



МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

А. Ю. ГРЕШНОВ, О. Ю. КІМСТАЧ

РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЯКІРНО-ШВАРТОВНОГО ПРИСТРОЮ

Методичні вказівки
до розрахунку курсового проєкту з дисципліни
«Основи електропривода»

Рекомендовано Методичною радою НУК



ВИДАВНИЦТВО
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ
КОРАБЛЕБУДУВАННЯ
ІМ. АДМІРАЛА МАКАРОВА

2026

УДК 621.313.33(076)

Г79

Автори:

А. Ю. Грешнов, доцент кафедри морського приладобудування;

О. Ю. Кімстач, канд. техн. наук, доцент кафедри суднових електроенергетичних систем

Рецензенти:

Д. Л. Кошкін, канд. техн. наук, доцент, директор Інституту післядипломної освіти Миколаївського національного аграрного університету;

І. С. Білюк, канд. техн. наук, доцент, зав. кафедри автоматики Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова

Рекомендовано Методичною радою НУК

Грешнов А. Ю.

Г79 Розрахунок електропривода якірно-швартовного пристрою : методичні вказівки до розрахунку курсового проєкту з дисципліни «Основи електропривода» / А. Ю. Грешнов, О. Ю. Кімстач. – Миколаїв : НУК, 2026. – 70 с.

Наведені теоретичні відомості та рекомендації щодо розрахунку електропривода, котрий складається з електричного двигуна змінного струму, системи керування електроприводом та механічної системи.

Призначені для виконання розрахунків з курсового проєкту за дисципліною «Основи електропривода» здобувачами фахової передвищої освіти за спеціальністю ГЗ «Електрична інженерія».

УДК 621.313.33(076)

© А. Ю. Грешнов, О. Ю. Кімстач, 2026

© Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова, 2026

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
§ 1. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ.....	8
1.1. Мета курсового проєкту.....	8
1.2. Обсяг і зміст проєкту.....	8
§ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ.....	10
2.1. Загальні теоретичні відомості про ЯШП.....	10
2.2. Призначення та особливості роботи ЯШП.....	11
2.3. Вимоги до електроприводів ЯШП.....	14
2.4. Типи електроприводів ЯШП.....	15
§ 3. РОЗРАХУНОК ЯШП.....	17
3.1. Вихідні дані.....	17
3.2. Вибір основних параметрів ЯШП.....	18
3.3. Визначення зовнішніх зусиль, які діють на судно при зніманні з якоря.....	20
3.4. Визначення потужності електродвигуна ЯШП.....	22
3.5. Вибір електродвигуна ЯШП.....	23
3.6. Визначення необхідного передаточного відношення.....	25
3.7. Вибір електромагнітного гальма.....	25
3.8. Розрахунок та побудова механічних характеристик електродвигуна ЯШП при роботі на обмотках різної швидкості.....	27
3.9. Побудова навантажувальної діаграми електродвигуна ЯШП.....	36

3.9.1. Визначення зусиль, прикладених до ланцюгової зірочки на кожній стадії.....	37
3.9.2. Визначення моментів на валу двигуна на всіх стадіях знімання судна з якоря.....	39
3.9.3. Визначення часу роботи двигуна на окремих стадіях знімання судна з якоря.....	40
3.10. Перевірка електродвигуна на тривалість знімання судна з якоря.....	43
3.11. Перевірка електродвигуна на нагрів.....	43
3.12. Перевірка електродвигуна на забезпечення необхідних значень швидкості підйому якоря.....	45
3.13. Перевірка електродвигуна на забезпечення необхідного пускового моменту.....	47
3.14. Перевірка вибраного електродвигуна на забезпечення необхідних швидкостей швартування.....	48
3.15. Визначення довжини ланцюга, підйом якого може бути забезпечений електродвигуном.....	50
3.16. Визначення зусиль, які виникають при зупинці електродвигуна під струмом.....	51
§ 4. ВИБІР СХЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЯШП.....	53
4.1. Загальні положення.....	53
4.2. Контактна схема електропривода змінного струму ЯШП.....	55
РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА.....	60
ДОДАТКИ.....	61
Додаток А.....	61
Додаток Б.....	64
Додаток В.....	66
Додаток Д.....	68

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АД – асинхронний двигун

ЕД – електричний двигун

ЕП – електропривод

ПЗ – пояснювальна записка

СКЕП – схема керування електроприводом

ЯШП – якірно-швартовний пристрій

ВСТУП

Сучасні судна характеризуються високим рівнем автоматизації та електрифікації суднових механізмів і пристроїв, що забезпечує більш ефективне керування технологічними процесами на судах.

На кожному судні обов'язково є якірно-швартовний пристрій (ЯШП), який забезпечує виконання швартовних операцій та надійну стоянку судна на рейді портів.

Проектування ЯШП є типовим та показовим завдяки його складу: механічній, електромеханічній та керуючій частинам, що надає можливості набуті повноцінних навичок проектування суднових електроприводів (ЕП). Так розрахунок механічної частини формує та закріплює знання в межах теоретичної та прикладної механіки. Проектування або вибір елементів електромеханічної частини надає можливість закріпити навички у сфері електричних машин. Знання зі схемотехніки та автоматичного керування закріплюються та розвиваються за допомогою етапу проектування схеми керування електроприводом.

Сьогодні проектування виконується із використанням комп'ютерних технологій, котрі з одного боку дозволяють значно спростити різні етапи проектування суднових електроприводів, а з іншого боку допомагають розвивати навички сучасного проектування.

§ 1. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЄКТУ

1.1. Мета курсового проєкту

Метою виконання курсового проєкту є закріплення здобувачами освіти отриманих знань та набуття практичних навичок з проєктування суднових електроприводів.

У результаті виконання курсового проєкту здобувач освіти повинен вміти: виконати розрахунок необхідної потужності і вибрати за каталогом електродвигун (ЕД); побудувати навантажувальну характеристику електропривода (ЕП); розробити або обрати принципову схему керування електроприводом (СКЕП); побудувати механічну характеристику електродвигуна; провести перевірку електропривода на нагрів і відповідність вимогам Регістру.

1.2. Обсяг і зміст проєкту

Проективання ЕП звичайно виконується у три стадії:

- проєктне завдання;
- технічний проєкт;
- робочі (монтажні) креслення.

Проект складається з пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини. Обсяг ПЗ встановлено у межах 15...30 сторінок, враховуючи всі розділи даних методичних вказівок, а зміст має містити наступні розділи та підрозділи:

- Титульний аркуш: «Електропривод суднового якірнo-швартовного пристрою судна». Пояснювальна записка до курсового проєкту;

- Завдання до курсового проєкту;
- Зміст;
- Перелік умовних позначень;
- Вступ;
- Загальна частина;
- Розрахункова частина;
- Вибір та обґрунтування схеми керування електродвигуном ЯШП;
- Висновки;
- Перелік джерел посилання;
- Додатки (якщо потрібно).

Залежно від об'єкта проєктування та характеру розробок обсяг графічних робіт може становити 2...3 аркуші формату А3 (А4).

У вступі здобувач освіти має обґрунтувати актуальність свого курсового проєкту та його спеціальної частини, особливості їх розробки, відбити такі питання:

- сфера застосування та важливість об'єкта проєктування;
- цілі та задачі проєктування об'єкта, вимоги до об'єкта для забезпечення його ефективної роботи;
- коротка анотація змісту проєкту.

Питання для самоконтролю

1. Що є метою курсового проєктування?
2. З яких стадій складається виконання курсового проєкту?
3. З чого за змістом складається курсовий проєкт?
4. Які питання висвітлюються у вступі до курсового проєкту?

§ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ВІДОМОСТІ

2.1. Загальні теоретичні відомості про ЯШП

Якірно-швартовні пристрої призначені для віддачі і вибирання якорів, а також для виконання швартовних операцій. Вони складаються з якорів, якірних ланцюгів, якірно-швартовних лебідок, одного або двох ЕД, апаратури керування.

Якірно-швартовні механізми поділяються на дві основні групи:

- якірно-швартовні та якірні шпилі, які мають вертикальне розташування вантажного валу й одну зірочку;
- брашпилі, які мають горизонтальне розташування вантажного валу і дві зірочки.

Якірно-швартовні шпилі поділяються:

- за швидкістю вибирання якірного ланцюга – на нормальні і з підвищеною швидкістю;
- за конструктивними ознаками – на однопалубні (ланцюгова зірочка, механізм і двигун розміщені на одній палубі) і двопалубні (ланцюгова зірочка і швартовний барабан розміщені на одній палубі, механізм і двигун – на іншій); двопалубні якірно-швартовні шпилі можуть бути одинарними (з індивідуальним приводом) і з'єднаними, пов'язаними спільним редуктором.

Якірні шпилі зазвичай виконуються з'єднаними. Калібр їх ланцюгів буває більше 72 мм.

На цивільних судах різного призначення для виконання якірних і швартовних операцій застосовуються брашпилі.

На відміну від шпилів брашпилі мають горизонтальне розташування на палубі в носовій частині судна (на баку).

Брашпилі за швидкістю та конструкцією поділяються на нормальні й полегшені. Перші використовуються на судах морського флоту, другі – на судах річкового й озерного флоту, де застосовуються короткі ланцюги.

Брашпиль (рис. 2.1) складається з двигуна (1), редуктора (4) і розміщених на вантажному валу ланцюгових зірочок (2) і швартовних турок (3). Зірочки сидять на валу вільно, можуть з'єднуватися з ним за допомогою спеціальних кулачкових муфт. Турки мають жорсткий зв'язок з вантажним валом. Кожна зірочка має стрічкове гальмо (5) з гвинтовим приводом. Брашпиль забезпечує розподільну роботу зірочок лівого і правого борту. Є також електромагнітне гальмо (6).

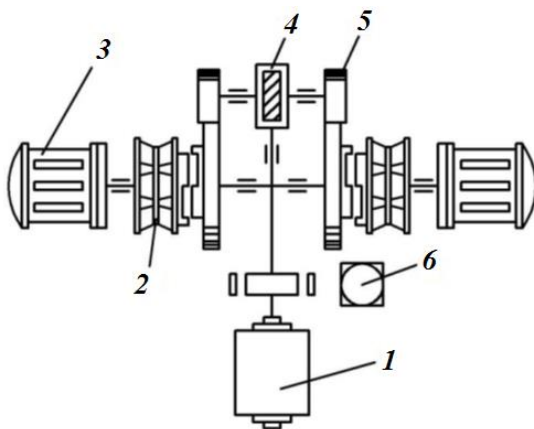


Рис. 2.1. Кінематична схема механізму брашпиля

Віддача якоря забезпечується дією його власної ваги. Вибірання якоря виконується електроприводом з місцевого поста керування.

2.2. Призначення та особливості роботи ЯШП

Якірно-швартовні пристрої є одним з найбільш важливих суднових пристроїв, котрі забезпечують безпеку експлуатації судна. Шпильові та брашпильові пристрої призначені для вибирання і спуску якорів, для виконання швартовних та інших операцій. Робота кожного шпильового та брашпильового електропривода визначається величиною тягового зусилля, швидкістю вибирання якірного ланцюга або швартовного троса, тривалістю робочого періоду.

За допомогою якірно-швартовних механізмів виконуються наступні основні операції:

- віддача якоря (за допомогою електропривода, вільним травленням і вільним травленням з підгальмуванням гальмом зірочки);
- стоянка на якорі на гальмі ланцюгової зірочки;
- знімання з якоря: підтягування судна до якоря, відрив і підйом якоря, втягування якоря в клюз;
- одночасний підйом двох якорів (тільки для брашпильових) з половини розрахункової глибини стоянки при неодноразовому їх відриві від ґрунту;
- забезпечення швартування судна при віджимному вітрові 5 балів.

Всі ЯШП повинні забезпечувати дві швидкості в режимі знімання з якоря: номінальну і швидкість підтягування якоря до клюза.

Номінальна швидкість підйому якоря для транспортних, пасажирських і рибальських суден необмеженого району плавання повинна бути не менше 10 м/хв (0,17 м/с). Швидкість підтягування якоря до клюза – не більше 0,17 м/с.

При виконанні швартовних операцій ЯШП повинні забезпечувати три швидкості:

- номінальну (при номінальному зусиллі швартування) – не більше 18 м/хв (0,3 м/с);
- найбільшу (швидкість вибирання ненавантаженого швартовного каната із зусиллям 0,2 номінального зусилля швартування) – 24...40 м/хв (0,4...0,67 м/с);
- малу (швидкість швартування із зусиллям 0,75 номінального зусилля швартування) – не більше 9 м/хв (0,15 м/с).

