МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ДО ВИКОНАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

з дисципліни **Автоматизований електропривод харчових виробництв**

Ступінь вищої освіти – бакалавр. Спеціальність:141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» для денної та заочної форм навчання.

Одеса – 2021

Методичні вказівки для здобувачів першого рівня СВО «бакалавр», для виконання курсового проекту з дисципліни Автоматизований електропривод харчових виробництв, спеціальності 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка», галузь знань 14 – «Електрична інженерія», освітньо-професійна програма – «Електромеханічні системи з інтелектуальним керуванням» / Укл.: П.І. Осадчук, А.А. Галіулін, В.Ф. Бабіч, В. Л. Малишев. – Одеса, ОНАХТ, 2021. – 31 с.

Укладачі: зав. кафедри ЕтаМ П.І. Осадчук, д.т.н., доцент,
А.А. Галіулін, к.т.н., доцент,
В.Ф. Бабіч, к.т.н., доцент,
В. Л. Малишев, асистент

1. МЕТА І ЗАВДАННЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Курсове проектування – це проміжний етап навчання студентів у вузі за кваліфікацією «бакалавр». Його кінцевим результатом є розрахунково-графічна робота, яка називається курсовим проектом та представляється студентом до захисту комісії. Зміст курсового проекту повинен відповідати спеціальним вимогам, виконання яких дозволяє комісії оцінити рівень знань на навичок.

Курсове проектування, виходячи з викладеного, має такі мету і завдання:

М е т а : інтеграція знань, умінь і навичок, отриманих за окремими дисциплінами, у єдиний комплекс за рахунок самостійного виконання кожним студентом цілісної, логічно обумовленої і взаємозалежної роботи.

З а в д а н н я :

а) вибрати для реалізації електроприводу приводний двигун з урахуванням режиму роботи та розрахувати його параметри, котрі забезпечують безпечну і надійну експлуатацію електромеханічної системи;

б) обґрунтувати вибір електроприводу та розрахувати параметри та характеристики його окремих елементів;

в) розрахувати статичні та динамічні характеристики досліджуваного електроприводу засобами імітаційного моделювання з використанням прикладних програмних пакетів;

г) розробити комплект проектної документації для впровадження електромеханічної системи на виробництві.

2. ОРГАНІЗАЦІЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТУВАННЯ І ЗАХИСТУ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

2.1. На початку 7 семестру студенти разом з керівником визначають напрямок (орієнтовану тему) курсового проекту (КП). При виборі напрямку КП пріоритет має та тематика, за якою студент буде виконувати дипломний проект.

2.2. Роботу над курсовим проектом виконують відповідно до календарного плану, який видається студентам керівником курсового проекту. Він включає три перевірки у відповідності до кількості розділів курсового проекту. Студенти, які порушують графік роботи над курсовим проектом, можуть бути викликані на засідання кафедри для звіту і вирішення питання про відсторонення їх від проектування. За результатами перевірок і (чи) на підставі представлення керівника студенти, які відстають, можуть бути направлені на кафедральний перегляд усіх матеріалів проекту. На основі перегляду роблять висновок про наявність у КП мінімально достатнього обсягу матеріалів, які підлягають обов'язковій розробці, їх якості і дається подання на кафедру про можливість допуску студента до захисту КП.

2.3. Остаточний допуск студентів до захисту здійснюється після перегляду і підписання завідувачем кафедри цілком оформленого курсового проекту. На підпис подаються:

а) зброшурована пояснювальна записка, титульний лист і лист завдання, які мають усі передбачені підписи (крім підпису завідувача кафедри);

б) повний комплект передбачених завданням креслень, штампи яких заповнені і підписані студентом і керівником КП.

2.4. Захист курсових проектів здійснюється за графіком, розробленим на кафедрі.

Матеріали курсового проекту студент представляє в комісії в складі трьох викладачів кафедри.

Захист передбачає:

- заслуховування доповіді студента про виконану роботу;
- його відповіді на питання за доповіддю і змістом КП, які задають члени комісії.

Доповідь студента повинна бути ретельно підготовлена. Її зміст повинен відобразити всі розділи КП. При цьому акценти роблять на обґрунтуванні актуальності теми, результатах, які представляють на думку автора найбільший інтерес, висновках. Як ілюстративний матеріал при доповіді використовують графічну частину курсового проекту і (або) розроблене в ході проектування програмне забезпечення, яка має опрацьований графічний інтерфейс користувача, виведений на монітор ПЕОМ. Пояснювальну записку перед доповіддю передають для перегляду членам комісії. Час доповіді не повинен перевищувати 10 хвилин.

Відповіді на питання і зауваження повинні бути конкретними і, по можливості, короткими.

Оцінку за курсовий проект обчислюють як середнє арифметичне оцінок, виставлених за курсовий проект і роботу над ним керівником і членами комісії. Члени комісії оцінку виставляють з урахуванням не тільки обсягу, глибини проробления матеріалу курсового проекту, використання сучасних технологій і якості оформлення КП, але і підготовленості доповіді, правильності і переконливості відповідей на питання, уміння аргументовано відстоювати свою думку.

3. СТРУКТУРА, ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ І ЗМІСТ КУРСОВОГО ПРОЕКТУ

3.1. Структура і вимоги до оформлення матеріалів курсового проекту

Курсовий проект оформлюють у вигляді зброшурованої текстової частини розрахунково-пояснювальної записки (РПЗ) і графічної частини, виконаної переважно на аркушах формату А1.

3.1.1. Структура розрахунково-пояснювальної записки

Структура й оформлення РПЗ повинні відповідати ДСТУ 3008-95 "Документація. Звіти в сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення" і ДСТУ ГОСТ 7.1:2006 "Система стандартів з інформації, бібліотечної та видавничої справи. Бібліографічний запис. Бібліографічний опис. Загальні вимоги та правила складання.". РПЗ повинна включати:

- титульний лист;
- завдання на курсовий проект;

- зміст;
- перелік умовних позначень, символів і одиниць;
- вступ;
- основну частину;
- висновок;
- перелік посилань (список використаної літератури);
- додатки.

3.1.1.1. Титульний лист (див. додаток А) є першою сторінкою РПЗ і включає дані, які розміщують в наступній послідовності:

- найменування міністерства;
- найменування вищого учбового закладу;
- найменування факультету;
- найменування спеціальності;
- найменування кафедри;
- повне найменування курсового проекту;
- прізвище і ініціали автора;
- прізвище і ініціали керівника курсового проекту;
- назва міста і рік складання РПЗ.

3.1.1.2. Завдання на курсовий проект є другою сторінкою РПЗ. Воно являє собою бланк установленої форми (див. додаток Б), усі графи якого заповнюють ручкою чорного кольору державною мовою.

3.1.1.4. Зміст (див. додаток В) розміщують безпосередньо після завдання, починаючи з нової сторінки. Він включає:

- перелік умовних позначень, символів, одиниць;
- послідовно перераховані: вступ, найменування всіх розділів, підрозділів, пунктів і підпунктів (якщо вони мають заголовки) основної частини РПЗ, висновки;
- перелік посилань;
- найменування додатків, номери сторінок, на яких міститься початок матеріалу;
- перелік найменувань аркушів графічної частини КП.

3.1.1.5. Перелік умовних позначень включає розшифровку умовних позначень (для розмірних одиниць – з зазначенням розмірності), символів, одиниць, скорочень і нових термінів. Його розташовують безпосередньо після змісту на новій сторінці. Незалежно від цього з першою появою всіх цих елементів у тексті РПЗ наводять їх розшифровку.

3.1.1.6. Вступ містить у собі обґрунтування важливості і шляхів підвищення економічної ефективності електроприводів технологічних механізмів в умовах ринкових відносин, а також короткий аналіз сучасних технологій створення, стану і напрямків розвитку елементів та систем електроприводів, обґрунтування доцільності їх застосування при модернізації систем автоматизації на підприємстві.

3.1.1.7. Основна частина містить у собі взаємозалежні розділи, у яких описують усі стадії розробки системи електроприводу від формулювання мети до створення комплекту технічної документації, необхідної для її впровадження

на підприємстві.

3.1.1.8. Висновок містить у собі підсумкові технічні й економічні характеристики розробленої системи, рекомендації з її впровадження і подальшого удосконалення.

3.1.1.9. Перелік джерел, на які посилаються в основній частині РПЗ, містить у собі бібліографічні описи використаних при виконанні курсового проекту джерел (книги, журнальні статті, патенти, звіти про науково-дослідну роботу, документація на технічні засоби, прайс-листи і т.д.). Порядкові номери описів у переліку є посиланнями (номерні посилання), які повинні бути розміщені у відповідних місцях тексту. Порядок їх розміщення повинен відповідати порядку згадування в тексті.

Бібліографічні описи посилань наводять відповідно до діючих стандартів з бібліотечної і видавничої справ.

3.1.1.10. Додатки (за необхідністю) можуть містити у собі лістинги текстів програм, які реалізують алгоритми управління.

3.1.2. Вимоги до оформлення розрахунково-пояснювальної записки

Пояснювальна записка може бути оформлена комп'ютерним набором або рукописним способом на одній стороні аркуша через півтора інтервали з висотою букв і цифр не менше 2,5 мм (шрифт Times New Roman, кегль 14). Рукописна записка повинна бути написана розбірливо, чорнилом або пастою чорного (допускається синього чи фіолетового) кольору.

