

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

ДОЦ., К.Т.Н. /ОКУШКО О.В./
вчене звання і ступінь підпис
” _____ 2026 р.
число місяць рік

на тему: «Удосконалення регульованого електропривода з векторним керуванням для сушильної установки барабанного типу»

Спеціальність: 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

К.Т.Н., доцент		Синявський О.Ю.
(науковий ступінь та вчене звання)	(підпис)	(ПІБ)

Виконав _____ **Лемешко В.А.**
(підпис) (ПІБ)

К.Т.Н., ДОЦЕНТ (науковий ступінь та вчене звання)		Васюк В.В. (підпис)	(ПІБ)
---	--	-------------------------------	--------------

Київ – 2026

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ**

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
електротехніки, електромеханіки
та електротехнологій

ДОЦЕНТ, К.Т.Н. /ОКУШКО О.В./
вчене звання і ступінь підпис
„_____” _____ 2026 р.
число місяць рік

З А В Д А Н Н Я
на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту
Лемешко Владислав Андрійович
(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 141 – «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Тема бакалаврської роботи: «Удосконалення регульованого електропривода з векторним керуванням для сушильної установки барабанного типу»

затверджена наказом ректора НУБіП України від «15» грудня 2026 р. № 2305 „С”.

Термін подання завершеної роботи на кафедру 2026.05.29
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до проекту:

а) Розрахункові технічні параметри сушильної установки: 0,5024 – загальна площа перетину барабана, м²; 8 – довжина корпусу барабана, м; 0,47 – вага об'ємна насіння, т/м³; 0,283 – швидкість центру ваги насіння, м/сек; коефіцієнт заповнення насінням $K_z = 0,25$; об'ємна вага насіння $Y_M = 0,47$ т/м³; кут насіння в процесі обертання $\varphi = 42^\circ$; 0,03 – коефіцієнт ковзання між підшипниками; 0,1 – радіус втулок підшипників, м; 9,9 – число обертів барабана, об/хв; $G_1 = 8$ вага барабана, т; $G_2 = 1,9$ вага насіння в процесі сушіння, т.

б) Розрахункові технічні параметри електроприводу сушильної установки: 11 – потужність, кВт; 970 – частота обертання об/хв.

в) Нормативно-правові акти, які регулюють діяльність електроенергетичної галузі. Законодавча та нормативна база України про охорону праці.

г) Норми технічного проектування енергетичних систем і електричних мереж, правила технічної експлуатації електроустановок споживачів.

д) Інформаційні матеріали, каталоги сучасних інженерних систем.

Перелік питань, які потрібно розробити:

а) Виконати аналіз фізико-механічного процесу сушіння насіння соняшника та етапи його здійснення;

б) Проаналізувати технічні засоби сушіння насіння, виокремити їх переваги та недоліки, визначити предмет та об'єкт дослідження;

в) Розглянути типи електроприводів, виконати розрахунок потужності електродвигунів, здійснити кінематичний розрахунок з огляду на динамічні та статичні режими роботи;

г) Розглянути та описати роботу схеми управління, виконати вибір необхідної апаратури, впровадити систему частотного управління та систему захисту;

д) Виконати проектування ремонтно-обслуговуючої бази енергетичної служби;

е) Запровадити комплекс заходів з охорони праці та безпеки життєдіяльності, техніко-економічне обґрунтування прийнятих інженерних рішень та капітальних витрат.

Перелік графічних документів:

а) Спрощена принципова електрична схема управління барабанною зерносушаркою СЗСБ-8;

б) Схема включення частотного перетворювача ABB ACS580-01-032A-4 ;

в) Силове електрообладнання ремонтно-обслуговуючої бази енергетичної служби;

г) Освітлювальне електрообладнання ремонтно-обслуговуючої бази енергетичної служби.

Дата видачі завдання 16.04.2026

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи _____ Васюк В.В.

Завдання прийняв до виконання _____ Лемешко В.А

Зміст

ВСТУП	Помилка! Закладку не визначено.
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА.....	10
1.1. ФІЗИКО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА	10
1.2. ЗАСОБИ СУШІННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА	15
1.3. ЕТАПИ СУШІННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКУ	17
РОЗДІЛ 2.....	18
ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	Помилка! Закладку не визначено.
РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ СУШІННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА	18
РОЗДІЛ 3	23
ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	23
3.1. РОЗРАХУНОК ТИПУ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ТА ПОТУЖНОСТІ ЕЛЕКТРОДВИГУНІВ.....	23
3.1.2. КІНЕМАТИЧНИЙ РОЗРАХУНОК ПРИВОДА.....	29
3.2. РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	37
3.3. РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	45
3.4. ОБГРУНТУВАННЯ ТА ВИБІР ПРОЕКТУ ПУНКТУ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ І РЕМОНТУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ	50
3.5. РОЗРАХУНОК ЕЛЕКТРИЧНОГО ОСВІТЛЕННЯ	Помилка! Закладку не визначено.
3.5. ВИБІР АПАРАТІВ КЕРУВАННЯ І ЗАХИСТУ ТА НИЗЬКОВОЛЬТНИХ КОМПЛЕКТНИХ ПРИСТРОЇВ КЕРУВАННЯ.....	56
РОЗДІЛ 4	60
РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА	60
4.1. ОПИС ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА	Помилка! Закладку не визначено.
4.2. ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ АВВ ACS580-01-032A-4	Помилка! Закладку не визначено.
4.2.1. ВИБІР ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА	Помилка! Закладку не визначено.
4.2.2. ВИБІР АПАРАТУРИ УПРАВЛІННЯ	Помилка! Закладку не визначено.

4.2.3. СХЕМА ВКЛЮЧЕННЯ ЧАСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА	66
4.2.3.СТРУКТУРНА І ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМА УПРАВЛІННЯМ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ БАРАБАНА СУШАРКИ.....	70
РОЗДІЛ 5.	76
ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ З ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ.....	76
5.1. ЕЛЕКТРИЧНЕ ОСВІТЛЕННЯ	77
5.2. ЗАХОДИ ЕНЕРГОБЕЗПЕКИ.....	78
5.3. ЗАЗЕМЛЕННЯ І ЗАХИСНІ ЗАХОДИ ЕНЕРГОБЕЗПЕКИ	79
РОЗДІЛ 6.	80
РОЗРАХУНОК КАПІТАЛЬНИХ ВИТРАТ ПРИ УДОСКОНАЛЕННІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ.....	80
ВИСНОВКИ.....	Помилка! Закладку не визначено.
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86

ВСТУП

Актуальність. На сучасному етапі розвитку економіки головним джерелом її зростання є комплексна модернізація всіх галузей на основі проривних інноваційних технологій, створення принципово нових продуктів і послуг. Інноваційна модель економічного розвитку вимагає випереджального зростання високотехнологічних виробництв та тісної інтеграції наукових досліджень із виробництвом. Перехід економіки на наукомісткий шлях розвитку зумовлює необхідність удосконалення державної науково-технічної політики, ключовою складовою якої є надійне аналітичне та інформаційне забезпечення прийняття управлінських рішень і прогнозування основних науково-технологічних трендів. Однією з провідних галузей світового агропромислового комплексу є виробництво та переробка олійних культур. Важливим напрямком у цій сфері залишається стабільне збільшення обсягів вирощування соняшнику та продукції його переробки. Виробництво та переробка насіння соняшнику — одна з найбільш енерго- та трудомістких галузей сільського господарства, яка потребує суворого дотримання технологічної дисципліни, високої культури землеробства та виконання всіх операцій у чітко визначені агротехнічні строки. Розвиток галузі визначається такими ключовими факторами: зростанням обсягів переробки олійних культур, рівнем рентабельності виробництва та впровадженням сучасних технологій. Технологічний процес отримання соняшникової олії включає підготовку сировини, сушіння, пресування, фільтрацію, екстракцію, відбілювання та дезодорацію.

Аналіз технології показує, що **сушіння** є однією з найбільш енергоємних операцій, при цьому якість її виконання безпосередньо визначає кінцеву якість готової олії. Саме тому післязбиральна обробка насіння соняшнику, зокрема процес сушіння, є найбільш проблемною ланкою технологічного ланцюга.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		7

Слабкими місцями залишаються відсутність науково обґрунтованих рекомендацій щодо сушіння насіння соняшнику, яке характеризується низькою сипкістю, підвищеною вологістю, низькою механічною міцністю лушпиння, високою шпаруватістю та пожежонебезпечністю. На більшості підприємств України досі експлуатуються застарілі барабанні зерносушарки типу СЗСБ-8. Їхніми суттєвими недоліками є морально застаріла система керування електроприводом та високі витрати енергії.

Крім того, матеріально-технічна база для сушіння насіння соняшнику, сформована ще в минулому столітті, не забезпечена сучасними рекомендаціями щодо термовологісних режимів сушіння насіння товарного та насіннєвого призначення. Усунення цих проблем є критично важливим для подальшого збільшення виробництва олійної сировини в Україні. Сушіння насіння соняшнику — один із найбільш відповідальних технологічних процесів, ефективність і технічне забезпечення якого значною мірою визначають якість готової продукції. У зв'язку з цим удосконалення спеціалізованих сушарок для насіння соняшнику є актуальною науковою та практичною задачею, яка має важливе народногосподарське значення для розвитку олійної галузі України.

Особливої актуальності набуває завдання зниження енергоємності процесу сушіння з урахуванням значних обсягів виробництва соняшникової олії та високих вимог до її якості. На сучасному етапі розвитку техніки системи електроприводу посідають провідне місце серед приводних пристроїв, забезпечуючи надійну та ефективну роботу технологічного обладнання в багатьох галузях. Найпоширенішим типом привідного двигуна залишається асинхронний двигун з короткозамкненим ротором. Сучасні асинхронні електроприводи, побудовані на базі силової напівпровідникової техніки та мікропроцесорних систем керування, дозволяють здійснювати точне й швидке регулювання параметрів у широкому діапазоні.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						8
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

Більше 60 % виробленої електроенергії споживається саме електричними двигунами. Тому підвищення енергоефективності систем електроприводу шляхом впровадження сучасних алгоритмів керування є одним із найважливіших напрямків енергозбереження. Мета дипломної роботи зменшення енергоємності процесу сушіння насіння соняшнику при збереженні його якості шляхом удосконалення асинхронного електроприводу з векторним керуванням для сушильної установки барабанного типу. Проектна продуктивність підприємства становить 200 тисяч тонн соняшнику на рік. Для досягнення поставленої мети визначено такі основні завдання: проаналізувати фізико-механічні особливості процесу сушіння насіння соняшнику та етапи його реалізації, проаналізувати технічні засоби сушіння, виявити їхні переваги та недоліки, визначити об'єкт і предмет дослідження, розглянути типи електроприводів, виконати розрахунок потужності електродвигунів та кінематичний розрахунок з урахуванням статичних і динамічних режимів роботи, розробити схему управління, здійснити вибір необхідної апаратури, впровадити систему частотного регулювання та захисту, виконати проектування ремонтно-обслуговуючої бази енергетичної служби, розробити комплекс заходів з охорони праці та безпеки життєдіяльності, провести техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень.

Об'єкт дослідження — сушильна установка СЗСБ-8, призначена для сушіння насіння соняшнику.

Предмет дослідження — асинхронний електропривод з векторним керуванням для сушильної установки барабанного типу.

Запровадження регульованого асинхронного електроприводу з векторним керуванням дозволить суттєво знизити енергоспоживання, підвищити рентабельність виробництва соняшникової олії та забезпечити необхідні технологічні режими сушіння.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						9
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЇ СУШІННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА

1.1. Фізико-механічні властивості процесу сушіння насіння соняшника

Сипучість насіння соняшнику є однією з ключових фізико-механічних характеристик і визначається кутом природного укосу. На величину цього показника впливають вологість насіння, вміст і характер домішок, а також стан поверхні, по якій переміщується матеріал. Кут природного укосу сухого насіння соняшнику становить 27–35°, при підвищеній вологості він зростає до 42°, а за високої вологості та значного забруднення (до 8 % домішок) може сягати 55°. Ці значення суттєво перевищують аналогічні показники для зернових культур. Зазначені особливості створюють певні труднощі під час транспортування та обробки насіння. Через невелику масу насінин і високий коефіцієнт внутрішнього тертя насіння соняшнику переміщується повільніше порівняно зі злаковими культурами та кукурудзою. У зв'язку з цим транспортні трубопроводи зерносушарок для соняшнику повинні мати більший діаметр і встановлюватися під більшим кутом нахилу. Насипна щільність насіння соняшнику, що надходить на підприємства, коливається в межах 326–440 кг/м³ залежно від вологості та ступеня забруднення. Це приблизно вдвічі нижче, ніж у пшениці, що зумовлює меншу продуктивність сушарок за об'ємною подачею сировини. Наявність повітряного прошарку між ядром і лущинням, а також високий вміст жиру в насінні призводять до значно нижчої швидкості витання порівняно з іншими культурами. Швидкість витання насіння соняшнику становить 4–8,0 м/с, тоді як для рису вона дорівнює 8,9–9,5 м/с, для пшениці — 9,0–11,5 м/с, а для кукурудзи — 12,5–14,0 м/с. Тому для запобігання винесенню повноцінного насіння з коробів шахти та камери нагріву швидкість агента

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		10

сушіння для соняшнику має бути нижчою, ніж при сушінні зернових культур.

Насіння соняшнику має подовжену форму та відносно грубу поверхню, що зумовлює високу скважистість (пористість) матеріалу — 60–80 %. Для порівняння: у рису цей показник становить 50–65 %, у пшениці — 35–45 %, у кукурудзи — 35–55 %. Завдяки високій скважистості агент сушіння зустрічає менший опір при проходженні через шар насіння, що сприяє швидшому та рівномірнішому висиханню порівняно з іншими культурами. Гігроскопічність є однією з найважливіших властивостей насіння, яка суттєво впливає на режими сушіння та зберігання. Насіння соняшнику належить до капілярно-пористих колоїдних тіл і характеризується різними формами зв'язку вологи: хімічною, фізико-хімічною (адсорбційною) та механічною. Під час сушіння важливо зберігати незмінними основні фізичні та хімічні властивості насіння, тому хімічно зв'язану вологу видаляти не допускається. Вологість, при якій у насінні залишається переважно хімічно та адсорбційно зв'язана волога, називається критичною. Така волога не бере участі в життєвих процесах і не може використовуватися більшістю мікроорганізмів, а отже, не впливає на стійкість насіння під час зберігання. Таким чином, насіння соняшнику слід сушити до вологості, при якій у ньому залишається в основному адсорбційно зв'язана вода.

Критичну вологість насіння визначають за формулою:

$$\omega_k = \frac{\omega_z (100 - M)}{100}, \quad (1.1)$$

де ω_z – вологість гідрофільної частини, %; M – фактична масляність, %.

До прикладу, при критичній вологості гідрофільної частини 14%, олійності 50% критична вологість насіння соняшнику буде:

$$\omega_{kp} = \frac{14(100 - 50)}{100} = 7 \%. \quad (1.2)$$

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		11

Вологість насіння соняшнику має бути у межах 6–8%, щоб забезпечити його оптимальну якість. Рівноважна вологість насіння, коли воно не поглинає та не віддає вологу, залежить від кількох факторів, таких як температура, вологість повітря та вміст олії. Рівноважна вологість насіння змінюється в залежності від відносної вологості повітря φ по закономірності:

$$\omega_p = 0,623\varphi^{1,14}.$$

Така залежність справедлива при $\varphi = 45 \dots 85\%$, і вона не враховує хімічного складу високоолійних сортів насіння соняшнику. Відома залежність між рівноважною вологістю насіння соняшнику з вмістом жиру до 50% при температурі атмосферного повітря від 14 до 30° С і відносній вологості від 9 до 82%. Вона виражається співвідношенням

$$\omega_p = 2,133e^{0,017549\varphi}.$$

де e – основа натурального логарифма.

При однакових температурно-вологісних умовах рівноважна вологість олійних культур приблизно в два рази нижча, ніж у зернових. Це пояснюється меншим вмістом гідрофільних колоїдів та високою концентрацією жиру в насінні олійних культур. Зі зростанням олійності насіння соняшнику рівноважна вологість знижується. Це відбувається через зменшення частки гідрофільних речовин і збільшення гідрофобної (жирової) фракції. Висока гігроскопічність лушпиння соняшнику дозволяє ефективно застосовувати раціональні режими сушіння з чергуванням етапів сушіння, охолодження та відновлення вологості. Таке чергування інтенсифікує процес видалення вологи, оскільки вологопровідність оболонки значно вища, ніж у ядра. Рівноважна вологість різних частин насіння неоднакова: найвищою вона є в лушпинні, найнижчою — у ядрі, а загальна рівноважна вологість насіння має проміжне значення. Органічні та сміттєві домішки характеризуються значно вищою гігроскопічністю. При однакових умовах їх рівноважна вологість перевищує рівноважну

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		12

вологість чистого насіння в 1,8 рази. Теплофізичні характеристики насіння соняшнику (теплоємність, коефіцієнти теплопровідності та температуропровідності) суттєво залежать від розміру насінин, вологості, хімічного складу, олійності, співвідношення лушпиння та ядра, а також температури. Значний вплив на ці показники справляє також кількість і склад домішок.

При підвищенні вологості насіння до 17,8 % теплоємність зростає за лінійною залежністю. Коефіцієнт теплопровідності збільшується при підвищенні вологості до 11 %, а при подальшому зволоженні практично не змінюється. Коефіцієнт температуропровідності зростає до 11 % вологості, а потім зменшується. Загалом теплофізичні характеристики насіннєвої маси значно нижчі, ніж окремих насінин, через високий вміст повітря у міжзерновому просторі.

За вологістю насіння соняшнику поділяють на чотири стани: сухе — до 7,0 %, середньої сухості — 7,0–8,0 %, вологе — 8,0–9,0 %, сире — понад 9,0 %. Насіння сухе та середньої сухості практично не містить вільної вологи і може зберігатися тривалий час без суттєвого погіршення якості.

Специфіка сушіння насіння соняшнику відрізняється складною будовою (ядро, плодова та насінна оболонки), значною варіабельністю за розмірами, масою та вологістю, низькою механічною міцністю лушпиння, високою термочутливістю білково-ліпідного комплексу та підвищеною пожежонебезпечністю. Ці особливості висувають специфічні вимоги до режимів сушіння та конструкцій сушильного обладнання.

Під час сушіння необхідно зберігати якість насіння, мінімізувати втрати олії, запобігати розтріскуванню лушпиння, збільшенню вмісту олійної домішки, а також не допускати зростання кислотного та йодного чисел жиру та погіршення органолептичних і харчових властивостей олії.

Одним із найефективніших способів підвищення зберігальної здатності насіння є теплова сушка. Важливе значення має не тільки

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		13

температура, а й тривалість теплового впливу. Оскільки коефіцієнти теплопровідності та температуропровідності істотно відрізняються для окремої насінини та для щільного шару, для ефективного сушіння бажано забезпечувати нагрівання кожної насінини окремо. Це дозволяє застосовувати вищі температури реагента сушіння при одночасному скороченні тривалості нагріву.

Короткочасне сушіння при високій температурі є більш ефективним, ніж тривале сушіння при низькій температурі. Для випаровування 1 кг вологи теоретично необхідно близько 2680 кДж тепла. На практиці в шахтних сушарках витрачається 5020–6280 кДж/кг, а в рециркуляційних — 3670–4490 кДж/кг.

Сушіння це тепло та масообмінний процес, що включає підведення тепла до матеріалу, випаровування вологи з поверхні, переміщення вологи всередині насінини та відведення пари. Перенесення вологи всередині матеріалу відбувається переважно за рахунок вологопровідності та термовологопровідності. На початкових етапах сушіння рекомендується підтримувати максимально допустиму температуру насіння, при якій ще не відбувається погіршення його якості.

Напрямок дії цих двох механізмів може співпадати або бути протилежним, що суттєво впливає на інтенсивність процесу. Для прискорення сушіння бажаний збіг напрямків переміщення вологи, що досягається за умови нижчої температури поверхні порівняно з внутрішніми шарами насінини.

У шахтних прямоточних сушарках термовологопровідність часто перешкоджає виведенню вологи на поверхню. У рециркуляційних сушарках обидва механізми діють спільно, що підвищує ефективність процесу.

Температура насіння на початковому етапі сушіння відповідає температурі мокрого термометра, що дозволяє застосовувати високі

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						14
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

температури агента сушіння. Наприклад, при температурі повітря 200 °С температура матеріалу становить близько 47 °С, а при 350 °С — близько 60 °С. Таким чином, для максимального використання теплоти та збереження якості насіння найбільш ефективним є застосування високих температур реагента сушіння при мінімально можливій тривалості контакту з насінням.