Для ЯШП з калібром ланцюга менше 37 мм мала швидкість швартування не потрібна.

ЯШП повинні забезпечувати вибирання швартовного каната в наступних режимах:

- у номінальному (з номінальним тяговим зусиллям на швартовному барабані і номінальною швидкістю) протягом 30 хв;
- у режимі роботи з малою швидкістю (для механізмів, які мають малу швидкість вибирання швартовного канату) протягом 3...5 хв;
- у режимі роботи з найбільшою швидкістю (при виборі ненавантаженого каната) протягом 10 хв.

ЕД ЯШП повинен:

- розвивати на основній робочій характеристиці, яка використовується у номінальному режимі роботи механізму, пусковий момент (для ЕД змінного струму каталожне значення пускового моменту), котрий створює на ланцюговій зірочці тягове зусилля не менше двократного номінального і не більше половини випробного навантаження даного якірного ланцюга. Якщо пусковий момент ЕД створює на зірочці зусилля, яке перевищує половину випробного навантаження якірного ланцюга, тоді має бути передбачений захисний пристрій, що розраховано на половину випробного навантаження (муфта граничного моменту);

- допускати стоянку під струмом протягом 30...60 с після роботи в номінальному режимі.

Характерними особливостями електроприводів ЯШП є:

- короткочасний режим роботи (20...40 хв); стандартна тривалість одного циклу прийнята рівною 30 хв;

- широка зміна навантаження на валу ЕД (30...200 % номінального);

- можливість стоянки ЕД під струмом (0,5...1,0 хв);

- часті пуски ЕД (до 120 пусків і зупинок протягом години) і можливі реверси;

- сумарна тривалість включення ЕД ЯШП за добу 40...50 хв;

- необхідність саморегулювання частоти обертання ЕД при зміні моменту опору на його валу.

2.3. Вимоги до електроприводів ЯШП

До електроприводів ЯШП пред'являються наступні вимоги:

- можливість їх використання при заданих умовах погоди і моря;

- надійність і безвідмовність роботи, зокрема при коливаннях параметрів живильної мережі у межах, які встановлені відповідними правилами і нормами;

- можливість пуску в хід під повним навантаженням;

- підтримання необхідного тягового зусилля при малих швидкостях вибирання ланцюга або троса аж до повної зупинки;

- узгодженість максимального зусилля тяги, яке розвивається ЕД, з міцністю ланцюга або троса;

- отримання нормованих швидкостей підйому якоря після відриву від ґрунту, вибирання і втягування якоря в кліз;

- здатність утримання якоря в разі втрати електропостачання;
- забезпечення безпечного спуску якоря на задану глибину;
- невеликі маса, габарити і вартість ЯШП;
- зручність і простота керування та обслуговування.

Всі ЯШП зазвичай випускаються з електрообладнанням морського виконання змінного струму 380 і 220 В частотою 50 Гц і постійного струму 220 В.

Електродвигуни, командо-контролери, кулачкові контролери та інші елементи електрообладнання, які встановлюються на палубі, повинні бути водо-захищеного виконання. Магнітні контролери, які встановлюються в приміщеннях, повинні бути брызко-захищеного виконання.

ЯШП повинні допускати можливість обладнання їх пристроями для дистанційної (з містка) віддачі якоря. Вони також повинні бути забезпечені лічильниками довжини витравленого якірного ланцюга, котрі допускають встановлення дистанційних повторювачів.

ЯШП обладнуються автоматичним гальмом на валу ЕД з пристроєм для ручного розгальмовування. Гальмо призначене для утримування ЯШП від розвороту при дії в ланцюзі на зірочці (з'єднаної з приводом) статичного зусилля ззовні, величина якого становить не менше 1,3...2,0 номінального. Для швартовних шпилів це зусилля становить 1,5 номінального тягового зусилля шпиля.

2.4. Типи електроприводів ЯШП

Для ЯШП рекомендуються три основні групи електроприводів:

- з двигунами постійного струму, які живляться від мережі;

- з двигунами змінного струму, які живляться від мережі;
- з двигунами постійного струму, які живляться від автономних перетворювачів – електромашинних (системи Г-Д) або статичних.

Для двох перших груп застосовуються силові кулачкові контролери або магнітні контролери з дистанційним керуванням. Група електроприводів за системою Г-Д має звичайно дистанційне керування.

Всі три групи електроприводів можуть мати один або два приводних ЕД. Приводи з двома ЕД застосовуються тільки для великих ЯШП з калібром ланцюга понад 62 мм.

На постійному струмі використовуються ЕД змішаного збудження серії ДПМ, характеристики яких спеціально підібрані виходячи з вимог, пропонованих до ЕП палубних механізмів.

З двигунів змінного струму переважно застосовуються короткозамкнені асинхронні двигуни (АД). Для нормальних якірно-швартовних шпилів з калібром ланцюга до 28 мм, усіх полегшених механізмів і швартовних шпилів з тяговим зусиллям до 29430 Н рекомендуються двошвидкісні двигуни; для всіх інших механізмів доцільне використання тришвидкісних двигунів. У вітчизняній серії МАП передбачені двошвидкісні двигуни на потужність 2...10 кВт і тришвидкісні – на потужність 10...60 кВт.

Питання для самоконтролю

1. Для чого застосовуються ЯШП?
2. З чого складаються ЯШП?
3. У чому різниця між брашпилем та шпилем?
4. Які операції виконуються за допомогою ЯШП?
5. Які існують вимоги до ЯШП?
6. Які типи електродвигунів застосовуються в ЯШП?

§ 3. РОЗРАХУНОК ЯШП

3.1. Вихідні дані

При проєктуванні електропривода ЯШП необхідно мати вихідні дані, приклад яких наведено у табл. 3.1.

Таблиця 3.1. Вихідні дані для проєктування (приклад)

Найменування	Позначення	Значення
Тип судна		контейнеровоз
Водотоннажність	D	6480 т
Довжина судна між перпендикулярами	L	117 м
Найбільша ширина судна	B	16,4 м
Висота борту	H	7,5
Осадка судна	T	5,5
Глибина якірної стоянки	h	100 м
Довжина надбудови	l_1 і l_2	30 м, 20 м
Ширина надбудови	b	16,4 м
Висота надбудови	$h_{\text{над1}}$ і $h_{\text{над2}}$	8 м, 3 м
Швидкість підйому якоря	V_a	12 м/хв = 0,2 м/с
Швидкість швартування		
– номінальна	$V_{\text{шн}}$	18 м/хв
– мала	$V_{\text{шн min}}$	8 м/хв
– найбільша	$V_{\text{шн max}}$	30 м/хв
ККД механізму	η	0,8 обирається з діапазону (0,75...0,85)
Коефіцієнт тертя ланцюга обклюд	$k_{\text{кл}}$	0,77
Швидкість втягування якоря в клюз	$V_{\text{кл}}$	6 м/хв

3.2. Вибір основних параметрів ЯШП

Кількість і вага станових якорів і ланцюгів визначаються за таблицею норм постачання суден якорями (додаток А) залежно від характеристики якірного постачання N_a , яка виражається формулою, м²:

$$N_a = L (B + H) + S, \quad (3.1)$$

де S – поправка на надбудови і рубки, м², яка визначається, використовуючи такі залежності:

– при надбудовах (бак, ют, середня надбудова), які доходять до бортів:

$$S = 0,75 \sum_{k=1}^m l_k h_{\text{над}k} ;$$

– при надбудовах, які не досягають бортів, але перевищують половину ширини судна на міделі:

$$S = 0,5 \sum_{k=1}^m l_k h_{\text{над}k} ,$$

де l_k і $h_{\text{над}k}$ – довжина і висота k -ої надбудови відповідно, м.

Приклад розрахунку. Характеристика якірного постачання за (3.1):

$$N_a = L (B + H) + S = 117 \cdot (16,4 + 7,5) + 225 = 2796 \text{ м}^2,$$

де при надбудовах, що доходять до бортів:

$$S = 0,75 \sum_{k=1}^m l_k h_{\text{над}k} = 0,75 \cdot (30 \cdot 8 + 20 \cdot 3) = 225 \text{ м}^2,$$

де l_k і $h_{\text{над}k}$ взяті з конструктивних даних судна.

З таблиці А.1 (дод. А) визначається кількість станових якорів. З цієї таблиці також визначаються калібр якірного ланцюга та маса погонного метра ланцюга $P_{\text{лан}}$.

Приклад розрахунку.

Кількість станових якорів $n_a = 3$ од.

Загальна вага $P_a = m_a \cdot g = 7500 \cdot 9,81 = 73,6$ кН.

Загальна довжина двох ланцюгів $L_{\text{л}} = 500$ м.

Калібр ланцюга підвищеної міцності – 46 мм.

Вага 1 м ланцюга $P_{\text{лан}} = m_{\text{лан}} \cdot g = 45,4 \cdot 9,81 = 445$ Н/м.

Відповідно до таблиці Б.1 (дод. Б) для нормалізованих ЯШП для обраного калібру ланцюга визначається пробне навантаження ланцюга $F_{\text{пр}}$, діаметр ланцюгової зірочки $D_{\text{зір}}$, діаметри швартовного барабана для визначення швидкості $D_{\text{ш}}$ і для визначення моменту $D_{\text{м}}$, а також номінальне тягове зусилля швартування $F_{\text{ш}}$.

Приклад розрахунку.

Пробне навантаження ланцюга $F_{\text{пр}} = 840$ кН.

Діаметр ланцюгової зірочки, $D_{\text{зір}} = 0,585$ м.

Діаметр швартовного барабана для визначення швидкості, $D_{\text{ш}} = 0,525$ м.

Діаметр швартовного барабана для визначення моментів, $D_{\text{м}} = 0,565$ м.

Номінальне тягове зусилля швартування, $F_{\text{ш}} = 80$ кН.

3.3. Визначення зовнішніх зусиль, які діють на судно при зніманні з якоря

Для безпечної стоянки судна на морі потрібно, щоб на якір не діяли сили, що відривають його від ґрунту. Для цього необхідно, щоб деяка частина ланцюга вільно лежала на ґрунті. При цьому значення сили тримання якірного пристрою буде найбільшим.

Для розрахунку якірних пристроїв припускається, що зовнішні сили вітру F_v , течії F_t і сили, обумовлені швидкістю підтягування судна при зніманні його з якоря, збігаються за напрямком, Н:

$$F = F_v + F_t. \quad (3.2)$$

Сила вітру, Н:

$$F_v = 9,81 k_v S_{\text{пар}} V_v^2, \quad (3.3)$$

де $k_v = 0,196 \text{ Н} \cdot \text{с}^2/\text{м}^4$ – коефіцієнт вітрового тиску; $V_v = 5 \dots 12 \text{ м/с}$ – швидкість вітру; $S_{\text{пар}}$ – парусна поверхня судна, м^2 , яка визначається за формулою:

$$S_{\text{пар}} = 0,27B \cdot (H - T) + \Sigma b h_{\text{над}}, \quad (3.4)$$

де B , H , T – головні розміри судна, м; b , $h_{\text{над}}$ – ширина і висота надбудов, м.

Сила течії за формулою Фруда, Н:

$$F_t = 9,81 f_{\text{тр}} S_{\text{зм}} V_0^{1,83}, \quad (3.5)$$

де $f_{\text{тр}} = 0,14$ – коефіцієнт тертя судна об воду; V_0 – швидкість руху води відносна судна, м/с; визначається як сума швидкостей течії і судна при підтягуванні:

$$V_0 = V_t + V_{\text{пт}}, \quad (3.6)$$

де $V_{\text{пт}} = 0,1 \dots 0,3$ м/с абсолютна швидкість підтягування судна до місця положення якоря; $V_{\text{т}} = 1 \dots 3$ м/с швидкість течії води; $S_{\text{зм}}$ – змочена поверхня корпусу судна, м²; яка визначається за формулою В. А. Семєки:

$$S_{\text{зм}} = [2T + 1,37(\delta_{\text{п}} - 0,274)B] \cdot L, \quad (3.7)$$

де $\delta_{\text{п}}$ – коефіцієнт повноти водотоннажності судна, м³/кг:

$$\delta_{\text{п}} = \frac{D}{\rho L B T}, \quad (3.8)$$

де D – водотоннажність, м³; $\rho = 1025$ кг/м³ – питома вага морської води.