Відстань від рамки форми до границь тексту слід залишати: на початку рядків не менше 5 мм, наприкінці рядків - не менше 3 мм. Відстань від верхнього чи нижнього рядка до верхньої чи нижньої рамки форми повинна бути не менше 10 мм. Абзаци в тексті починають відступом, рівним п'ятьом ударам друкарської машинки (16-17 мм). Відстань між заголовком і текстом - 4-5 інтервалів (15 мм). Відстань між заголовком розділу і підрозділу - 2 інтервали (10 мм).

Кожен розділ записки рекомендується починати з нової сторінки. Розділам присвоюються порядкові номери, котрі позначаються арабськими цифрами. При наявності підрозділів їх номери складаються з номера розділу і порядкового номера підрозділу з крапкою між ними. В кінці номеру розділу або підрозділу крапка не ставиться. Заголовки розділів слід розташовувати посередині рядка і друкувати великими літерами без крапки в кінці, не підкреслюючи. Заголовки підрозділів, пунктів і підпунктів звіту слід починати з абзацного відступу і друкувати маленькими літерами, крім першої великої, не підкреслюючи, без крапки в кінці. Найменування розділів і підрозділів повинне бути коротким та відповідати змісту. Перенесення слів у заголовку розділу не допускається. Абревіатура в найменуваннях розділів і підрозділів не допускається. Не допускається розміщувати назву розділу, підрозділу, а також пункту й підпункту в нижній частині сторінки, якщо після неї розміщено тільки один рядок тексту.

Формули та рівняння розташовують безпосередньо після тексту, в якому вони згадуються, посередині сторінки. Вище і нижче кожної формули або рівняння повинно бути залишено не менше одного вільного рядка. Формули і рівняння (за винятком формул і рівнянь, наведених у додатках) слід нумерувати

порядковою нумерацією в межах розділу. Номер формули або рівняння складається з номера розділу і порядкового номера формули або рівняння, відокремлених крапкою, наприклад, формула (1.3) – третя формула першого розділу. Номер формули або рівняння зазначають на рівні формули або рівняння в дужках у крайньому правому положенні на рядку. Пояснення значень символів і числових коефіцієнтів, що входять до формули чи рівняння, слід наводити безпосередньо під формулою у тій послідовності, в якій вони наведені у формулі чи рівнянні. Пояснення значення кожного символу та числового коефіцієнта слід давати з нового рядка. Перший рядок пояснення починають з абзацу словом "де" без двокрапки. Переносити формули на наступний рядок допускається тільки на знаках виконуваних операцій, причому знаки на початку наступного рядка повторюють. При переносі на операції множення застосовують знак ×. Знаки №, §, + і т.д. слід застосовувати тільки при числових значеннях. У тексті ці знаки пишуть словами.

Приклад

Потужність двигуна насосу розраховується, як

$$P = \frac{Q \cdot H}{\eta} \qquad (3.1)$$

де Q – подача насосу;

H – тиск насосу;

η – ККД насосу [23].

Умовні літерні позначення математичних, фізичних і інших величин повинні відповідати державним стандартам. Основним формулам присвоюється номер у круглих дужках. Посилання в тексті даються в круглих дужках.

В тексті РПЗ застосовують стандартизовані одиниці фізичних величин, їх найменування та позначення за вимогами ГОСТ 8.417-2002 "Государственная система обеспечения единства измерений. Единицы величин". Літерні позначення одиниць рахунку і вимірів фізичних величин застосовують у тексті при числових значеннях і записують без крапки (наприклад, 5 міс., 10 кг). Найменування одиниць рахунку і вимірів фізичних величин, які використовують в тексті без числових значень, слід записувати без скорочень (наприклад: довжина наведена в міліметрах).

Ілюстрації (креслення, рисунки, графіки, схеми, діаграми, фотознімки) слід розміщувати у звіті безпосередньо після тексту, де вони згадуються вперше, або на наступній сторінці. Ілюстрація позначається словом "Рисунок __", яке разом з назвою ілюстрації розміщують після пояснювальних даних, наприклад, "Рисунок 3.1 – Схема розміщення". Ілюстрації слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком ілюстрацій, наведених у додатках. Номер ілюстрації складається з номера розділу і порядкового номера ілюстрації, відокремлених крапкою, наприклад, рисунок 3.2 – другий рисунок третього розділу.

Цифровий матеріал, як правило, оформлюють у вигляді таблиць. Табли-

цю слід розташовувати безпосередньо після тексту, у якому вона згадується вперше, або на наступній сторінці. На всі таблиці мають бути посилання в тексті РПЗ. Таблиці слід нумерувати арабськими цифрами порядковою нумерацією в межах розділу, за винятком таблиць, що наводяться у додатках. Номер таблиці складається з номера розділу і порядкового номера таблиці, відокремлених крапкою, наприклад, таблиця 2.1 – перша таблиця другого розділу. Таблиця повинна мати заголовок, який слід виконувати малими літерами (крім першої прописної) і розміщувати над таблицею посередині. Заголовки граф таблиці починають з прописних літер, а підзаголовки - з рядкових, якщо вони складають одне речення з заголовком. Підзаголовки, які мають самостійне значення, пишуть з прописної літери. Наприкінці заголовків і підзаголовків таблиць розділові знаки не ставлять. Заголовки дають в однині. Висота рядків таблиці повинна бути не менше 8 мм.

Приклад

Таблиця 3.1 – Енергетичні характеристики й показники якості електроприводу холодильної установки

Енергетична характеристика або показник якості	Система регулювання температури		
	двопозиційна	однофазний АЕП	трифазний АЕП
Споживаний струм, А	0,86	0,44	0,42
Споживана потужність, Вт	115	65	63
ККД	0,63	0,5	0,54
Коефіцієнт потужності	0,57	0,67	0,67
Коефіцієнт нелінійних викривлень (КНВ)	0	1,06	1,24

Якщо рядки або графи таблиці виходять за межі формату сторінки, таблицю поділяють на частини, розміщуючи одну частину під одною, або поруч, або переносячи частину таблиці на наступну сторінку, повторюючи в кожній частині таблиці її головку і бокових. При поділі таблиці на частини допускається її головку або бокових заміняти відповідно номерами граф чи рядків, нумеруючи їх арабськими цифрами у першій частині таблиці. Слово "Таблиця __" вказують один раз зліва над першою частиною таблиці, над іншими частинами пишуть: "Продовження таблиці __" з зазначенням номера таблиці

Допоміжний матеріал (тексти програм і т. ін.) дають у додатку. Номер і наявність заголовка додатка обов'язкові. Правила оформлення додатків ідентичні правилам оформлення пояснювальної записки.

Посилання на літературу дають у тексті в квадратних дужках у порядку їх розташування. Сторінки нумерують, починаючи з титульного листа. Номер сторінки ставлять у правому верхньому куті. Кожна сторінка пояснювальної записки (окрім титульного листа та завдання) має рамку з основним написом, форма якого наведена в додатку Г. Перша сторінка змісту РПЗ містить основний напис, який заповнюється у відповідності до додатку Г.

В РПЗ застосовуються науково-технічні терміни, позначення і визначен-

ня, які встановлені відповідними стандартами, а при їх відсутності – загальноприйняті в науково-технічній літературі. Допускається форма викладу тексту з використанням дієслова першої особи множини: "приймаємо...", "розрахуємо...". В тексті РПЗ не допускається застосовувати звороти розмовної мови, техніцизми, русизми, різні науково-технічні терміни для одного і того ж поняття, довільні словотворення, скорочення слів, що не відповідають ГОСТ 2.316-2008 ЕСКД Правила нанесения надписей, технических требований и таблиц на графических документах.

3.1.3. Структура і вимоги до оформлення графічної частини курсового проекту

Графічна частина («аркуші») курсового проекту дублює основні рисунки (схеми, графіки) і таблиці, що містяться в РПЗ. Їх дублювання на аркушах необхідне для використання як ілюстративного матеріалу при доповіді. Конкретний перелік аркушів цієї групи визначається разом з керівником КП. Головна вимога при цьому – відобразити всі етапи роботи над курсовим проектом, показавши цілісність і логічну завершеність розробки.

Спеціальних вимог до оформлення аркушів графічної частини не ставиться. Виняток складають креслення кінематичних та електричних принципових схем елементів або системи електроприводу, які виконують відповідно до діючих нормативних документів і вимог ЄСКД, СПДС, ДСТУ з урахуванням прийнятої системи буквено-цифрових позначень окремих елементів (див. додаток Д).

Креслення та інші аркуші графічної частини виконують, як правило, на аркушах формату А1 з переважним розташуванням основного напису паралельно великій стороні аркуша. Кожен окремий технічний документ повинен мати окремий основний напис. На аркуші формату А1 допускається розміщення окремих технічних документів менших форматів. Графічні матеріали повинні бути наочними і займати велику частину листа. Заповнення основного напису виконується відповідно до додатку Г.

3.2. Зміст курсового проекту (розділів)

3.2.1. Вступ

Вступ містить у собі обґрунтування важливості і шляхів підвищення економічної ефективності електроприводів технологічних механізмів в умовах ринкових відносин, а також короткий аналіз сучасних технологій створення, стану і напрямків розвитку елементів та систем електроприводів, обґрунтування доцільності їх застосування при модернізації систем автоматизації на підприємстві. У вступі повинна бути зазначена актуальність обраної теми курсового проектування та окреслені об'єкт і предмет дослідження.