1.2. Засоби сушіння насіння соняшника

До основних реагентів сушіння насіння соняшнику належать: повітря, пічні гази, їхні суміші, температура та хімічні речовини.

Повітря використовується як природний агент сушіння в поєднанні з активним вентиляванням. Воно може мати температуру навколишнього середовища або бути підігрітим.

Пічні гази високотемпературні продукти згоряння палива. Їх зазвичай змішують з атмосферним повітрям для зниження температури теплоносія до безпечного рівня для насіння соняшнику. Температура є одним із визначальних факторів інтенсивності сушіння. Однак максимальна температура нагріву насіння обмежується його термостійкістю та температурою денатурації білків. Для насіння соняшнику вона не повинна перевищувати 35–45 °С. Останнім часом поширюються методи сушіння з використанням хімічних сорбентів, які поглинають вологу при безпосередньому контакті з насінням. Сорбент змішують з насінням, витримують 6–8 діб, після чого проводять очищення.

Природна сушка (на сонці та вітрі) ефективна лише для невеликих партій насіння в умовах сухої та сонячної погоди. Насіння розстеляють тонким шаром і періодично перемішують. За 24 години вологість може знизитися на 1,5–2,0 %. Для прискорення процесу застосовують машини попереднього очищення та сортування, які за один прохід зменшують вологість на 1,5–2 %.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						15
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

Активне вентилявання без підігріву застосовують, коли відносна вологість зовнішнього повітря не перевищує 75 %. Для цього використовують вентиляційні установки типу СВУ-1, СВУ-2, СВУ-3, УСВУ-63, ТВУ-2, бункери СБ-12,5, СБ-25 тощо. Тривалість вентилявання насіння з вологістю менше 22 % не повинна перевищувати 10 діб, а при вологості понад 22 % — 6 діб. Перевищення цих термінів може призвести до самозігрівання та «запарювання» насіння. При вентиляванні з підігрівом повітря нижні шари насіння висихають інтенсивніше, але повітря, насичуючись вологою, охолоджується при підйомі. У верхніх шарах може відбуватися не зменшення, а навіть підвищення вологості. Шахтні сушарки (СЗС-8, СЗШ-8, СЗШ-16, СЗСШ-16Р, СЗПЖ-8 тощо) працюють на суміші повітря та пічних газів. Температура агента сушіння становить 45–75 °С, тривалість сушіння — 45–65 хвилин. Барабанні сушарки (СЗСБ-8, СЗПБ-2, СЗСБ-4 тощо) є одним із найбільш поширених типів обладнання. Температура теплоносія в них може сягати 90–130 °С, а тривалість сушіння становить 15–30 хвилин. При високій початковій вологості рекомендується проводити сушіння в кілька циклів зі зниженням температури. Перспективні методи включають інфрачервоне сушіння (нагрівання безпосередньо насіння без суттєвого нагріву повітря) та вакуумне сушіння (інтенсифікація випаровування за рахунок зниження тиску). Енергетична ефективність сушіння залежить від якості підготовки насіння, інтенсифікації процесу при максимально допустимих температурах, рециркуляції тепла, використання альтернативних джерел енергії та сучасних систем керування. Для сушіння насіння соняшнику найбільш поширеними є барабанні сушарки. Вони забезпечують швидке сушіння (зниження вологості за цикл на 4–5 %), меншу енергоємність порівняно з шахтними сушарками та високу продуктивність. Модернізація таких сушарок може включати заміну насадок барабана, організацію

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		16

поперечного продування, сушіння в шарі, а також впровадження сучасного частотно-регульованого електроприводу з векторним керуванням.

1.3. Етапи сушіння насіння соняшнику

Важливими попередніми етапами є поділ насіння на партії за рівнем вологості, попереднє очищення від домішок та охолодження. Насіння витримують у надсушильному бункері, після чого встановлюють необхідний температурний режим (максимальна температура агента сушіння не повинна перевищувати 80 °С). При початковій вологості до 13 % сушіння можна проводити за один цикл з чергуванням сушіння та охолодження. При вологості до 20 % рекомендується багатоступеневий цикл: сушіння – відлежування – сушіння – охолодження. Необхідно строго контролювати ступінь заповнення барабана для запобігання перегріву насіння. У циклі «нагрівання – відлежування – охолодження – рециркуляція» зазвичай видаляється близько 2 % вологи. Під час сушіння також відбувається часткове очищення насіння від легких домішок. Температура насіння під час сушіння завжди нижча за температуру агента сушіння. На початковому етапі вона відповідає температурі мокрого термометра. Це дозволяє застосовувати високі температури теплоносія. Наприклад, при температурі повітря 200 °С і вологості 0,008 кг/кг температура насіння становить близько 47 °С, а при 350 °С — близько 60 °С. Для максимальної ефективності використання енергії та збереження якості насіння доцільно застосовувати максимально допустимі температури агента сушіння при мінімально можливій тривалості контакту. У **барабанних сушарках** насіння переміщується в обертовому барабані та обдувається гарячим повітрям. Температура агента сушіння на вході коливається від 249 до 352 °С, на виході — від 52 до 86 °С. Тривалість сушіння становить 14–22 хвилини.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						17
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2.

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СИСТЕМИ СУШІННЯ НАСІННЯ СОНЯШНИКА

Барабанну сушарку можна представити як систему, що складається з чотирьох основних функціональних частин: камери завантаження, камери сушіння (з теплогенератором), камери охолодження та камери вивантаження. Конструктивно сушарка виконується у вигляді однієї або кількох циліндричних труб (залежно від продуктивності). Головним робочим органом є обертовий циліндричний барабан, встановлений під невеликим кутом до горизонту. Барабан обертається на опорних бандажах, які спираються на ролики, що виконують роль підшипників. Привід барабана здійснюється від електродвигуна через редуктор.

Швидкість обертання барабана регулюється в діапазоні 1–9 об/хв залежно від початкової вологості насіння, необхідної тривалості сушіння, кута нахилу барабана та продуктивності. Регулювання швидкості дозволяє забезпечити оптимальне переміщення насіння від камери завантаження до камери вивантаження. Всередині барабана розміщені лопатки (перегородки), які забезпечують постійне перемішування насіння та його рух по відсіках. На початку та в кінці барабана встановлені гвинтові напрямні (доріжки), які сприяють рівномірному завантаженню та вивантаженню насіння. Для ефективного сушіння швидкість руху агента сушіння в барабані повинна підтримуватися в межах 2–3 м/с. При такій швидкості забезпечується інтенсивний тепло- та масообмін, але уникається винесення насіння з барабана та його переповнення. Насіння, потрапляючи в барабан, рухається вздовж його осі завдяки похилому розташуванню та обертанню. Під час руху воно постійно переміщується, контактує з гарячим тепловим агентом, внаслідок чого відбувається інтенсивне випаровування вологи.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						18
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

Газоповітряна суміш всмоктується витяжним вентилятором. Для очищення відпрацьованого агента сушіння від пилу та легких домішок перед вентилятором встановлюється циклон. Параметри газоповітряної суміші (витрата та швидкість) регулюються залежно від вологості та кількості оброблюваного насіння. У результаті одного циклу сушіння тривалістю 15–20 хвилин вологість насіння соняшнику знижується в середньому на 1–3 %.

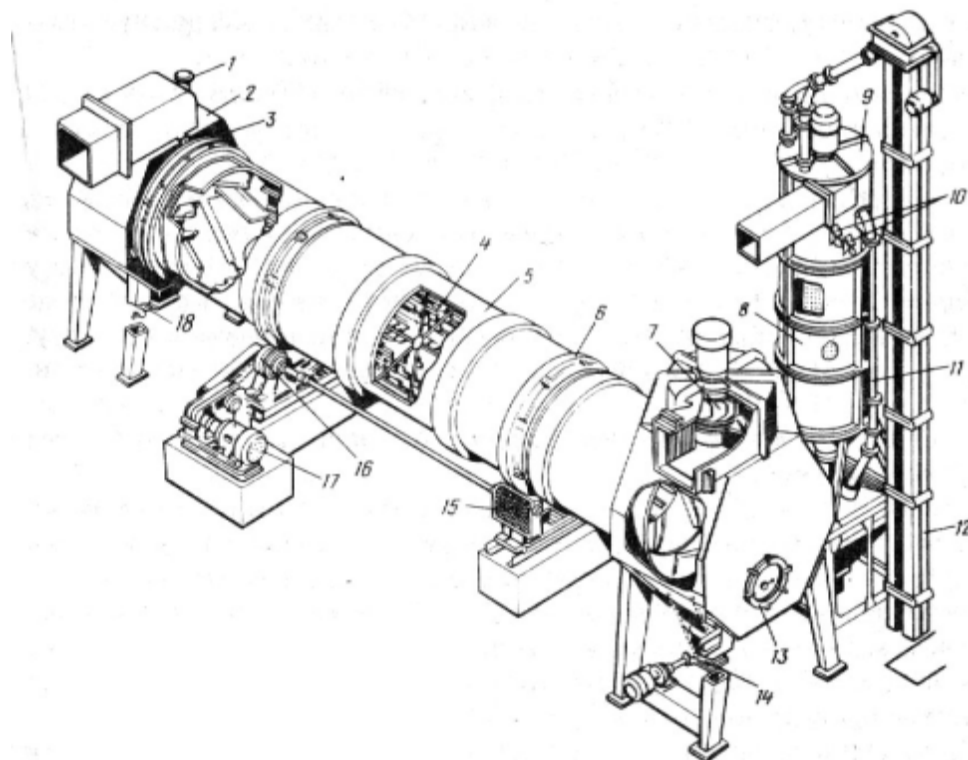


Рис. 2.1. Конструкційна схема барананної сушарки СЗСБ-8:

1 – перехідник; 2 – топка; 3 – труба завантаження; 4 – лопатки; 5 – кільце (бандаж); 6 – хрестовина; 7 – полощадка; 8 – сушильний барабан; 9, 12 – вентилятори; 10, 11 – циклони; 13, 14 – датчики рівня насіння; 15 – конуси; 16, 20 – затвори; 17 – норія; 18 – бункер; 19 – камера вивантаження; 21 – ролики; 22 – привідна станція

Температура насіння в сушильній камері залежить від тривалості його перебування в барабані та температури теплоносія. Найбільш поширеним типом обладнання для сушіння насіння соняшнику в Україні залишається

барабанна сушарка СЗСБ-8. Вона складається з таких основних вузлів: топкового блоку, перехідника, сушильного барабана, вивантажувальної камери, витяжного вентилятора, охолоджувальної колонки, норій, приводної станції, повітропроводів, паливної системи та системи керування. Топковий блок призначений для спалювання рідкого палива та отримання теплоносія з необхідними параметрами (температурою та витратою). Сушильний барабан встановлений під кутом і обертається на двох опорних кільцях (бандажах), які спираються на приводні та підтримуючі ролики. Обертання барабана здійснюється від приводної станції, яка дозволяє регулювати частоту обертання залежно від технологічних вимог. На кінцевій ділянці барабана встановлений конус для вивантаження висушеного насіння. У верхній частині вивантажувальної камери розташований витяжний вентилятор, який забезпечує рух теплоносія через барабан. Камера звужується донизу, утворюючи вивантажувальний лоток із затвором. Охолоджувальна колонка складається з двох концентричних циліндрів (зовнішнього та внутрішнього) з перфорацією, вентилятора та затвора. Робота колонки керується автоматичною системою, яка підтримує заданий рівень насіння.

Технологічна схема сушарки СЗСБ-8 наведена на рисунку 2.2.

Принцип роботи сушарки полягає в наступному. Вологе насіння надходить через завантажувальну трубу в камеру завантаження і рівномірно розподіляється гвинтовими лопатками. Під час обертання барабана лопатки забезпечують постійне перемішування та переміщення насіння вздовж осі барабана від завантажувальної до вивантажувальної камери. Теплоносій (суміш продуктів згоряння та повітря), що рухається назустріч або паралельно потоку насіння, проникає через весь шар матеріалу. Насіння нагрівається, волога інтенсивно випаровується і поглинається теплоносієм, який потім виводиться витяжним вентилятором.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						20
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

Кількість теплоносія, що проходить через барабан, регулюється дроселем вентилятора з урахуванням критичної швидкості витання насіння.

Температуру теплоносія необхідно підвищувати обережно, лише до максимально допустимих значень, оскільки її зростання суттєво прискорює випаровування вологи, але може призвести до перегріву насіння та погіршення його якості.

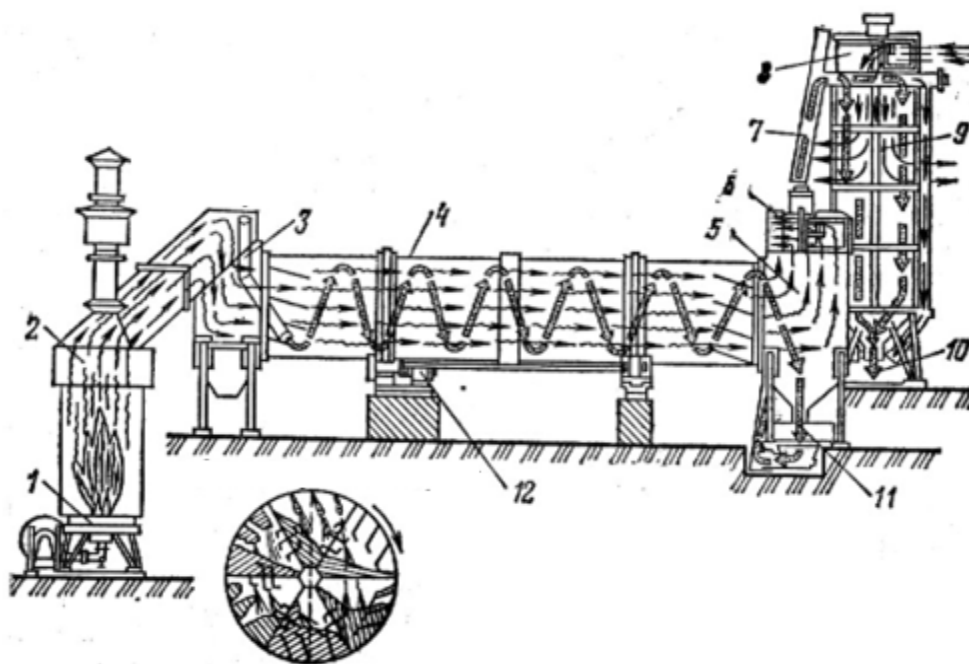


Рис. 2.2. Технологічна схема баранної сушарки СЗСБ-8:

1 – топка; 2 – змішувач 3 – камера завантаження; 4 – барабан; 5 – камера розвантажувальна; 6, 8 – вентилятори; 7 – транспортер (норія); 9 – колонка охолодження; 10 – вихід насіння; 11 – затвор; 12 – привідна станція

Температура нагріву насіння залежить від температури теплоносія та тривалості його перебування в барабані. Регулювання температурного режиму здійснюється автоматичною системою керування та затвором. Після завершення процесу сушіння висушене насіння через затвор 20 вивантажується в норію 17 і подається в охолоджувальну колонку. Охолодження відбувається в колоні, яка складається із зовнішнього (10) та внутрішнього (11) перфорованих циліндрів. Повітря,

що всмоктується вентилятором 12 через отвори зовнішнього циліндра, проходить крізь шар насіння, охолоджує його та забирає вологу. Потім повітря надходить у внутрішній циліндр, де процес охолодження завершується.

Затвор 16 забезпечує безперервне вивантаження охолодженого насіння з колонки, що сприяє рівномірному руху матеріалу зверху вниз. Рівень насіння в охолоджувальній колонці автоматично підтримується за допомогою датчиків 13 і 14. Технічні характеристики сушарки СЗСБ-8 (при зниженні вологості насіння соняшнику з 22 % до 12 %): продуктивність — 10 тонн на годину, сумарна встановлена потужність асинхронних електродвигунів — 38 кВт, питома витрата палива — 12,8 кг на тону висушеного насіння.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						22
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

3.1. Розрахунок типу електроприводу та потужності електродвигунів

Асинхронний електродвигун призначений для забезпечення обертання сушильного барабана. Корисна робота двигуна витрачається на виконання таких основних технологічних дій: підняття насіння лопатками барабана; переміщення насіння вздовж осі барабана від завантажувальної до вивантажувальної камери; подолання сил тертя, що виникають між бандажами барабана та опорними роликами; подолання тертя в механічній передачі редуктор, муфти; подолання опорів в ущільнювальних пристроях. З урахуванням усіх зазначених складових навантаження (корисної роботи, втрат на тертя та опори) надалі буде виконано розрахунок необхідної потужності електродвигуна для приводу барабана сушильної установки.

$$N_n = \frac{1}{\eta}(N_1 + N_2), \text{ кВт}, \quad (3.1)$$

де N_1 – потужність що витрачається на підйом матеріалу; N_2 – потужність що витрачається на подолання тертя в підшипниках; η – потужність що витрачається яка витрачається на подолання сили тертя в приводі та ущільненнях. Переміщення насіння всередині обертового барабана характеризується нерівномірним розподілом матеріалу відносно вертикальної осі, проведеної через центр поперечного перетину барабана. У результаті цього виникає постійний **момент опору**, зумовлений силою ваги насіння, який діє в напрямку, протилежному обертанню барабана (див. рис. 3.1). Величина цього моменту залежить від відстані між центром ваги насіння та вертикальною площиною, що проходить через центр барабана. Визначення даного плеча сили дозволяє розрахувати потужність, яка витрачається безпосередньо на підйом соняшникового насіння в процесі обертання барабана.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		23

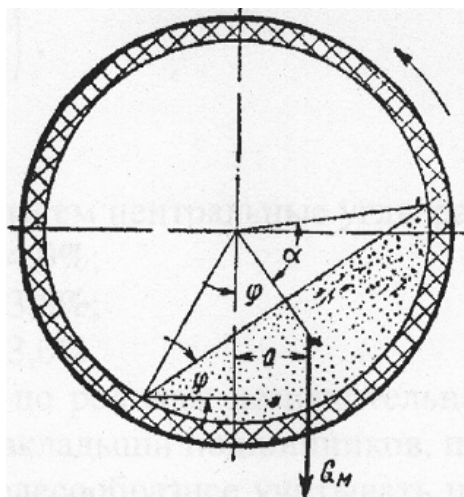


Рис. 3.1. Схема переміщення насіння соняшника в барабані при обертанні

$$N_1 = \frac{1000G_M V_0}{102}, \quad N_1 = \frac{1000F_M L Y_M V_0}{102}; \quad (3.2)$$

де F_M – поперечна площа перетину барабана, м^2 ; L – довжина корпусу барабана, м ; Y_M – вага насіння об'ємна, т/м^3 ; V_0 – швидкість преміщення центру ваги насіння, м/сек .

Використовуючи наведені вище залежності, можна визначити корисну потужність приводу барабана, а також розрахувати кількість насіння, що знаходиться в ньому, площу його поперечного перетину, кут нахилу матеріалу та масу [6]. Слід враховувати, що під час сушіння насіння соняшнику безперервно переміщується вздовж осі барабана, при цьому змінюються його фізичні властивості (вологість, сипучість, об'ємна маса), а також можливе нерівномірне накопичення матеріалу. У зв'язку з цим точний розрахунок середньої швидкості руху насіння та площі поперечного перетину шару є досить складним завданням.

Для виконання розрахунків прийнято такі практичні значення: коефіцієнт заповнення барабана насінням — $K_z = 0,25$; об'ємна маса насіння — $\gamma = 0,47 \text{ т/м}^3$; кут природного укусу насіння в динамічних умовах — $\varphi = 42^\circ$.