Приклад розрахунку.

Згідно з формулами (3.2)–(3.8) виконується розрахунок:

$$F = F_{\text{в}} + F_{\text{т}} = 36340 + 12450 = 48790 \text{ Н} = 48,8 \text{ кН.}$$

$$F_{\text{в}} = 9,81 k_{\text{в}} S_{\text{пар}} V_{\text{в}}^2 = 9,81 \cdot 0,196 \cdot 189 \cdot 10^2 = 36340 \text{ Н,}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{пар}} &= 0,27B \cdot (H - T) + \Sigma b h_{\text{над}} = \\ &= 0,27 \cdot 16,4 \cdot (7,5 - 5,5) + 16,4 \cdot (8 + 3) = 189 \text{ м}^2, \end{aligned}$$

$$F_{\text{т}} = 9,81 f_{\text{тр}} S_{\text{зм}} V_0^{1,83} = 9,81 \cdot 0,14 \cdot 2141 \cdot 2,2^{1,83} = 12450 \text{ Н,}$$

$$V_0 = V_{\text{т}} + V_{\text{пт}} = 0,2 + 2 = 2,2 \text{ м/с,}$$

$$\delta_{\text{п}} = \frac{D}{\rho L B T} = \frac{6480 \cdot 10^3}{1025 \cdot 117 \cdot 16,4 \cdot 5,5} = 0,599 \text{ м}^3/\text{кг,}$$

$$\begin{aligned} S_{\text{зм}} &= [2T + 1,37(\delta_{\text{п}} - 0,274)B] \cdot L = \\ &= [2 \cdot 5,5 + 1,37(0,599 - 0,274) \cdot 16,4] \cdot 117 = 2141 \text{ м}^2. \end{aligned}$$

3.4. Визначення потужності електродвигуна ЯШП

Найбільш важким та відповідальним режимом роботи ЯШП є режим знімання судна з якоря. Тому при визначенні потужності електродвигуна береться саме цей режим. Вибраний двигун далі перевіряється на забезпечення режиму швартування.

На підставі наведеного нижче розрахунку двигун вибирається попередньо. Для остаточного вибору необхідно перевірити двигун на забезпечення заданої тривалості знімання судна з якоря, на нагрів, а також на ряд інших вимог.

Потужність двигуна ЯШП визначається як, кВт:

$$P = \frac{b_p F_a V_a}{\eta} \cdot 10^{-3}, \quad (3.9)$$

де b_p – розрахунковий коефіцієнт, значення якого коливається у межах 0,6...0,9. Чисельне значення коефіцієнта в залежності від ряду факторів (сила вітру, швидкість течії, довжина ланцюгів, маса якоря та інше) і не піддається точному визначенню. Рекомендується вибирати значення цього коефіцієнта тим більше, чим більше відношення довжини ланцюга l до глибини якірної стоянки h . Середнє значення коефіцієнта $b_p = 0,75$ відповідає приблизно відношенню $l / h = 2$; V_a – швидкість підйому якоря, м/с; η – ККД механізму; F_a – зусилля на колі ланцюгової зірочки ЯШП, яке створюється на початку відривання якоря від ґрунту, Н:

$$F_a = \frac{Q_a + P_{\text{лан}} h}{k_{\text{кл}}} \cdot \frac{\gamma - \rho}{\gamma}, \quad (3.10)$$

де Q_a – вага якоря, Н; h – глибина якірної стоянки, м; $P_{\text{лан}}$ – вага погонного метра ланцюга, Н/м; γ – питома вага матеріалу ланцюга, Н/м³; ρ – питома маса морської води, кг/м³; $k_{\text{кл}}$ – коефіцієнт, котрий враховує тертя ланцюга об кліз.

Приклад розрахунку.

Розрахунок проводиться згідно з формулами (3.9) та (3.10).

Зусилля на колі ланцюгової зірочки ЯШП, яке створюється на початку відривання якоря від ґрунту:

$$F_a = \frac{Q_a + P_{\text{лан}} h}{k_{\text{кл}}} \cdot \frac{\gamma - g\rho}{\gamma} = \frac{24525 + 445 \cdot 100}{0,77} \cdot \frac{76,4 \cdot 10^3 - 9,81 \cdot 1025}{76,4 \cdot 10^3} = 77,8 \text{ кН},$$

де $Q_a = 24525 \text{ Н}$; $h = 100 \text{ м}$; $P_{\text{лан}} = 445 \text{ Н/м}$; $\gamma = 76,4 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^3$; $\rho = 1025 \text{ кг/м}^3$; $k_{\text{кл}} = 0,77$.

Потужність двигуна ЯШП:

$$P = \frac{b_p F_a V_a}{\eta} \cdot 10^{-3} = \frac{0,75 \cdot 77,8 \cdot 10^4 \cdot 0,2}{0,8} \cdot 10^{-3} = 14,6 \text{ кВт},$$

де $b_p = 0,75$; $V_a = 12 \text{ м/хв} = 0,2 \text{ м/с}$; $\eta = 0,8$.

3.5. Вибір електродвигуна ЯШП

Електротехнічна промисловість виготовляє на змінному струмі багатошвидкісні короткозамкнені асинхронні електродвигуни водозахисного виконання серії МАП, які призначені для приводів палубних механізмів і розраховані для динамічних режимів роботи.

Двигуни серії МАП, які використовуються для ЯШП, є спеціалізованими і задовольняють таким вимогам, як врахування необхідного часу роботи при малих швидкостях, значні коливання навантаження та ін.

У залежності від призначення двигуни серії МАП випускаються або з дисковими гальмами типу ТМТ, або без них.

Враховуючи важкі умови роботи палубних двигунів, у всіх двигунах серії МАП використовується термостійка ізоляція класу Н, спроможність якої до термічних переважань забезпечує надійну роботу електропривода у важких експлуатаційних режимах.

Технічні дані електродвигунів серії МАП наведені у дод. В.

Разом з електродвигунами змінного струму інколи для приводів ЯШП використовують також і двигуни постійного струму. Двигуни серії ДМП, які випускаються для цього, характеризуються великою переважувальною спроможністю, високою механічною міцністю.

Приклад розрахунку.

Відповідно до рекомендацій щодо швидкостей вибирання і травлення якірного ланцюга і вибирання швартовного канату, для ЯШП І групи 7 моделі (калібр ланцюга 46 мм) вибирається електродвигун серії МАП для ЯШП (табл. 3.2).

Таблиця 3.2. Технічні характеристики тришвидкісного асинхронного електродвигуна серії МАП для короткочасного режиму роботи МАП621-4/8/16

Кількість полюсів	Потужність, кВт	Режим роботи, хв	Частота обертання, об/хв	Лінійний струм, А	$\cos\phi$	Максим. момент, Н·м	Пусковий момент, Н·м	Пусковий струм, А
				380 В				380 В
4	36	30	1420	73	0,90	800	630	510
8	25	30	675	62,5	0,76	800	750	240
16	8	10	320	41,5	0,5	550	550	90

3.6. Визначення необхідного передаточного відношення

Передаточне відношення механізму вибирається у залежності від режиму знімання з якоря, а також перевіряється на необхідну швидкість швартування.

Передаточне відношення визначається з виразу:

$$i \leq \frac{\pi D_{\text{зір}} n_{\text{н}}}{V_a}, \quad (3.11)$$

де $D_{\text{зір}}$ – діаметр ланцюгової зірочки, м; $n_{\text{н}}$ – номінальна частота обертання двигуна при кількості полюсів, котра призначена для роботи в режимі підйому якоря, об/хв; V_a – указана в завданні на курсове проєктування швидкість підйому якоря, м/хв.

Приклад розрахунку.

На судні (контейнеровозі) встановлюється якірно-швартовний механізм типу брашпиль. Його передавальне відношення визначається за формулою (3.11):

$$i \leq \frac{\pi D_{\text{зір}} n_{\text{н}}}{V_a} = \frac{\pi \cdot 0,585 \cdot 675}{12} = 103,4.$$

Приймається $i = 103$.

3.7. Вибір електромагнітного гальма

Відповідно до вимог якірні механізми повинні мати автоматичне нормально замкнене гальмо на валу електродвигуна з пристроєм для ручного розгальмування.

Гальмо має утримувати механізм від обертання при дії у ланцюгу на зірочці статичного зусилля, величина якого не менше 1,6 номінального. Номінальним вважають зусилля, яке має місце на початку четвертої стадії – після відриву якоря від ґрунту.

Виходячи з цього, необхідний гальмівний момент електромагнітного гальма на валу електродвигуна вибирається як, Н·м:

$$M_{\text{гал}} \geq \frac{0,8F_a D_{\text{зір}}}{i} \cdot \eta, \quad (3.12)$$

де F_a – номінальне розрахункове зусилля на колі ланцюгової зірочки, Н; $D_{\text{зір}}$ – діаметр ланцюгової зірочки, м; η – ККД механізму; i – передаточне відношення редуктора.

За необхідним значенням гальмівного моменту вибирається електромагнітне гальмо. Для ЯШП з приводом на змінному струмі використовуються дискові електромагнітні гальма типу ТМП. Вони призначені для роботи в короткочасному і повторно-короткочасному режимах роботи і монтується безпосередньо на вал двигуна типу МАП.

Технічні дані дискових електромагнітних гальм типу ТМТ наведені у дод. Д.

На постійному струмі двигуни типу ДМП комплектуються дисковими електромагнітними гальмами типу ТДП.

Приклад розрахунку.

Гальмівний момент електромагнітного гальма

$$M_{\text{гал}} \geq \frac{0,8F_a D_{\text{зір}}}{i} \cdot \eta = \frac{0,8 \cdot 77,8 \cdot 10^3 \cdot 0,585}{103} \cdot 0,8 = 283 \text{ Н·м.}$$

Вибирається дискове електромагнітне гальмо змінного струму типу ТМТВ-6, гальмівний момент якого при нагрітих дисках:

$$M_{\text{гал}} = 330 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

3.8. Розрахунок та побудова механічних характеристик електродвигуна ЯШП при роботі на обмотках різної швидкості

Механічною характеристикою користуються при проектуванні електропривода. Вона необхідна при перевірці вибраного двигуна за умовами нагріву, працездатності механізму, визначення часу перехідних процесів.

Характеристика має достатньо складний вигляд (рис. 3.1), але її можна побудувати на підставі аналітичного виразу при наявності каталожних даних.

Далі розглядається порядок побудови механічної характеристики за спрощеною формулою (формулою Клосса). За цією формулою будується тільки робоча частина характеристики (між точками 1 і 3, рис. 3.1). Пускова частина (між точками 4 і 3, рис. 3.1) будується за уточненою формулою Чекунова, так як формула Клосса на цій частині дає велику похибку.

Для якісної побудови всієї механічної характеристики знаходяться координати чотирнадцяти точок: з них чотири основні точки – 1, 2, 3, 4, інші проміжні – з 5 по 14.

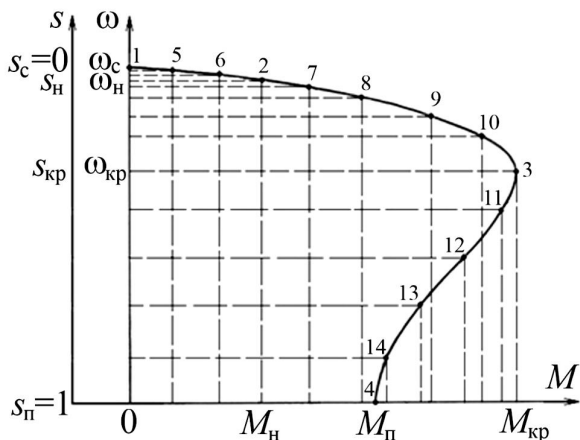


Рис. 3.1. Роз'яснення до побудови природної механічної характеристики АД

а) Визначення координат точки 1 (рис. 3.1).

Координати точки 1 визначаються при роботі на обмотці середньої швидкості ($2p=8$):

Ця точка має координати:

$$M=0;$$

$$\omega = \omega_c \text{ або } s=0,$$

де $\omega_c = 2\pi f / p$ – кутова синхронна швидкість обертання, рад/с; p – кількість пар полюсів, задається у каталожних даних.

Перехід від частоти обертання до кутової швидкості, рад/с:

$$\omega = \pi n / 30 \approx 0,105n. \quad (3.13)$$

Приклад розрахунку.

