

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І
СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ЕЛЕКТРИЧНІ МАШИНИ»
ДЛЯ СТУДЕНТІВ ДЕННОЇ ТА ЗАОЧНОЇ ФОРМ НАВЧАННЯ
ЗА НАПРЯМАМИ: 6.050702 – «ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА» І
6.050701 – «ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНОЛОГІЇ»
(У ТОМУ ЧИСЛІ ДЛЯ СКОРОЧЕНОГО ТЕРМІНУ НАВЧАННЯ)

Методичні вказівки щодо виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Електричні машини» для студентів денної та заочної форм навчання за напрямками: 6.050702 – «Електромеханіка», 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» (у тому числі для скороченого терміну навчання)

Укладачі: к.т.н., доцент А. В. Некрасов,
інж. I кат. В. В. Ромашина

Рецензент д.т.н., проф. А. П. Ращепкін.

Кафедра електричних машин та апаратів

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського

Протокол № _____ від _____

Голова методичної ради _____ проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Порядок видачі завдання на розрахунково-графічну роботу	5
2 Мета і вимоги до розрахунково-графічної роботи.....	5
3 Загальні технічні відомості.....	6
4 Етапи виконання розрахунково-графічної роботи.....	7
4.1 Розрахунок робочих характеристик.....	8
4.2 Розрахунок пускових характеристик.....	8
4.3 Тепловий розрахунок.....	8
5 Вказівки щодо оформлення пояснювальної записки.....	9
6 Захист розрахунково-графічної роботи.....	10
7 Критерії оцінювання розрахунково-графічної роботи.....	12
Список літератури	14
Додаток А Бланк завдання на розрахунково-графічну роботу	15
Додаток Б Зведені дані розрахунку асинхронного двигуна.....	16
Додаток В Зразок оформлення титульної сторінки пояснювальної записки розрахунково-графічної роботи.....	17

ВСТУП

Розрахунково-графічна робота є підсумком самостійної роботи студента з використанням отриманих теоретичних і практичних знань і застосуванням їх на практиці.

Мета розрахунково-графічної роботи: формування, систематизація, закріплення, розширення теоретичних і практичних знань з навчальної дисципліни «Електричні машини», розвиток навичок щодо самостійної роботи, опанування методики дослідження й аналізу поставленого завдання.

У результаті вивчення дисципліни студент повинен **знати**: принципи дії, конструкції, загальні та спеціальні властивості, характеристики та показники електричних машин і трансформаторів.

Також у результаті вивчення дисципліни студент повинен **уміти**: досліджувати моделі з урахуванням їх ієрархічної структури та оцінкою меж придатності отриманих результатів. Використовувати основні прийоми обробки експериментальних даних.

Для розрахунку вибрано найбільш широко розповсюджена електрична машина – асинхронний двигун.

При проектуванні розв'язується завдання вибору та розрахунку розмірів статора і ротора, електромагнітного розрахунку, розрахунку робочих і пускових характеристик, теплового і вентиляційного розрахунків, розробки конструкції машини.

Розробка конструкції асинхронного електродвигуна повинна бути основана на існуючих стандартах.

1 ПОРЯДОК ВИДАЧІ ЗАВДАННЯ НА РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНУ РОБОТУ

Студент від викладача отримує завдання на розрахунково-графічну роботу: для денної форми навчання – на першому практичному занятті відповідного семінару, у якому відбудеться виконання та захист розрахунково-графічної роботи; для заочної форми навчання – на установчій попередній сесії відповідного семестру, у якому відбудеться виконання та захист розрахунково-графічної роботи.

Викладач видає студенту оригінал завдання на розрахунково-графічну роботу, а копію завдання залишає у себе.

Разом із завданням студент отримує від викладача методичні вказівки щодо виконання розрахунково-графічної роботи. На практичних завданнях та консультаціях студент спілкується з викладачем і подає виконані етапи розрахунково-графічної роботи згідно з таблицею 1.

2 МЕТА І ВИМОГИ ДО РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

У розрахунково-графічній роботі розробляється асинхронний двигун з короткозамкненим ротором.