Площу поперечного перетину шару насіння в барабані можна розглядати як кругову сегментну поверхню. У цьому випадку швидкість центру ваги шару насіння визначається за відповідною геометричною залежністю.

$$V_0 = \frac{\pi \cdot n}{30} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{R_{CB}^3 \sin^3 a}{K_3 \pi R_{CB}^2} \sin \varphi \text{ м/сек,} \quad (3.3)$$

Визначальним елементом в представленому взаємовідношенні є кут φ , який дорівнює частині центральної частини кута яка спирється на хорду сегмента кута, розрахувати що можливо за співвідношенням, яке представляє площу сегменту кута:

$$F_M = \frac{R_{CB}^2}{2} \left(\frac{\pi \cdot 2a}{180} - \sin 2a \right), \quad (3.4)$$

Підставимо F_M натомість прийнятої раніше числової величини яка дорівнюватиме коефіцієнту заповнення барабана в 0,25 можна отримати:

$$0,25 \cdot \pi \cdot R_{CB}^2 = \frac{R_{CB}^2}{2} \left(\frac{\pi \cdot 2a}{180} - \sin 2a \right), \quad (3.5)$$

$$0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2 = \frac{0,8^2}{2} \left(\frac{3,14 \cdot 2a}{180} - \sin 2a \right), \quad (3.6)$$

де кут $a=65^\circ$.

$$V_0 = \frac{3,14 \cdot 8}{30} \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{0,8^2 \sin^3 65}{0,25 \cdot 3,14 \cdot 0,8^2} \sin 42 = 0,283,$$

$$N_1 = \frac{1000 \cdot 0,5024 \cdot 8 \cdot 0,47 \cdot 0,283}{102} = 5,24 \text{ кВт.}$$

Оскільки тертя від кочення роликів по бандажу є відносно незначною порівняно з тертям між цапфами роликів та вкладишами, розраховувати її окремо необов'язково. Крім того, потрібно врахувати подальше збільшення коефіцієнта тертя ковзання. Отже, для визначення потужності, витраченої на подолання тертя в підшипниках роликів та бандажів по роликах, можна скористатися наступним розрахунком:

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						25
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

$$N_2 = \frac{P_{TP} V_{\text{ц}}}{102}, \text{ кВт}, \quad (3.7)$$

Обрахуємо силу тертя та швидкість цапф за допомогою формул:

$$P_{TP} = \frac{1000_{TP} f G}{\cos 30^\circ} = 1155,$$

$$V_{\text{ц}} = \frac{\pi \cdot r_{\text{ц}} \cdot n}{30} \cdot \frac{D_6}{D_p} \quad (3.8)$$

Зробимо підстановки значення для сили тертя P_{TP} та швидкості цапфи $V_{\text{ц}}$ в вираз (2.6) в результаті отримаємо:

$$N_2 = 1,19 f r_{\text{ц}} G n \cdot \frac{D_6}{D_p}, \quad (3.9)$$

де f – коефіцієнт ковзання між роликами і підшипниками; $r_{\text{ц}}$ – радіус роликів, м; n – частота обертання барабана, об/хв; D_6 – діаметр бандажу, м; D_p – діаметр роликів, м; $G=(G_1+G_2)$ – вага барабана в процесі обертання, т; G_1 = вага барабана, т; G_2 = вага насіння що переміщується барабані, т.

На основі аналізу взаємозалежностей можна визначити потужність, необхідну для обертання сушильного барабана. Якщо діаметр барабана постійний по всій його довжині, розрахунок виконується для всього барабана. У разі змінного діаметра по довжині розрахунок потужності проводиться окремо для кожної ділянки з подальшим сумуванням отриманих значень [6]. Коефіцієнт тертя в опорних вузлах суттєво впливає на енергетичні витрати. Застосування роликів з бронзовими або мідними вкладишами та ефективної системи рідинного змащення дозволяє знизити коефіцієнт тертя ковзання до **0,02–0,04**. Однак з урахуванням тертя кочення бандажів по роликах реальне значення коефіцієнта тертя зростає до **0,03–0,06**. При визначенні загального ККД барабанної установки необхідно враховувати втрати потужності в механічному приводі та в ущільнювальних пристроях. Величина ККД залежить від конструктивного виконання приводу та умов експлуатації і становить орієнтовно: **0,90** для

закритого типу приводу; **0,85** для змішаного типу; **0,75** для відкритого типу [7]. Потужність електродвигуна повинна забезпечувати стабільну роботу барабана при номінальній частоті обертання. У разі роботи з частотою, вищою за номінальну, споживана потужність збільшується. Крім того, під час пуску барабана виникають значні динамічні навантаження, пов'язані з подоланням сил інерції рухомих мас.

З урахуванням усіх зазначених факторів (статичних і динамічних навантажень, пускових режимів) встановлена потужність електродвигуна приводу барабана повинна перевищувати розрахункову потужність на **20–25 %** [8]. Ми отримаємо формулу, яка дозволить розрахувати потужність, потрібну для підняття насіння:

$$N_1 = \frac{1000 \cdot 0,5024 \cdot 8 \cdot 0,47 \cdot 0,283}{102} = 5,24 \text{ кВт.}$$

Ми отримаємо формулу, що дозволить розрахувати необхідну потужність для подолання тертя барабана під час руху на роликах та бандажах :

$$N_2 = 1,19 \cdot 0,03 \cdot 0,1 \cdot 9,9 \cdot 8 \cdot 5,7 = 1,611;$$

$$N_2 = 1,19 \cdot 0,03 \cdot 0,1 \cdot 9,9 \cdot 8 \cdot 5,7$$

Обчислюємо загальну потужність:

$$N_N = \frac{1}{0,845} (5,24 + 1,611) = 8,08.$$

Розраховуємо потужність яка витрачається на пуск електродвигуна не враховуючи масу насіння:

$$N_n = \frac{1}{0,845} 5,24 = 6,2.$$

де N_n – потужність барабана без насіння.

З урахуванням інерції барабана збільшимо потужність на 20 – 25%, що призведе до отримання наступного результату:

$$N_d = 8,08 \cdot 1,2 = 9,7 \text{ кВт.}$$

Отримавши загальну потужність необхідно за каталогами вибрати

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						27
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

трифазний асинхронний двигун серії AIP 160S6 технічні характеристики якого представлені в таблиці 3.1.

Таблиця

3.1.

Технічні характеристики двигуна AIP 160S6

Тип двигуна	Потужність, кВт	Частота обертання, Об/хв.	Номінальний струм, А	ККД, %
AIP160S6	11	970	24,5	87,5
Коефіцієнт потужності	$I_{\text{п}}/I_{\text{н}}$	$M_{\text{п}}/M_{\text{н}}$	$M_{\text{max}}/M_{\text{н}}$	Момент інерції ротора, кг·м ²
0,78	6,5	1,7	2,1	0,0700

Наступним кроком є розрахунок обертового моменту на валах.

Момент на барабані можливо розрахувати наступним чином:

$$M_{\text{Б}} = \frac{9550 \cdot N}{n}, \quad (3.10)$$

$$M_{\text{Б}} = \frac{9550 \cdot 8,08}{8} = 9,645 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент, на валу шестерні можливо розрахувати наступним чином:

$$M_{\text{ш}} = \frac{M_{\text{Б}}}{\eta_1 \cdot i_{\text{ц}}}, \quad (3.11)$$

де $i_{\text{ц}}$ – передавальне число передачі, шестерні, $i_{\text{ц}} = 10$, $\eta_1 = 0,94 \div 0,96$ – ККД передачі шестерні, $\eta_1 = 0,95$.

Отримаємо:

$$M_{\text{ш}} = \frac{9645,5}{0,95 \cdot 10} = 1015,3 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент що витрачається обертання вала електродвигуна M_{n1} :

$$M_{n1} = \frac{M_w}{\eta_1 \cdot i_p}, \quad (3.12)$$

$$M_{n1} = \frac{1015,3}{0,95 \cdot 12} = 89,1 \text{ Н/м.}$$

Момент барабана без насіння можна отримати:

$$M_{\Pi} = \frac{9550 N_{\Pi}}{n}, \quad (3.13)$$

$$M_{\Pi} = \frac{9550 \cdot 6,2}{8} = 7401,3 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де η_0 – коефіцієнт передачі шестерні та редуктора = 120, M_{Π} – момент порожнього барабана = 68,35 Н·м.

3.1.2. Кінематичний розрахунок привода

Одним із основних етапів проектування механічного приводу барабана є визначення загального передавального відношення між валом електродвигуна та валом барабана, розрахунок частот обертання всіх валів кінематичного ланцюга, розподіл передавальних чисел між окремими ступеннями передач, а також визначення геометричних і конструктивних параметрів зубчастих передач [6,7]. Кінематична схема приводу барабана сушильної установки СЗСБ-8 наведена на рисунку 2.4. Загальне передавальне число приводу визначається як добуток передавальних чисел усіх ступенів редуктора та розраховується за відповідним співвідношенням.

$$i = \frac{n_{\text{ном}}}{n_B} = \frac{970}{8} = 121,25. \quad (3.14)$$

де $n_B = 8 \text{ хв}^{-1}$ – частота обертання барабана.

Обрахуємо розподіл передавального числа приводу барабана.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						29
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

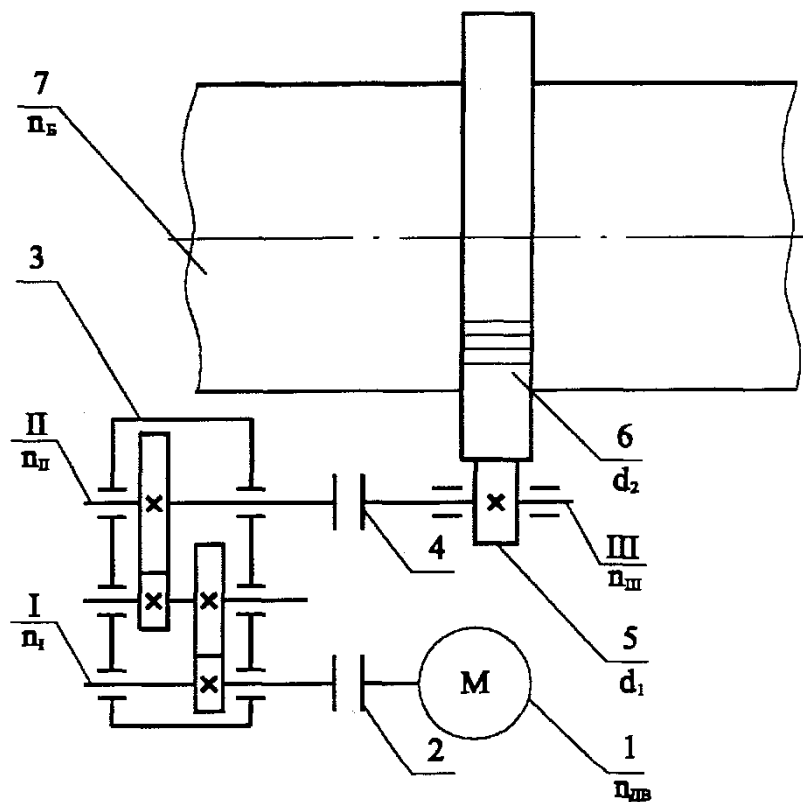


Рис. 3.2. Кінематична схема приводу барабанної сушарки СЗСБ-8:
1 – електричний двигун; 2,4 – муфта; 3– редуктор; 5,6 – зубчаста
шестерня; 7 – барабан

Слід врахувати що передачам які мають багато ступеней відповідає співвідношення:

$$i = i_1 \cdot i_2 \cdot i_3, \quad (3.15)$$

де i_1 , i_2 , i_3 – передавальні числа для окремих ступенів передач.

Важливо, що для відповідності деталей зубчастого приводу, необхідно щоб діаметр вінцевої зубчастої шестерні відповідав розмірам сторін торця редукто.

Передавальне число редуктора розрахуємо наступним виразом:

$$i_{\text{ред}} = \frac{i}{i_{\text{ц}}} = \frac{121,35}{10} = 12,25.$$

Розрахунок частоти обертання валів привода. Для розрахунків ми врахуємо, що частота обертання вала електричного двигуна прямо пропорційна швидкості вхідного вала редуктора.

$$n_{\text{ном}} = n_1 = 970 \text{ об/хв.}$$

Частоту обертання вхідного вала редуктора розрахуємо так:

$$n_{\text{II}} = \frac{n_{\text{ном}}}{i_{\text{ред}}} = \frac{970}{12,125} = 80 \text{ об/хв.}$$

У відповідності до вище зазначених розрахунків частота обертання вихідної шестерні буде дорівнює:

$$n_{\text{III}} = n_2 = 80 \text{ об/хв.}$$

За результатами розрахунків значення частот обертання представимо в таблицю 2.2.

Наступним кроком є розрахунок циліндричної передачі та допустимого контактного напруження [7].

Щоб розрахувати допустиме контактне напруження використаємо залежність:

$$\sigma_{\text{HP1(2)}} = \frac{\sigma_{H\text{lim}}}{S_H} Z_R Z_v K_L K_{xH}, \quad (3.16)$$

де $\sigma_{H\text{lim}}$ – витривалість зуба зубцевої передачі, МПа; S_H – коефіцієнт безпеки, $S_H = 1,1$ [7]; Z_R – коефіцієнт, шорсткість поверхні зуба, $Z_R = 0,9$; Z_v – коефіцієнт, швидкість передачі, $v \leq 5 \text{ м/с}$ $Z_v = 1,0$; K_L – коефіцієнт, наявності мастила; $K_L = 1$; K_{xH} – коефіцієнт, розміру зубчастого колеса; $K_{xH1} = 1,0$, $K_{xH2} = 0,93$.

Межа витривалості зуба можливо оцінити наступним розрахунком:

$$\sigma_{H\text{lim}} = \sigma_{H\text{limb}} K_{HL}, \quad (3.17)$$

де $\sigma_{H\text{limb}}$ – допустиме напруження між зубами; K_{HL} – коефіцієнт довговічності передачі.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						31
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

Встановимо максимальне контактне напруження, яке відповідатиме кількості циклів напружень.

$$\sigma_{H\lim b} = 1,8 \cdot \bar{H}_{HB} + 67; \quad (3.18)$$

де $\bar{H}_{HB}$ – твердість для двох значень твердості зубців.

Таблиця 3.2

Розрахункові частоти обертання валів барабана сушкарки СЗСБ-8

Вал електричного двигуна $n_{\text{ном}}$, об/хв	Вхідний вал n_1 , об/хв	Вихідний вал n_2 , об/хв	Шестерня $n_{\text{ш}}$, об/хв	Барабан $n_{\text{б}}$, об/хв
970	970	80	80	8

За результатами розрахунків отримаємо:

$$\sigma_{H\lim b1} = 1,8 \cdot \frac{269 + 302}{2} + 67 = 581 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{H\lim b2} = 1,8 \cdot \frac{235 + 262}{2} + 67 = 514 \text{ МПа}.$$

Щоб визначити контактну витривалість необхідно визначити коефіцієнт довговічності за наступним співвідношенням:

$$K_{HL} = \sqrt{\frac{N_{HO}}{N_{HE}}}, \quad (3.19)$$

де N_{HO} – число циклів варіації напружень що дорівнює межі витривалості;
 N_{HE} – число циклів варіації напружень.

Базове число циклів варіації напружень яке відповідає межі витривалості можливо розрахувати за наступним співвідношенням:

$$N_{HO} = 30 \cdot \bar{H}_{HB}^{2,4}; \quad (3.20)$$

$$N_{HO1} = 30 \cdot \left(\frac{269 + 302}{2} \right)^{2,4} = 2,35 \cdot 10^7;$$

$$N_{HO2} = 30 \cdot \left(\frac{235 + 262}{2} \right)^{2,4} = 1,68 \cdot 10^7.$$

У разі постійного навантаження та зачепленні лише з однією шестернею отримаємо:

$$N_{HE} = 60 \cdot L_h \cdot n; \quad (3.21)$$

де L_h – число годин роботи передачі, $L_h = 50000$ г. n – частота обертання шестерні.

Підставивши значення отримаємо:

$$N_{HE1} = 60 \cdot 50000 \cdot 80 = 24 \cdot 10^7;$$

$$N_{HE2} = 60 \cdot 50000 \cdot 8 = 2,4 \cdot 10^7;$$

Зрівнявши значення $N_{HE1} \geq N_{HO1}$, відповідно $K_{HL1} = 1$.

$$K_{HL2} = \sqrt{\frac{1,68 \cdot 10^7}{2,4 \cdot 10^7}} = 0,84.$$

Тож, границя контактної витривалості зубців дорівнює числу циклів роботи:

$$\sigma_{H \lim 1} = 581 \cdot 1 = 581 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{H \lim 2} = 514 \cdot 1,04 = 535 \text{ МПа}.$$

Підставивши отримане значення в вираз маємо:

$$\sigma_{HP1} = \frac{581}{1,1} \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 475 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{HP1} = \frac{535}{1,1} \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,84 = 368 \text{ МПа}.$$

З огляду на виконані розрахунки для шестерней з прямими зубцями σ_{HP} використаємо допустиме контактне напруження тієї шестерні, в якій значення буде найменшим, в даному випадку $\sigma_{HP} = 368 \text{ МПа}$.

Наступним кроком є розрахунок міжосьової відстані [6]. Міжосьова відстань зачеплення можливо розрахувати наступним чином:

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						33
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

$$a_{\omega} = K_a \cdot (i+1) \cdot \sqrt[3]{\frac{T_{ш} \cdot K_{HB}}{i \cdot \psi_{ba} \cdot \sigma_{HP}^2}}; \quad (3.22)$$

де $T_{ш}$ – момент на розрахунковій шестерні; K_{HB} – коефіцієнт навантаження по всій ширині шестерні; K_a – коефіцієнт для передач з прямими зубціями $K_a = 490 \text{ МПа}^{1/3}$; ψ_{ba} – коефіцієнт що пов'язує ширину шестерні відповідно міжосьової відстані, $\psi_{ba} = 0,15$.

Для розрахунку коефіцієнт K_{HB} необхідно визначити в взаємозв'язок відносної ширини вінця шестерні [7] ψ_{bd} :

$$\psi_{bd} = \frac{\psi_{ba}(i+1)}{2} = \frac{0,15 \cdot (12+1)}{2} = 0,975. \quad (3.23)$$

В результаті маємо $K_{HB} = 1,09$.

Значення міжосьової відстані розрахуємо за співвідношенням :

$$a_{\omega} = 490 \cdot 10(i+1) \cdot \sqrt[3]{\frac{1015,3 \cdot 1,09}{10 \cdot 0,15 \cdot 368^2}} = 948,4 \text{ мм.} \quad (3.24)$$

З огляду на [7] отримане розрахунками значення прирівняємо до значення найближчого $a_{\omega} = 1000 \text{ мм}$.

Наступним кроком є визначення модуля розрахункової передачі.

Для визначення модуля m шестерней скористуємось наступною формулою:

$$m = (0,01 \dots 0,02) \cdot a_{\omega} m = 0,01 \cdot 1000 = 10 \text{ мм.}$$

З огляду на [7] приймаємо значення модуля шестерней $m = 10 \text{ мм}$.

Розрахуємо сумарне число зубців передачі:

$$z_{\Sigma} = \frac{2a_{\omega} \cos \beta}{m} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot \cos 0}{10} = 200 \text{ шт.}$$

Розрахуємо кількість зубців шестерней.

Кількість зубців шестерні визначимо за наступною формулою:

$$z_1 = \frac{z_{\Sigma}}{i_{\Pi} + 1} \geq z_{1\min} = z_1 = \frac{200}{10 + 1} = 18,1. \quad (3.25)$$

Значення z_1 необхідно округлити в бік цілого числа, прийmemo $z_1=18$.

Число зубців на колесі визначаємо за наступним виразом:

$$z_2 = z_{\Sigma} - z_1 = 200 - 18 = 182.$$

Розрахуємо фактичне число передавальне.

Знайдемо фактичне передавальне число за допомогою формули:

$$i_{\phi} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{182}{18} = 10,11. \quad (3.26)$$

Необхідно порівняти відхилення фактичного передавального від номінального:

$$[(10,11 - 10) / 10,11] \cdot 100\% = 1,08\% < 4\%,$$

Врахуємо що отримана величина безумовно є допустимою в відповідності до [7]. Проведемо розрахунок основних геометричних параметрів передачі.