Для АД типу МАП621-4/8/16 при роботі на обмотці середньої швидкості ($2p = 8$):

$$\omega_c = 2\pi f / p = 2 \cdot \pi \cdot 50 / 4 = 78,5 \text{ рад/с.}$$

б) Визначення координат точки 2 (рис. 3.1).

Ця точка має координати:

$$M = M_n;$$

$$\omega = \omega_n.$$

Потужність двигуна, Вт:

$$P_n = M_n \cdot \omega_n. \quad (3.14)$$

Звідси

$$M_n = P_n / \omega_n = P_n / (0,105n_n). \quad (3.15)$$

Приклад розрахунку.

Для АД типу МАП621-4/8/16:

$$\omega_n \approx 0,105n_n \approx 0,105 \cdot 675 = 70,7 \text{ рад/с,}$$

$$M_n = P_n / \omega_n = (25 / 70,7) \cdot 10^3 = 354 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

$$s_n = (\omega_c - \omega_n) / \omega_c = (78,5 - 70,7) / 78,5 = 0,099.$$

в) Визначення координат точки 3 (рис. 3.1).

Ця точка має координати:

$$M = M_{кр},$$

$$\omega = \omega_{кр},$$

де $M_{кр} = M_{\max}$ – критичний або максимальний момент асинхронного двигуна, Н·м.

У довідниках для АД може бути задана перевантажувальна спроможність двигуна, або кратність максимального моменту:

$$k_m = M_{кр} / M_n, \quad (3.16)$$

звідси

$$M_{кр} = k_m M_n.$$

Для визначення критичної швидкості $\omega_{кр}$ спочатку визначається критичне ковзання:

$$s_{кр} = s_n \left(k_m + \sqrt{k_m^2 - 1} \right), \quad (3.17)$$

де s_n – номінальне ковзання.

Тоді критична кутова швидкість, рад/с:

$$\omega_{кр} = \omega_c \cdot (1 - s_{кр}). \quad (3.18)$$

Приклад розрахунку.

Для АД типу МАП621-4/8/16 при роботі на обмотці середньої швидкості ($2p=8$):

$$M_{кр} = 800 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$k_m = M_{кр} / M_n = 800 / 354 = 2,26,$$

$$s_{кр} = s_n \left(k_m + \sqrt{k_m^2 - 1} \right) = 0,099 \cdot \left(2,26 + \sqrt{2,26^2 - 1} \right) = 0,426,$$

$$\omega_{кр} = \omega_c \cdot (1 - s_{кр}) = 78,5 (1 - 0,426) = 45,1 \text{ рад/с}.$$

г) Визначення координат точки 4 (рис. 3.1).

Ця точка має координати:

$$M = M_{\pi},$$

$$\omega = 0,$$

де M_{π} – пусковий момент для двигунів серії МАП короткочасного і повторно-короткочасного режимів роботи задається у каталожних даних, Н·м.

Приклад розрахунку.

Пусковий момент

$$M_{\pi} = 750 \text{ Н·м.}$$

д) Визначення координат точок 5–10 (рис. 3.1).

При розрахунку координат точок 5–10 використовується спрощена формула Клосса, Н·м:

$$M = \frac{2M_{\text{кр}}}{\frac{s}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s}}. \quad (3.19)$$

Для цього задаються значеннями ковзання s від 0 до $s_{\text{кр}}$ і розраховуються відповідні моменти. Наприклад, для даного розрахунку для точок 5 і 6 це можуть бути значення ковзання $s_5 \approx 0,03$ та $s_6 \approx 0,06$.

Кутова швидкість, рад/с:

$$\omega = \omega_c(1 - s). \quad (3.20)$$

Приклад розрахунку.

Для АД типу МАП621-4/8/16 при роботі на обмотці середньої швидкості ($2p=8$), використовуючи формули (3.19) та (3.20) для точок 5 та 6:

$$\omega_5 = \omega_c \cdot (1 - s_5) = 78,5 \cdot (1 - 0,02) = 77 \text{ рад/с},$$

$$\omega_6 = \omega_c \cdot (1 - s_6) = 78,5 \cdot (1 - 0,06) = 73,8 \text{ рад/с},$$

$$M_5 = \frac{2M_{\text{кр}}}{\frac{s_5}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s_5}} = \frac{2 \cdot 800}{\frac{0,02}{0,426} + \frac{0,426}{0,02}} = 75 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_6 = \frac{2M_{\text{кр}}}{\frac{s_6}{s_{\text{кр}}} + \frac{s_{\text{кр}}}{s_6}} = \frac{2 \cdot 800}{\frac{0,06}{0,426} + \frac{0,426}{0,06}} = 221 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

Аналогічно розраховуються точки 7–10 (рис. 3.1).

ж) Визначення координат точок 11–14 (рис. 3.1).

Пускова частина механічної характеристики будується за уточненою формулою (формулою Чекунова), Н·м:

$$M = \sqrt{M_{\text{п}}^2 + \frac{0,93M_{\text{кр}}^2 - M_{\text{п}}^2}{(1 - 1,3s_{\text{кр}})^2} \cdot (1 - s)^2}. \quad (3.21)$$

Для цього потрібно задатися значеннями ковзання s від $s_{\text{кр}}$ до 1 (між точками 3 і 4).

Наприклад, для точок 11 та 14 це можуть бути значення ковзання $s_{11} \approx 0,53$ та $s_{14} \approx 0,9$.

Далі за формулою (3.21) визначаються інші відповідні моменти.

Приклад розрахунку.

Для АД типу МАП621-4/8/16:

$$\omega_{11} = \omega_c \cdot (1 - s_{11}) = 78,5 (1 - 0,53) = 36,9 \text{ рад/с},$$

$$\omega_{14} = \omega_c \cdot (1 - s_{14}) = 78,5 (1 - 0,9) = 7,85 \text{ рад/с},$$

$$\begin{aligned} M_{11} &= \sqrt{M_{\pi}^2 + \frac{0,93M_{\text{кр}}^2 - M_{\pi}^2}{(1 - 1,3s_{\text{кр}})^2} \cdot (1 - s_{11})^2} = \\ &= \sqrt{750^2 + \frac{0,93 \cdot 800^2 - 750^2}{(1 - 1,3 \cdot 0,426)^2} \cdot (1 - 0,53)^2} = 774 \text{ Н} \cdot \text{м}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{14} &= \sqrt{M_{\pi}^2 + \frac{0,93M_{\text{кр}}^2 - M_{\pi}^2}{(1 - 1,3s_{\text{кр}})^2} \cdot (1 - s_{14})^2} = \\ &= \sqrt{750^2 + \frac{0,93 \cdot 800^2 - 750^2}{(1 - 1,3 \cdot 0,426)^2} \cdot (1 - 0,9)^2} = 751 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Усі результати попередніх розрахунків зводяться в єдину таблицю, за даними якої будується природня механічна характеристика асинхронного двигуна.

Приклад розрахунку.

Усі результати попередніх розрахунків зводяться у табл. 3.3, за даними якої будується природня механічна характеристика асинхронного двигуна МАП621-4/8/16 (рис. 3.2).

Таблиця 3.3. Розрахунок механічної характеристики асинхронного двигуна типу МАП621-4/8/16 при роботі на обмотці середньої швидкості ($2p=8$).

Ковзання s	Кутова швидкість обертання ω , рад/с	Момент M , Н·м
0	78,5	0
0,02	77	75
0,06	73,8	221
0,1	70,7	356
0,14	67,5	475
0,19	63,6	595
0,24	59,7	684
0,3	55	753
0,35	51,1	785
0,42	45,6	780
0,53	36,9	774
0,6	31,4	767
0,7	23,6	760
0,8	15,7	754
0,9	7,85	751
1	0	750

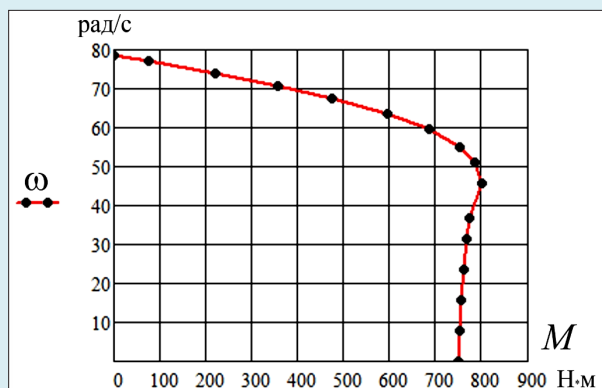


Рис. 3.2. Механічна характеристика асинхронного двигуна типу МАП621-4/8/16 при роботі на обмотці середньої швидкості ($2p=8$)

Аналогічно виконується розрахунок та побудова механічних характеристик асинхронного двигуна при роботі на обмотках $2p=4$ та $2p=16$.

Приклад розрахунку.

Механічні характеристики асинхронного двигуна МАП-621-4/8/16 при роботі на обмотках $2p=4$ та $2p=16$ наведено відповідно на рис. 3.3 та 3.4.

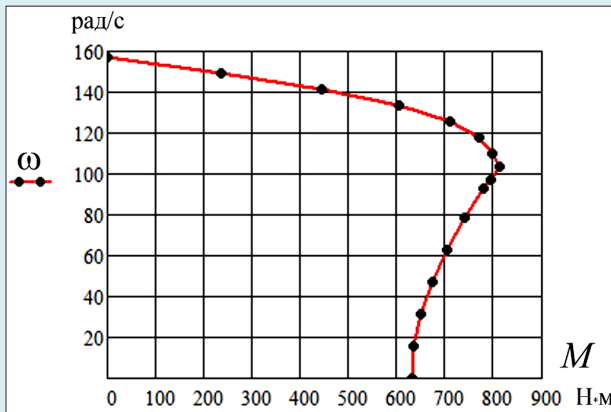


Рис. 3.3. Механічна характеристика асинхронного двигуна МАП621-4/8/16 при роботі на обмотці високої швидкості ($2p=4$)

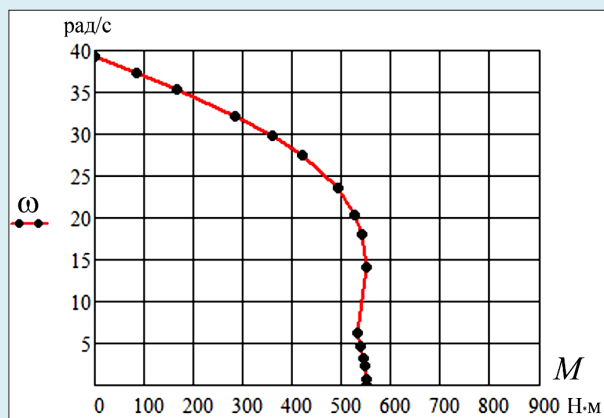


Рис. 3.4. Механічна характеристика асинхронного двигуна МАП621-4/8/16 при роботі на обмотці малої швидкості ($2p=16$)

3.9. Побудова навантажувальної діаграми електродвигуна ЯШП

Навантажувальна діаграма дозволяє визначити тривалість знімання судна з якоря за стадіями і використовується для перевірки вибраного електродвигуна на нагрів.

Побудова навантажувальної діаграми $M=f(t)$ виконується за стадіями.

Зазвичай час знімання судна з якоря розбивається на чотири стадії. Для побудови навантажувальної діаграми необхідно визначити моменти на валу електродвигуна на кожній стадії.

3.9.1. Визначення зусиль, прикладених до ланцюгової зірочки на кожній стадії

Перша стадія – рівномірне вибирання якірного ланцюга та рівномірне підтягування судна до якоря. До ланцюгової зірочки прикладене зусилля, Н:

$$T_1 = \frac{P_{\text{лан}}}{k_{\text{кл}}} \cdot \frac{l_{\text{л}}^2 + h^2}{2h}, \quad (3.22)$$

де $P_{\text{лан}}$ – вага погонного метра ланцюга, Н/м; $k_{\text{кл}}$ – коефіцієнт, котрий враховує тертя ланцюга об клюз; h – глибина якірної стоянки, м; $l_{\text{л}}$ – довжина провисаючої частини ланцюга на нормальній глибині стоянки, визначається за формулою, м:

$$l_{\text{л}} = \sqrt{\frac{2hF}{n_a P_{\text{лан}} \beta}} + h^2, \quad (3.23)$$

де F – сила тримання якірного пристрою, Н; $\beta = \frac{\gamma - g\rho}{\gamma}$ – коефіцієнт втрати маси якоря та якірного ланцюга у воді.