3.2.2. Розділ 1. Формулювання вимог до електроприводу. Обґрунтування типу двигуна, розрахунок потужності та перевірка за нагрівом та перевантаженням

Забезпечуючі дисципліни: Електричні машини, Теорія електроприводу,

Автоматизований електропривод харчових виробництв.

Включає наступні підрозділи.

1.1. Загальна характеристика технологічного процесу (агрегату, машини)

У цьому підрозділі:

а) наводять технологічну схему і дають опис технологічного процесу і технологічного агрегату (машини), що його реалізує; особливу увагу треба приділити визначенню характеру навантажень агрегату (машини), його режиму роботи (тривалий, повторно-короткочасний тощо), характеристиці виробничого приміщення, де встановлений технологічний агрегат (машина), з точки зору вибухопожежної та пожежної небезпеки, електробезпеки.

б) наводять структурну схему системи автоматичного регулювання (САР) параметрів технологічного процесу (агрегату, машини), розроблену попередньо в курсовій роботі з дисципліни «Теорія автоматичного керування» [1]; описати сенс змінних даної системи; конкретизувати функцію електропривода агрегату (машини) в даній системі керування.

1.2. Формулювання вимог до електроприводу технологічного агрегату

У цьому підрозділі:

а) конкретизують найбільш узагальнені вимоги, що висуваються до електроприводу розглянутого в попередньому розділі технологічного агрегату;

б) серед найбільш поширених вимог до електроприводу можна вказати на такі [2, 3]: режим роботи за нагрівом, наявність реверсу, регульованість, координати, що регулюються, діапазон регулювання координат, похибка регулювання в статичному режимі, потреба в гальмуванні, інтенсивність динамічних режимів, додаткові вимоги.

1.3. Обґрунтування і вибір типу двигуна, розрахунок потужності та перевірка за нагрівом та перевантаженням

У цьому підрозділі:

а) визначають режим роботи, обирають рід струму, тип і конструктивне виконання двигуна [4-7], виходячи з умов експлуатації та вимог до електроприводу;

б) конкретизують тип обраного двигуна, ознайомившись за каталогами або довідниками із шкалами номінальних напруг, потужностей та швидкостей двигунів даної серії, та виходячи з потреб забезпечення статичних режимів роботи технологічного агрегату, користуючись при цьому одним з методів еквівалентних величин із врахуванням режиму роботи і виконання двигуна за системою охолодження [2, 8];

в) розраховують і будують навантажувальну діаграму [8, 9], в якій враховують, крім статичних, динамічні моменти механізму і двигуна, на основі чого, користуючись обраним методом еквівалентних величин, перевіряють двигун за нагрівом, а також перевантаженням.

3.2.3. Розділ 2. Обґрунтування вибору, розробка структурних і функціональних схем та розрахунок параметрів окремих елементів електроприводу

Забезпечуючі дисципліни: Електричні машини, Теорія електроприводу, Автоматизований електропривод харчових виробництв, Системи управління

електроприводами.

Даний розділ містить наступні підрозділи:

2.1. Обґрунтування вибору електроприводу та розробка його функціональної схеми

У цьому підрозділі:

а) здійснюють огляд функціональних можливостей та вибір електроприводу на базі техніко-економічного зіставлення кількох варіантів, які конкурують між собою, та якісної оцінки властивостей окремих електроприводів у статичних та динамічних режимах, їхньої складності та надійності, економічності, відповідності заданим вимогам експлуатації;

б) розробляють функціональну схему електроприводу на базі схем відомих електроприводів постійного [2, 3] та змінного [3, 10, 11] струму, при цьому використовують лише ті елементи та зв'язки між ними, що необхідні для реалізації завдання управління технологічним агрегатом.

2.2. Розрахунок керованого перетворювача енергії

У цьому підрозділі:

а) розраховують параметри та обирають за каталогами ключові елементи випрямлячів та (або) інверторів;

б) розраховують потужність і обирають тип узгоджуючого трансформатора;

в) розраховують параметри фільтрів випрямлячів;

г) розраховують та будують регулювальні характеристики перетворювачів електроенергії;

д) розробляють алгоритм керування ключовими елементами в імпульсних схемах і проектують схему управління.

2.3. Розробка структурної схеми електроприводу та розрахунок параметрів його елементів

У цьому підрозділі:

а) розробляється структурна схема електроприводу згідно з сформульованими вимогами до електроприводу, з урахуванням його функціональної схеми, для чого вирішується, до яких типових ланок можна віднести кожен з елементів електроприводу, і записують їхні передаточні функції;

б) розраховуються коефіцієнти підсилення та сталі часу двигуна, перетворювача електроенергії, датчиків зворотних зв'язків;

в) розраховують та будують механічну або електромеханічну природну та основну характеристики;

г) за структурною схемою складають вирази, що визначають залежність частоти обертання двигуна від задаючої дії (сигналу завдання) та збурюючої дії (моменту або струму навантаження), на підставі чого, згідно з вимогами до статичних характеристик, визначають тип регулятора та значення його параметрів.

3.2.4. Розділ 3. Моделювання динамічних режимів електроприводу

Забезпечуючі дисципліна: Теорія електроприводу, Автоматизований електропривод харчових виробництв, Системи управління електроприводами, Ідентифікація і моделювання технологічних об'єктів.

Даний розділ містить наступні підрозділи:

3.1. Складання імітаційної моделі електроприводу

У цьому підрозділі:

а) за допомогою передаточних функцій окремих елементів структурної схеми записують передаточну функцію, а потім і рівняння розімкненої системи електроприводу, за яким у разі необхідності проводять перевірку системи на стійкість в замкненому стані і синтез відповідних коригуючих ланок;

б) за допомогою отриманих передаточних функцій окремих елементів електроприводу, зворотних зв'язків та коригуючих ланок будують імітаційну модель електроприводу технологічного механізму з використанням пакету візуального програмування *Matlab/Simulink* [12, 13].

3.2. Отримання та обробка результатів моделювання електроприводу

У цьому підрозділі:

а) із застосуванням обраних інструментальних засобів отримують графічні залежності основних координат електроприводу (момент, струм, частота обертання, ЕРС тощо);

б) аналізують отримані графічні зображення перехідних процесів на предмет відповідності заданим до електроприводу вимогам за такими показниками: час перехідного процесу, який визначає продуктивність технологічного процесу; перерегулювання та ступінь коливальності окремих координат електроприводу.

3.2.5. Висновки

Висновки повинні містить у собі підсумкові техніко-економічні показники спроектованого електроприводу, рекомендації з його впровадження і подальшого удосконалення. При написанні висновків студент повинен дати відповідь на наступні питання:

а) який саме електропривод було обрано для керування технологічним агрегатом (машиною), і які вимоги спричинили даний вибір;

б) який двигун (тип, потужність) було обрано в якості приводного елементу електроприводу;

в) які елементи керованого перетворювача електроенергії в складі електроприводу були обрані та розраховані;

г) які типи регуляторів та параметри їхнього настроювання були визначені для формування заданих електромеханічних характеристик електроприводу;

д) які отримані результати моделювання електроприводу та рекомендації щодо удосконалення алгоритмів керування.

1 ПЕРШИЙ ВАРІАНТ ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ МОСТА КРАНА

1.1 Вихідні дані для розрахунку

Необхідні дані для розрахунків наведені в табл. 1, де прийняті такі позначення:

$G_{ном}$- вантажопідйомність, Н;

h - частота включень за годину, 1/год;

ТВ% - тривалість включення, %;

$\upsilon_{ном}$ - швидкість руху моста, м/с;

a - прискорення, м/с^2;

$G_м$ - вага моста крана, Н;

$G_В$ - вага візка, Н;

i_p - передаточне число редуктора;

$D_к$ - діаметр ходових коліс, м;

$d_ц$ - діаметр цапф (підшипників ходових коліс);

$\eta_м$ - ККД механізму.

Таблиця 1- Вихідні дані для розрахунків до завдання для курсового проекту №1

№ вар	$G_{ном}$ Н	h 1/год	ТВ %	$\upsilon_{ном}$ м/с	a м/с^2	$G_м$ Н	$G_в$ Н	$i_р$	$D_к$ м	$d_ц$ м	$\eta_м$
1.	60000	60	40	2,0	0,3	191200	22500	10	0,6	0,08	0,8
2.	111000	46	46	1,6	0.2	242500	24300	11	0,5	0,08	0,8
3.	29400	80	35	1,8	0,3	121000	2100	10	.0,8	0,08	0,8
4.	52000	100	34	1.6	0,35	211000	21500	11	0,6	0,08	0,8
5.	181000	60	45	2,1	0,2	425000	31200	10	0,6	0,08	0,8
6.	35000	100	40	2,2	0,4	52000	2100	11	0,8	0,08	0,8
7.	4200	80	35	2,1	0,25	12100	8300	10	0,8	0,08	0,8
8.	9800	60	49	1,9	0,35	23600	4200	11	0,6	0,08	0,8
9.	7600	100	35	2,0	0,3	18100	2800	10	0,8	0,08	0,8
10.	49500	60	40	1,6	0,35	101200	31400	11	0,6	0,08	0,8

Значення коефіцієнтів тертя підшипників ходових коліс механізмів переміщення μ, коефіцієнтів тертя ковзання **f**, і коефіцієнтів тертя реборд ходових коліс $K_р$ наведені в таблицях Е1, Е2, Е3 додатка Е.