Вичислимо діаметр шестерні:

$$d_1 = z_1 \cdot m / \cos \beta = 18 \cdot 10 / \cos 0 = 180 \text{ мм}. \quad (3.27)$$

Вичислимо діаметр колеса:

$$d_2 = z_2 \cdot m / \cos \beta = 182 \cdot 10 / \cos \beta = 1820 \text{ мм}. \quad (3.28)$$

Розрахуємо діаметр початкової окружності розрахункової шестерні:

$$d_{\omega 1} = \frac{2 \cdot a_{\omega}}{i_{\Pi} + 1} = \frac{2 \cdot 1000}{10 + 1} = 181,8 \text{ мм}.$$

Розрахуємо діаметр кінцевої окружності розрахункової шестерні:

$$d_{\omega 2} = \frac{2 \cdot a_{\omega} \cdot i_{\Pi}}{i_{\Pi} + 1} = \frac{2 \cdot 1000 \cdot 10}{10 + 1} = 1818 \text{ мм}.$$

Розрахуємо діаметр окружності вершин розрахункової шестерні:

$$d_{a1} = d_1 + 2(1 + x_1 - y)m; \quad (3.29)$$

де y – коефіцієнт зсуву шестерні.

$$y = -(a_w - a) / m, \quad (3.30)$$

де a – міжосьова відстань між шестернями

$$y = -(1000 - 100) / 10 = 0;$$

$$d_{a1} = 180 + 2(1 + 0,3 + 0) \cdot 10 = 206 \text{ мм};$$

Розрахуємо діаметр окружності вершин розрахункового колеса:

$$d_{a2} = d_2 + 2(1 + x_2 - y)m = 1820 + 2(1 + 0,3 + 0)10 = 1834 \text{ мм}.$$

Розрахуємо діаметр западин зубів розрахункової шестерні:

$$d_{f1} = d_1 - 2(1,25 + x_1)m = 180 - 2(1,25 + 0,3)10 = 161 \text{ мм}.$$

Розрахуємо діаметр западин зубів колеса розрахункової шестерні:

$$d_{f2} = d_2 - 2(1,25 + x_2)m = 1820 - 2(1,25 + 0,3)10 = 1789 \text{ мм}.$$

Робоча ширина в вінці розрахункової шестерні:

$$b_w = \psi_{ba} \cdot a_w = 0,15 \cdot 1000 = 150 \text{ мм}.$$

Розрахункова висота зуба розрахункової шестерні:

$$h = 0,5(d_{a1} - d_{f1}) = 0,5(206 - 161) = 22 \text{ мм}.$$

Визначимо окружну швидкість і міру точності розрахункової передачі.

Окружну швидкість шестерні можливо розрахувати за допомогою виразу:

$$v = \frac{\pi \cdot d_1 \cdot n}{60 \cdot 1000} = \frac{3,14 \cdot 180 \cdot 80}{60 \cdot 1000} = 0,75 \text{ м/с}.$$

Користуючись додатковими матеріалами [7] для відкритих передач з заданою точністю в $v \leq 2 \text{ м/с}$ виберемо 9 ступінь точності передачі.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						36
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

По результатам проведених вище розрахунків отримаємо параметри шестерні і колеса: модуль зачеплення $m=10$; число зубців: підвінцевій шестерні $z_1=18$; вінцевій шестерні $z_2=182$; вихідний контур – 76; коефіцієнт зміщення: підвінцевої шестерні $x_1=0,3$; шестерні на вінці $x_2=-0,3$; ділильний діаметр: підвінцевої шестерні $d_1=180$ мм; шестерні на вінці $d_2=1820$ мм; початковий діаметр: шестерні підвінцевої $d_{\omega 1}=181,8$ мм; шестерні на вінці $d_{\omega 2}=1818$ мм; діаметр вершин зубців: підвінцевої шестерні $d_{a1}=206$ мм; шестерні на вінці $d_{a2}=1834$ мм; діаметр западин зубів: підвінцевої шестерні $d_{f1}=161$ мм; шестерні на вінці $d_{f2}=1789$ мм; міжосьова відстань $a_{\omega}=1000$ мм; ширина зубчастого вінця $b_{\omega}=150$ мм; висота зубця $h=22$ мм; ступінь точності передачі 9.

3.2. Розрахунок статичних режимів електроприводу

Для розрахунку статичного режиму роботи електропривода можна скористатися побудовою статистичних характеристик, які дозволять визначити якісні та кількісні параметри його роботи. Відповідно до цього, ми проведемо розрахунок механічних характеристик як електричного двигуна, так і приводного механізму. На першому етапі розрахуємо номінальну швидкість обертання електричного двигуна

$$\omega_{\text{ном}} = \pi \cdot n_{\text{н}} / 30 = 3,14 \cdot 970 / 30 = 101,53 \text{ рад/сек.}$$

Синхронна частота обертання електричного двигуна можна визначити за допомогою наступного методу:

$$\omega_0 = \pi \cdot n_{\text{н}} / 30 = 3,14 \cdot 1000 / 30 = 104,67 \text{ рад/сек.}$$

Номінальний момент електричного двигуна потрібно розрахувати за наступною формулою:

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						37
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

$$M_{\text{ном}} = \frac{P_{\text{ном}}}{\omega_{\text{ном}}} = \frac{11000}{101,53} = 108,34 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad (3.31)$$

Наступним кроком є визначення критичного ковзання електричного двигуна за допомогою наступною формули:

$$S_K = S_{\text{ном}} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}) = 0,03 \cdot (2,1 + \sqrt{2,1^2 - 1}) = 0,1184 \quad (3.32)$$

Критичний момент електричного двигуна розраховуємо скориставшись за допомогою наступною формули:

$$M_K = \lambda \cdot M_{\text{ном}} = 2,1 \cdot 108,34 = 227,5 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Для врахування взаємозв'язку ковзання від частоти обертання електричного двигуна потрібно скористатись наступною формулою:

$$s(\omega) = 1 - \omega / \omega_0. \quad (3.33)$$

Отримаємо рівняння для розрахунку механічної характеристики електричного двигуна:

$$M(\omega) = \frac{2 \cdot M_K}{\frac{s(\omega)}{s_K} + \frac{s_K}{s(\omega)}} = . \quad (3.34)$$

Беручи до уваги, що різні виробничі механізми мають різні механічні характеристики, проте у даному випадку можливе використання деяких узагальнень, які можна представити таким чином:

$$M_c = M_0 + (M_{\text{с.ном}} - M_0) \cdot (\omega / \omega_{\text{ном}})^x, \quad (3.35)$$

де M_c – момент опору механізму який обертається з швидкістю, ω ; M_0 – момент тертя опору в рухомих частинах машини; $M_{\text{с.ном}}$ – момент опору машини при номінальній швидкості $\omega_{\text{ном}}$; x – показник ступеня, що характеризує зміну моменту при зміні швидкості приводного механізму.

З огляду на те що барабанна сушарка належить до механізмів який не залежить від швидкості обертання, тому $x = 0$ та момент опору M_c буде не залежити від швидкості ω .

Однак необхідно врахувати пуск асинхронного електричного двигуна барабана привода сушарки відбувається при барабані в якому відсутнє насіння тому $M_{с.ном} = 68,35$.

Також необхідно врахувати що однією з характеристик асинхронного двигуна є те що пускові моменти на природній механічній характеристиці є невеликими та складають приблизно $(0,3 - 2,0)M_n$, та при цьому струми в роторі і статорі надзвичайно великі і моржуть досягати величини в $(5 - 10)I_n$.

Визначимо пусковий момент двигуна за допомогою наступного виразу:

$$M_{II} = K_{II} \cdot M_{ном} = 1,7 \cdot 108,34 = 184,178 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Обрахуємо пусковий пусковий струм двигуна, який визначається наступним за допомогою наступного співвідношення:

$$I_{II} = K_i \cdot I_{ном} = 6,5 \cdot 24,42 = 158,73 \text{ А},$$

при

$$w = 0, s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{0}{104,67} = 1,$$

$$w = 10, s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{10}{104,67} = 0,9045,$$

$$w = 20, s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{20}{104,67} = 0,809,$$

$$w = 30, s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{30}{104,67} = 0,7134,$$

$$w = 60, s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{60}{104,67} = 0,427,$$

$$w = 70, s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{70}{104,67} = 0,331,$$

$$w = 90, s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{90}{104,67} = 0,14,$$

$$w = 100, s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{100}{104,67} = 0,045,$$

$$w = 104,67, s(\omega) = 1 - \frac{\omega}{\omega_0} = 1 - \frac{104,67}{104,67} = 0.$$

Для проведення розрахунків та побудови графіків (див. Рис. 3.3) використаємо персональний комп'ютер і програмне забезпечення Microsoft Office Excel. Отримані результати будуть представлені у вигляді таблиці 2.3. Для визначення номінальних втрат потужності електродвигуна AIP160S6 скористаємося наступним виразом:

$$\Delta P_{\text{н}} = P_{\text{н}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{н}}}{\eta_{\text{н}}}, \Delta P_{\text{н}} = 1571 \text{ Вт.}$$

Далі потрібно розрахувати втрати змінні потужності електричного двигуна наступним чином:

$$\Delta P_{\text{в}} = \frac{\Delta P_{\text{н}}}{\alpha + 1}, \alpha = 0,6. \quad (3.36)$$

$$\Delta P_{\text{в}} = 982,14 \text{ Вт,}$$

$$R_1 = \frac{\Delta P_{\text{в}} - M_{\text{н}}(\omega_0 - \omega_{\text{н}})}{3 \cdot I_{1\text{н}}^2}, \quad (3.37)$$

$$R_1 = 0,359 \text{ Ом,}$$

$$X_K = \sqrt{\left(\frac{3 \cdot U_{\text{фн}}^2}{2 \cdot \omega_0 \cdot M_K} - R_1 \right)^2 - R_1^2}, X_K = 2,665 \text{ Ом.} \quad (3.38)$$

Номінальне ковзання потрібно визначити за допомогою наступного співвідношення:

$$s_{\text{н}} = \frac{\omega_0 - \omega_{\text{н}}}{\omega_0}, s_{\text{н}} = 0,03, \quad (3.39)$$

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						40
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

$$R'_2 = \frac{M_H (\omega_0 - \omega_H) \left[\left(R_1 + \frac{R'_2}{s_H} \right)^2 + X_K^2 \right]}{3 \cdot U_{\phi H}^2}. \quad (3.40)$$

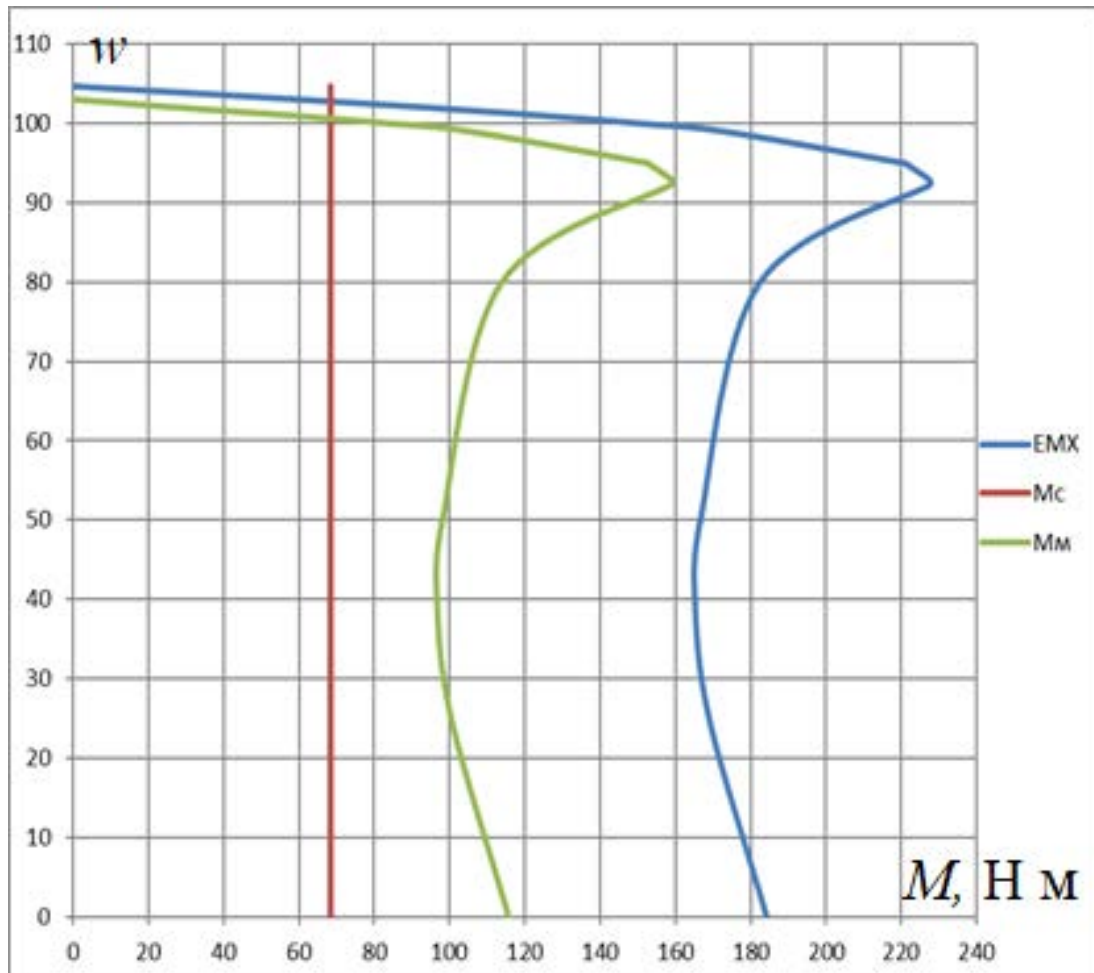


Рис. 3.3. Механічні характеристики асинхронного двигуна і приводного механізму приводу барабанної сушарки СЗСБ-8

Щоб визначити потужність в роторі електричного двигуна що працює в номінальному режимі використаємо наступний вираз:

$$\Delta P_{2H} = M_H \cdot (\omega_0 - \omega_H), \quad (3.41)$$

$$\Delta P_{2H} = 340,206 \text{ Вт.}$$

Тож, після підстановки числових значень отримаємо:

$$R'_2 = \frac{340,206 \cdot \left[\left(0,359 + \frac{R'_2}{0,03} \right)^2 + 2,665^2 \right]}{3 \cdot 220^2},$$

Прирівнюємо отримані значення:

$$2,603R_2'^2 - 0,9439R'_2 + 0,0169 = 0.$$

Розрахуємо корені даного квадратного рівняння:

$$R_2'^2 - 0,318R'_2 = 0,019.$$

За результатами розрахунків отримаємо значення $R'_2 = 0,3668$.

Обрахуємо струм ротора за допомогою наступного виразу:

$$I'_{2H} = \sqrt{\frac{\Delta P_{2H}}{3 \cdot R'_2}} = 11,95 \text{ A}.$$

Побудуємо механічної характеристики при частоті f яка довірвнює 10, 25, 50, 60 Гц. Щоб виконати розрахунки та зобразити графіки (Рис. 2.6.) застосуємо персональний компютер та програму Microsoft Office Excel, в результаті отримані данні представимо в таблиці 2.4. застосуємо вирази:

$$\omega_1 = \omega_0 \cdot \frac{f}{50}, \quad (3.42)$$

$$s_K = \frac{R'_2}{\sqrt{R_1^2 + \left(X_K \cdot \frac{f}{50} \right)^2}}, \quad (3.43)$$

$$\omega_K = \omega_1 \cdot (1 - s_K), \quad (3.44)$$

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		42

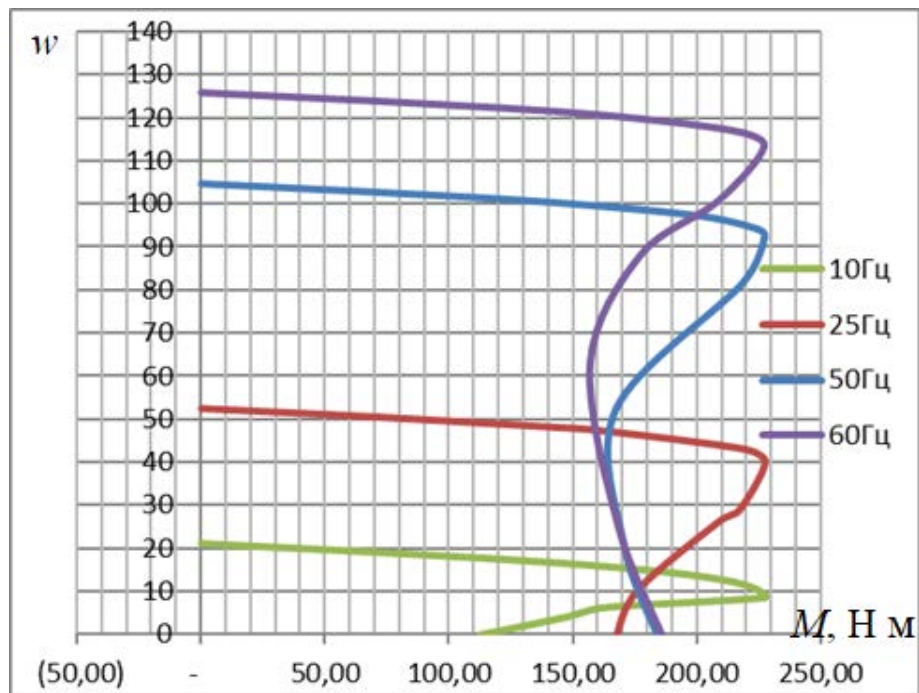


Рис. 3.4. Механічні характеристики асинхронного двигуна в разі зміни частоти в 10, 25, 50, 60 Гц за законом $U/f = \text{const}$

Таблиця 3.3

Данні що використовуються для побудови механічної характеристики при $f = 10, 25, 50, 60$ Гц

f	U_{ϕ}'	ω_1	s_k	ω_k	M_k	M_{Π}
10	44	20,944	0,592	8,545152	227,4478	112,9586
25	110	52,36	0,2368	39,96115	227,4478	167,5913
50	220	104,72	0,1184	92,32115	227,4478	184,1332
60	264	125,664	0,098667	113,2652	227,4478	186,107

$$M_k = \frac{3 \cdot \left(U_{\phi n} \cdot \frac{f}{50} \right)^2}{2 \cdot \omega_1 \left[R_1 + \sqrt{R_1^2 + \left(X_k \cdot \frac{f}{50} \right)^2} \right]^2}, \quad (3.45)$$

$$M_{II} = \frac{3 \cdot \left(U_{\text{фн}} \cdot \frac{f}{50} \right)^2 \cdot R'_2}{\omega_1 \left[(R_1 + R'_2)^2 + \left(X_K \cdot \frac{f}{50} \right)^2 \right]}, \quad (3.46)$$

$$M = \frac{3 \cdot M_K \cdot (1 + s_K)}{\frac{s}{s_K} + \frac{s_K}{s} + 2\alpha \cdot s_K}, \quad (3.47)$$

$$\alpha = \frac{R_1}{R'_2}, \quad a = 0,044 \quad (3.48)$$

Результати розрахунків представимо в вигляді таблиць 3.2, 3.3.

Таблиця 3.4

Розрахункові дані для побудови механічної характеристики

s	M (10 Гц)	M (25 Гц)	M (50 Гц)	M (60 Гц)
0,0001	0,08	0,19	0,38	0,46
0,002	6,91	7,68	7,68	9,22
0,01	74,71	56,72	38,15	45,64
0,02	137,94	74,71	74,71	88,57
0,04	183,42	137,94	137,94	158,39
0,07	211,02	163,03	199,28	214,68
0,1	224,24	219,15	224,24	227,45
0,1184	227,45	227,45	227,45	208,82
0,22	163,77	216,98	218,66	177,50
0,5	148,35	208,77	167,51	157,23
0,8	122,05	176,28	170,70	168,59
1	112,96	167,59	184,13	186,11

3.3. Розрахунок динамічних режимів електроприводу

Наступним кроком буде аналіз динамічних режимів функціонування електроприводу, зокрема, розрахунок приведеного моменту інерції у системі "асинхронний електродвигун - робоча машина", з урахуванням його співвідношення з валом. [7]:

$$J = K_2 \cdot \left(J_{\text{дв}} + J_{\text{м}} \cdot i_{\text{перед}} \right) = 1,2 \cdot \left(0,123 + 3168 \cdot \frac{1}{121} \right) = 25,54. \quad (3.49)$$

де $K_2 = 1,2$ – коефіцієнт, моменту інерції редуктора що знаходиться між електродвигуном та валом барабана сушарки.

Обчислемо моменти інерції для електродвигуна та барабана, з огляду на каталожні значення махового моменту [7] визначимо:

$$J_{\text{дв}} = 0,123 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

$$J_{\text{рм}} = \frac{m \cdot R^2}{2} = 8000 \cdot 0,82 / 2 = 2560 \text{ кг} \cdot \text{м}^2,$$

де m – розрахункова маса барабана; R – радіус барабана.

В залежності до розрахованих вище механічних характеристик електродвигуна привода барабана $M_{\text{д}} = \varphi_1(\omega)$ та робочої машини $M_{\text{с}} = \varphi_2(\omega)$, виразмо графічно значення динамічного моменту що визначаються за допомогою різниці:

$$M_{\text{д}} - M_{\text{с}} = M_{\text{дин}}. \quad (3.50)$$

Далі потрібно розділити графік динамічного моменту на сегменти вздовж осі ω , приймаючи динамічний момент як сталий для кожного сегмента. Для забезпечення більшої точності розрахунків необхідно розбити графік динамічного моменту на значну кількість сегментів.