Приклад розрахунку.

Коефіцієнт втрати маси якоря та якірного ланцюга у воді:

$$\beta = \frac{\gamma - g\rho}{\gamma} = \frac{76400 - 9,81 \cdot 1025}{76400} = 0,868.$$

Довжина провисаючої частини ланцюга на нормальній глибині стоянки:

$$l_{\text{л}} = \sqrt{\frac{2hF}{n_a P_{\text{лан}} \beta}} + h^2 = \sqrt{\frac{2 \cdot 100 \cdot 48800}{3 \cdot 445 \cdot 0,868}} + 100^2 = 136 \text{ м.}$$

До ланцюгової зірочки на першій стадії докладено зусилля:

$$T_1 = \frac{P_{\text{лан}}}{k_{\text{кл}}} \cdot \frac{l_{\text{л}}^2 + h^2}{2h} = \frac{445}{0,77} \cdot \frac{136^2 + 100^2}{2 \cdot 100} = 82,3 \text{ кН.}$$

Друга стадія – спрямування ланцюгової лінії із збільшенням діючих в ланцюгу сил тяжіння. Зусилля на зірочці приймається змінним лінійно від зусилля на першій стадії до зусилля відриву якоря від ґрунту.

Третя стадія – відрив якоря від ґрунту. Зусилля, яке йде тільки на відрив якоря, на підставі даних практики, виходячи з нормальних габаритів електродвигунів, приймається рівним 2G. Тоді повне зусилля на зірочці при відриві якоря, кН:

$$T_3 = \frac{1}{k_{\text{кл}}} \cdot [2Q_a + (Q_a + P_{\text{лан}} h) \cdot \beta]. \quad (3.24)$$

Приклад розрахунку.

Повне зусилля на зірочці при відриві якоря

$$\begin{aligned} T_3 &= \frac{1}{k_{\text{кл}}} \cdot [2Q_a + (Q_a + P_{\text{лан}} h) \cdot \beta] = \\ &= \frac{1}{0,77} \cdot [2 \cdot 24525 + (24525 + 445 \cdot 100) \cdot 0,868] = 142 \text{ кН.} \end{aligned}$$

Четверта стадія – підйом висячого якоря після відриву. Привод працює з зусиллям, що змінюється. На початку стадії зусилля на зірочці, кН:

$$T_{4\text{поч}} = \frac{1}{k_{\text{кл}}} \cdot (Q_a + P_{\text{лан}} h) \cdot \beta, \quad (3.25)$$

Зусилля на зірочці в кінці стадії, при підході якоря до поверхні води, кН:

$$T_{4\text{кін}} = \frac{1}{k_{\text{кл}}} \cdot Q_a \beta, \quad (3.26)$$

Після четвертої стадії здійснюється втягування якоря у клюз. Для безпечного проведення цієї операції вона здійснюється з малою швидкістю зусилля, при цьому трохи збільшується до $(1,2 \dots 1,25) \cdot T_{4\text{кін}}$.

Приклад розрахунку.

На початку стадії зусилля на зірочці

$$T_{4\text{поч}} = \frac{1}{k_{\text{кл}}} \cdot (Q_a + P_{\text{лан}} h) \cdot \beta = \frac{1}{0,77} \times \\ \times (24525 + 445 \cdot 100) \cdot 0,868 = 77,8 \text{ кН.}$$

Зусилля на зірочці в кінці стадії, при підході якоря до поверхні води:

$$T_{4\text{кін}} = \frac{1}{k_{\text{кл}}} \cdot Q_a \beta = \frac{1}{0,77} \cdot 24525 \cdot 0,868 = 27,65 \text{ кН.}$$

3.9.2. Визначення моментів на валу двигуна на всіх стадіях знімання судна з якоря

Моменти на валу двигуна на всіх стадіях знімання судна з якоря розраховуються за формулою, Н·м:

$$M = \frac{T_{\text{зір}} D_{\text{зір}}}{2i\eta}, \quad (3.27)$$

де $T_{\text{зір}}$ – зусилля на зірочці, для кожної стадії підйому, Н.

Приклад розрахунку.

На підставі раніше отриманих даних визначаються моменти на валу електродвигуна на кожній стадії:

$$M_1 = \frac{T_1 D_{\text{зір}}}{2i\eta} = \frac{82,3 \cdot 10^3 \cdot 0,585}{2 \cdot 103 \cdot 0,8} = 292 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_3 = \frac{T_3 D_{\text{зір}}}{2i\eta} = \frac{142 \cdot 10^3 \cdot 0,585}{2 \cdot 103 \cdot 0,8} = 502 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{4\text{поч}} = \frac{T_{4\text{поч}} D_{\text{зір}}}{2i\eta} = \frac{77,8 \cdot 10^3 \cdot 0,585}{2 \cdot 103 \cdot 0,8} = 276 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$M_{4\text{кін}} = \frac{T_{4\text{кін}} D_{\text{зір}}}{2i\eta} = \frac{27,65 \cdot 10^3 \cdot 0,585}{2 \cdot 103 \cdot 0,8} = 98,1 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

3.9.3. Визначення часу роботи двигуна на окремих стадіях знімання судна з якоря

Час роботи двигуна на окремих стадіях знімання судна з якоря:

- на першій стадії, хв:

$$t_1 = \frac{l_1 i}{\pi n_1 D_{\text{зір}}}, \quad (3.28)$$

де l_1 – довжина ланцюга, м, яка вільно лежить на ґрунті та визначається як

$$l_1 = L_{\text{л}}/2 - l_{\text{л}},$$

де $L_{\text{л}}$ – загальна довжина двох ланцюгів, м;

- на другій стадії, хв:

$$t_2 = \frac{(l_{\text{л}} - h) \cdot i}{\pi \frac{n_1 + n_3}{2} D_{\text{зір}}}, \quad (3.29)$$

- на третій стадії, хв:

$$t_3 = 0,5 \dots 1 \text{ хв}$$

- на четвертій стадії, хв:

$$t_4 = \frac{h \cdot i}{\pi \frac{n_{4\text{поч}} + n_{4\text{кін}}}{2} D_{\text{зір}}}, \quad (3.30)$$

де $n_1, n_2, n_{4\text{поч}}, n_{4\text{кін}}$ – частоти обертання двигуна на відповідних стадіях вибирання якоря, які визначаються за механічною характеристикою двигуна.

Приклад розрахунку.

Відповідно до розрахованих моментів за механічною характеристикою визначаються частоти обертання двигуна (рис. 3.2):

- для моменту $M_1 = 292 \text{ Н}\cdot\text{м}$ частота обертання $n_1 = 689 \text{ об/хв}$;
- для моменту $M_3 = 502 \text{ Н}\cdot\text{м}$ частота обертання $n_3 = 637 \text{ об/хв}$;
- для моменту $M_{4\text{поч}} = 276 \text{ Н}\cdot\text{м}$ частота обертання $n_{4\text{поч}} = 693 \text{ об/хв}$;
- для моменту $M_{4\text{кін}} = 98,1 \text{ Н}\cdot\text{м}$ частота обертання $n_{4\text{кін}} = 730 \text{ об/хв}$.

Далі визначається час роботи двигуна на окремих стадіях знімання судна з якоря за формулами (3.28)–(3.30):

- на першій стадії:

$$t_1 = \frac{l_{\text{віл}} \cdot i}{\pi n_1 D_{\text{зір}}} = \frac{114 \cdot 103}{\pi \cdot 689 \cdot 0,585} = 9,27 \text{ хв},$$

де довжина ланцюга, яка вільно лежить на ґрунті,

$$l_{\text{ввл}} = L_{\text{л}}/2 - l_{\text{л}} = 500/2 - 135,6 = 114 \text{ м};$$

- на другій стадії:

$$t_2 = \frac{(l_{\text{л}} - h) \cdot i}{\pi \frac{n_1 + n_3}{2} D_{\text{зир}}} = \frac{(136 - 100) \cdot 103}{\pi \frac{689 + 637}{2} 0,585} = 3,04 \text{ хв};$$

- на третій стадії:

$$t_3 = 0,5 \text{ хв};$$

- на четвертій стадії:

$$t_4 = \frac{h \cdot i}{\pi \frac{n_{4\text{поч}} + n_{4\text{кін}}}{2} D_{\text{зир}}} = \frac{100 \cdot 103}{\pi \frac{693 + 730}{2} 0,585} = 7,88 \text{ хв}.$$

На підставі отриманих даних будеється навантажувальна діаграма $M=f(t)$ (рис. 3.5).

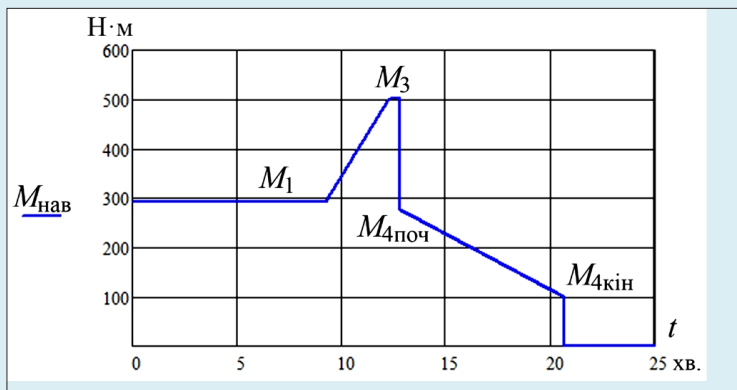


Рис. 3.5. Навантажувальна діаграма електродвигуна типу МАП621-4/8/16

3.10. Перевірка електродвигуна на тривалість знімання судна з якоря

Дійсний час знімання судна з якоря визначається як сума тривалості окремих стадій, отриманих з навантажувальної діаграми (рис. 3.5), хв:

$$t_d = t_1 + t_2 + t_3 + t_4. \quad (3.31)$$

Має виконуватися умова:

$$t_{\text{зад}} \geq t_d, \quad (3.32)$$

де $t_{\text{зад}}$ – заданий час знімання судна з якоря. Відповідно до Регістру $t_{\text{зад}} = 20 \dots 30$ хв, а також потрібно враховувати припустимий час безперервного вмикання обраного електродвигуна.

Приклад розрахунку.

Згідно з попередніми розрахунками навантажувальної діаграми:

$$t_d = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 9,27 + 3,04 + 0,5 + 7,88 = 20,7 \text{ хв.}$$

Умова (3.32) виконана з урахуванням того, що припустимий час безперервного вмикання обраного електродвигуна складає 30 хв.

3.11. Перевірка електродвигуна на нагрів

Перевірка електродвигуна на нагрів може бути виконана різними методами. У даному випадку перевірка здійснюється за формулою середньоквадратичного моменту, Н·м:

$$M_{\text{екв}} = \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + \frac{M_1^2 + M_1 M_3 + M_3^2}{3} t_2 + M_3^2 t_3 + \frac{M_{4\text{поч}}^2 + M_{4\text{поч}} M_{4\text{кін}} + M_{4\text{кін}}^2}{3} t_4}{t_d}}. \quad (3.33)$$

Вибраний двигун не буде перегріватись вище припустимої температури, якщо

$$M_{\text{екв}} \leq M_{\text{н}} \quad (3.34)$$

Приклад розрахунку.

Середньоквадратичний момент:

$$\begin{aligned} M_{\text{екв}} &= \sqrt{\frac{M_1^2 t_1 + \frac{M_1^2 + M_1 M_3 + M_3^2}{3} t_2 + M_3^2 t_3 + \frac{M_{4\text{поч}}^2 + M_{4\text{поч}} M_{4\text{кін}} + M_{4\text{кін}}^2}{3} t_4}{t_d}} = \\ &= \sqrt{\frac{292^2 \cdot 9,27 + \frac{292^2 + 292 \cdot 502 + 502^2}{3} 3,04 + 502^2 \cdot 0,5 + \frac{276^2 + 276 \cdot 98,1 + 98,1^2}{3} 7,88}{20,7}} = \\ &= 287 \text{ Н} \cdot \text{м}. \end{aligned}$$

Номінальний момент $M_{\text{н}}$ становить 354 Н·м, тому за (3.34):

$$M_{\text{екв}} = 287 \text{ Н} \cdot \text{м} \leq M_{\text{н}} = 354 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Умова дотримується, ЕД перегріватись не буде.