1.2 Теоретичні відомості

При розрахунку потужності і виборі електродвигуна механізму переміщення вважаємо, що вітрове навантаження відсутнє.

Розрахунок потужності і вибір електродвигуна виконується в такому порядку.

1. Визначається час циклу роботи і його складові.
2. Розраховується наближена навантажувальна діаграма двигуна і визначається еквівалентний момент двигуна при заданій **ТВ%**.
3. Визначається необхідна швидкість і потужність електродвигуна.
4. За каталогом вибирається електродвигун.
5. Виконуються необхідні перевірки правильності вибору двигуна механізму.

При розрахунку часу циклу і його складових приймається симетрична діаграма швидкості, тобто час пуску $t_п$ і час гальмування $t_г$ однакові. У такому випадку

$$t_п = t_г = \frac{\upsilon_{ном}}{d}. \qquad (1.1)$$

Час роботи в межах одного циклу можна визначити за виразом

$$t_р = \frac{3600 \cdot ТВ\%}{h \cdot 100}. \qquad (1.2)$$

Час руху з усталеною швидкістю

$$t_{уст} = t_р - (t_п + t_г). \qquad (1.3)$$

Отримані за (1.1) - (1.3), параметри циклу використовуються далі для визначення еквівалентного моменту двигуна при заданій **ТВ%**.

Для механізмів горизонтального переміщення (без врахування вітрового навантаження) статичний момент на валу двигуна визначається

$$M_{ст} = \frac{K_р (G + G_0)(\mu \frac{d_ц}{2} + f)}{i_р \cdot \eta_м}; \qquad (1.4)$$

де **G**- вага вантажу, що переміщується, Н; G_0 - власна вага механізму переміщення; $K_р$- коефіцієнт, що враховує тертя реборд коліс з рейками.

Числові значення коефіцієнтів, що входять у (1.4), наведені в таблицях Б1, Б2, Б3 додатку Б.

Власна вага механізму переміщення визначається як

$$G_0 = G_в + G_м. \qquad (1.5)$$

Оскільки в межах одного циклу відбувається переміщення моста як із вантажем, так і без нього, то для кожного випадку визначається статичний момент:

для переміщення з вантажем

$$M_{ст1} = \frac{K_р(G_{ном} + G_0)(\mu\frac{d_ц}{2} + f)}{i_р \cdot \eta_м}; \quad (1.6)$$

де $G_{ном}$ - вага номінального вантажу, Н;

для переміщення без вантажу

$$M_{ст2} = \frac{K_р G_0(\mu\frac{d_ц}{2} + f)}{i_р \cdot \eta_м}. \quad (1.7)$$

В механізмах переміщення кранів, як правило, істотно впливають на нагрівання електродвигунів динамічні навантаження і їх варто враховувати навіть при попередньому виборі двигунів. Для цього попередньо визначається сумарний момент інерції

$$J_Σ = K_З \cdot J_м; \quad (1.8)$$

де $K_з$- коефіцієнт запасу, що враховує на етапі попереднього розрахунку момент інерції електродвигуна. ($K_з < 2$);

$J_м$ - приведений до вала двигуна момент інерції механізму, Н·м^2:

$$J_м = (m_{ном} + m_в + m_м)\rho^2 = \left(\frac{G_{ном} + G_в + G_м}{g}\right)\rho^2; \quad (1.9)$$

де $m_{ном}$ - маса номінального вантажу, кг; $m_в$ і $m_м$ - відповідно маси візка і моста, кг;

$\rho^2 = \frac{D_k}{2i_р}$ - коефіцієнт приведення.

Тоді з врахуванням (1.8)

$$J_Σ = K_з \frac{G_{ном} + G_в + G_м}{q}\rho^2. \quad (1.10)$$

Значення $J_Σ$ дає можливість розрахувати навантажувальну діаграму двигуна. У даному випадку момент двигуна при пуску з вантажем

$$M_{п1} = M_{ст1} + J_Σ\varepsilon; \quad (1.11)$$

де $\varepsilon = \frac{a}{\rho}$, 1/с^2.

Момент двигуна при гальмуванні з вантажем

$$M_{г1} = M_{ст1} - J_Σ\varepsilon. \quad (1.12)$$

Момент двигуна при пуску без вантажу

$$M_{п2} = M_{ст2} + J'_Σ\varepsilon.. \quad (1.13)$$

У цьому випадку з загального моменту інерції слід вилучити момент інерції, що зумовлений вагою вантажу, тобто

$$J'_Σ = K_з \frac{G_в + G_м}{q}\rho^2.$$

Момент двигуна при гальмуванні без вантажу

$$\mathbf{M_{г2} = M_{ст2} - J'_{\Sigma}\varepsilon.} \tag{1.14}$$

Визначивши моменти двигуна на окремих етапах робочого циклу механізму, розраховуємо значення еквівалентного моменту електродвигуна при заданій ТВ, *%:*

$$\mathbf{M_{еТВ\%зад}} = \sqrt{\frac{(\mathbf{M_{п1}^2 + M_{п2}^2})\mathbf{t_п} + (\mathbf{M_{ст1}^2 + M_{ст2}^2})\mathbf{t_{уст}} + (\mathbf{M_{г1}^2 + M_{г2}^2})\mathbf{t_т}}{2(\mathbf{t_п + t_{уст} + t_т})}} \tag{1.15}$$

У випадку, коли $\mathbf{ТВ\%_{зад}}$ відрізняється від табличних значень, необхідно перераховувати еквівалентний момент у відповідності до такого виразу:

$$\mathbf{M_{еТВ\%.ном} = M_{еТВ\%зад}} \cdot \sqrt{\frac{\mathbf{ТВ\%_{зад}}}{\mathbf{ТВ\%_{ном}}}}. \tag{1.16}$$

Необхідна для виконання заданого циклу номінальна швидкість електродвигуна визначається

$$\omega_{ном} = \frac{\upsilon_{ном}}{\rho}. \tag{1.17}$$

Далі з врахуванням (1.16) і (1.17) розраховується необхідна потужність електродвигуна при номінальному **ТВ*%:***

$$\mathbf{P_{дв.ТВ\%ном} = M_{еТВ\%ном}} \cdot \omega_{ном}. \tag{1.18}$$

Далі за таблицею Д7 додатка або за [8] вибирається двигун і виписуються його параметри. З метою перевірки правильності вибору визначається сумарний момент інерції з врахуванням моменту інерції передач з'єднувальних муфт і шківів

$$\mathbf{J_{\Sigma} = K_п \cdot J_{дв} + J_м} \tag{1.19}$$

де $\mathbf{K_п}$ - коефіцієнт, що враховує момент інерції передач, сполучних муфт і шківів (звичайно $\mathbf{K_п}$ = 1,2).

1.3 Приклад розрахунку

Вибрати електродвигун для механізму переміщення моста крана. Технічні дані:

номінальна вага вантажу $\mathbf{G_{ном}}$ = 73575 Н;
вага візка $\mathbf{G_В}$ = 29430 Н;
вага моста $\mathbf{G_м}$= 196260 Н;
швидкість $\upsilon_{ном}$ =0,8 м/с;
необхідне прискорення $\boldsymbol{a}$ =0,25 м/с;
діаметр ходових коліс $\mathbf{D_к}$ = 0,6 м;
передаточне число редуктора $\mathbf{i_р}$=15;
діаметр цапф $\mathbf{d_ц}$ = 0,08 м;

ТВ =35%;

кількість вмикань за годину **h**=60 1/год;

ККД передач механізму $\eta_м$= 0,8.

Приймаємо: $К_р$ = 1,5; **f** = $0{,}6\cdot10^{-3}$; μ = 0.1. В даному випадку вагою гакової підвіски нехтуємо через її мале значення. Вважаємо, що діаграма швидкості симетрична. Тоді час пуску і гальмування у відповідності до (1.1):

$$t_п = t_г = \frac{\upsilon_{ном}}{d} = \frac{0{,}8}{0{,}25} = 3{,}2 \text{ с.}$$

Час циклу без врахування паузи

$$t_р = \frac{3600 \cdot ТВ\%}{h \cdot 100} = \frac{3600 \cdot 35}{105 \cdot 100} = 12 \text{ с.}$$

Час руху з усталеною швидкістю

$$t_{уст} = t_р - (t_п + t_г) = 12 - 2 \cdot 3{,}2 = 5{,}6 \text{ с.}$$

Визначимо статичний момент на валу двигуна при русі з вантажем $М_{ст1}$ і без вантажу $М_{ст2}$:

$$М_{ст1} = \frac{К_р(G_{ном} + G_0)(\mu\frac{d_ц}{2} + f)}{i_р \cdot \eta_м};$$

$$G_0 = G_в + G_м = 225630 \text{ Н;}$$

$$М_{ст1} = \frac{1{,}5(73575 + 225630)(0{,}1\frac{0{,}08}{2} + 0{,}6\cdot10^{-3})}{15 \cdot 0{,}8} = 377{,}6 \text{ Н}\cdot\text{м;}$$

$$М_{ст2} = \frac{К_р G_0(\mu\frac{d_ц}{2} + f)}{i_р \cdot \eta_м};$$

$$М_{ст2} = \frac{1{,}5 \cdot 225630(0{,}1 \cdot 0{,}04 + 0{,}6\cdot10^{-3})}{15 \cdot 0{,}8} = 285{,}7 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Сумарний момент інерції

$$J_\Sigma = К_з\left(\frac{G_{ном} + G_т + G_м}{q}\right)\rho^2$$

Приймаємо $К_з$ = 1,3. Коефіцієнт приведення $\rho = \frac{D_k}{2i_р} = 0{,}02.$

$$J_\Sigma = 1{,}3\frac{29430 + 196200}{9{,}8}0{,}02^2 = 15{,}86 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$$

