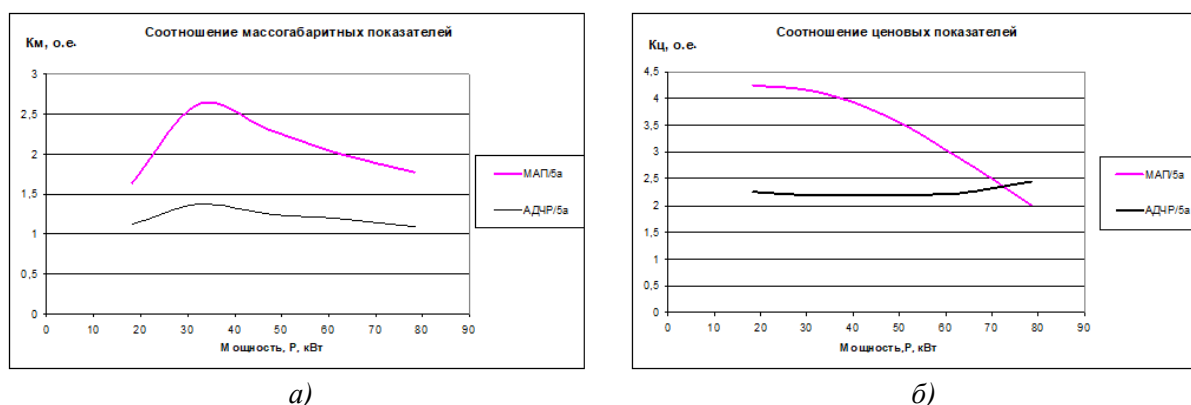


Рисунок 5 – Зависимость изменения соотношений массогабаритных показателей а) и стоимостных показателей б) от мощности ЭДСИ, типа АДЧР и МАП

При оценке стоимостных показателей рис. 5, б) было определено, что относительная стоимость двигателей серии МАП снижается при увеличении мощности электропривода, так как возрастают затраты на дополнительное навесное электрооборудование, устанавливаемое на ЭДСИ. Те же причины ведут к увеличению относительной стоимости ЭП с АДЧР.

Исходя из анализа, можно сделать вывод, что наиболее оптимальным вариантом для электропривода палубных механизмов будет электродвигатель, рассчитанный по номинальному моменту естественной характеристики с двухзонным регулированием скорости. Ограничением максимальной рабочей скорости вращения электродвигателя является допустимая скорость подшипников.

Известно, что импульсное напряжение отрицательно влияет на параметры изоляции статорной обмотки, сокращая срок службы электродвигателя в целом. Граничные значения напряжений в зависимости от частоты импульсов указаны в ГОСТ ИЕС 60034-25 [7]. Повышенная частота напряжения на обмотке статора (до 100 Гц) для работы во второй зоне скоростей вращения электродвигателя будет усугублять это влияние. Однако, учитывая периодичность использования якорно-швартовых механизмов и общую наработку электродвигателя при частоте напряжения выше 50 Гц, можно сделать вывод о правильности предположения снижения мощности электродвигателя при частотном двухзонном регулировании.

### Список литературы:

1. Савенко А.Е. Судовые электроприводы: учеб. пособие / А.Е. Савенко; ФГБОУ ВО «Керченский государственный морской технологический университет». – Керчь, 2019. – 220 с.
2. Каталог ООО «Русэлпром. Электрические Машины». – URL: <https://www.ruselprom.ru/support/informatsionnye-materialy/tekhnicheskaya-dokumentatsiya/> (дата обращения: 20.05.2024)
3. Рудаков, В.В. и др. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / В.В. Рудаков, И.М. Столяров, В.А. Дартау. – Л.: Энергоатомиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. – 136 с.: ил.
4. Эпштейн И. И. Э73 Автоматизированный электропривод переменного тока. — М.: Энергоиздат, 1982. – 192 с., ил.
5. Каталог ООО «Соптех». – URL: <https://sopteh.ru/catalog/> (дата обращения: 20.05.2024)
6. Каталог ООО «Элдин». – URL: <https://eldin.ru/catalog/electromotors.php> (дата обращения: 20.05.2024)
7. ГОСТ ИЕС 60034-25. – URL: [https://rosgosts.ru/29/160/gost\\_iec!ts\\_60034-25-2017](https://rosgosts.ru/29/160/gost_iec!ts_60034-25-2017) (дата обращения: 20.05.2024)