3.12. Перевірка електродвигуна на забезпечення необхідних значень швидкості підйому якоря

Середня швидкість підйому якоря за весь цикл знімання, м/с:

$$V_{\text{сер}} = \frac{L_{\text{д}}}{2t_{\text{д}}}, \quad (3.35)$$

де $t_{\text{д}}$ – дійсний час знімання судна з якоря, с.

Далі необхідно визначити швидкість руху ланцюга при підтягуванні якоря до клюза. Зазвичай за 7...10 м до клюза ЯШП переводиться на малу швидкість ($2p = 16$). При цьому можна вважати зусилля на колі ланцюгової зірочки, Н, як:

$$F_{\text{кл}} = \frac{Q_a}{k_{\text{кл}}}, \quad (3.36)$$

де Q_a – вага якоря, Н; $k_{\text{кл}}$ – коефіцієнт, що враховує тертя ланцюга в клюзі.

Момент опору на валу двигуна при підтягуванні якоря до клюза, Н·м:

$$M_{\text{кл}} = \frac{F_{\text{кл}} D_{\text{зір}}}{2i\eta}, \quad (3.37)$$

Швидкість підтягування якоря до клюза, м/хв:

$$V_{\text{кл}} = \frac{60\omega_{\text{кл}} D_{\text{зір}}}{2i}, \quad (3.38)$$

де $\omega_{\text{кл}} = \pi n_{\text{кл}} / 30$.

Примітка: швидкості $V_{\text{сер}}$ та $V_{\text{кл}}$ необхідно порівняти із заданими. Якщо вони відрізняються більше ніж на 5 %, необхідно відповідним чином змінити передаточне відношення і повторити розрахунок, починаючи з п. 3.6.

Приклад розрахунку.

Згідно з (3.35), при загальній довжині витравленого за клюзом одного ланцюга приблизно 240 м:

$$V_{\text{сер}} = \frac{L_{\text{л}}}{2t_{\text{д}}} = \frac{500}{2 \cdot 20,7} = 12,1 \text{ м/хв.}$$

При заданому $V_{\text{а}} = 12 \text{ м/хв} \approx V_{\text{сер}} = 12,1 \text{ м/хв.}$

Зусилля на колі ланцюгової зірочки:

$$F_{\text{кл}} = \frac{Q_{\text{а}}}{k_{\text{кл}}} = \frac{24525}{0,77} = 31,85 \text{ кН.}$$

Момент опору на валу двигуна при підтягуванні якоря до клюза:

$$M_{\text{кл}} = \frac{F_{\text{кл}} D_{\text{зір}}}{2i\eta} = \frac{31850 \cdot 0,585}{2 \cdot 103 \cdot 0,8} = 113 \text{ Н·м.}$$

За механічною характеристикою електродвигуна при роботі на обмотці, призначеній для підтягування якоря до клюза (рис. 3.4), визначається частота обертання двигуна $n_{\text{кл}} \approx 349,5 \text{ об/хв}$ при $M_{\text{кл}} = 113 \text{ Н·м.}$

Кутова швидкість підтягування якоря до клюза

$$\omega_{\text{кл}} = \pi n_{\text{кл}} / 30 = \pi \cdot 349,5 / 30 = 36,6 \text{ рад/с.}$$

Швидкість підтягування якоря до клюза

$$V_{\text{кл}} = \frac{60\omega_{\text{кл}} R_{\text{зір}}}{i} = \frac{60 \cdot 36,6 \cdot 0,585}{2 \cdot 103} = 6,24 \text{ м/хв.}$$

Швидкості $V_{\text{сер}}$ та $V_{\text{кл}}$ мають розбіжність із заданими не більше 5 %.

3.13. Перевірка електродвигуна на забезпечення необхідного пускового моменту

Необхідний пусковий момент електродвигуна, Н·м:

$$M_{\text{п.необ}} = \frac{F_a D_{\text{зир}}}{i\eta k_{\text{кл}}} . \quad (3.39)$$

Пусковий момент за каталогом для електродвигуна повинен бути більше необхідного пускового моменту:

$$M_{\text{п.кат}} > M_{\text{п.необ}} . \quad (3.40)$$

Приклад розрахунку.

Необхідний пусковий момент електродвигуна

$$M_{\text{п.необ}} = \frac{F_a R_{\text{зир}}}{i\eta k_{\text{кл}}} = \frac{77800 \cdot 0,585}{103 \cdot 0,8 \cdot 0,77} = 718 \text{ Н·м.}$$

Каталожне значення пускового моменту двигуна

$$M_{\text{п.кат}} = 750 \text{ Н·м} > M_{\text{п.необ}} = 718 \text{ Н·м.}$$

Умова виконується, двигун має відповідний пусковий момент.

3.14. Перевірка вибраного електродвигуна на забезпечення необхідних швидкостей швартування

Номінальний момент швартування визначається, Н·м, як:

$$M_{\text{ш}} = \frac{F_{\text{ш.н}} D_{\text{м}}}{2i\eta}, \quad (3.41)$$

де $F_{\text{ш.н}} = 80$ кН – номінальне зусилля швартування;
 $D_{\text{м}} = 565$ мм – діаметр швартовного барабана для визначення моментів.

Розрахунковий момент на валу електродвигуна при виборі швартовного каната з малою швидкістю, Н·м:

$$M_{\text{ш.м}} = 0,75 \cdot M_{\text{ш}} \quad (3.42)$$

Момент при виборі з найбільшою швидкістю, Н·м:

$$M_{\text{ш.б}} = 0,2 \cdot M_{\text{ш}} \quad (3.43)$$

Швидкості вибору швартовного каната, м/хв:

- найменша

$$V_{\text{ш.м}} = \frac{\pi n_{\text{ш.м}} D_{\text{ш}}}{i}, \quad (3.44)$$

де $D_{\text{ш}} = 525$ мм – діаметр швартовного барабана для визначення швидкості;

- номінальна:

$$V_{\text{ш}} = \frac{\pi n_{\text{ш}} D_{\text{ш}}}{i}, \quad (3.45)$$

- найбільша:

$$V_{\text{ш.б}} = \frac{\pi n_{\text{ш.б}} D_{\text{ш}}}{i}. \quad (3.46)$$

Вибраний двигун буде забезпечувати необхідні швидкості швартування, якщо знайдені швидкості будуть знаходитися у необхідних межах, які задаються на початку розрахунку. В іншому випадку необхідно відповідним чином змінити передаточне число механізму і повторити розрахунок, починаючи з п. 3.6.

Приклад розрахунку.

Момент швартування визначається як:

- номінальний

$$M_{ш} = \frac{F_{ш.н} D_{ш}}{2i\eta} = \frac{80000 \cdot 0,565}{2 \cdot 103 \cdot 0,8} = 274 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- номінальний за малою швидкістю

$$M_{ш.м} = 0,75 \cdot M_{ш} = 0,75 \cdot 274 = 205 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

- номінальний за великою швидкістю

$$M_{ш.б} = 0,2 \cdot M_{ш} = 0,2 \cdot 274 = 54,8 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

За механічними характеристиками вибраного електродвигуна на обмотках середньої, малої і великої швидкостей (рис. 3.2–3.4) визначаються відповідно до частоти обертання двигуна.

При $M_{ш} = 274 \text{ Н}\cdot\text{м}$ частота обертання $n_{ш.с} = 693 \text{ об/хв.}$

При $M_{ш.м} = 205 \text{ Н}\cdot\text{м}$ частота обертання $n_{ш.м} = 328 \text{ об/хв.}$

При $M_{ш.б} = 54,8 \text{ Н}\cdot\text{м}$ частота обертання $n_{ш.б} = 1482 \text{ об/хв.}$

Швидкості вибору швартовного каната:

- найменша

$$V_{ш.м} = \frac{\pi n_{ш.м} D_{ш}}{i} = \frac{\pi \cdot 328 \cdot 0,525}{103} = 5,25 \text{ м/хв};$$

- номінальна

$$V_{\text{ш}} = \frac{\pi n_{\text{ш}} D_{\text{ш}}}{i} = \frac{\pi \cdot 693 \cdot 0,525}{103} = 11,1 \text{ м/хв};$$

- найбільша

$$V_{\text{ш.б}} = \frac{\pi n_{\text{ш.б}} D_{\text{ш}}}{i} = \frac{\pi \cdot 1482 \cdot 0,525}{103} = 23,7 \text{ м/хв.}$$

Вибраний двигун забезпечує необхідні швидкості швартування, оскільки знайдені швидкості знаходяться в необхідних межах:

$$V_{\text{шн}} = 18 \text{ м/хв} > V_{\text{ш}} = 11,1 \text{ м/хв};$$

$$V_{\text{шн min}} = 8 \text{ м/хв} > V_{\text{ш.м}} = 5,25 \text{ м/хв};$$

$$V_{\text{шн max}} = 30 \text{ м/хв} > V_{\text{ш.б}} = 23,7 \text{ м/хв.}$$

3.15. Визначення довжини ланцюга, підйом якого може бути забезпечений електродвигуном

Електропривод ЯШП повинен в аварійному режимі забезпечувати підйом якоря, котрий висить на ланцюзі, витравленому на 85 % його довжини за ключом.

Довжина ланцюга, яку може підняти електродвигун, м:

$$L'_{\text{л}} = \frac{1}{P_{\text{лан}}} \cdot \left(\frac{M_{\text{п}} i}{1,2 \alpha D_{\text{зир}}} - Q_a \right), \quad (3.47)$$

де $M_{\text{п}}$ – пусковий момент електродвигуна на обмотці, яка має найбільший пусковий момент, Н·м; i – передаточне відношення

редуктора; Q_a – вага якоря, Н; $P_{\text{лан}}$ – вага погонного метра ланцюга, Н/м; $D_{\text{зір}}$ – діаметр зірочки, м; $\alpha = \frac{0,435}{k_{\text{кл}} \eta}$ – коефіцієнт.

Приклад розрахунку.

Коефіцієнт

$$\alpha = \frac{0,435}{k_{\text{кл}} \eta} = \frac{0,435}{0,77 \cdot 0,8} = 0,706.$$

Довжина ланцюга, яку може підняти електродвигун,

$$L'_\text{л} = \frac{1}{P_{\text{лан}}} \cdot \left(\frac{M_{\text{п}} i}{1,2 \alpha D_{\text{зір}}} - Q_a \right) = \frac{1}{445} \cdot \left(\frac{750 \cdot 103}{1,2 \cdot 0,706 \cdot 0,585} - 24525 \right) = 295 \text{ м.}$$

Для вибраного електродвигуна повинна виконуватися умова:

$$\frac{2L'_\text{л}}{L_a} > 0,85.$$

$$\frac{2L'_\text{л}}{L_a} = \frac{2 \cdot 295}{500} = 1,18 > 0,85 \text{ – умова виконується.}$$

3.16. Визначення зусиль, які виникають при зупинці електродвигуна під струмом

Максимально можливе зусилля у ланцюзі визначається максимальним моментом електродвигуна і дорівнює, Н:

$$F_{\text{max}} = \frac{2M_{\text{кр}} i \eta}{D_{\text{зір}}}. \quad (3.48)$$

Пробне навантаження ланцюга повинно бути більше ніж зусилля в ланцюзі при дії $M_{кр}$ двигуна.

Приклад розрахунку.

Максимально можливе зусилля у ланцюзі

$$F_{\max} = \frac{2M_{кр}i\eta}{D_{з\text{ір}}} = \frac{2 \cdot 800 \cdot 103 \cdot 0,8}{0,585} = 225 \text{ кН.}$$

Пробне навантаження ланцюга $F_{пр} = 840 \text{ кН}$, що значно більше ніж зусилля в ланцюзі при дії $M_{кр}$ двигуна.

Питання для самоконтролю

1. З чого складаються вихідні дані для проєктування ЯШП?
2. Що відноситься до основних параметрів ЯШП?
3. Дію яких сил компенсує ЯШП при стоянці судна в морі?
4. Що повинна забезпечувати потужність електродвигуна ЯШП?
5. Які конструктивні особливості має електродвигун змінного струму для ЯШП?
6. Що таке передаточне відношення?
7. Яке зусилля повинно створювати електромагнітне гальмо у складі ЯШП?
8. Що таке механічна характеристика електродвигуна ЯШП?
9. Що таке формула Клосса? Яка її сфера застосування?
10. Що таке навантажувальна діаграма електродвигуна ЯШП? З яких типових частин вона складається?
11. Які перевірки попередньо вибраного електродвигуна ЯШП потрібно виконувати?
12. Які параметри якірного ланцюга перевіряються на відповідність існуючих вимог?