Динамічні моменти отримані на конкретних ділянках відкладемо вгору по осі ω в відповідності до початку координат (рис. 2.7). Так перший ділянці відповідає відрізок OB , при цьому точку B необхідно з'єднаємо з точкою A , що розміщена на початку координат на відстані, що дорівнює в

відповідному масштабі за величиною моменту інерції системи всієї J . В відповідності до точок AB паралельно необхідно провести пряму OC з початку координат. Наслідком є пряма OC що буде характеризувати функцію яку шукаємо $\omega = f_1(t)$ в відповідності до інтервалу $\Delta\omega_1$.

Отже, загальна тривалість пуску асинхронного електродвигуна буде сумою всіх інтервалів. Крім того, необхідно провести аналогічні конструкції для всіх подальших сегментів, на яких здійснюються розрахунки, і побудувати кінцеву криву, на основі якої буде визначено час запуску електроприводу барабана сушарки. t_n .

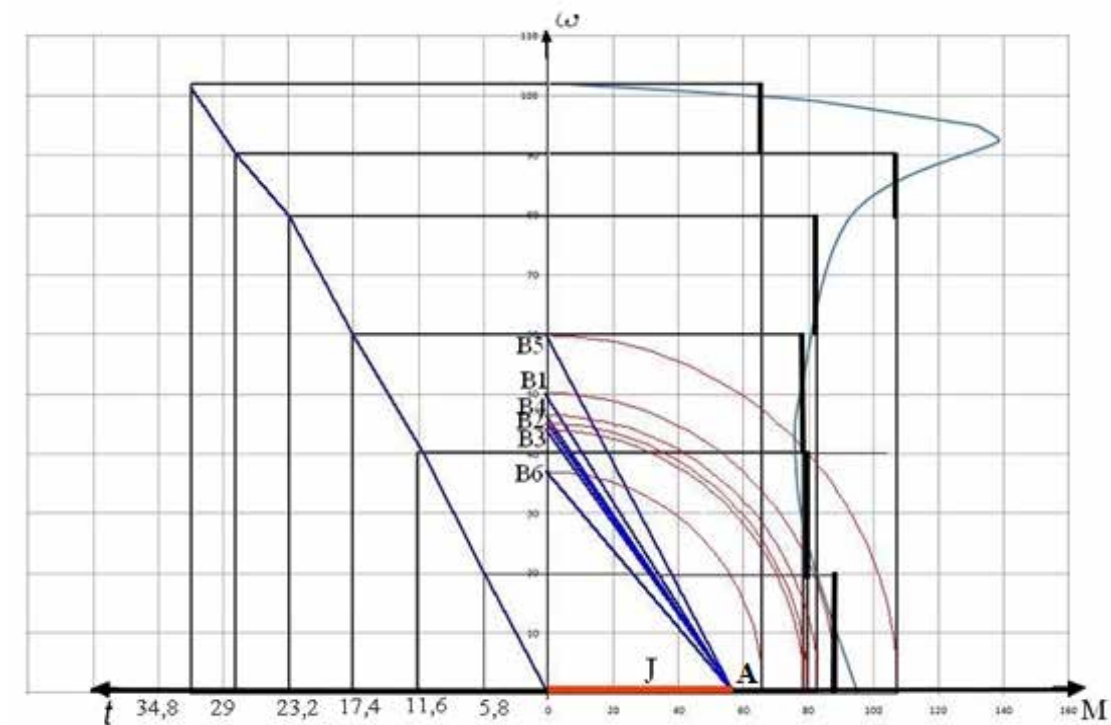


Рис. 3.5. Графоаналитичне рішення рівняння руху електроприводу приводу барабанної сушарки СЗСБ-8

Використовуючи раніше отримані механічні характеристики асинхронного електричного двигуна, робочої машини та динамічного моменту, можна уникнути необхідності побудови графіка функції

$\omega = f_1(t)$ аналітично визначити час пуску приводу що розраховується t_n .

Ціну поділки знаходиться наступним чином:

$$t = \frac{M_{C_{кр}} \cdot n_{проп}}{I} = 5,8 \text{ сек.}$$

Для розрахунку тривалості пуску електроприводу враховуючи кожний інтервал частоти обертання, ми скористаємося наступним виразом:

$$\Delta t_i = J \frac{\Delta \omega_i}{M_{дин}}. \quad (3.51)$$

Визначемо тривалість пуску яка буде дорівнювати сумі часткових тривалостей t :

$$t_n = J \sum_{i=1}^m \frac{\Delta \omega_i}{M_{дин}} = 25,54 \cdot \frac{20}{88} + 25,54 \cdot \frac{20}{80} + 25,54 \cdot \frac{20}{79} + 25,54 \cdot \frac{20}{82} + \\ 25,54 \cdot \frac{10}{109} + 25,54 \cdot \frac{13}{66} = 32,26$$

де $M_{дин}$ – динамічний момент на i -ділянці характеристики, Н·м.

Наступним етапом буде проведення розрахунків втрат енергії під час запуску та гальмування [9]. Важливо врахувати, що під час запуску асинхронного електродвигуна відбуваються втрати енергії, які можна розрахувати за допомогою електричних втрат у його статорі, що пропорційні квадрату сили струму [8]. Визначимо втрати енергії під час запуску асинхронного електричного двигуна з навантаженням за наступною формулою:

$$\Delta W_1 = 0,81 \cdot \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n \cdot (1 + \alpha)} \right) \cdot P_n \cdot \kappa_i^2 \cdot t_n, \text{ Дж} \quad (3.52)$$

$$\Delta W_1 = 0,81 \cdot \left(\frac{1 - 0,875}{0,875 \cdot (1 + 0,6)} \right) \cdot 11000 \cdot 6,5^2 \cdot 32,26 = 1084 \text{ кДж}$$

де $t_n = 32,26$ – отримана вище тривалість пуску електродвигуна, с; $\kappa_i = 6,5$ – кратність пускового струму асинхронного електричного двигуна α – коефіцієнт який враховує відношення постійних втрат потужності до змінних, $\alpha = 0,6$. Визначимо час самогальмування двигуна та зобразимо графік (рис. 2.8.) залежності швидкості від часу:

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						47
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

$$t_{\text{с.т.}} = \frac{J \cdot \omega_0}{M_c} = \frac{25,54 \cdot 101,53}{68,35} = 37,94 \text{ с.}$$

Для проведення обчислень та побудови графіків використаємо персональний комп'ютер та програмне забезпечення Microsoft Office Excel. Для розрахунку втрат енергії під час частотного пуску асинхронного електричного двигуна у режимі з навантаженням будемо використовувати таку формулу:

$$\Delta W_1 = \sum 0,81 \cdot \left(\frac{1 - \eta_n}{\eta_n \cdot (1 + \alpha)} \right) \cdot P_n \cdot k_i^2 \cdot \Delta t_n, \text{ Дж} \quad (3.53)$$

де Δt_n – тривалість пуску асинхронного електричного двигуна при незмінній частоті, с; $k_i = \frac{I}{I_{\text{ном}}}$ – кратність пускового струму асинхронного електричного двигуна; α – коефіцієнт який враховує відношення постійних втрат потужності асинхронного електричного двигуна до змінних, $\alpha = 0,6$.

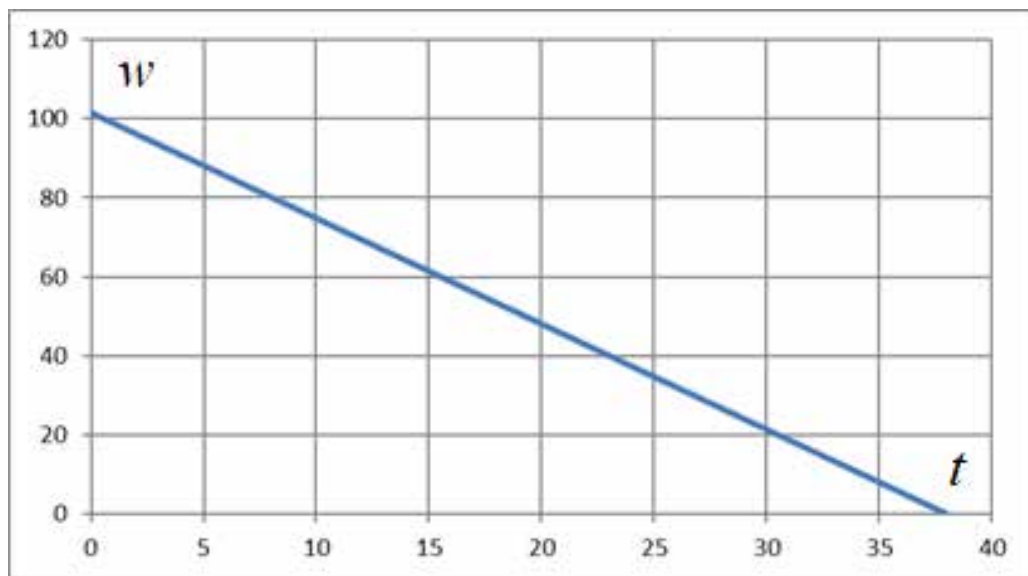


Рис. 3.6. Залежність швидкості від часу пуску асинхронного електричного двигуна приводу барабанної сушарки СЗСБ-8

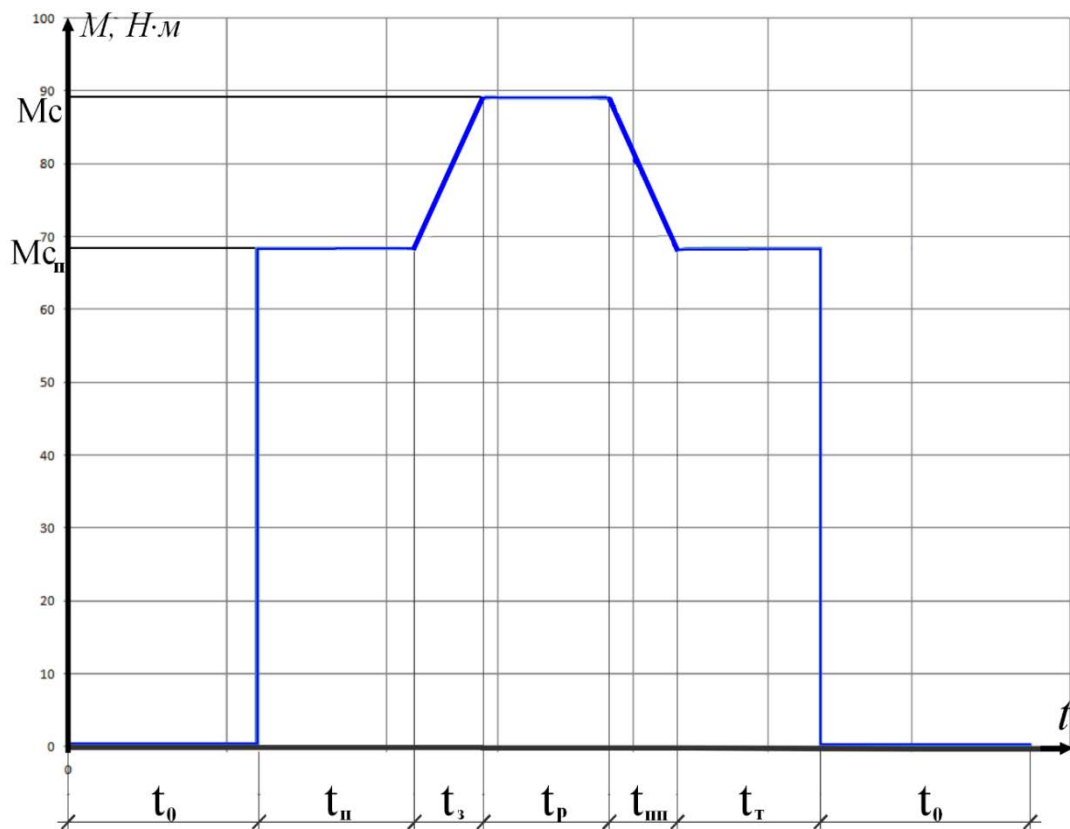


Рис. 3.7. Навантажувальна діаграма приводу барабанної сушарки СЗСБ-8: t_0 – час простою сушарки; $t_п$ – запуск порожнього барабана (32,26 с.); $t_з$ – завантаження насіння; $t_р$ – робота; $t_пп$ – припинення подачі насіння; $t_т$ – час гальмування (37,94 с.)

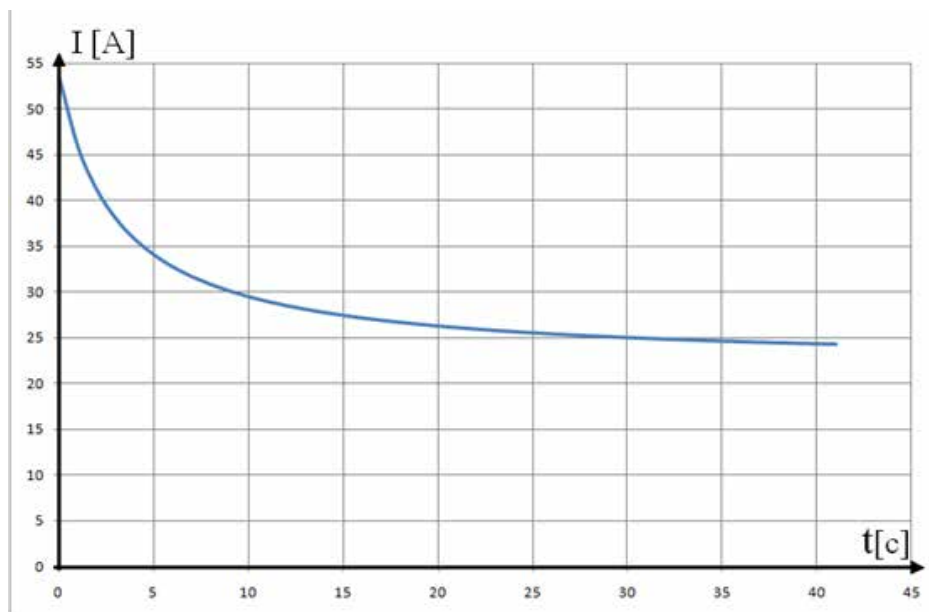


Рис. 3.8. Графік залежності пускового струму від часу пуску електричного двигуна приводу барабанної сушарки СЗСБ-8

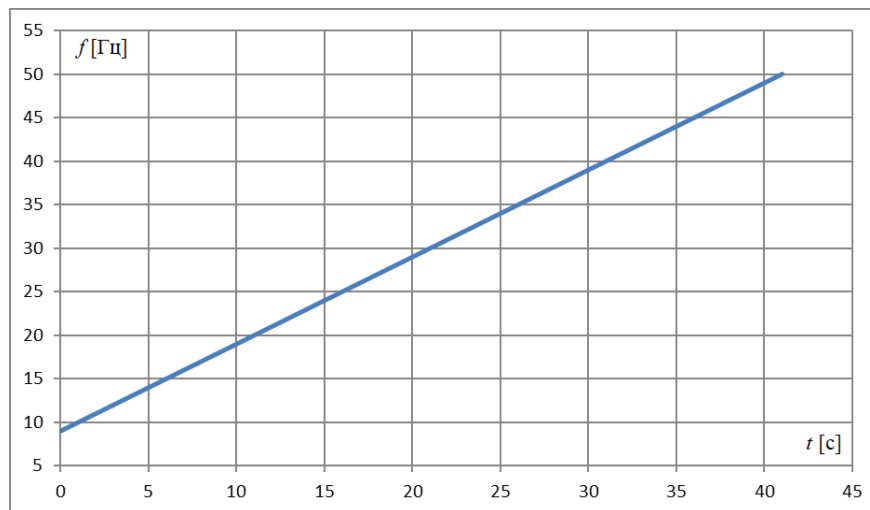


Рис. 2.9. Графік залежності частоти від часу пуску приводу барабанної сушарки СЗСБ-8

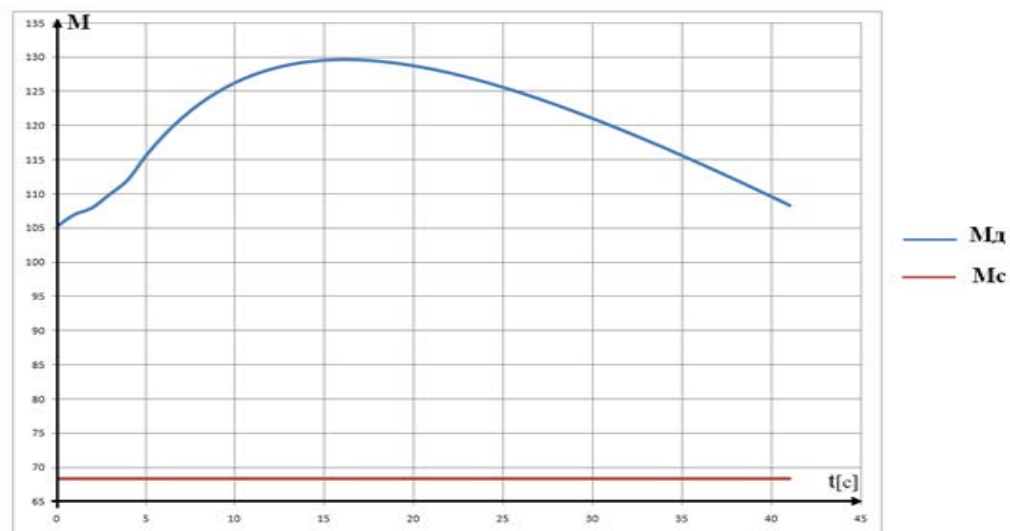


Рис. 2.11. Графік залежності M_c і M_d від часу при реалізації частотного пуску приводу барабанної сушарки СЗСБ-8

Тож, за результатами проведених вище розрахунків можна стверджувати, що втрати потужності при частотному пуску будуть складати $\Delta W_1 = 45,5$ кДж, а при прямому пуску $\Delta W_1 = 1084$ кДж.

3.4. Обґрунтування та вибір проекту пункту технічного обслуговування і ремонту енергетичного обладнання

На сьогодні розроблено значну кількість типових проектів пунктів технічного обслуговування та сервісних центрів для енергообладнання сільськогосподарських підприємств олійної галузі. Вони призначені для

проведення технічного обслуговування та поточного ремонту електрообладнання зерноцехів і підприємств з переробки олійних культур. Серед типових проектів виділяють варіанти з річною програмою 4200 та 2100 умовних ремонтів. З урахуванням запланованої продуктивності підприємства (200 тис. тонн соняшнику на рік) та перспектив його розвитку прийнято рішення застосувати типовий проект ТП 816-1-19 «Пункт технічного обслуговування і ремонту енергообладнання на 2100 умовних ремонтів на рік». Річна трудомісткість робіт за цим проектом становить 9030 людино-годин. Даний пункт технічного обслуговування призначений для виконання таких видів робіт: технічне обслуговування та поточний ремонт електричного, теплового та холодильного обладнання; усунення аварійних ситуацій та несправностей; проведення налагоджувальних та регулювальних робіт.

3.5. Розрахунок електричного освітлен

Освітлення виробничих приміщень (висотою 5,2 м) та побутових і підсобних приміщень (висотою 2,6 м) пункту технічного обслуговування передбачається виконати з використанням сучасних світильників з LED-лампами [13]. Розрахунок штучного освітлення виконано методом світлового потоку, який є найбільш доцільним для визначення загального рівномірного освітлення горизонтальних робочих поверхонь у закритих приміщеннях.

$$\Phi = \frac{E \cdot k \cdot S \cdot z}{N \cdot \eta}, \quad (3.54)$$

де Φ – розрахунковий світловий потік необхідної лампи, лм; E – нормована освітленість, для розрахункового приміщення, лк; S – площа розрахункового приміщення, м²; z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, $z = 1,15$; k – коефіцієнт запасу, який для LED ламп можна прийняти, $k = 1,15$; N – розрахункова кількість світильників, шт; η –

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		51

коефіцієнт використання світлового потоку. Основуючись на галузеві норми освітленості підприємств [13] вибираємо для нормовану освітленість $E = 30$ лм.

В якості типу світильників застосуємо світильник марки НСП11х100 – для промислових підприємств, підвісний, пилозахищений, технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.1.

Технічні характеристики світильника марки LED НСП 01-100

Тип джерела світла	Кількість ламп, шт	Потужність, Вт	ККД, %
Лампа LED	1	100	77
Матеріал корпусу	Патрон / цоколь	Спеціалізація:	Максимальна напруга, В
Поліпропілен	E27	Загально-промисловий	$\sim \leq 220$

Далі є знаходження загальної кількості світильників умови їх розміщення за необхідною відносною відстанню між ними L , м, $\lambda = 1$.

$$L = l \cdot H_p, \quad (3.55)$$

де H_p – розрахункова висота, м; $H_p = 2,5$ м.