Мета розрахунково-графічної роботи: розширення і закріплення теоретичних знань з дисципліни, а також вивчення сучасних методів розрахунку електричних машин.

При проектуванні розв'язується завдання вибору та розрахунку розмірів статора і ротора, електромагнітного розрахунку, розрахунку робочих і пускових характеристик, теплового і вентиляційного розрахунків, розробки конструкції машини.

Розробка конструкції асинхронного електродвигуна повинна бути основана на існуючих стандартах.

3 ЗАГАЛЬНІ ТЕХНІЧНІ ВІДОМОСТІ

До захисту розрахунково-графічної роботи подається розрахунково-пояснювальна записка. Усі розрахунки необхідно виконувати в системі СІ. Розрахунково-пояснювальна записка виконується на аркушах форматом А4. До неї повинні входити завдання на розрахунково-графічну роботу, етапи розрахунків, указані у таблиці 1.

Формули і прийняті або вибрані величини повинні мати посилання на відповідну літературу.

Строк офіційного захисту вказується в завданні на розрахунково-графічну роботу. Розрахунково-графічні частини повинні відповідати вимогам ЄСКД.

У завданні на розрахунково-графічну роботу, що видається кожному студентові, зазначаються такі вихідні дані: номінальні значення потужності двигуна, напруги, частоти мережі, кількість полюсів, виконання ротора (фазний або короткозамкнений), конструктивне виконання, виконання щодо способу захисту від впливу навколишнього середовища, режим роботи. Можуть бути задані також додаткові вимоги до двигуна.

Розрахунково-графічна робота виконується в послідовності, указаній у табл. 1. Окремі етапи повинні бути виконані й подані для перевірки керівникові у встановлені терміни.

4 ЕТАПИ ВИКОНАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Порядок виконання розрахунково-графічної роботи зображений на табл. 1.

Таблиця 1 – Етапи виконання розрахунково-графічної роботи.

№ пор.	Етапи виконання розрахунково-графічної роботи	Терміни виконання по тижнях семестру
1	Вибір головних розмірів	1–2
2	Електромагнітний розрахунок статора і ротора	3–5
2.1	Розрахунок параметрів двигуна для номінального режиму	
2.2	Розрахунок втрат потужності	
2.3	Розрахунок параметрів і даних ХХ	
3	Тепловий і вентиляційний розрахунки	6–7
4	Розрахунок робочих характеристик	8–9
5	Розрахунок пускових характеристик	10–11
6	Розробка конструкції двигуна	12–13
7	Оформлення пояснювальної записки	14
8	Захист роботи	15

Порядок виконання етапів 1 – 6 показаний на прикладі розрахунку асинхронного двигуна з короткозамкненим (АД з КЗ) ротором, $P = 15\text{кВт}$ у літературі [1].

При побудові робочих характеристик потрібно використовувати літературу [1, 2].

4.1 Розрахунок робочих характеристик

Як вихідні дані при розрахунку робочих характеристик використовуються раніше знайдені й задані величини [1, табл. 9.36]:

$$P_{2H}(\text{кВт}); U_{1H}(\text{В}); 2p; I_{1H}(\text{А}); P_{\text{СТ}} + P_{\text{МЕХ}}(\text{кВт}); P_{\text{ДОБ.Н}}(\text{кВт}); I_{0a}(\text{А}); \\ I_{0p} \approx I_{\mu}(\text{А}); r_1, r'_2(\text{Ом}); b'; b(\text{Ом}); c_1, a'; a(\text{Ом}).$$

Як контрольний приклад зроблений розрахунок робочих характеристик, який розміщений на стенді курсового проектування АД з КЗ ротором в аудиторії 1113.

4.2 Розрахунок пускових характеристик

Пускові властивості асинхронних двигунів характеризуються початковим пусковим і максимальним моментом та початковим пусковим струмом.

Для короткозамкнених двигунів регламентуються початковий пусковий і мінімальний моменти, а також початковий пусковий струм. Тому для них необхідно виконувати розрахунок пускових характеристик. Спроектована машина повинна мати пускові властивості, які відповідають вимогам стандарту до двигунів з короткозамкненим ротором серії 4А [1, табл. 9.31].