§ 4. ВИБІР СХЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДА ЯШП

4.1. Загальні положення

Розробка схеми керування електропривода ЯШП виконується лише після остаточного вибору електродвигуна.

Схема повинна забезпечувати необхідні режими роботи ЯШП (декілька швидкостей у напрямку «Вибирати» і «Травити», можливість гальмівних режимів для прискорення перехідних процесів). Окрім основних функцій схема повинна передбачати необхідні блокування, які запобігають можливості виникнення аварійних режимів у разі несправності її елементів або при неправильних діях екіпажу.

При розробці схеми необхідно намагатися досягнення її простоти і максимальної надійності.

Керування електроприводами змінного струму більшості ЯШП невеликої потужності здійснюється за допомогою кулачкових контролерів. Їх переважне використання пояснюється високою надійністю і простотою обслуговування.

Вживання кулачкових контролерів для керування електродвигунами змінного струму ЯШП з потужністю вище 25 кВт не рекомендується у зв'язку із зниженням їх надійності роботи при комутації великих струмів. У цих випадках, як правило, використовуються магнітні контролери. Магнітні контролери можна використовувати також для керування тришвидкісними двигунами потужністю 15...95 кВт.

У деяких випадках для крупних ЯШП змінного струму застосовується тришвидкісний електропривод, який має обмеження за відношенням кількості полюсів 4/8/16. Чотириполюсна обмотка використовується для режиму вибору швартовного троса вхолосту, шістнадцятиполюсна – для втягування якоря у клюз, а восьмиполюсна обмотка – для реалізації основного режиму вибору ланцюга.

Електроприводи середньої і великої потужності мають, як правило, схему керування з магнітним контролером і в цьому випадку складаються з двигуна з дисковим або колодковим гальмом, магнітного контролера, командо-контролера. Схеми цього типу забезпечують плавний пуск і швидке гальмування, обмеження пускових і гальмівних струмів, широке регулювання швидкості при підйомі якоря й обмеження швидкості при віддачі його на великих глибинах.

Наведена на рис. 4.1 схема використовується для керування тришвидкісним асинхронним короткозамкненим двигуном потужністю 22...90 кВт. Схема укомплектована асинхронним двигуном типу МАП з прибудованим дисковим гальмом типу ТМТ, магнітним контролером і командо-контролером з одним нульовим і трьома робочими положеннями для обертання у двох напрямках.

Приклад розрахунку.

З указанного вище можна зробити висновок, що в даному випадку потрібно обрати схему керування з магнітним контролером, оскільки потужність двигуна 22 кВт. Також схема повинна мати всі відповідні захисти для запобігання аварійним режимам.

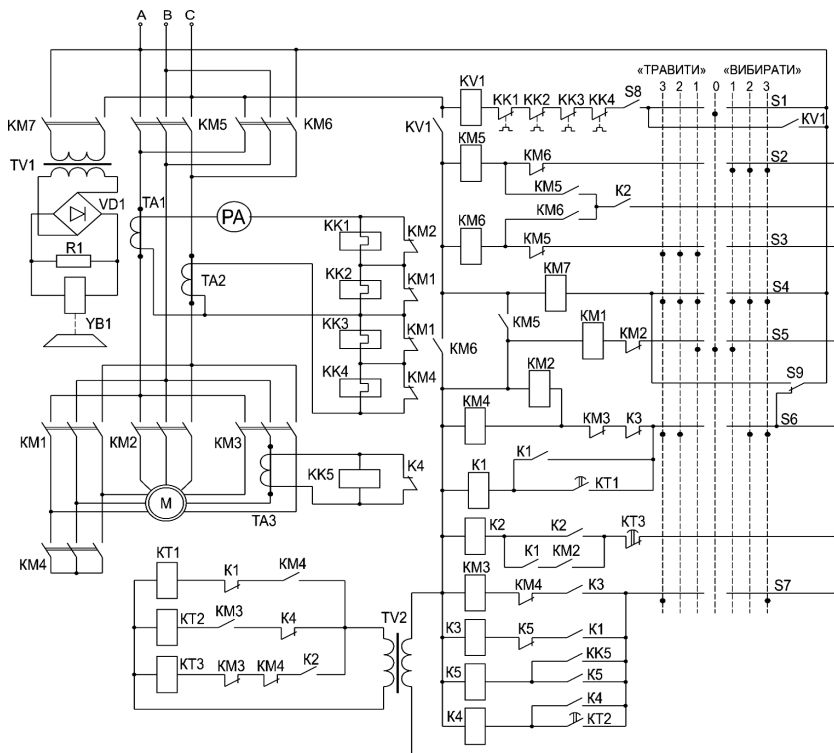
4.2. Контактна схема електропривода змінного струму ЯШП

Контактна схема передбачає керування тришвидкісним асинхронним короткозамкненим електродвигуном за допомогою командо-контролера з трьома робочими положеннями у двох напрямках обертання (рис. 4.1). Командо-контролер комутує кола керування контакторів і реле, розташованих у магнітній станції. Контактори виконують перемикання в силовому колі електродвигуна.

Схема (рис. 4.1) розроблена фірмою «Хітачі». Електродвигун має дві обмотки, одна з яких виконана з перемиканням полюсів ($2p = 16/8$). Перемикання відбувається при дотриманні принципу сталості моменту зі схемою «подвійний трикутник» ($2p = 16$) на схему «дві подвійні зірки» ($2p = 8$). Друга обмотка ($2p = 4$) має схему «подвійна зірка». При роботі на другий і третій швидкостях електродвигун забезпечує сталість потужності.

Керування приводом здійснюється за допомогою командо-контролера. Схема виконана симетричною. При швидкій постановці командо-апарата в крайні положення включення швидкохідної обмотки відбувається після попереднього розгону на другій швидкості. Перехід із третьої або другої позиції поста в нульову поряд з відпусканням гальма супроводжується короткочасним включенням малої швидкості, що забезпечує рекуперативне гальмування, яке полегшує роботу гальма й прискорює процес зупинки двигуна. Таке пригальмовування відбувається й при швидкому реверсуванні.

Реле теплового захисту живляться від загального кола через трансформатори струму і групами вводяться в роботу при включенні відповідного швидкісного контактора.



**Рис. 4.1. Контактна схема електропривода
змінного струму ЯШП**

Контроль над навантаженням здійснюється по амперметру, вбудованому в пост керування.

Основні елементи схеми:

М – асинхронний двигун;

KM5, KM6 – контактори реверсування, взаємно заблоковані. Своїми блок-контактами забезпечують першочерговість роботи у порівнянні зі швидкісними контакторами;

KM1, KM2, KM3, KM4 – швидкісні контактори, мають блокування, які виключають одночасне підключення двох

різних швидкостей двигуна. Контактори управляють також роботою захисних реле та реле часу схемної автоматики;

УВ – гальмовий електромагніт постійного струму, живиться через понижувальний трансформатор і випрямляч. Форсування вмикання електромагніту не передбачається. Керування на стороні змінного струму. Робота гальма може бути перевірена кнопкою S9 без подачі живлення на двигун;

КТ1, КТ2, КТ3 – механічні реле часу. Забезпечують розгін приводу (КТ1), рекуперативне гальмування на малій швидкості (КТ3) і забезпечують нормальну роботу максимального струмового захисту швидкохідної обмотки (КТ2).

Робота схеми. При замиканні вимикача керування S8 і надаванні живлення схема готова до роботи.

Нульове положення. Елемент S1 включає реле напруги KV1, яке у свою чергу блокує S1 і підводить напругу на магнітну станцію. Елемент S5 підготовлює коло керування контактором першої швидкості КМ1.

Положення 1В. Від елемента перемикачання S2 спрацює контактор напрямку КМ5, який формує коло живлення КМ1 через контакт поста S5. Елемент S4 підключає котушку контактора КМ7 електромагнітного гальма. Двигун розблоковується і працює на малій швидкості. Додатково КМ1 вводить у дію тепловий захист КК2, КК3.

Положення 2В. Контакт поста S5 розриває коло котушки контактора КМ1, котрий відключає обмотку першої швидкості двигуна. Елемент S6 підключає контактори КМ2, КМ4, які виконують необхідні перемикачання секцій швидкісної обмотки. Одночасно вводяться біметалічні нагрівачі КК1, КК4 теплового захисту. Контакт КМ4 утворюється коло реле часу КТ1, яке із затримкою часу включає проміжне реле К1. Останнє відключає КТ1, само блокується й разом із КМ2 підключає друге допоміжне реле К2. Реле К2 блокує

контакти К1 і КМ2 у колі своєї котушки й створює незалежну лінію живлення контактора реверсування КМ5 в обхід елемента поста S2. Відбувається підготовка схеми до забезпечення короткочасного рекуперативного режиму на першій швидкості, котрий реалізується при швидкому поверненні рукоятки поста в нульове положення.

Контакт реле К1 підготовляє лінію проміжного реле К3, яке у свою чергу створює коло швидкісного контактора КМ3. Оскільки К1 спрацьовує із затримкою часу, яка обумовлена реле часу КТ1, тому вихід двигуна на третю швидкість можливий тільки після обов'язкового короткочасного розгону на другій швидкості.

Положення 3В. Замикається S7. Одержує живлення реле К3, яке знеструмлює швидкісні контактори КМ2, КМ4 і включає КМ3. Працює швидкохідна обмотка двигуна. Контакт КМ3 додатково заживлює реле часу КТ2, яке із затримкою вмикає проміжне реле К4. Останнє само блокується, обриває коло КТ2 і вводить у дію струмовий захист КК5 обмотки третьої швидкості. Затримка часу виключає спрацьовування захисту в період розгону, коли струми перевищують уставку реле КК5.

На положеннях «Травити» робота схеми ідентична. Включається контактор напрямку КМ6. Швидкісні контактори діють повністю тотожно розглянутому випадку для положень «Вибирати».

При швидкому переміщенні рукоятки поста з нульової у крайню позицію збільшення обертів приводу відбувається автоматизовано, починаючи із другої швидкості. Перекладення командо-апарату із крайніх у нульове положення супроводжується короткочасним рекуперативним пригальмуванням приводу на першій швидкості.

Питання для самоконтролю

1. Що повинна забезпечувати схема керування електроприводом ЯШП?
2. Які режими роботи електропривода ЯШП забезпечує система керування?
3. З яких елементів складається система керування електроприводом ЯШП?
4. Чи можна виконати перехід безпосередньо одразу на найбільшу швидкість обертання електродвигуна ЯШП?
5. Які захисти має система керування електроприводом ЯШП?
6. Що таке симетричність роботи схеми системи керування електроприводом ЯШП?

РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Булгар В. В. Теорія електропривода : збірник задач. Одеса : Поліграф, 2006. 408 с.
2. Василега П. О. Електропривод робочих машин : підручник / П. О. Василега. Суми : Сумський державний університет, 2022. 290 с.
3. Видмиш А. А. Основи електропривода. Теорія та практика : навчальний посібник. Частина 1 / А. А. Видмиш, Л. В. Ярошенко. Вінниця: ВНАУ, 2020. 387 с.
4. Електропривод : підручник / Ю. М. Лавріненко, О. С. Марченко, П. І. Савченко, О. Ю. Синявський, Д. Г. Войтюк, В. П. Лисенко. За ред. Ю. М. Лавріненка. Київ : Ліра-К, 2009. 504 с.
5. Зеленов А. Б. Теорія електропривода. Методика проектування електроприводів : підручник. Луганськ : Вид-во «Ноулідж», 2010. 670 с.
6. Колб Ант. А, Колб А. А. Теорія електроприводу: навчальний посібник. 2-е вид., перероб. і доп. Дніпро : Національний гірничий університет, 2011. 540 с.
7. Піцан Р. Збірник задач до курсу «Електропривод» : навчальний посібник / Р. Піцан, В. Бардачевський, Б. Бойчук. Львів : Вид-во державного університету «Львівська політехніка», 1999. 426 с.
8. Реєстр судноплавства України. URL: <http://shipregister.ua/books/index.html>.
9. Теорія електропривода : підручник / за ред. М. Г. Поповича. Київ : Вища школа, 1993. 494 с.