Отримаємо,

$$L = 1 \cdot 2,5 = 2,5 \text{ м},$$

кількість рядів світильників N_a , шт, та кількість світильників у ряду N_{ϵ} розрахуємо за допомогою наступних виразів:

$$N_a = b / L, N_{\epsilon} = a / L; \quad (3.56)$$

де $b = 5$ м, $a = 5,5$ м – ширина і довжина розрахункового приміщення.

Отримаємо,

$$N_a = 5 / 2,5 = 2 \text{ ряди, } N_e = 5,5 / 2,5 \approx 2 \text{ шт.}$$

Визначимо загальну кількість світильників:

$$N = N_a \cdot N_e = 2 \cdot 2 = 4 \text{ шт,}$$

користуючись довідковою літературою визначимо коефіцієнти відбиття стелі, стін і підлоги розрахункового приміщення [13]:

$$\rho_1 = 70\% - \text{стелі, } \rho_2 = 50\% - \text{стін, } \rho_3 = 30\% - \text{підлоги;}$$

для розрахункового приміщення в відповідності до довідкової літератури визначаємо індекс приміщення [13]:

$$i = a \cdot e / (a_p (a + e)) = 5 \cdot 5,5 / (2,5 \cdot (5,5 + 5)) = 1,04.$$

За допомогою довідкової літератури для розрахункового приміщення [13] знаходимо η – коефіцієнт використання світлового потоку $\eta = 0,37$;

Виконавши підстановку в вираз , визначимо:

$$\Phi = \frac{30 \cdot 1,15 \cdot 5 \cdot 5,5 \cdot 1,15}{4 \cdot 0,37} = 732,2 \text{ лм;}$$

Використовуючи каталоги електрообладнання та базуючись на виконаних розрахунках, вибираємо лампу Gauss LED, технічні характеристики якої наведені в таблиці 3.2. Правильність вибору підтверджується різницею між розрахунковим світловим потоком Φ вибраної лампи та фактичним світловим потоком лампи $\Phi_{\text{л}}$, яка не перевищує допустимі норми (+20% і -10%), закладені при розрахунках. Аналогічним чином проводимо розрахунки для інших промислових та підсобних приміщень, а результати заносимо до світлотехнічної відомості, яка буде представлена в графічній частині.

Наступним кроком є розрахунок освітлення промисловими світильниками для ділянки заготівлі конструкцій.

Таблиця 3.2

Технічні характеристики лампи Gauss LED

Тип	Форма лампи	Тип цоколя (патрона)	Потужність, Вт
Світлодіодна лампа LED	Класична (груша)	E27	10,5
Світловий потік, лм	Колір колби	Колірна температура, К	Напруга мережі, В
790	Матовий	4100	220

Використовуючи каталоги електрообладнання виберемо світильники ЛСП-02-2х40 LED технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.3 з лампами Philips CorePro, технічні характеристики яких наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.3

Технічні характеристики світильника ЛСП-02-2х40 LED

Напруга живлення, В	Тип цоколя	Діаметр лампи, мм	Матеріал корпусу
220	G13	38	Метал
Довжина L, мм	Ширина В, мм	Висота Н, мм	Маса, кг
1325	148	170	6,6

Таблиця 3.4

Технічні характеристики лампи Philips CorePro

Тип цоколя	Форм-фактор	Споживана потужність, Вт	Світловий потік, лм
G13	T8	18	2340
Колір колби	Напруга мережі, В	Кольорова температура, К	Колір світіння
М'яка біла	220	6500	Холодний

Наступним кроком є розрахунок світловий потік розрахункового приміщення за допомогою наступного виразу:

$$\Phi_p = E \cdot k \cdot S \cdot z / h, \quad (3.57)$$

де k – коефіцієнт запасу, який для LED ламп приймемо рівним $k = 1,3$; z – коефіцієнт нерівномірності освітлення, який для LED ламп приймемо рівним $z = 1,1$; S – площа розрахункового приміщення, м; E – нормована освітленість розрахункового приміщення, лк; $E = 300$ лк.

$$S = a \cdot b = 5,5 \cdot 5,5 = 30,25 \text{ м}^2.$$

Враховуючи світильники і лампи які ми вибрали для розрахункового приміщення визначимо індекс приміщення враховуючи коефіцієнти відбиття стелі, стін і підлоги:

$$r_1 = 70\%, \quad r_2 = 50\%, \quad r_3 = 10\%, \quad h = 0,44.$$

$$i = \frac{A \cdot B}{H_p(A + B)} = \frac{5,5 \cdot 5,5}{3(5,5 + 5,5)} = 0,92.$$

Виконавши підстановку в вираз визначимо:

$$\Phi_p = \frac{300 \cdot 1,3 \cdot 30,25 \cdot 1,1}{0,44} = 29493,75 \text{ лм};$$

кількість світильників в розрахунковому приміщенні визначимо за наступним виразом:

$$N = \Phi_p / \Phi_{\text{л}} = 29493,75 / 4680 = 6,3.$$

Згідно виконаних вище розрахунків використаємо 6 світильників ПВЛМ 2x40 з встановленими лампами Osram Pure T8 розмістимо їх по периметру розрахункового приміщення.

Загальна потужність системи освітлення може бути розрахована за наступною формулою, кВт:

$$P = P_{\text{л}} \cdot N \cdot n \quad (3.58)$$

де $P_{\text{л}}$ – потужність вибраних ламп, кВт; N – кількість світильників в

приміщеннях, шт; n – кількість ламп у світильнику, шт;

$$P = 0,04 \cdot 6 \cdot 2 = 0,48 \text{ кВт};$$

Визначимо розрахункову потужність системи освітлення враховуючи втрати в пускорегулювальних апаратах:

$$P_{\text{розр}} = P + 0,2 \cdot P = 0,48 + 0,2 \cdot 0,48 = 0,576 \text{ кВт}.$$

Для подальших приміщень підприємства виконаємо розрахунок освітлення проводимо аналогічно, при необхідності користуючись метод питомої потужності.

3.5. Вибір апаратів керування і захисту та низьковольтних комплектних пристроїв керування

Вибрані апарати керування та захисту електрообладнання повинні відповідати встановленим вимогам ПУЕ і ПТЕ [1, 2]. Виконаємо вибір та здійснимо перевірку пускозахисної апаратури приводу витяжного вентилятора, що встановлений на ремонтній ділянці електрообладнання.

Технічні характеристики електродвигуна 5АИ71А2 представлено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.4

Технічні характеристики електродвигуна 5АИ71А2

Потужність, кВт	Частота обертання, об / хв	Висота осі обертання	Напруга, В
0,75	3000	71	220/380
Номінальний струм, А	ККД, %	$\cos \varphi$	Маса, кг
1,75	79	0,80	8,7

Зкористуємось умовами вибору автоматичного вимикача для живлення розрахункового електричного двигуна:

- 1) $U_{\text{авт}} \geq U_{\text{мережі}};$
- 2) $I_{\text{н.авт.вим}} \geq I_{\text{н.дв}};$
- 3) $I_{\text{т.р.}} \geq I_{\text{н.дв}};$
- 4) $I_{\text{ел.м.розр(відсічки)}} \geq I_{\text{неспр}}.$

де: $U_{\text{авт}}, U_{\text{мережі}}$ – номінальна напруга автоматичного вимикача та мережі, В;
 $I_{\text{н.авт.вим}}, I_{\text{н.дв}}$ – номінальні струми автоматичного вимикача та електричного двигуна, А; $I_{\text{т.р.}}$ – струм теплового розчіплювача автоматичного вимикача, А; $I_{\text{неспр}}$ – струм неспрацювання електромагнітного розчіплювача автоматичного вимикача, А; $I_{\text{ел.м.розр(відсічки)}}$ – струм відсічки електромагнітного розчіплювача автоматичного вимикача, А.

В у розподільному пункті ПР8501-023УЗ встановлений автоматичний вимикач ВА47-29 технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.5.

Технічні характеристики автоматичний вимикач ВА47-29

$U_{\text{авт}} = 660 \text{ В};$	
$I_{\text{н.авт.вим}} = 100 \text{ А}, I_{\text{уст.ел.м.розч}} = 3,15 \text{ А}, K_i = 7 \cdot I_{\text{н.р.}};$	
$I_{\text{неспр}} = 1,65 \cdot I_{\text{пуск}} = 1,65 \cdot 9,35 = 15,42 \text{ А};$	
$I_{\text{відсічки}} = K_i \cdot I_{\text{уст.ел.м.розч}} = 7 \cdot 3,15 = 22,05 \text{ А}.$	
За конструктивним виконанням автоматичний вимикач триполюсний, з електромагнітним розчіплювачем максимального струму; без допоміжних контактів. Ступінь захисту оболонки вимикача – IP30.	

Виконаємо перевірку умови вибору автоматичного вимикача в таблиці

Таблиця 3.6

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		57

Перевірка умов вибору автоматичного вимикача ВА47-29

$U_{\text{авт}} = 660 \text{ В} > U_{\text{мер}} = 380 \text{ В};$
$I_{\text{н.авт.вим}} = 100 \text{ А} > I_{\text{н.дв}} = 1,75 \text{ А};$
Умову перевіряти не потрібно бо застосовується теплове реле;
$I_{\text{відсічки}} = 22,05 > I_{\text{неспр}} = 15,42 \text{ А};$

Для управління роботою асинхронного електричного двигуна використаємо електромагнітний пускач серії ПМЛ, згідно умов вибору що наведені в таблиці 3.7:

Таблиця 3.7

Умови вибору електромагнітного пускача

$U_{\text{пуск}} \geq U_{\text{мережі}};$
$I_{\text{н.пускача}} \geq I_{\text{н.дв}};$
$I_{\text{т.р.}} \geq I_{\text{н.дв}};$
$I_{\text{нагр.сл}} \geq I_{\text{н.дв}}$ з наступним регулюванням струму неспрацювання на $I_{\text{н.дв.}}$
Згідно конструктивного виконання;
$U_{\text{кот}} = U_{\text{к.к}};$

де $U_{\text{пуск}}$ – номінальна напруга електромагнітного пускача, В; $I_{\text{н.пускача}}$ – номінальний струм електромагнітного пускача, А; $I_{\text{т.р.}}$ – номінальний струм теплового реле, А; $U_{\text{кот}}$, $U_{\text{к.к}}$ – напруга котушки електромагнітного пускача та кола керування, В.

Перевіримо умови вибору електромагнітного пускача що представлено в таблиці 3.8:

Таблиця 3.8

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		58

Перевірка умов вибору електромагнітного пускача КМІ-2250

$U_{\text{пуск}} = 660 \text{ В} > U_{\text{мер}} = 380 \text{ В};$
$I_{\text{н.пуск}} = 10 \text{ А} > I_{\text{н.дв}} = 1,75 \text{ А};$
$I_{\text{тр.}} = 25 \text{ А} > I_{\text{н.дв}} = 1,75 \text{ А};$
Пускач з тепловим реле, нереверсивний; ступінь захисту IP54, з кнопками «Пуск» та «Стоп»;
$U_{\text{ком}} = 220 \text{ В} = U_{\text{к.к}} = 220 \text{ В}.$

У якості теплового реле обрано РТЛ-2007-04 з діапазоном регулювання струму неспрацювання 1,5 ÷ 2,6 А. Номінальний струм реле становить 25 А, що повністю відповідає умовам вибору. В якості низьковольтного комплектного пристрою прийнято шафу ШУ-1-25-3. Для розподілу електроенергії використовується розподільчий пункт ЩРн-3-36 з вводним автоматичним вимикачем ВА88-37 та автоматичними вимикачами ВА47-29 (С25) на кожній відхідній лінії. Для освітлювальної мережі передбачено шафу ЩО-6 з автоматичними вимикачами ВА47-29 на відведених лініях та вводним автоматом ВА47-29.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		59

РОЗДІЛ 4

РОЗРАХУНОК ТА ВИБІР ЧВСТОТНОГО ПЕРЕТВОРЮВАЧА

Частотний перетворювач це сучасний електронний пристрій, призначений для плавного регулювання частоти обертання асинхронних електродвигунів шляхом зміни частоти та амплітуди напруги живлення. Використання частотних перетворювачів дозволяє суттєво зменшити споживання електроенергії, підвищити продуктивність та надійність обладнання, а також покращити умови його експлуатації.

Принцип роботи частотного перетворювача

Робота частотного перетворювача базується на трьох основних етапах перетворення електричної енергії:

1. Випрямлення вхідна трифазна змінна напруга перетворюється на постійну за допомогою діодного або активного випрямляча.
2. Фільтрація постійна напруга згладжується за допомогою ємнісного фільтра для зменшення пульсацій.
3. Інвертування постійна напруга знову перетворюється в змінну напругу з регульованою частотою та амплітудою за допомогою інвертора на базі силових транзисторів (IGBT).

Основні принципи роботи частотного перетворювача

1. Потужність електродвигуна номінальна потужність ЧП повинна відповідати потужності двигуна з урахуванням режиму роботи.
2. Параметри електромережі вхідна напруга та частота ЧП мають відповідати параметрам живильної мережі та характеристикам електродвигуна.
3. Характер навантаження тип навантаження (постійний момент, вентиляторний тип, високий пусковий момент тощо) суттєво впливає на вибір моделі.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						60
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

4. Функції керування та комунікації наявність необхідних протоколів обміну даними, входів/виходів та можливостей інтеграції в систему автоматизації.
5. Умови навколишнього середовища температура, вологість, запиленість, а також необхідний ступінь захисту оболонки (IP).

Для розрахунку частотного перетворювача слід виконати наступні кроки:

1. Визначення необхідної потужності Розраховується активна потужність електродвигуна за формулою: $P = \sqrt{3} \cdot U \cdot I \cdot \cos \varphi$, після чого вибирається ЧП з запасом потужності 10–20 %.
2. Перевірка електричної сумісності Контролюється відповідність вихідної напруги, частоти та кількості фаз параметрам електродвигуна.
3. Розрахунок струмових навантажень Визначається максимальний робочий та піковий струм з урахуванням пускових режимів і можливих перевантажень.
4. Тепловий розрахунок Оцінюються теплові втрати в перетворювачі та забезпечуються необхідні умови охолодження для роботи в заданому діапазоні температур.
5. Вибір функціональних можливостей Визначається необхідність широкого діапазону регулювання частоти та наявність додаткових технологічних функцій для конкретного технологічного процесу.

4.2. Частотний перетворювач ABB ACS58001-032A-4

Параметр	Значення
Модель	ABB ACS580-01-032A-4
Номинальний струм	32 А
Напруга живлення	3×380–480 В ±10%
Діапазон вихідної частоти	0–480 Гц
Частота комутації	2–16 кГц
Перевантажувальний момент	110% протягом 1 хвилини
Робоча температура	0–50 °С
Ступінь захисту	IP20
Максимальна довжина кабелю	Екранований — до 150 м, неекранований — до 300 м
Габаритні розміри (В×Ш×Г)	399 × 165 × 249 мм

ABB ACS580-01-032A-4 це сучасний універсальний частотний перетворювач, призначений для широкого спектру промислових застосувань — від простого регулювання швидкості до складних задач з високими вимогами до динаміки та точності керування.

4.2.1. Вибір частотного перетворювача

Регулювання швидкості обертання асинхронного електродвигуна в даній роботі здійснюється шляхом зміни частоти живлення. Таке технічне рішення забезпечує плавне регулювання швидкості в широкому діапазоні та жорсткі механічні характеристики приводу [10-11].

Кутова швидкість обертання магнітного поля статора асинхронного двигуна безпосередньо залежить від частоти напруги живлення. Ця залежність описується виразом:

$$\omega_0 = \frac{2\pi f}{p}; \quad (4.1)$$

де f — частоти напруги живлення обмотки статора, p — кількість пар полюсів електричного двигуна.

Таким чином, змінюючи частоту напруги, що подається на статор, можна плавно регулювати швидкість обертання магнітного поля, а отже, і швидкість ротора двигуна. Завдяки цьому принципу системи частотного керування широко застосовуються для асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором, які вирізняються простотою конструкції, високою надійністю та добрими техніко-економічними показниками. Головним елементом системи частотного регулювання є інвертор, який перетворює постійну напругу в трифазну змінну напругу з регульованою частотою та амплітудою. Комутацію силових ключів інвертора здійснюють IGBT-транзистори, роботу яких задає система імпульсно-фазового керування з використанням широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Саме за рахунок зміни ширини імпульсів формується необхідна вихідна напруга для живлення статора двигуна. Для забезпечення оптимального режиму роботи двигуна при зміні частоти застосовується закон керування напругою. Найпоширенішим є співвідношення:

$$\Delta\omega_{\kappa} = \omega_0 - \omega_{\kappa} = const \quad (4.1)$$

Урахування цієї особливості дозволяє застосовувати метод паралельного перенесення природної механічної характеристики під час розрахунків. Ця характеристика зсувається вздовж вісі w та розміщується відповідно до вимог: $W_{\text{зад}}, M_{\text{зад}}$.

Аналізуючи [10-11] до паспортні характеристики перетворювачів частоти можливо відмітити, що:

$$I_{\text{max.пр}} = 150\% I_{\text{н}} \quad (4.2)$$

Зважаючи на цю дрібницю, для визначення номінального струму перетворювача частоти потрібно застосовувати певне правило:

$$I_{\text{пч}} = \frac{I_{\text{max.dv}}}{1,5} = \frac{24,42}{1,5} = 16,28 A \quad (4.3)$$

Таким чином, з урахуванням технічних вимог проекту, для приводу барабана сушильної установки обрано частотний перетворювач,

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		63

номінальна потужність якого на 20 % перевищує потужність асинхронного електродвигуна. Застосуємо перетворювач частоти (Рис. 2.12.) ABB ACS580-01-032A-4, технічні характеристики якого зведемо до таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Технічні характеристики частотного перетворювача

ABB ACS580-01-032A-4

Модель	Потужність, кВт	Струм, А	Маса нетто, кг	Геометричні габарити
				L/W/H, мм
ABB ACS580-01-032A-4	15.0	32	10	399x165x249



Рис. 4.1. Зовнішній вигляд перетворювача частоти

ABB ACS580-01-032A-4

Проведемо також перевірку умови, згідно з якою перетворювач частоти має забезпечувати перевищення пускового моменту на 136% від номінального значення. Максимальний момент на валу асинхронного електричного двигуна AIP160S6 складає:

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		64

$$M_{136\%} = 1,36 \cdot M_{\text{ном}} \cdot \left(\frac{I_{\text{ном}}}{I_{\text{dv}}} \right) = 1,36 \cdot 108,3 \cdot \left(\frac{32}{24,42} \right) = 193 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

де: $I_{\text{ном}} = 32 \text{ А}$ – номінальний струм перетворювача частоти; $I_{\text{dv}} = 24,42 \text{ А}$ – номінальний струм асинхронного електричного двигуна.

$$M_{136\%} = 193 \text{ Н} \cdot \text{м} \geq 95,5 \text{ Н} \cdot \text{м} \quad \text{– умова виконуються.}$$

Тому з огляду на вище проведені розрахунки бачимо що перетворювач АВВ ACS580-01-032А-4, $P = 15 \text{ кВт}$, $I_{\text{ном}} = 32 \text{ А}$, відповідає всім необхідним вимогам.

4.2.2. Вибір апаратури управління

Поряд із системами ручного керування значного поширення набула апаратура з релейно-контактним керуванням. Такий підхід дозволяє здійснювати дистанційне управління електродвигунами та електроустановками за допомогою кнопових постів. Частотний перетворювач, розглянутий у попередньому розділі, передбачає можливість керування як у місцевому, так і в дистанційному режимі (див. рис. 2.13). На передній панелі блоку керування розташований вбудований пульт місцевого управління. Він оснащений клавіатурою для керування та налаштування параметрів, світлодіодними індикаторами стану та цифровим дисплеєм для відображення робочих режимів і параметрів.

При натисканні відповідних клавіш на пульті команди підтверджуються загорянням світлодіодних індикаторів. Клавішею «САУ» здійснюється перемикання між режимами керування, у тому числі з використанням зворотного зв'язку. У даній системі задіяно внутрішній програмований ПІ-регулятор технологічної змінної. Слід зазначити, що частотний перетворювач виконує функції локального автомата керування, забезпечуючи запуск та зупинку асинхронного електродвигуна приводу барабана сушильної установки.