У пояснювальній записці необхідно побудувати пускові характеристики $M^* = f(S)$ для діапазону зміни $S = S_H \div 1, 0$.

Як вихідні дані при розрахунку пускових характеристик використовують величини [1, табл. 9.38]: P_{2H} (кВт); U_{1H} (В); $2p$; X_{12H} (Ом); X'_2 (Ом); r_1 (Ом); r'_2 (Ом); I_{1H} (А); I'_{2H} (А); S_H .

4.3 Тепловий розрахунок

На початковій стадії проектування досить достовірну оцінку теплового режиму двигуна дає наближений метод теплового розрахунку, заснований на

спрощеному уявленні про характер теплових зв'язків між елементами електричної машини. У ньому використовують середні значення коефіцієнтів тепловіддачі з поверхні й теплопровідності ізоляції, характерні для певної конструкції й технології виробництва двигунів даного типу.

Для розрахунку нагріву асинхронних машин, спроектованих на базі серій 4А і АІ, беруть усереднені коефіцієнти тепловіддачі з поверхні й теплопровідності ізоляції в пазовій і лобовій частинах обмоток.

У пояснювальній записці необхідно оцінити перевищення температури сердечника статора, перепад температури в ізоляції та перевірити умови охолодження двигуна [див. 1, с. 449 – 456, с. 473 – 474].

5 ВКАЗІВКИ ЩОДО ОФОРМЛЕННЯ ПОЯСНЮВАЛЬНОЇ ЗАПИСКИ

Пояснювальна записка повинна бути виконана на стандартних аркушах паперу форматом А4. Зворотний бік аркуша не використовується. Титульна сторінка до записки складається за формою, наведеною в додатку Г. На першій сторінці після титульної повинно бути розміщене завдання на розрахунково-графічну роботу (додаток А), яке видається на початку роботи. Далі йде зміст, короткий вступ і текст записки за розділами проекту згідно з табл.1. У кінці записки міститься список рекомендованої літератури, на використання якої робляться посилання у тексті записки.

Сторінки записки необхідно пронумерувати, рисунки (ескізи, графіки) виконати на окремих аркушах міліметрового паперу того ж формату, що й аркуші паперу для письма або на персональних електронних обчислювальних машинах (ПЕОМ).

Уся записка (і текст, і цифровий матеріал) пишеться чорнилами або друкується на принтері.

У тексті записки слід уникати багатослівних пояснень і загальних міркувань (крім необхідних). Необхідні по ходу розрахунку пояснення і

обґрунтування слід робити коротко і чітко. При записі розрахунків необхідно обов'язково привести розрахункову формулу у загальному вигляді, потім ту ж формулу із заміною символів відповідними числами і, нарешті, числовий результат із зазначенням розмірності.

Результати проміжних обчислень можуть бути опущені. Обсяг записки 20 – 25 аркушів.

Усі розрахунки рекомендується проводити у системі СІ.

6 ЗАХИСТ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Захист розрахунково-графічної роботи проводиться перед комісією із 2–3 викладачів, включаючи керівника проекту, за присутності всіх бажаючих студентів і викладачів.

До захисту допускаються роботи, перевірені й підписані керівником. Підписи керівника повинні бути на пояснювальній записці. Пояснювальна записка під час захисту передається до комісії.

На початку захисту студент робить 5 – 8-ми хвилинне повідомлення про виконану роботу, у якому слід чітко сформулювати поставлену задачу, зазначити найбільш цікаві конструктивні й розрахункові рішення, прийняті в роботі, найбільші труднощі, які виникли при роботі, та закінчити доповідь порівнянням отриманих даних двигуна із завданням і даними аналогічних машин, які випускаються промисловістю.

Після повідомлення студенту можуть бути задані кілька питань, які стосуються як спроектованої машини, так і загальної теорії, розрахунку і конструкції машин даного типу. Щоб правильно відповісти на них, необхідна серйозна підготовка до захисту роботи. Для підготовки до захисту слід відновити у пам'яті відомості, отримані з курсу лекцій з електричних машин, а також вивчити відповідні розділи рекомендованої літератури.