Таблиця А.1. Норми постачання якорями і ланцюгами

Характеристика постачання N_a , M^2	Якорі			Ланцюг для станових якорів			Маса 1-го метра ланцюга	
	Станові		Стоп-анкер, кг	Загальна довжина двох ланцюгів, м	Калібр якорного ланцюга		звичайної міцності, кг	підвищеної міцності, кг
	кількість	загальна маса, кг			звичайної міцності, мм	підвищеної міцності, мм		
1	2	3	4	5	6	7	8	9
50	2	150	25	100	11	–	2,76	–
100	2	200	25	125	15	–	4,83	–
150	2	300	50	150	17	–	6,03	–
200	2	400	50	1750	17	–	6,03	–
250	2	500	75	200	19	–	7,5	–
300	2	600	75	225	19	–	7,5	–
350	2	700	100	250	22	19	10,0	7,8
400	2	800	100	275	22	19	10,0	7,8
450	2	900	125	300	25	22	13,0	10,3
500	2	1000	125	325	25	22	13,0	10,3
600	2	1200	150	350	28	25	16,2	13,32
700	3	2100	–	375	31	28	20,3	16,54
800	3	2400	–	375	34	28	24,0	16,54
900	3	2700	–	375	34	28	24,0	16,54

Продовж. табл. А1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
1000	3	3000	—	400	37	31	29,0	20,7
1250	3	3750	—	425	40	34	33,1	24,6
1500	3	4500	—	450	40	34	33,1	24,6
1750	3	5250	—	450	43	37	38,9	29,7
2000	3	6000	—	450	46	40	43,7	33,8
2500	3	6750	—	500	49	43	50,6	39,7
3000	3	7500	—	500	53	46	58,2	45,4
3500	3	9000	—	500	57	49	68,6	51,7
4000	3	10 500	—	550	62	53	80,9	60,3
4500	3	12 000	—	550	67	57	94,6	69,9
5000	3	13 500	—	550	67	57	94,6	69,9
6000	3	15 000	—	600	72	62	111,4	82,8
7000	3	18 000	—	600	77	67	127,9	95,9
8500	3	21 000	—	600	82	72	144,3	111,4
10 000	3	24 000	—	600	87	77	161,3	127,9
11 500	3	27 000	—	600	92	82	179,9	144,3
13 000	3	30 000	—	650	100	87	214,5	161,3
14 500	3	33 000	—	650	—	92	—	179,9
16 000	3	36 000	—	650	—	100	—	214,5
17 500	3	39 000	—	650	—	102	—	225,6
19 000	3	42 000	—	650	—	107	—	256,4
20 500	3	45 000	—	650	—	112	—	274,3

Таблиця А.2. Параметри якорів та ланцюгів

Калібр звичайного ланцюга d , мм	Кількість якорів	Середня маса якоря, кг	Найменша довжина 2-х ланцюгів, м	Розрахункова глибина стоянки h , м	Межі водотоннажності Δ , тис. т
1	2	3	4	5	6
17	1	300	280	65	0,25...0,4
19	2	350	280	80	0,35...0,6
22	2	500	300	80	0,5...0,9
25	2	600	320	100	0,8...1,3
28	3	800	340	100	1,1...1,8
31	3	900	360	100	1,4...2,4
34	3	1050	380	100	2,0...3,0
37	3	1250	400	100	2,7...4,0
40	3	1500	420	100	3,5...5,0
43	3	1750	440	100	4,5...6,5
46	3	1900	460	100	5,6...7,5
49	3	2250	460	100	6,5...9,5
53	3	2750	480	100	8...12
57	3	3250	500	100	10...17
62	3	3700	520	100	14...22
67	3	4500	540	100	17...28
72	3	5000	560	100	21...34
77	3	6000	580	100	28...45
82	3	7000	600	100	35...54
87	3	8000	620	100	45...68
92	3	9000	640	100	56...80
100	3	11 000	660	100	70...100

Додаток Б

Таблиця Б.1. Дані нормалізованих ЯШП

Калібр якірного ланцюга, мм		Пробне навантаження, кН	Діаметр, мм				Номінальне зусилля для швартування, кН
звичайної міцності	підвищеної міцності		ланцюгової зірочки	швартовного троса	швартовного барабана для визначення швидкостей	швартовного барабана для визначення моментів	
1	2	3	4	5	6	7	8
15	–	62	205	13,5	258	290	5
17	–	81	215	13,5	258		
–	19	102	240	15	285	320	10
–	22	138	280				
–	25	177	320	17	322	365	15
–	28	122	355				
–	31	172	395	19	364	405	30
–	34	327	435				
–	37	542	470	22,5	428	480	50
–	40	634	510				
–	43	734	550	24	490	532	80
–	46	840	585				
–	49	952	625	27	525	565	100
–	53	1111	675				
–	–	–	–	30	570	640	–

Продовж. табл. Б1

1	2	3	4	5	6	7	8
–	57	1291	725	33,5	633	720	120
–	62	1526	790	35	686	752	
–	67	1736	855	37	712	790	140
–	72	1918	915	41	780	880	
–	77	2100	980	43	820	915	160
–	82	2288	1045	45	855	965	
–	87	2450	1110	48	940	1090	180
–	92	2604	1170	49,5	1100	1200	
–	100	2828	1275	52	1150	1260	

Додаток В

Таблиця В.1. Технічні дані тришвидкісних двигунів серії МАП420–МАП720 для ЯШП (режим роботи S2)

Тип двигуна	Кількість полосів	Режим роботи, хв	Потуж- ність, кВт	Частота обертання, об/хв	Припустимий час зупинки стоянки під пусковим струмом після номінального режиму, с	Лінійний струм при 380 В, А	Макси- мальний момент, даН·м	Пусковий момент, даН·м	Пусковий струм при 380 В, А	cosφ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
МАП422-4/6/12	4	30	4	1460	10	12,5	13	10	105	0,68
	6	30	11	880	30	27	29	28	110	0,86
	12	10	2,5	445	15	16,7	12,5	12,5	34	0,56
МАП521-4/8/16	4	30	18,5	1385	20	38,3	34	30	200	0,92
	8	30	15	650	50	40	50	50	133	0,77
	16	10	4,2	310	30	23	27	25	42,5	0,63
МАП621-4/8/16	4	30	36	1420	15	73	80	63	510	0,9
	8	30	25	675	50	62,5	80	75	240	0,76
	16	10	8	320	30	41,5	55	55	90	0,5
МАП621-4/8/24	4	30	30	1400	10	59	50	40	300	0,93
	8	30	15	695	20	38,5	55	48	175	0,74
	24	5	3,2	190	30	28	33	33	42	0,52

Продовж. табл. В.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
МАП622-4/8/16	4	30	28	1445	15	58	90	77	560	0,86
	8	30	36	670	30	97	125	115	360	0,7
	16	10	10	315	30	51,5	70	70	110	0,56
МАП622-4/8/24	4	30	40	1355	10	79,5	67	58	410	0,94
	8	30	20	665	15	53	75	65	220	0,75
	24	10	5,2	175	30	43	50	50	60	0,4
МАП721-4/8/16	4	30	75	1340	15	148	130	100	730	0,93
	8	30	62	675	40	145	220	200	600	0,79
	16	10	18	320	30	82	120	115	185	0,6
МАП721-4/8/12	4	10	30	1430	10	58	70	60	440	0,93
	8	30	70	650	30	162	220	200	600	0,82
	12	5	50	405	30	160	250	240	420	0,69
МАП721-4/8/24	4	30	75	1340	15	148	130	100	730	0,93
	8	30	62	675	40	145	220	200	600	0,79
	24	10	10	190	30	67	95	95	115	0,45
МАП721-4/10/24	4	30	30	1425	15	56	70	60	440	0,95
	10	30	32	530	15	145	140	120	320	0,62
	24	10	10	190	30	67	95	95	115	0,45

Додаток Д

Таблиця Д.1. Технічні дані дискових електромагнітних гальм змінного струму серії ТМТ при $n_n = 1500$ об/хв

Тип гальма	Гальмівний момент, даН·м						Енергія гальмування (25 % та 40 % ТВ), кг м/год	Потужність споживання котушками, Вт	Фазний струм, А	Припустимий хід, мм
	при нагрітих дисках			при холодних дисках						
	30 хв	60 хв	25 та 40 %ТВ	30 хв	60 хв	25 та 40 %ТВ				
TMT-1	3	3	3	3,5	3,5	3,5	15 000	120	0,8	1,5...3,0
TMT-2	4	4	4	4,5	4,5	5,5	30 000	120	0,8	2,0...4,0
TMT-3	9	7	6	10	8	8,5	85 000	120	1,5	1,5...3,0
TMTN-3	6	5	4	6,5	5,5	5,5	50 000	120	1,5	2,0...3,0
TMT-4	20	12	12	22	13	17	12 500	240	3	2,0...4,0
TMTB-4 TMTN-4	12	6	6	13	7,5	8,5	60 000	240	3	2,0...4,0
TMT-4Б	20	12	12	22	13	17	125 000	200	2,5	2,0...4,0
TMTB-4Б	20	12	12	24	15	18	60 000	200	2,5	2,0...4,0
TMTN-4Б	12	6	6	13	7,5	8,5	60 000	200	2,5	2,0...4,0
TMT-5	50	30	30	55	33	42	140 000	300	5,5	2,0...4,0
TMTB-5 TMTN-5	25	15	15	28	18	21	60 000	300	5,5	2,0...4,0
TMT-6	75	45	45	83	50	63	140 000	500	10	2,5...5,0
TMTB-6 TMTN-6	33	20	20	37	25	28	60 000	500	10	2,0...4,0
TMT-7	90	-	-	100	-	-	-	800	12	2,0...4,0

Примітка:

Котушки гальм серії ТМТ включаються безпосередньо на напругу мережі, при чому при напрузі 380 В вони з'єднуються у зірку, при напрузі 220 В – у трикутник.

Приставка «да» в скороченні означає «дека», тобто число 10. Тому для перекладу величини гальмівного моменту з деканьютонометрів (даН·м) в ньютонметри потрібно величину гальмівного моменту, узятую з колонки 2 таблиці, помножити на 10.

Електромагнітні гальма серії SDZ1 застосовуються у суднових електроприводах для фіксації валу і забезпечення швидкої зупинки.

Таблиця Д.2. Технічні дані електромагнітних гальм серії SDZ1

Тип	Габарит, мм	Гальмів- ний момент, Н·м	Макси- мальний момент, Н·м	Постійна напруга живлення котушки, В	Змінна напруга живлення випрямляча, В	Потужність споживання, Вт	Макси- мальна швидкість, об/хв	Діаметр маточни, мм	Примітка
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SDZ1-15	112	15	—	99...170	380	50	3000	22...28	Малі двигуни
SDZ1-40	112...132	40	—	99...170	380	80...110	3000	30...40	Для великих електроприводів
SDZ1-80/150	160	80/150	—	170	380	110...150	3000	44,5...50	Розповсюджені середні типи
SDZ1-200	180	200	220	170	380	150	3000	49	Типове промис- лове гальмо
SDZ1-300	200	300	330	170	380	200	3000	59	Для суднових приводів
SDZ1-450	225	450	500	170	380	200...210	3000	65	Широко засто- совуваний варіант
SDZ1-600	250	600	660	170	380	210...340	3000	65	Для важких суднових систем

Продовж. табл. Д.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SDZ1-850	280	850	940	170	380	340...400	3000	—	Велике промислове гальмо
SDZ1-2000	315	2000	2200	170	380	400...480	3000	—	Для потужних приводів
SDZ1-4000	355	4000	4400	170	380	≥480	3000	—	Найбільш потужне виконання

Примітка:

1. Електроживлення: котушки здійснюється постійним струмом через випрямляч.
2. Максимальна швидкість обертання для всіх моделей – до 3000 об/хв.
3. Гальмівний момент зазначений як номінальний (при номінальному зазорі).
4. Конкретні розміри маточини і маса залежать від виробника та виконання.
5. Для проєктування рекомендується використовувати паспорт конкретного виробу.

Навчальне видання

ГРЕШНОВ Андрій Юрійович
КІМСТАЧ Олег Юрійович

**РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРОПРИВОДА
ЯКІРНО-ШВАРТОВНОГО ПРИСТРОЮ**

Методичні вказівки
до розрахунку курсового проєкту з дисципліни
«Основи електропривода»

Комп'ютерна правка й коректура *О. Є. Вакула*
Комп'ютерне верстання *Ю. С. Семенченко*

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 4,07. Тираж 100 прим. Вид. № 12. Зам. № 0104-25.
Видавець і виготівник Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова
просп. Героїв України, 9, м. Миколаїв, 54007
E-mail : publishing@nuos.edu.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6402 від 19.09.2018 р.