Момент на валу двигуна:

при пуску з вантажем

$$М_{п1} = М_{ст1} + J_\Sigma\varepsilon = 377{,}6 + 15{,}86 \cdot 12{,}6 = 575{,}85 \text{ Н}\cdot\text{м;}$$

де $\varepsilon = \frac{a}{\rho} = \frac{0{,}25}{0{,}02} = 12{,}5 \text{ 1/с}^2$;

при гальмуванні з вантажем

$$M_{г1} = M_{ст1} - J_{\Sigma}\varepsilon = 377,6 - 15,86 \cdot 12,5 = 179,35 \text{ Н·м};$$

при пуску без вантажу

$$M_{п2} = M_{ст2} + J'_{\Sigma}\varepsilon = 285.7 + 11,97 - 12,5 = 435,33 \text{ Н·м};$$

при гальмуванні без вантажу

$$M_{г2} = M_{ст2} - J'_{\Sigma}\varepsilon = 285.7 - 11,97 \cdot 12,5 = 136,08 \text{ Н·м}.$$

Еквівалентний момент на валу електродвигуна при **ТВ%** = 35 %

$$M_{етв\%зад} = \sqrt{\frac{(M_{п1}^2 + M_{п2}^2)t_п + (M_{ст1}^2 + M_{ст2}^2)t_{уст} + (M_{г1}^2 + M_{г2}^2)t_т}{2(t_п + t_{уст} + t_г)}} =$$

$$= \sqrt{\frac{(575,85^2 + 435,33^2)3,2 + (377,6^2 + 285,7^2)5,6 + (179,35^2 + 136,08^2)3,2}{2(3,2 + 5,6 + 3,2)}} =$$

$$= 358,49 \text{ Н·м}$$

Необхідна номінальна швидкість електродвигуна

$$\omega_{ном} = \frac{\upsilon_{ном}}{\rho} = \frac{0,8}{0,02} = 40 \text{ рад/с}.$$

Еквівалентний момент при номінальному ТВ =40 %

$$M_{е40\%} = M_{е35\%}\sqrt{\frac{ТВ\%_{зад}}{ТВ\%_{ном}}} = 358,49\sqrt{\frac{35}{40}} = 335,34 \text{ Н·м}$$

Необхідна потужність електродвигуна

$$P_{дв.\,40\%} = 335,34 \cdot 40 = 13413,5 \text{ Вт} = 13,4135 \text{ кВт}.$$

За таблицею Б7 вибираємо електродвигун типу Д 41. Технічні дані:
номінальна потужність $P_н$ =16 кВт при **ТВ%** = 40 %;
частота обертання **n** = 670 об/хв;
GD^2= 0,8 кг м^2,

Фактичне значення сумарного моменту інерції електропривода

$$J_{\Sigma} = К_п \cdot J_{дв} + J_м = 1,2 \cdot 08 + \frac{15,86}{1,3} = 13,16 \text{ кг·м}^2$$

Отже, орієнтовно визначений момент інерції більший фактичного, тобто за потужністю електродвигун має запас.

2 ДРУГИЙ ВАРІАНТ ЗАВДАННЯ ДОКУРСОВОГО ПРОЕКТУ РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ДВОКІНЦЕВОЇ ПІДЙОМНОЇ УСТАНОВКИ

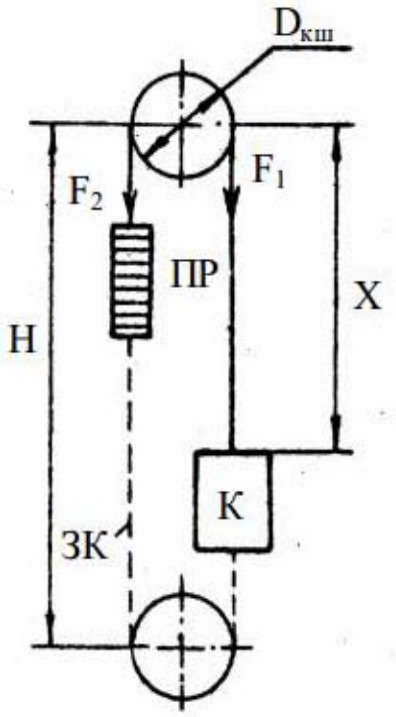
2.1 Вихідні дані для розрахунку

Необхідні дані для розрахунків наведені в табл. 2.
Кінематична схема наведена на рис. 1.

Таблиця 2- Вихідні дані для розрахунків до завдання для курсового проекту №2

№	$m_{ном}$ кг	m_0 кг	H м	$U_{ном}$, м/с	a $м/с^2$,	$D_{к.ш}$ м	$\eta_{л.ном}$	α	$i_р$
1	1300	2100	5	0.65	0.4	0.8	0.7	0	45
2	2300	2800	7	0.7	0.5	1.0	0.7	0.4	51
3	1700	2000	12	0.9	0.7	0.9	0.7	0.5	60
4	2050	2400	8	0.9	0.6	1.0	0.7	0.4	50
5	500	650	6	0.7	0.5	0.6	0.7	0.45	50
6	800	1100	7	0.8	0.5	0.8	0.7	0	53
7	1100	1600	14	0.9	0.6	0.6	0.7	0.4	60
8	1300	2000	8	0.75	0.4	0.9	0.7	0.45	50
9	800	1200	18	0.9	0.65	1.0	0.7	0.48	45
10	1500	2100	15	0.85	0.56	0.7	0.7	0.5	55

На рис.1 і в таблиці 2 прийняті такі позначення:



$\mathbf{m_{ном}}$- маса номінального вантажу, кг;
$\mathbf{m_0}$- маса підйомної кабіни, кг;
H - висота підйому, м;
$\mathbf{\upsilon_{ном}}$ - номінальна швидкість руху підйомної посудини, м/с;
a - прискорення руху посудини, м/с^2 ;
$\mathbf{D_{кш}}$ - діаметр канатоведучого шківа, м;
$\mathbf{\eta_{л.ном}}$ - ККД підйомника з врахуванням тертя;
$\mathbf{\alpha}$ - коефіцієнт зрівноважування;
$\mathbf{i_0}$- передаточне число редуктора.

2.2 Теоретичні відомості

В промислових умовах найбільшого поширення набули двокінцеві підйомні установки, у яких вага підйомної посудини і частина корисного вантажу зрівноважується за допомогою противаги. Це дозволяє знизити необхідну потужність двигуна, поліпшити динамічні режими, зменшити нагрів двигуна в процесі роботи.

Методику визначення потужності електродвигуна розглянемо на прикладі двокінцевої підйомної установки, спрощена кінематична схема якої показана на рис. 1, де $\mathbf{D_{КШ}}$ – діаметр канатоведучого шківа, **К** - кабіна; **ПР**-противага; **ЗК** – зрівноважувальний канат.

Для такої схеми

$$\mathbf{G_{пр} = G_0 + \alpha G_{ном}};$$

де $\mathbf{G_{пр}}$- вага противаги;
$\mathbf{G_0}$ - вага підйомної посудини;
$\mathbf{G_{ном}}$ - номінальна вага корисного вантажу (вантажопідйомність).

У загальному випадку сумарне зусилля на канатоведучому шківі визначається різницею натягів віток підйомного каната $\mathbf{F_1}$ і $\mathbf{F_2}$

Тобто

$$\mathbf{F = F_1 - F_2}. \quad (2.1)$$

Натяги віток каната з врахуванням тертя в напрямних кабіни $\mathbf{F'_т}$ і противаги $\mathbf{F''_т}$ а також ваги каната визначається як:

$$\mathbf{F_1 = G + G_0 q_к x \pm F'_т}; \quad (2.2)$$

$$\mathbf{F_2 = G_{пр} + q_к (H - x) \mp F''_т}; \quad (2.3)$$

де **G** - вага вантажу;
$\mathbf{q_к}$ - вага 1 м підйомного каната.

Тоді результуюче зусилля визначається

$$\mathbf{F = G - \alpha G_{ном} + q_к (2x - H) \pm (F'_т + F''_т)}. \quad (2.4)$$

Ця величина визначає приведений до вала двигуна статичний момент

$$M_{ст} = \frac{[G + q_к(2x - H) - \alpha G_{ном}]D_{к.ш}}{2i_р} + M_т \quad , \qquad (2.5)$$

де $M_т$ - момент, зумовлений додатковими втратами на тертя в підйомній установці.

Якщо врахувати додаткові втрати на тертя в напрямних та інші втрати за допомогою ККД підйомної установки при номінальному навантаженні $\eta_{л.ном}$, то:

$$M_{ст} = \frac{[G + q_к(2x - H) - \alpha G_{ном}]D_{к.ш}}{2i_р\eta_{л.ном}} \quad . \qquad (2.6)$$

За виразом (2.6) визначається значення статичного моменту для кожного режиму в межах одного циклу роботи, будується діаграма моментів, визначається еквівалентний момент і потужність електродвигуна.