Нижче приклад наведено деякі з питань, які можуть бути задані при захисті проекту.

1. Від чого залежать головні розміри електричної машини? Чи будуть вирізнятися головні розміри електричних машин, спроектованих на одну й ту саму потужність, але на окрему частоту обертання; на різні номінальні напруги?
2. Яка величина магнітної індукції в повітряному зазорі допускається в електричних машинах, аналогічних спроектованій, що обмежує можливість її збільшення?
3. Які дані є вихідними під час вибору підшипників і які підшипники встановлені на спроектованому двигуні?
4. Які залежності враховуються під час вибору повітряного зазору? Чи впливає його величина на струм холостого ходу електродвигуна, на потік, на коефіцієнт потужності?
5. Обґрунтуйте вибрану в проекті конструкцію статора. Чи можливі інші варіанти і чим вони гірші за прийнятий?
6. Які параметри схеми заміщення спроектованого двигуна змінюються під час зміни ковзання від 1 до 0? Чим пояснюється ця зміна?
7. Як залежать максимальний і пусковий моменти від активних та індуктивних опорів статора і ротора?
8. Чи можливо електродвигун, призначений для роботи в повторно-короткочасному режимі ПВ–25, експлуатувати з номінальним навантаженням в режимі ПВ–40?
9. Чому асинхронні двигуни менших габаритів єдиної серії випускаються тільки в закритому виконанні?
10. Як відобразиться збільшення або зменшення напруги мережі живлення на коефіцієнті потужності і ККД асинхронного двигуна, який працює з номінальним навантаженням?
11. Який з вузлів асинхронного двигуна є найбільш надійним?
12. Чим визначається технічний рівень спроектованої електричної машини?

Крім перерахованих, можуть бути питання, що стосуються результатів, отриманих у процесі розрахунку роботи, наприклад: яка щільність струму вибрана в обмотках статора та ротора; чому дорівнюють втрати в сталі ротора; яке номінальне і критичне ковзання спроектованого двигуна тощо.

Для відповідей на ці питання необов'язково знати напам'ять усі цифри. При захисті, з дозволу комісії, можливо використати пояснювальну записку як довідковий матеріал. Проте швидко знайти у ній потрібну цифру часто буває важко. У зв'язку з цим рекомендується під час підготовки до захисту роботи заповнити додаток Б і використати його у доповіді про виконання проекту та під час відповідей на всі питання.

7 КРИТЕРІЇ ОЦІНЮВАННЯ РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНОЇ РОБОТИ

Позитивна оцінка за виконання розрахунково-графічної роботи може бути одержана лише за умови, що на всі поставлені запитання були надані позитивні відповіді.

Рівень позитивної оцінки (задовільно, добре чи відмінно) визначиться глибиною даних пояснень, чіткістю формулювань, якістю викладання матеріалу та його оформленням. При цьому, для оцінки "відмінно" необхідно враховувати граматичні показники відповіді, відповідність графічного та іншого оформлення діючим стандартам.

Розподіл балів, які отримують студенти

Вид контролю	Бали
Лекції	Відвідування: 25 % – 2 бали; 50 % – 4 балів; 75 % – 6 балів; 100 % – 8 балів.

	<p>Наявність конспекту:</p> <p>2 бали.</p> <p>Усього: 10 балів.</p>
Лабораторні роботи	<p>Відвідування – 10;</p> <p>– володіння теоретичними матеріалом – 5;</p> <p>– глибина пояснень, чіткість формулювань – 10;</p> <p>– якість оформлення матеріалу – 5.</p> <p>Усього: 30 балів.</p>
Розрахунково-графічна робота	<p>– володіння теоретичними матеріалом – 10;</p> <p>– глибина пояснень, чіткість формулювань – 10;</p> <p>– якість розрахунків – 10;</p> <p>– дотримання вимог стандартів – 5;</p> <p>– якість оформлення матеріалу – 5.</p> <p>Усього: 40 балів.</p>
Поточний і підсумковий контроль (4 тести)	<p>Виконання контрольних тестів (середня оцінка):</p> <p>«відмінно» – 20 балів;</p> <p>«добре» – 15 балів;</p> <p>«задовільно» – 10 балів.</p> <p>Всього: 20 балів.</p>
Всього	100

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Проектування електричних машин : підручник для вузів / І. П. Копилов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкін, Б. Ф. Токарев – Москва : Вища шк., 2002. – 760 с.:іл.
2. Гольдберг О.Д. Проектирование электрических машин. / О. Д. Гольдберг, Я. С. Гурин, И. С. Свириденко – Москва : Высшая школа, 2001. – 430 с.

КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО
ІНСТИТУТ ЕЛЕКТРОМЕХАНІКИ, ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ І
СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

Кафедра «Електричні машини та апарати»

Дисципліна «Електричні машини»

Спеціальність (напрямок) _____

Курс _____ група _____ семестр _____

ЗАВДАННЯ

на розрахунково-графічну роботу студенту

-
1. Тема роботи: Проектування асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором серії 4А
 2. Строк здачі студентом закінченого роботи _____
 3. Вихідні дані до роботи:
Номінальна потужність $P =$ _____ кВт; Номінальна напруга $U =$ _____ / _____ В;
Синхронна частота обертання $n =$ _____ об/хв; Ступінь захисту IP _____ ; 3 фази; 50 Гц; режим роботи – S1; охолодження IC01; монтаж IM1001.
 4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які підлягають розробці):
Згідно з методикою розрахунку.
 5. Дата видачі завдання _____.

ЗВЕДЕНІ ДАНІ РОЗРАХУНКУ АСИНХРОННОГО ДВИГУНА

Номінальні дані:

 $P_{2H} =$ кВт; $U_H =$ В; $n_H =$ об/хв; $I_{1H} =$ А; $\cos\varphi_H =$; $\eta_H =$

Основні розрахункові дані:

 $D_a/D =$ / ; $l_1/l_2 =$ / ; $\delta =$ мм; $\tau =$ см; $\lambda = l_\delta/\tau =$; $Z_1/Z_2 =$ / ; $B_\delta =$ Т; $I_0 =$ А; $\cos I_0 =$ Параметри схеми заміщення

Найменування	При номінальному режимі ($S_H =$)	Під час пуску ($S_n = 1$)
R_1		
X_1		
r_2'		
x_2'		
Z_{12}'		
X_{12}'		

Втрати при нормальному навантаженні

Види втрат	кВт	% до P_H
1. Електричні втрати		
У тому числі:		
в обмотці статора		
в обмотці ротора		
2. Втрати у сталі		
У тому числі:		
основні в статорі		
додаткові (поверхневі й пульсаційні)		
Втрати механічні		
Втрати додаткові		
Сума втрат		

Перевищення температури:

обмотки статора $\Theta_{m1} =$ °С;обмотки ротора $\Theta_{m2} =$ °С;сталі ротора $\Theta_{c1} =$ °С.

КРЕМНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО

КАФЕДРА ЕЛЕКТРИЧНИХ МАШИН ТА АПАРАТІВ

РОЗРАХУНКОВО-ГРАФІЧНА РОБОТА

з електричних машин

на тему Проектування асинхронного двигуна серії 4А

Студента __ курсу _____ групи

напряму підготовки: _____

спеціальності: _____

(прізвище та ініціали)

Керівник: доц., к.т.н., Некрасов А.В.

Національна шкала _____

Кількість балів: _____ Оцінка: ECTS _____

Члени комісії

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Кременчук – 2016 рік

Методичні вказівки щодо виконання розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Електричні машини» для студентів денної та заочної форм навчання за напрямками: 6.050702 – «Електромеханіка», 6.050701 – «Електротехніка та електротехнології» (у тому числі для скороченого терміну навчання)

Укладачі: к.т.н., доцент А. В. Некрасов,
інж. I кат. В. В. Ромашина

Відповідальний за випуск зав. кафедри ЕМА проф. В. С. Дзюбан

Підп. до др. _____. Формат 60×84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.

Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Видавничий відділ

Кременчуцького національного університету

імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600