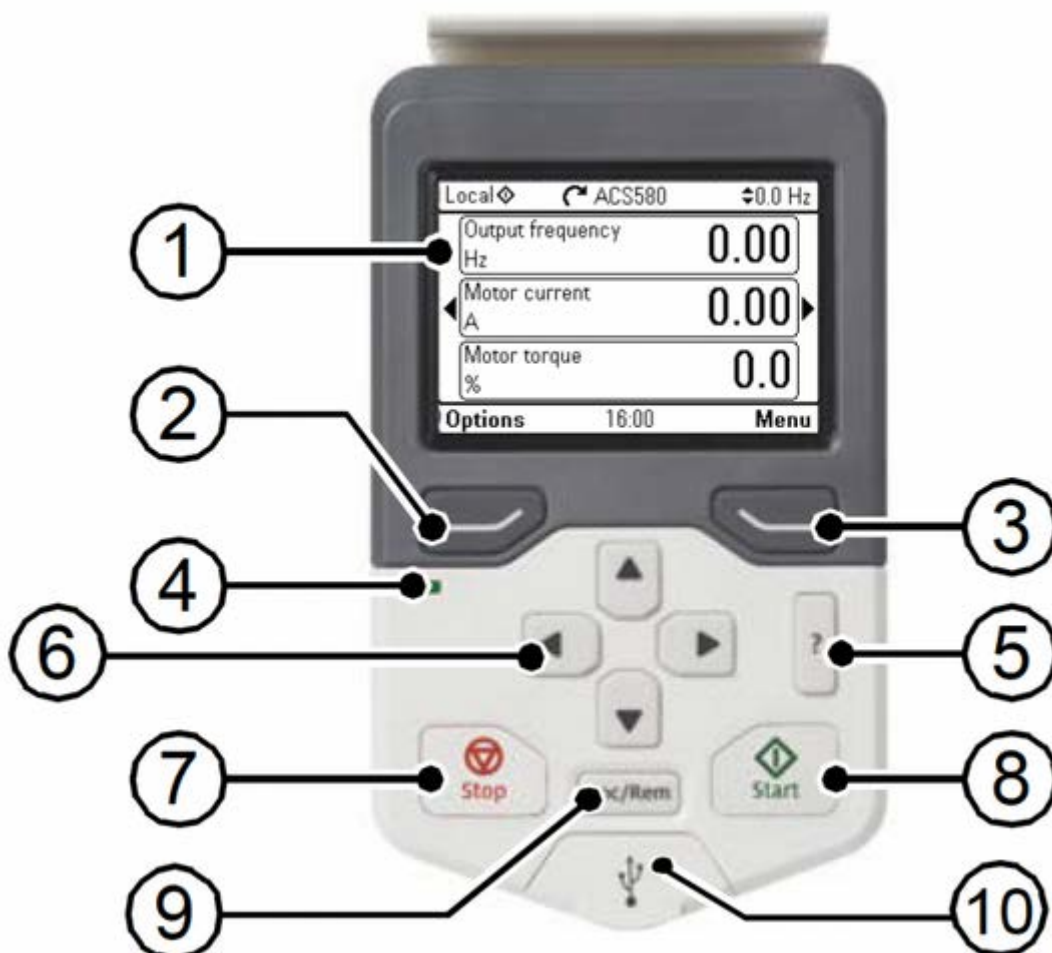


Рис 4.2. Пульт управління частотного перетворювача

ABB ACS580-01-032A-4:1 - дисплей ; 2 - ліва софт-клавіша; 3 - права софт-клавіша; 6 - клавіші навігації зі стрілками; 7 - кнопка стоп; 8 - старт; 9 - Кнопка місцевого/дистанційного керування

2.4.3. Схема включення частотного перетворювача

Підключення частотного перетворювача виконується згідно зі схемою, наведеною на рисунку 4.3.

При подачі мережевої напруги на перетворювач автоматичний вимикач забезпечує захист силового кола від коротких замикань та інших аварійних режимів. Для зменшення впливу вищих гармонік на електромережу та підвищення коефіцієнта потужності рекомендується встановлення **вхідного мережевого реактора**. Хоча його застосування не є обов'язковим, використання реактора доцільне в таких випадках: коли

потужність джерела живлення більше ніж у 12 разів перевищує потужність частотного перетворювача; при наявності на одному живильному трансформаторі інших потужних споживачів з комутаційними пристроями або компенсаторами реактивної потужності; при значному дисбалансі напруги між фазами. Для зниження рівня електромагнітних перешкод, що поширюються в мережу, рекомендується встановлення **електромагнітного фільтра**. При виборі фільтра необхідно враховувати тип системи електропостачання (трифазна трипровідна, трифазна чотирипровідна або однофазна).

Кабель заземлення повинен мати мінімальну довжину. Фільтр бажано розміщувати якомога ближче до частотного перетворювача.

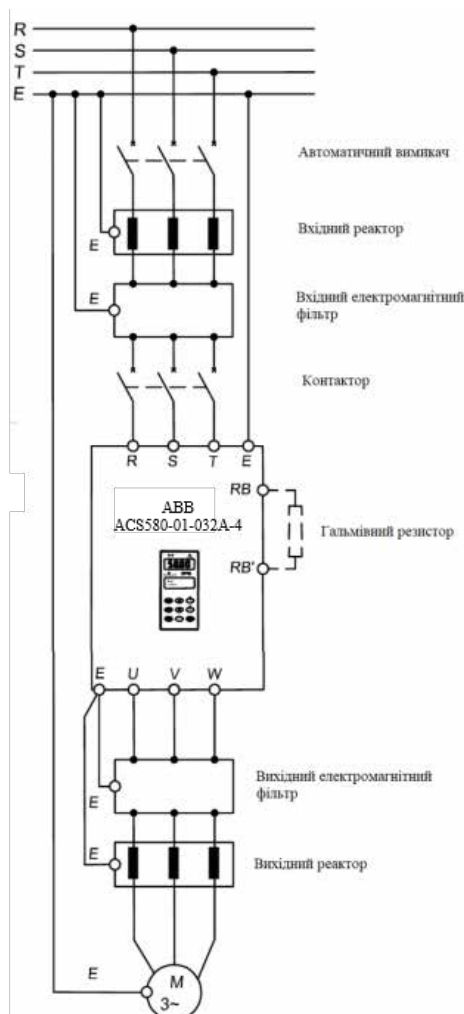


Рис 4.3. Схема включення ABB ACS580-01-032A-4

Для надійного захисту асинхронного електродвигуна від можливих пошкоджень рекомендується встановлювати **контактор** у силовому колі. При цьому важливо враховувати, що контактор не повинен використовуватися для безпосереднього частого вмикання та вимикання двигуна під навантаженням. Для зменшення рівня електромагнітних завад та струмів витоку, що генеруються частотним перетворювачем, доцільно встановлювати вихідний електромагнітний фільтр. У разі, коли довжина кабелю між частотним перетворювачем та електродвигуном перевищує 25 метрів, рекомендується застосовувати вихідний реактор. Він дозволяє обмежити пікові струми та ємнісні струми в кабелі. Комутація силових кіл низьковольтної апаратури здійснюється за допомогою рубильників, перемикачів та автоматичних вимикачів. При виборі рубильника його номінальний струм повинен бути не менше ніж у три рази більшим за номінальний струм електродвигуна:

$$I_{\text{н.руб.}} = 3I_{\text{н.дв.}} \quad (4.4)$$

де I_n — номінальний струм електродвигуна, А.

У деяких випадках для додаткового захисту від коротких замикань разом з рубильниками або перемикачами доцільно встановлювати **плавкі запобіжники** [10].

Таблиця 4.1.

Технічні характеристики асинхронного електричного двигуна з короткозамкненим ротором AIP160S6

Серія	Потужність, кВт	Номінальний струм, А	Номінальна напруга, В
AIP160S6	11	24,4	380
Частота обертання, об/хв	Коефіцієнт корисної дії, %	Коефіцієнт потужності	Кратність пускового струму
970	87,5	0,74	6,5

Обрахуємо пусковий струм асинхронного електричного двигуна:

$$I_{\text{пуск}} = I_{\text{н}} \cdot K_i = 24,4 \cdot 6,5 = 158,6 \text{ А.}$$

У разі використання перетворювача частоти максимальний струм в момент пуску електричного двигуна згідно таблиці 2.6, $I_{\text{max}} = 53,5 \text{ А}$. Розрахуємо струм уставки теплового розчеплювача автоматичного вимикача:

$$I_{\text{н.уст}} = 1,25 \cdot I_{\text{н}} = 1,25 \cdot 53,5 = 66,9 \text{ А.}$$

Тоді використаємо автоматичний вимикач на струм $I_{\text{авт}}=25 \text{ А}$ та струм теплового розчіплювача на 80 А технічні характеристики представимо в вигляді таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Технічні характеристики автоматичного вимикача ВА47-29

Серія	Кількість полюсів	Номінальний струм, А	Тип напруги
System pro M	3P	25	АС

Розрахуємо струм електромагнітного розчіплювача:

$$I_{\text{ем роз}} = 1,25 \cdot I_{\text{max}} = 1,25 \cdot 53,5 = 66,9 \text{ А.}$$

Також потрібно перевірити обране значення спрацьовування автоматичного вимикача за струмом електромагнітного розчіплювача. Таким чином, ураховуючи умови пуску електричного двигуна, автоматичний вимикач обраний правильно, оскільки :

$$I_{\text{срем.роз}} > I_{\text{ем.роз}} \text{ тобто } 80 > 66,9.$$

Вибраний автоматичний вимикач також необхідно перевірити на комутаційну здатність. Так, ефективне значення струму короткого замикання яке допустиме для обраного автоматичного автомата при напрузі в 220 В ($I_{\text{ф.кор.зам}} = 1500 \text{ А}$) повинно бути більше ніж $I_{\text{ф.кор.зам}}$ мережі. Розрахунковий струм лінії приймемо рівним номінальному струму

асинхронного електричного двигуна: $I_{\text{дл}} = 24,4 \text{ А}$. Виберемо номінальний струм плавкої вставки запобіжника по тривалому допустимому струму лінії ($I_{\text{в}} > I_{\text{дл}}$), в результаті отримаємо наступне співвідношення $I_{\text{в}} > 24,4 \text{ А}$. При виборі плавкої вставки запобіжника по пусковому струму асинхронного електричного двигуна потрібно враховувати наступну умову:

$$I_{\text{в}} \geq I_{\text{мах}}.$$

Згідно з вищезазначеними вимогами, обираємо плавкий запобіжник ПР-2 220 В, 15-60А, з номінальним струмом спрацювання 60 А. Враховуючи використання частотного перетворювача, живлення його мережі слід реалізувати екранованим кабелем марки ПВВГЕ, який прокладається в трубах і каналах. Розрахуємо робочий струм навантаження за таким виразом:

$$I_{\text{роб}} = I_{\text{н}} = 24,4 \text{ А}.$$

Використовуючи довідкові матеріали виберемо найближчі перетин кабелю по довготривало-допустимому струму а саме АПВВГЕ – 4х10.

4.2.3 Структурна і функціональна схема управління електроприводом барабана сушарки

Загальна структура електричного приводу барабана сушарки в даному випадку можливо представити у вигляді наступної схеми (рис. 4.4).

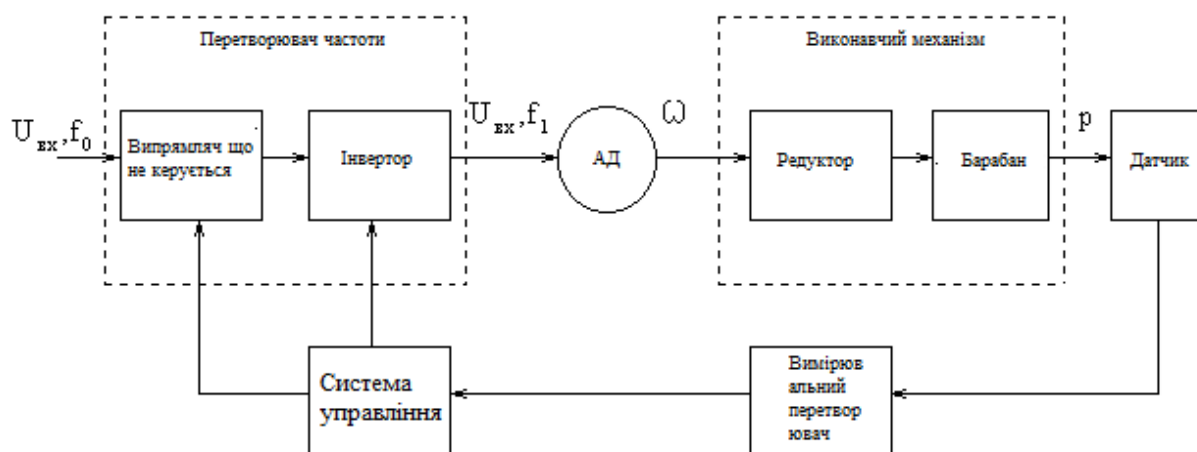


Рис. 4.4. Загальна структура електричного приводу барабана сушарки

Представлені вхідні та вихідні параметри всіх елементів системи електроприводу барабана сушарки формують загальну структуру частотно-регульованого електроприводу. Частотний перетворювач складається з трьох основних функціональних блоків: випрямляча, інвертора та системи управління. Функціональна схема частотно-регульованого електроприводу барабана сушильної установки, що включає асинхронний електродвигун АІР160S6 та частотний перетворювач, наведена на рисунку 4.4. До складу системи електроприводу входять такі основні елементи: виконавчий механізм — асинхронний електродвигун з короткозамкненим ротором (М); статичний перетворювач частоти (СПЧ), який складається із силової частини та системи управління (СУ СПЧ); система керування електроприводом (СК ЕП). Силова частина СПЧ включає некерований випрямляч (НВ), автономний інвертор напруги з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ) та конденсатор фільтра С у ланці постійного струму. Система управління статичним перетворювачем частоти складається з блоків БУ1 та БУ2, які формують імпульси керування силовими ключами VS1–VS6 та VS2, VS3 відповідно. Комутатор К забезпечує проходження цих імпульсів. До складу системи керування електроприводом входять: пульт управління (ПУ), датчик швидкості (ДС), суматори С1 і С2, функціональний перетворювач (ФП), пропорційно-інтегральний регулятор (ПІ), блок обчислення синхронної частоти (БО ω_0) та задатчик інтенсивності гальмування (ЗІТ). У режимі роботи електропривід являє собою замкнену систему автоматичного регулювання зі зворотним зв'язком за швидкістю обертання ротора двигуна.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		71

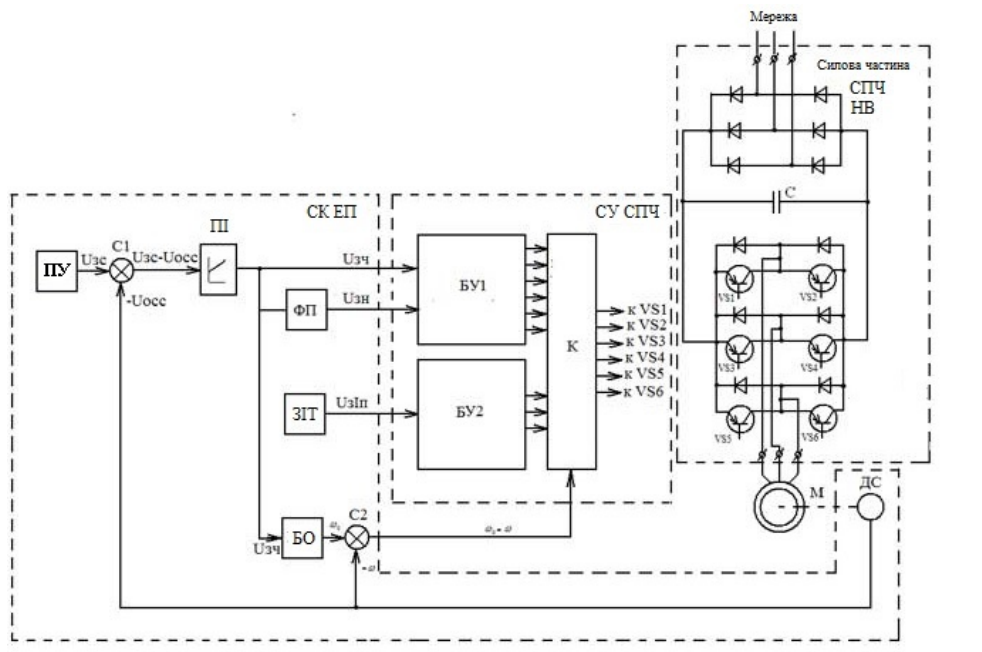


Рис. 4.5. Функціональна схема частотно-регульованого електроприводу приводу барабана сушарки

Функціональний перетворювач (ФП) призначений для встановлення зв'язку між частотою напруги та актуальним значенням напруги на виході РПЛ:

$$\frac{U_1}{f_1} = const. \quad (4.5)$$

де U_1 – величина діючого значення фазної напруги обмотки статора електричного двигуна, f_1 – частота струму обмотки статора електричного двигуна. Управління частотою електричного двигуна передбачає аналіз різних способів керування напругою та частотою на статорі, які є правилами управління. Також необхідно визначити закони регулювання, які забезпечують оптимальні режими роботи електродвигуна як у статичних, так і в динамічних (перехідних) режимах. Загальний закон керування повинен створювати найкращі умови функціонування двигуна. Це досягається шляхом пропорційної зміни відносної напруги на статорі

залежно від добутку відносної частоти на квадратний корінь з відносного електромагнітного моменту.

$$\gamma = \alpha \sqrt{\mu}, \quad (4.6)$$

де $\mu = M / M_{\text{ном}}$ відносний електромагнітний момент двигуна. У разі слабого насичення магнітного кола електричної машини активним опором обмотки статора можна знехтувати. За таких умов асинхронний двигун працюватиме з майже постійним коефіцієнтом потужності, достатнім запасом статичної стійкості та мінімальним абсолютним ковзанням. Якщо при частотному регулюванні коефіцієнт перевантажувальної здатності двигуна зберігається сталим, то критичний момент буде пропорційний квадрату магнітного потоку і залишатиметься постійним. Отже, значення статичних моментів при різних частотах живлення будуть однаковими.

$$\frac{M_1}{M_2} = \frac{\Phi_1^2}{\Phi_2^2} \Rightarrow \frac{\Phi_1}{\Phi_2} = \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}, \quad (4.7)$$

Наступним кроком в разі знехтування активного опора статора електричного двигуна, то напруга на статорі буде врівноважуватися ЕРС основного магнітного потоку а також буде лінійно пов'язана з частотою а також величиною магнітного потоку:

$$\frac{U_1}{U_2} \approx \frac{\Phi_1 f_1}{\Phi_2 f_2}. \quad (4.8)$$

Підставивши в , отримаємо:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{f_1}{f_2} \sqrt{\frac{M_1}{M_2}} \Leftrightarrow \gamma = \alpha \sqrt{\mu}. \quad (4.9)$$

В випадку для реалізації найпростого випадку з закону регулювання можна виключити відносний електромагнітний момент, так з точністю ковзання $\omega_1 \approx \omega$, представимо рівняння механічної характеристики

навантаження ступеневою функцією $M = C\omega k$ що також можливо представити, в відносних одиницях, з огляду на $\mu = \alpha k$. А після перетворень вираз можливо представити вигляді $\gamma = \alpha^{1+k/2}$. Тому, для типових видів навантаження можливо отримати наступні закони управління що представимо в вигляді таблиці 4.3. Механічні характеристики приводу перетворювач частоти – асинхронний електричний двигун при різних законах регулювання зображено на рисунку 4.6.

Таблиця 4.4.

**Закони управління в системі перетворювач частоти –
асинхронний електричний двигун**

Закон управління	Навантаження		
	Статичне $k = 0, M = const$	Вентиляторне $M = C\omega^2, k = 2$	Постійна потужність $M\omega = const, k = -1$
	$\gamma = \alpha$	$\gamma = \alpha^2$	$\gamma = \sqrt{\alpha}$

Наведені вище закони регулювання вбудовані в сучасні частотні перетворювачі та широко застосовуються на практиці. Вони можуть бути використані як у розімкнених, так і в замкнених системах керування асинхронними електродвигунами. Важливою перевагою таких законів є можливість автоматичної зміни напруги живлення двигуна залежно від навантаження на валу **без необхідності прямого вимірювання** моменту або струму. При зменшенні навантаження напругу на статорі можна відповідним чином знизити, зберігаючи при цьому достатній запас статичної стійкості системи. Як зазначалося раніше, вираз закону регулювання отриманий за умови, що активний опір обмотки статора є незначним коли $r_1 \approx 0$, що ідентично внутрішній відносній

напрузі:

$$\frac{U'_1}{U_{1ном}} = \frac{|U_1 - r_1 I_1|}{U_{1ном}} = \gamma'.$$

Враховуючи, що такий закон регулювання, тобто управління з урахуванням активного опору статора електродвигуна, реалізується за умови підтримання постійного значення ковзання, близького до номінального рівня абсолютного ковзання:

$$\beta_o \approx s_{\text{ном}} = \text{const}, \frac{U_1'}{U_{1\text{ном}}} = \frac{U_1 - r_1 I_1}{U_{1\text{ном}}} = \gamma'. \quad (4.8)$$

Дане регулювання можливо виконати за допомогою зворотного зв'язку по відношенню до швидкості в відповідності до виразу $\omega = \omega_{1\text{ном}}(\alpha - \beta_o)$.