Якщо висота підйому незначна або є зрівноважувальний канат, то складова виразу (2.6) $q_к(2x - H) = 0$. У цьому випадку статичний момент при підйомі номінального вантажу $M_{ст1}$ і порожньої підйомної посудини $M_{ст2}$:

$$M_{ст1} = \frac{(1 - \alpha)G_{ном}D_{к.ш}}{2i_р\eta_{л.ном}} \quad ; \qquad (2.7)$$

$$M_{ст2} = \frac{\alpha G_{ном}D_{к.ш}}{2i_р}\eta_{л.ном} \quad . \qquad (2.8)$$

Відповідно статичний момент при спуску номінального вантажу і порожньої підйомної посудини:

$$M_{ст1} = \frac{(1 - \alpha)G_{ном}D_{к.ш}}{2i_р}\eta_{л.ном} \quad , \qquad (2.9)$$

$$M_{ст2} = \frac{\alpha G_{ном}D_{к.ш}}{2i_р\eta_{л.ном}} \quad . \qquad (2.10)$$

За заданими швидкістю $\upsilon_{ном}$ і прискоренням a визначається час пуску $t_п$ і гальмування $t_г$ (якщо прийнята симетрична діаграма швидкості)

$$t_п = t_т = \frac{\upsilon_{ном}}{a} \quad . \qquad (2.11)$$

Час руху підйомної посудини зі сталою швидкістю визначається

$$t_{уст} = \frac{H_{уст}}{\upsilon_{ном}} \quad ; \qquad (2.12)$$

де $H_{уст}$- шлях, який проходить підйомна посудина з номінальною швидкістю:

$$H_{уст} = H - 2\frac{\upsilon_{ном}t_п}{2} \quad . \qquad (2.13)$$

Для визначення заданого **ТВ%** визначається час роботи двигуна при

підйомі і спуску

$$t_{p1} = t_{p2} = t_{уст} + t_{п} + t_{г} \quad (2.14)$$

Час циклу визначається

$$t_{ц} = \frac{3600}{N_{ц}}; \quad (2.15)$$

де $N_{ц}$ - кількість циклів за годину (у розрахунках прийняти N=60).

Тоді дійсна тривалість включення, % :

$$ТВ\% = \frac{t_{p1} + t_{p2}}{t_{ц}} 100\% \quad (2.16)$$

За діаграмою моментів визначається еквівалентний момент $M_{еТВ\%}$, при заданому **ТВ%** і перераховується на $M_{е}$ при стандартному **ТВ%-**$M_{еТВном}$

$$M_{еТВ\%ном} = M_{еТВ\%д}\sqrt{\frac{ТВ\%_{д}}{ТВ\%_{ном}}} \quad (2.17)$$

На основі моменту, отриманого з (2.17), визначається необхідна потужність двигуна $P_{дв}$ при типовому $ТВ\%_{ном}$

$$P_{двТВ\%ном} = К_{з} M_{еТВ\%ном} \omega_{р}, \quad (2.18)$$

де $\omega_{р} = \frac{2\upsilon_{ном} \cdot i_{р}}{D_{к.ш}}$ - необхідна частота обертання ротора електродвигуна, рад/с; $К_{з}$ - коефіцієнт запасу, що враховує динамічні навантаження, $К_{з}$= 1,1. .1,5.

При виборі $К_{з}$ варто враховувати співвідношення $t'_{п}/t_{уст}$, так при $t_{п}/t_{уст}$ <0,05 варто брати значення $К_{з}$ ближче до 1,1, а при $t_{п}/t_{уст}$ > 0,2...0,3 - ближче до 1,5.

За таблицями .Б8 і Б9 додатка можна обрати електродвигун і перевірити його за нагрівом одним із методів, відомих із курсів "Теорія електропривода" чи “Автоматизований електропривод типових виробничих механізмів”.

2.3 Приклад розрахунку

Визначити потужність і вибрати електродвигун для вантажної підйомної установки, кінематична схема якої відповідає рис. 1. Технічні дані:

маса корисного вантажу $m_{ном}$ = 1500 кг;

маса кабіни m_{0}=3200 кг;

номінальна швидкість руху підйомної посудини $\upsilon_{ном}$ =0,7 м/с;

прискорення **а** = 0,45 м/с;

висота підйому **Н** = 6 м;

коефіцієнт зрівноважування α= 0,45;

ККД підйомної установки з врахуванням тертя в напрямних $\eta_{л.ном}$ =0.7;
число циклів за годину $N_ц$= 90;
передаточне число редуктора $i_р$ = 53;
діаметр канатоведучого шківа $D_{к.ш}$ = 0,8 м.

Режим роботи підйомної установки: підйом номінального вантажу - спуск порожньої посудини.

У відповідності з (2.7) визначимо статичний момент при підйомі номінального вантажу

$$M_{ст1} = \frac{(1-\alpha)G_{ном}D_{к.ш}}{2i_р\eta_{л.ном}} = \frac{(1-0.45)\cdot 14700\cdot 0.8}{2\cdot 53\cdot 0.7} = 87.2\ Н\cdot м;$$

де

$$G_{ном} = m_{ном}g = 1500\cdot 9.81 = 14700\ Н.$$

Статичний момент при спуску порожньої підйомної посудини у відповідності (2.10)

$$M_{ст2} = \frac{\alpha G_{ном}D_{к.ш}}{2i_р\eta_{л.ном}} = \frac{0.45\cdot 14700\cdot 0.8}{2\cdot 53\cdot 0.7} = 71.3 Н\cdot м.$$

Вважаємо, що при гальмуванні електродвигун відключається від мережі і накладається механічне гальмо.

Час пуску і гальмування електродвигуна при заданому прискоренні

$$t_п = t_г = \frac{\upsilon_{ном}}{a} = \frac{0.7}{0.45} = 1.56\ с.$$

Шлях, що проходить підйомна посудина з усталеною швидкістю,

$$H_{уст} = H - 2\frac{\upsilon_{ном}t_п}{2} = 6 - 2\frac{0,7\cdot 1,56}{2} = 4,9\ м.$$

Час руху з усталеною швидкістю

$$t_{уст} = \frac{H_{уст}}{\upsilon_{ном}} = \frac{4,9}{0,7} = 7\ с.$$

Час роботи двигуна при підйомі і спуску

$$t_{р1} = t_{р2} = t_{уст} + t_п + t_т = 7 + 1,56 = 8,56\ с.$$

У відповідності (2.15) час циклу визначиться як

$$t_ц = \frac{3600}{N_ц} = \frac{3600}{90} = 40\ с.$$

Тоді дійсна тривалість включення

$$ТВ\%_д = \frac{t_{р1}+t_{р2}}{t_ц}100\% = \frac{8,56+8,56}{40}100\% = 42,8\%.$$

Еквівалентний момент при $ТВ\%_д$

$$M_{еТВ\%д} = \sqrt{\frac{M_{ст1}^2 t_{р1} + M_{ст2}^2 t_{р2}}{t_{р1}+t_{р2}}} = \sqrt{\frac{87.2^2 8.56 + 71.3^2 8.56}{8.56+8.56}} = 79.65\ Н\cdot м.$$

Оскільки найближча стандартна тривалість включення $ТВ\%_{ном}$=40%. ,

то робимо перерахунок $\mathbf{M_{e.ТВ\%д}}$ у відповідності СТУ (2.17)

$$\mathbf{M_{e.ТВ\%ном} = M_{e.ТВ\%д}\sqrt{\frac{ТВ\%_д}{ТВ\%_{ном}}} = 79{,}65\sqrt{\frac{42{,}8}{40}} = 82{,}4\ \ Н\cdot м}$$

Необхідна потужність двигуна при $ТВ\%_{ном}$= 40 %

$$\mathbf{P_{д40\%} = К_з M_{e.ТВ\%ном}\omega_р = 1{,}4 * 82{,}4 * 92{,}75 = 10{,}7\ \ кВт};$$

де

$$\mathbf{\omega_р = \frac{2\upsilon_{ном} i_р}{D_{кш}} = \frac{2 * 0{,}7 * 53}{0{,}8} = 92{,}75\ \ рад/с}.$$

Коефіцієнт запасу $\mathbf{К_з}$ приймається рівним 1.4, оскільки співвідношення

$\mathbf{t_п/t_{уст}}$ =1,56/7 = 0,22 > 0,2...

За таблицею Д9 вибираємо двигун типу MTF 311-6, який при **ТВ%**=40% має такі параметри: $\mathbf{P_{ном}}$=11 кВт; $\mathbf{n_{ном}}$= 945 об/хв; $\mathbf{M_{мах} = 314\ \ Н\cdot м}$; $\mathbf{GD^2 = 0.225\ \ кг\cdot м^2}$.

Далі відомими методами виконується перевірка електродвигуна на нагрів.

3 ТРЕТІЙ ВАРІАНТ ЗАВДАННЯ ДО КУРСОВОГО ПРОЕКТУ РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПРИВОДНОЇ СТАНЦІЇ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

3.1 Вихідні дані для розрахунку

Необхідні дані для розрахунків наведені в таблиці 3.
Кінематична схема показана на рис.2.
На рис.2 і в таблиці 3 прийняті такі позначення:
$\mathbf{T_{нб}}$, $\mathbf{T_{зб}}$ - натяг стрічки в точці набігання і збігання;
$\mathbf{K_{в1}}$-$\mathbf{K_{в4}}$, $\mathbf{C_п}$, $\boldsymbol{\mu}$ -коефіцієнти тертя і опору руху (визначаються за таблицями Б4 - Б6 додатка Б);
$\mathbf{G_{н.п.}}$- вага натяжного пристрою;
$\boldsymbol{\beta}$,**l** - кути нахилу і довжини окремих ділянок конвеєра;
в розрахунках прийняти ККД редуктора $\boldsymbol{\eta_р}$ =0,9.

Таблиця 3- Вихідні дані для розрахунків до завдання для курсового проекту №3

№	П кг/ч	U м/с	m_0 кг/м	$\alpha_п$ град[1]	$\alpha_н$ град'	l_{12} м	l_{34} м	l_{56} м	l_{18} м	β_{34} град	β_{56} град	β_{12} град	β_{18} град	$a_{доп}$ м/с^2
1	8500	1,05	10	200	180	1.0	180	174	6	15	15	32	0	0,4
2	8000	0,75	10	210	180	1,1	210	201	8	25	25	38	0	0,35
3	7600	0,9	11	195	180	0,85	135	100	12	24	24	30	0	0,4
4	7000	1.0	12	200	180	1,3	100	95	3	10	10	33	0	0,3
5	6700	0,9	11	220	180	1.2	190	184	4	12	12	37	0	0,35
6	5600	0.7	10,	210	180	1,0	60	58	4	11	11	35	0	0,3
7	5000	0,9	10	200	180	1.4	70	64	3	26	26	.30	0	0,35
8	20000	0,8	10	220	180	0,9	135	130	4	20	20	36	0	0,4
9	30000	0,9	11	210	180	1.0	140	135	4	16	16	35	0	0,3
10	40000	0,75	10	220	180	0,8	165	159	5	22	22	40	0	0,35

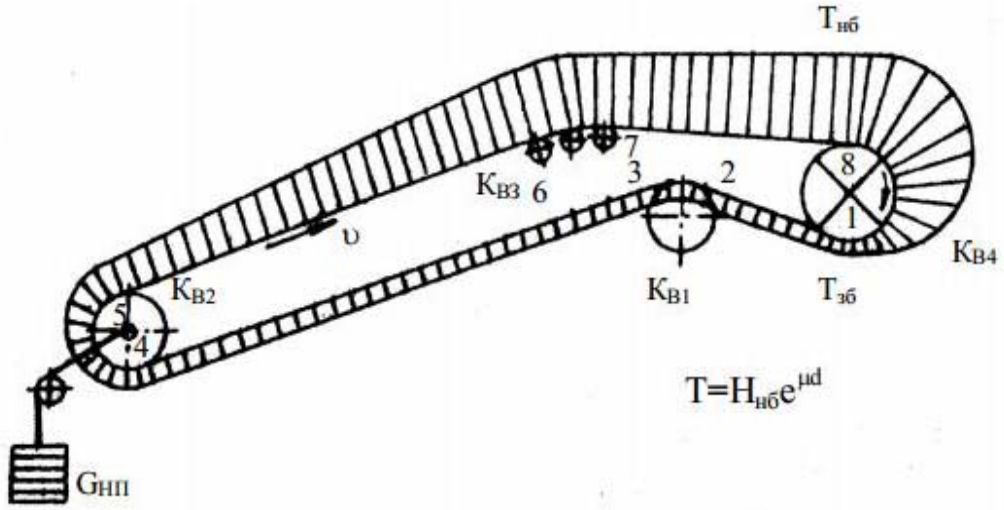


Рисунок.2 - Кінематична схема стрічкового конвеєра

3.2 Теоретичні відомості

Розрахунок потужності приводної станції конвеєра складається з таких етапів:

- розрахунок сил опору руху на окремих ділянках конвеєра;
- визначення результуючої сили опору руху;
- визначення натягу тягового елемента в точках набігання і збігання приводного барабана;
- визначення потужності приводної станції.

Сили опору руху конвеєра поділяються на дві категорії: сили, що не залежать від натягу стрічки які виникають на прямолінійних ділянках; сили, що залежать від натягу стрічки які виникають на ділянках вигину тягового органу.

Оскільки опори на прямолінійних ділянках розподіляються рівномірно, то їх можна описати таким чином:

$$\Delta F_п = C_п \, l \cos\beta + q \, l \sin\beta = q \, l \, (C_п \cos\beta + \sin\beta), \qquad (3.1)$$

де **g*=m*g** - вагове навантаження 1 м шляху;

l - довжина ділянки;

$C_п$ - результуючий коефіцієнт опору руху на прямолінійній ділянці: $C_п = K_п(\mu d/D + 2f/D)$, $K_п$=1,1...1,3;

μ- коефіцієнт тертя в підшипниках;

f - коефіцієнт тертя кочення роликів і катків;

D, d - зовнішній і внутрішній діаметри роликів;

β - кут нахилу ділянки конвеєра.

У розрахунках варто приймати $\sin\beta>0$ при русі на підйом і $\sin\beta<0$ при русі на спуск.

На ділянках вигину сила опору руху $\Delta F_п$ зумовлена силою від вигину тягового органу, що пропорційна натягу в точці набігання $T_{нб}$, і силою тертя в обертових елементах, які пропорційні рівнодійній N на ділянці. Тоді

$$\Delta F_в = \xi T_{нб} + N\mu\frac{d}{D}; \qquad (3.2)$$

де ξ - коефіцієнт від вигину тягового органа.

Нехтуючи вагою блока і приймаючи, що натяги $T_{нб}$ і $T_{зб}$ рівні в межах даної ділянки, отримаємо

$$\Delta F_в = C_в T_{нб}; \qquad (3.3)$$

де $C_в = \xi + 2\mu\frac{d}{D}\sin\frac{\alpha}{2}$ - результуючий коефіцієнт опору на ділянці вигину; α - кут обхвату.

Сила опору викликає збільшення натягу тягового органа на кожній ділянці:

$T_{зб}=T_{нб}+\Delta F_п$ - для прямолінійної ділянки;

$T_{зб}=T_{нб}+\Delta F_в=K_в T_{нб}$ - для ділянки вигину,

де $K_в=1+C_в$ - коефіцієнт збільшення натягу на даній ділянці.

Результуюча сила опору руху визначається як сума сил на усіх ділянках:

$$F_{ст} = \sum_{i=1}^{n}\Delta F_{п,i} + \sum_{i=1}^{n}\Delta F_{в,i} = \sum_{i=1}^{n} q_i l_i (C_п \cos\beta_i + \sin\beta_i) + \sum_{i=1}^{n} C_{в,i} T_{нб,i}$$

Отриману силу $F_{ст}$ повинний долати приводний елемент; отже, в усталеному режимі різниця натягів зрівноважується силою опору, тоді:

$$F_{ст}=T_{нб} - T_{зб}. \qquad (3.4)$$

Оскільки друга складова (3.2) залежить від натягу, то для визначення $F_{ст}$ необхідно послідовно визначати натяги на всіх ділянках. Однак для цього необхідно знати натяг у будь-якій точці тягового органу, щоб прийняти його за вихідний. Зазвичай попередньо визначають натяг у точці збігання приводної станції.

Натяг у точці набігання приводного барабана визначиться

$$T_{нб}=T_{зб}K_{в1,}K_{в2,}\cdot\ldots\cdot K_{в,п-1}+\Delta F_{п,п}+\Delta F_{п,\,п-1}K_{в,\,п-1}+$$
$$+\Delta F_{\,п,1}K_{в,1}K_{в,2}\cdot\ldots\,K_{в,п-1} \qquad (3.5)$$

У згорнутій формі вираз (3.5) набуває такого вигляду:

$$T_{нб} = K_в T_{зб} + F'_п; \qquad (3.6)$$

де $K_в = \prod_{i=1}^{n-1} K_{в,i}$ - результуючий коефіцієнт збільшення натягу від усіх ділянок вигину, крім приводної;

$$F'_п = \Lambda F_{п.п.} + \Delta F_{п,n-1}K_{в,n-1} + \Delta F_{п,n-2}K_{в,n-1}K_{в,n-2} + \ldots + \Delta F_{п1}K_{в1}\ldots K_{в,n-1}$$

На основі (3.4) – (3.6) отримаємо результуюче зусилля на

прямолінійних ділянках:

$$F_{ст} = T_{нб} - T_{зб} = (K_в - 1)T_{зб} + F'_п.$$

Стрічкові конвеєри мають значні рухомі маси, тому при розрахунку потужності приводної станції варто враховувати і динамічні навантаження. Оскільки в цьому випадку сумарне зусилля приводу збільшується, то збільшується максимальний натяг у тяговому органі за рахунок збільшення натягу на кожній ділянці

$$T_{зб,i} = T_{нб,i} + \Delta F_{п,i} + m_i a_п ; \quad (3.7)$$

де m_i - рухома маса прямолінійної і попередньої вигнутої ділянки;

$a_п$ - прискорення конвеєра при пуску.

Отже, результуючий натяг у точці набігання приводного барабана

$$T_{нб} = K_в T_{нб} + F'_п + m'_Σ a_п \quad (3.8)$$

де $m'_Σ = m_п + m_{п-1}K_{в,п-1} + ... + m_1 K_{в,1}K_{в,2} \cdot ... \cdot K_{п-1}$ - сумарна маса конвеєра.

Звідси умова вибору $T_{зб}$ для стрічкових конвеєрів

$$T_{зб} \geq \frac{F'_п + m'_Σ a_п}{e^{μα} - K_в} . \quad (3.9)$$

Потужність приводної станції визначається

$$P_{ст} = K_З \frac{F_{ст}υ}{η_р} = K_З \frac{(T_{нб} - T_{зб})υ}{η_р} \quad (3.10)$$

де $K_З$ = 1,1...1,3 - коефіцієнт запасу, що враховує неточності розрахунку сили опору.

Номінальна потужність вибирається виходячи з умови $P_{ном} \geq P_{ст}$. Отже, для розрахунку потужності приводної станції необхідно попередньо визначити сили опору руху на прямолінійних ділянках і потім розрахункове сумарне зусилля $F'_п$, розрахункову сумарну масу конвеєра $m'_Σ$, натяг у точці збігання $T_{зб}$, натяг у точці набігання приводного барабану, і нарешті, потужність приводної станції конвеєра $P_{ст}$.

3.3 Приклад розрахунку

Для стрічкового конвеєра (див. рис.2) визначити потужність приводної станції. Технічні дані:

продуктивність $П = 40 \cdot 10^3$ кг/год;

швидкість руху стрічки $υ$= 0,85 м/с;

маса 1 м стрічки m^*_0=10 кг/м;

кут обхвату приводного барабана $α_п$=210^0;

кут обхвату натяжного барабана $α_н$=180^0;

довжини і кути нахилу ділянок конвеєра: l_{12}=0,8 м; l_{34}=80 м; l_{56}=78 м; l_{78}=3 м; $\beta_{34}=\beta_{56}=15^0$; $\beta 12=-30^0$; $\beta_{78}=0^0$.

У відповідності таблицям Б4, Б5, Б6 додатків приймаємо значення коефіцієнтів тертя і опору руху: μ=0,1; $C_п$=0,025; $К_{в1}=1+C_{в1}$=1,03; $К_{в2}=1+C_{в2}$=1.05; $К_{в3}=1+C_{в3}$=1,02; $К_{в4}$=1,05.

Маса 1 м транспортованого вантажу у відповідності заданій продуктивності

$$m^*_в = \frac{П \cdot 1000}{3600 \cdot \upsilon} = \frac{40000}{3600 \cdot 0.8} = 13 \ кг/м.$$

Маси окремих ділянок конвеєра визначаються як:

$$m_{12} = m^*_0 \, l_{12} = 10 \cdot 0.8 = 8 \ кг;$$

$$m_{34} = m^*_0 \, l_{34} = 10 \cdot 80 = 800 \ кг;$$

$$m_{56} = (m^*_0 + m^*_в) \cdot l_{56} = (10+13)78 = 1794 \ кг;$$

$$m_{78} = (m^*_0 + m^*_в) \cdot l_{78} = (10+13) \cdot 3 = 69 \ кг.$$

Вагові навантаження окремих ділянок конвеєра:

$$g^*_{12} = g^*_{34} = m^*_0 \cdot g = 10 \cdot 9.81 = 98.1 \ Н/м;$$

$$g^*_{56} = g^*_{78} = (m^*_0 + m^*_в) \cdot g = (10+13) \cdot 9.81 = 225.63 \ Н/м.$$

Розрахункова сумарна маса у відповідності (3.8)

$$m'_Σ = m_{78} + m_{56}K_{в3} + m_{34}K_{в3}K_{в2} + m_{12}K_{в3}K_{в2}K_{в1} =$$

$$= 69 + 1794 \cdot 1.02 + 800 \cdot 1.02 \cdot 1.05 + 8 \cdot 1.02 \cdot 1.05 \cdot 1.03 = 2754 \ кг.$$

На основі (3.1) розраховуються сили опору руху на прямолінійних ділянках:

$$\Delta F_{12} = q^*_{12} \, l_{12}(C_п \cos\beta_{12} - \sin\beta_{12}) = 98.1 \cdot 0.8(0.025 \cdot 0.87 + 0.5) = 41 \ Н;$$

$$\Delta F_{34} = q^*_{34} \, l_{34}(C_п \cos\beta_{34} - \sin\beta_{34}) = 98.1 \cdot 80(0.025 \cdot 0.97 - 0.26) =$$

$$= -1.85 \cdot 10^3 \ Н;$$

$$\Delta F_{56} = q^*_{56} \, l_{56}(C_п \cos\beta_{56} + \sin\beta_{56}) = 225.63 \cdot 78(0.025 \cdot 0.97 + 0.26) =$$

$$= 3{,}61 \cdot 10^3 \ Н;$$

$$\Delta F_{78} = q^*_{78} \, l_{78}(C_п \cos\beta_{78} + \sin\beta_{78}) = 225.63 \cdot 3(0.025 \cdot 1 + 0) = 17 \ Н.$$

Результуюче зусилля на прямолінійних ділянках

$$F_п = \Delta F_{78} + \Delta F_{56}K_в + \Delta F_{34}K_{в3}K_{в2} + \Delta F_{12}K_{в3}K_{в2}K_{в1} =$$

$$= 17 + 3610 \cdot 1.02 - 1850 \cdot 1.02 \cdot 1.05 + 41 \cdot 1.02 \cdot 1.05 \cdot 1.03 = 2.86 \cdot 10^3 \ Н.$$

За значеннями $m'_Σ$ і $F'_п$ на основі (3.9) визначається допустимий натяг в точці збігання стрічки з приводним барабаном:

$$T_{зб.min} = \frac{F'_п + m'_Σ a_{доп}}{e^{\mu\alpha} - K_{в1}K_{в2}K_{в3}} = \frac{2861 + 2754 \cdot 0.45}{e^{0.1 \cdot 3.56} - 1.02 \cdot 1.05 \cdot 1.03} = 14.4 \cdot 10^3 \ Н.$$

Оскільки при розрахунках були прийняті деякі припущення, то для їх врахування $T_{зб}$ слід прийняти з деяким запасом:

$$T_{зб} \approx 1{,}2T_{зб.min} = 1.2 \cdot 14.4 \cdot 10^3 = 17.28 \cdot 10^3 \ Н$$

Для визначення попереднього натягу стрічки визначимо мінімальний натяг у точці 4 (рис.2):

$$T_4 = T_0 = (T_{зб} + \Delta F_{12})K_{в1} + \Delta F_{34} = (17280 + 41)1.02 - 18050 = 15.86 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Для створення отриманого натягу необхідний вантаж вагою:

$$G_{нп} = 2T_0 = 31{,}72 \cdot 10^3 \text{ Н}.$$

Максимальний натяг у точці набігання приводного барабана у відповідності з (3.8):

$$T_{нб} = K_в T_{нб} + F'_п + m'_\Sigma a_{доп} = 1{,}1 \cdot 17280 + 2860 + 2754 \cdot 0{,}4 = 22970 \text{ Н}.$$

Звідси потужність приводної станції:

$$P_{ст} = K_З \frac{(T_{нб} - T_{зб})\upsilon}{\eta_р} = 1{,}2 \frac{22970 - 17280}{0{,}9} = 7586 \text{ Вт} = 7{,}6 \text{ кВт}.$$

Далі здійснюється вибір електродвигуна за таблицями Б10, Б11 додатка Б.

4. СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Теорія електроприводу: Підруч. / М.Г. Попович, М.Г. Борисюк, В.А. Гаврилюк та ін. За ред. М.Г. Поповича. – К.: Вища шк., 1993. – 494 с.
2. Терехов В.М. Системы управления электроприводов: учебник / В.М. Терехов, О.И. Осипов. – М.: "Академия", 2005. – 301 с.
3. Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник / А.Э. Кравчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. – М.: Энергоиздат, 1982. – 504 с.
4. Лихачев В.Л. Электродвигатели асинхронные / В.Л. Лихачев. – М.: СОЛОН-Р, 2002. – 304 с.
5. Алиев И.И. Асинхронные двигатели в трехфазном и однофазном режимах / И.И. Алиев. – М.: ИП РадиоСофт, 2004. – 128 с.
6. А.В. Иванов-Смоленский. Электрические машины. В 2-х т. Том 1: Учебник для вузов / А.В. Иванов-Смоленский. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 656 с.
7. Автоматизированный электропривод промышленных установок / Г.Б. Онищенко, М.И. Аксенов, М.Н. Зарицкий та ін. За ред. Г.Б. Онищенко. – М.: РАСХН, 2001. – 520 с.
8. Ключев В.И. Электропривод и автоматизация общепромышленных механизмов: Учебник для вузов / В.И. Ключев, В.М. Терехов. – М.: Энергия, 1980. – 360 с.
9. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием: учебник / Соколовский Г.Г. – М.: "Академия", 2006. – 266 с.
10. Браславский И.Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод / И.Я. Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н. Поляков. – М: Академия, 2004. – 256 с.
11. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений / И.В. Черных. – М.: Диалог-МИФИ, 2004. – 496 с.
12. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink / И.В. Черных. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 288 с.