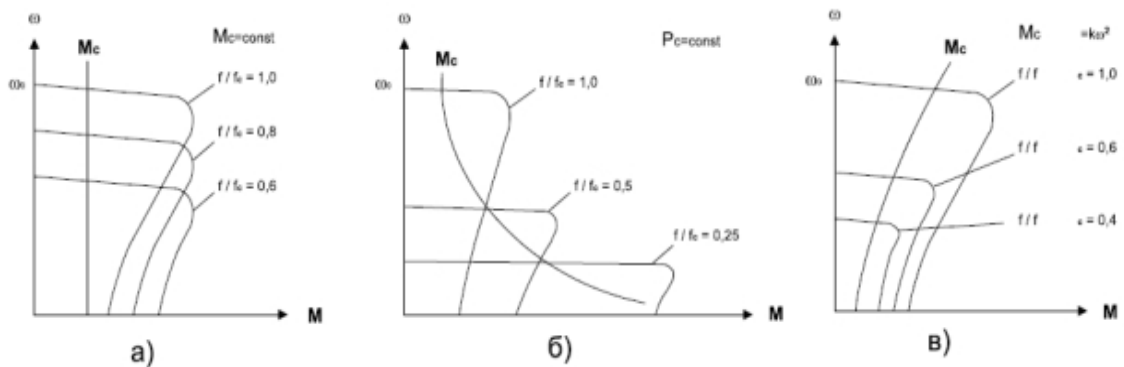


Рис. 4.6. Механічні характеристики приводу перетворювач частоти – асинхронний електричний двигун: а) постійний момент; б) постійна потужність; в) вентиляторне навантаження

Для реалізації частотного керування асинхронним електродвигуном важливо правильно враховувати характер навантаження на валу, а також забезпечувати узгоджене регулювання напруги живлення обмотки статора відповідно до зміни частоти живлення. У частотних перетворювачах перетворювальний пристрій змінює параметри напруги електромережі (амплітуду та частоту), забезпечуючи безаварійну роботу двигуна та плавне регулювання його швидкості обертання.

РОЗДІЛ 5.

ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ НА ПІДПРИЄМСТВАХ З ПЕРЕРОБКИ НАСІННЯ

Експлуатація наявних електроустановок, а також введення в дію нових або реконструйованих електроустановок на підприємствах, що здійснюють переробку та зберігання насіння, має здійснюватися відповідно до чинних норм і правил електробезпеки. Проектування нових електричних мереж та модернізація існуючих електроустановок повинні виконуватися на підставі проектної документації, розробленої з урахуванням технічних умов, виданих енергопостачальною організацією. Після завершення будівельних або реконструкційних робіт електроустановки можуть бути підключені до енергетичних мереж та введені в експлуатацію лише після проведення приймальних випробувань та отримання дозволу від відповідних комісій і представників енергосистеми [14]. Виконання електродвигунів, пускорегулювальної та захисної апаратури, систем освітлення та електричних мереж необхідно здійснювати з обов'язковим урахуванням специфіки технологічного процесу, категорії приміщень за ступенем пожежо- та вибухонебезпеки, а також впливу зовнішніх факторів.

Усі ремонтні роботи на електрообладнанні допускається проводити виключно після його повного відключення від джерела живлення та встановлення відповідних попереджувальних плакатів безпеки. Ручний електромонтажний інструмент повинен мати ізольовані рукоятки та пройти періодичні випробування на підвищену напругу згідно з вимогами нормативних документів щодо захисту в електроустановках.

Під час будівництва електромереж на території підприємства слід забезпечувати можливість відключення окремих ділянок мережі, щоб ремонтні роботи могли проводитися без напруги. Заміна плавких вставок запобіжників під напругою, а також без чіткого маркування їх

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		76

номінального струму, категорично забороняється. У разі виникнення аварійної ситуації пошкоджену електроустановку необхідно негайно відключити, а на місці встановити заборонний плакат, що унеможливило її повторне вмикання. На всіх робочих місцях мають бути розміщені чіткі та актуальні інструкції з безпечної експлуатації та обслуговування електроустановок. Персонал, який виконує перемикання в електроустановках напругою до 1000 В, повинен мати відповідну кваліфікаційну групу з електробезпеки та пройти необхідне навчання. Перемикання на висоті слід проводити бригадою щонайменше з двох працівників, які мають відповідну кваліфікацію як з електробезпеки, так і з виконання робіт на висоті.

5.1. Електричне освітлення

Для освітлення виробничих та допоміжних приміщень підприємств з переробки й зберігання насіння рекомендується застосовувати систему загального освітлення. Допускається також використання комбінованого освітлення. Обов'язковою є організація системи евакуаційного освітлення. Норми освітленості для різних видів освітлення та технічні параметри освітлювальних установок повинні повністю відповідати вимогам чинних санітарних норм і відомчих стандартів. Електропроводка освітлювальних установок у виробничих приміщеннях з підвищеною пожежною або вибуховою небезпекою має виконуватися відповідно до вимог Правил улаштування електроустановок (ПУЕ). Світильники, встановлені на висоті менше 2,5 м від рівня підлоги, необхідно обладнувати захисними сітками або склом. Освітлення силосів і бункерів, у разі потреби, зазвичай здійснюється зверху через люки за допомогою переносних прожекторів. Використання переносних світильників у бункерах і силосах дозволяється лише за умови їх відповідності вимогам ПУЕ для вибухонебезпечних зон класу В-Па. Такі світильники повинні мати захисні сітки та живитися напругою не вище 42 В у бетонних бункерах і не вище 12 В — у металевих.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		77

5.2. Заходи енергобезпеки

Для захисту персоналу від ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції необхідно застосовувати один із таких захисних заходів: занулення, заземлення, розділювальний трансформатор, знижену напругу або подвійну ізоляцію. В електроустановках напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю обов'язково застосовується занулення. У електроустановках до 1000 В та вище з ізольованою нейтраллю має виконуватися заземлення. Занулення (заземлення) електроустановок є обов'язковим у таких випадках:

- в усіх електроустановках змінного струму з номінальною напругою 380 В і вище;
- у приміщеннях з підвищеною небезпекою, особливо небезпечних приміщеннях, а також на відкритих майданчиках, якщо напруга перевищує 42 В, але не досягає 380 В змінного струму, та перевищує 110 В постійного струму [14–16].

З метою вирівнювання потенціалів у приміщеннях і зовнішніх установках, де застосовується занулення або заземлення, до захисної системи повинні бути приєднані: будівельні металеві конструкції, виробниче обладнання, металеві трубопроводи різного призначення, корпуси технологічного обладнання, підкранові шляхи та залізничні рейки. Для занулення (заземлення) переносних електроприймачів необхідно використовувати окремий третій захисний провідник. Використання нульового робочого провідника як захисного категорично забороняється. У колі нульових захисних і заземлюючих провідників не допускається встановлення роз'єднувачів, вимикачів та запобіжників. Спеціально прокладені захисні провідники не дозволяється використовувати для інших цілей. Крім того, забороняється використовувати в якості нульових захисних або заземлюючих провідників несучі троси, металеві рукави, броню та свинцеві оболонки кабелів і проводів [17].

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						78
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

5.3. Заземлення і захисні заходи енергобезпеки

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути повністю забезпечений необхідними засобами індивідуального та колективного захисту, що гарантують безпеку виконання робіт. Засоби захисту мають зберігатися в спеціалізованих інвентарних приміщеннях на трансформаторних підстанціях та в розподільних пристроях, а також видаватися працівникам для індивідуального користування.

Відповідальність за своєчасне забезпечення працівників перевіреними засобами захисту, комплектування ними електроустановок, організацію правильного зберігання, створення необхідного резерву, проведення періодичних оглядів, випробувань та своєчасне вилучення несправних засобів несе керівництво цехів, служб та ділень, які відповідають за експлуатацію електроустановок. Загальну відповідальність за цей напрямок покладається на головного інженера підприємства. Усі засоби захисту, що перебувають в експлуатації, повинні мати інвентарний номер (крім гумових килимів, ізолюючих підставок, плакатів та знаків безпеки). Номер наноситься безпосередньо на засіб захисту. Після виготовлення засоби захисту підлягають приймальним, періодичним та типовим випробуванням. Під час експлуатації вони повинні проходити періодичні та позачергові (після ремонту) випробування. Після успішного випробування на засіб (крім інструменту з ізольованими рукоятками та вказівників напруги до 1000 В) наноситься відповідний штамп. Протоколи випробувань усіх засобів захисту зберігаються на підприємстві до отримання нових результатів перевірки та надаються на вимогу контролюючих органів. Перед кожним використанням працівник зобов'язаний особисто перевірити справність засобу захисту, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити його від забруднень та перевірити термін придатності за штампом.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						79
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 6.

РОЗРАХУНОК КАПІТАЛЬНИХ ВИТРАТ ПРИ УДОСКОНАЛЕННІ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

При визначенні капітальних витрат на будівництво або модернізацію об'єкта необхідно враховувати, що вони формуються з таких основних складових:

- витрати на придбання необхідного інвентарю та інструментів.

Для розрахунку орієнтовної вартості електроустаткування з урахуванням попередньо підбраного обладнання рекомендується використовувати форму, наведену в таблиці 6.1.

таблиці 6.1.

Розрахунок капітальних витрат на електрообладнання

№	Найменування обладнання	Кількість, шт.	вартість		Витрати на доставку і монтаж		Амортизаційні відрахування	
			1 шт., Грн.	Загальна	%	Грн	Норма амортизації %	сума , Грн.
1	Електричний двигун AIP160S6	1	14300	14300	10	1430	10	1573
2	Редуктор Ц2У-200-12,5-12-92	1	9000	9000	10	900	10	990
3	Перетворювач частоти 131F0429 DANFOSS VLT	1	70000	70000	10	70000	10	7630
	Всього					101930		10193

Після встановлення кошторисної вартості наступним кроком є розрахунок питомих капітальних вкладень, які визначаються як частина від загальних капітальних витрат згідно з кошторисом, пропорційно

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		80

проектній потужності об'єкта.

$$K = 38010 / 65472 = 0,58.$$

Одним із пріоритетних завдань управління виробництвом є забезпечення оптимального режиму роботи підприємства. Особливу увагу при цьому необхідно приділяти такому режиму, який максимально ефективно впливає на використання основних виробничих фондів та продуктивність праці працівників.

Режим роботи підприємства визначає тривалість і порядок виробничого процесу, встановлюючи кількість робочих і неробочих днів, річний фонд робочого часу, кількість змін на добу та їх тривалість.

Вибір того чи іншого режиму роботи зумовлений переважно технічними та технологічними особливостями виробництва. При цьому важливо враховувати не лише економічні, а й соціальні фактори. Календарний режим роботи значною мірою впливає на організацію основних і допоміжних виробничих процесів та загальну структуру виробничого циклу.

При безперервному режимі роботи підприємство функціонує в три зміни по 8 годин кожна. У разі переривчастого режиму кількість змін може становити одну, дві або три залежно від конкретних умов виробництва [18–19] (табл. 5.2).

Коефіцієнт перерахунку робочого часу в обліковий період розраховується відповідно до обраного режиму роботи.

$$K_{\text{пер}} = T_{\text{ков}} / E_{\text{зфф}} = 365 / 217 = 1,68$$

(6.1)

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		81

Таблиця 6.2

Розрахунок чисельності робітників

Найменування професій	Чисельність в зміну	Кількість змін	Чисельність на добу	Коефіцієнт перерахунку	Облікова чисельність
основний робочий	2	3	6	1,68	9
допоміжний робочий	1	3	3	1,68	4
Разом	3		9		13

Використання автоматизованого електроприводу для барабанних сушарок у виробництві рослинної олії дозволяє суттєво збільшити термін служби асинхронного електродвигуна. Відсутність автоматизованої системи управління ускладнює експлуатацію обладнання, що підвищує ризик виникнення аварійних ситуацій, які можуть призвести до пошкодження електродвигуна або елементів електричної мережі [20]. Розрахункова потужність електродвигуна становить 11 кВт, а річний фонд робочого часу з урахуванням планового капітального ремонту — 8424 години. На підставі цих даних можна розрахувати річний обсяг споживання електроенергії.

$$11 \cdot 8424 = 92664 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Економія електроенергії складатиме 10%:

- у натуральному вираженні: $92664 \cdot 0,1 = 9266,4$

- у вартісному вираженні: $9266,4 \cdot 5,11 = 140015,304$

Крім того, додаткові економії можуть бути здійснені за рахунок зменшення витрат на ремонт електрообладнання. Без використання автоматизованої системи управління асинхронним електродвигуном, витрати на обслуговування та ремонт електрообладнання можуть зростати через необхідність додаткових робіт, податків та логістики доставки матеріалів. 1300610 грн.

Дивлячись на вищеназване економія буде складати.

$$399619-1118610=281119$$

Загальну економію можна представити в вигляді трьох основних пунктів:

- економії фонду заробітної плати;
- економії електроенергії;
- економії на утриманні та ремонт обладнання.

$$E_{\text{заг}}=E_{\text{фзп}}+E_{\text{ел}}+E_{\text{р}}=504091+140015,304+281119=925225,304\text{грн.}$$

Термін окупності розрахуємо наступним чином:

$$T=\frac{K}{E_{\text{заг}}}=\frac{357676}{925225,304}=1,2\text{ року.}$$

Таблиця 6.3

Зведена таблиця техніко-економічних показників

№	Показники	Од	Після удосконаленн я	Економія
1.	Продуктивність	т/год	8	8
2.	Чисельність працівників	чол	13	2
3.	Загальний фонд заробітної плати	тис. грн	3660,139	504,091
4.	Витрата електроенергії	тис. грн	1 400,15	160,015
5.	Витрати на утримання, експлуатацію, ремонт обладнання	тис. грн	1118,610	181,119
6.	Термін окупності	років	1,3	
7.	Загальна економія	тис. грн		845,225

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна бакалаврська робота присвячена темі «Удосконалення асинхронного електроприводу з векторним керуванням для сушильної установки барабанного типу». Основною метою роботи є зниження енергоспоживання процесу сушіння насіння соняшника без втрати якості готової продукції шляхом модернізації системи електроприводу з використанням векторного керування. У рамках дослідження було розроблено електротехнічну частину підприємства з переробки насіння соняшника, проведено аналіз технічних засобів сушіння, виконано розрахунок потужності електродвигунів, а також кінематичний розрахунок з урахуванням статичних і динамічних режимів роботи. Було розроблено принципову схему управління, обрано необхідну електроапаратуру, впроваджено систему частотного векторного регулювання та комплекс заходів захисту. Крім того, розглянуто питання охорони праці та проведено техніко-економічне обґрунтування запропонованих технічних рішень. За результатами техніко-економічного розрахунку встановлено, що впровадження удосконаленого асинхронного електроприводу з векторним керуванням для барабанної сушильної установки дозволить підвищити продуктивність підприємства до 8 т/год, скоротити чисельність обслуговуючого персоналу на 2 особи, зменшити фонд заробітної плати на 504,091 тис. грн, знизити витрати на електроенергію на 140,015 тис. грн та зменшити витрати на утримання, експлуатацію і ремонт електрообладнання на 281,119 тис. грн. Загальний річний економічний ефект від впровадження становить 925,225 тис. грн. Розрахунковий термін окупності проекту становить 1,2 року.

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
						84
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Сушіння зерна / Г. М. Станкевич, Т. В. Страхова, А. В. Борта. – Одеса: КП ОМД, 2021. – 248 с.

<https://card-file.ontu.edu.ua/items/4fa1eceb-2f45-432c-a07b-04f5bd48dbb5>

2. Теліпко Л.П., Мамаєв Л.М., Манько В.М. Порадник до розв’язування задач та виконання розрахунково-проектувальних завдань з основ інженерної механіки, навч. Посібник; 1 – Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. – 279с.

<https://crust.ust.edu.ua/server/api/core/bitstreams/2594e050-ca5d-4648-a2af-3ea391bf7884/content>

3. Осейко, М. І. Технологія рослинних олій : підручник / М. І. Осейко. – Київ : Варта, 2006. - 280 с.

<https://dspace.nuft.edu.ua/bitstreams/20715709-9d91-4382-af3b-0ecc82e00f74/download>

4. Технологія та проектування елеваторів : навч. посібник / О.І. Шаповаленко, О.О. Євтушенко, Т.І. Янюк, В.А. Почеп ; за ред. О. І. Шаповаленко ; Нац. ун-т харч. технол. – Херсон : Олді-плюс, 2015. – 416 с.

https://knushop.com.ua/image/catalog/oldi202305/pdf/300_1.pdf

5. Видмиш А.А. Теорія електропривода. Курсове та дипломне проектування. Самостійна та індивідуальна робота студентів: навчальний посібник / А.А. Видмиш, С.М. Бабій, В.В. Петрусь. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 96 с

<http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/4963>

6. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній / [Є. Л. Жулай, Б. В. Зайцев, О. С. Марченко та ін.]. – Київ, 2001. – 289 с.

<https://vpu36balin.km.ua/wp-content/uploads/2025/04/Електропривід-сільськогосподарських-машин-агрегатів-та-потокових-ліній-Жулай-Є.Л..pdf>

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		85

7. Павленко Т.П. Автоматизований електропривод загальнопромислових механізмів. / Т.П. Павленко, О.В. Донець, О.М. Петренко; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. – 132 с.

8. Електричне освітлення та опромінення / [Р. В. Кушлик, В. Ф. Куценко, Ю. М. Федюшко та ін.]. – Харків: Харків : ТОВ «Планета-прінт», 2016. – 333 с.

<https://www.tsatu.edu.ua/ettp/wp-content/uploads/sites/25/navch.-posib.chastyna-1.elektrychne-osvitlennja.pdf>

9. Буряк В.М. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання : навч. посібник / В.М. Буряк. – Харків, ХДАМГ, 2001. – 386 с

<https://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/4396/1/Електропривід-сільськогосподарських-машин-агрегатів-та-потоків-ліній.pdf>

10. Мерко, І.Т. Наукові основи і технологія переробки зерна : підручник / І.Т. Мерко, О.В. Моргун. – Одеса : Друк, 2001. – 348 с.

11. Електропривод сільськогосподарських машин, агрегатів та поточних ліній : Підручник / Є.Л. Жулан, Б.В. Зайцев та ін. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.

<https://elar.tsatu.edu.ua/bitstream/123456789/4396/1/Електропривід-сільськогосподарських-машин-агрегатів-та-потоків-ліній.pdf>

12. Кащенко П.С. Електричне освітлення та опромінення / П.С. Кащенко – НМЦ, 2003 . – 134 с

13. Основи охорони праці : підручник / М. П. Купчик, М. П. Гандзюк, І. Ф. Степанець, В. Н. Вендичанський, П. М. Литвиненко, О. В. Іваненко. - К. : Основа, 2000. - 416 с.

https://xn--e1ajqk.kiev.ua/wp-content/uploads/2019/12/Gandzyuk-osnovy_ohorony_prac.pdf

14. Кобилянський О. В. Охорона праці в електроенергетиці / О. В.

Кобилянський. – Вінниця, 2006. – 166 с.

[https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18919/oor%20energ
o.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/18919/oor%20energ%20o.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

15. Березюк О. В. Безпека життєдіяльності / О. В. Березюк, М. С. Лемешев. – Вінниця, 2011. – 205 с.

<http://ebooks.znu.edu.ua/files/Bibliobooks/Inshi51/0039078.pdf>

16. Семенов В.Ф., Сіваченко І.Ю., Федоряк В.П. Загальний курс агробізнесу: Навч.посібник / За ред. В.Ф. Семенова, І.Ю. Сіваченка. – К.: Т-во “Знання”, КОО, 2000. – 301 с

17. Основи менеджменту: підручник для студентів вищих навчальних закладів / кол. авторів; за ред. А.А. Мазаракі; Харків: Фоліо, 2014. – 846 с

[http://www.kgemt.org.ua/pdf/about_colege/library_fund/aa_mazaraki_osno
vy_menedzhmentu_40u0q09ri3.pdf](http://www.kgemt.org.ua/pdf/about_colege/library_fund/aa_mazaraki_osnovy_menedzhmentu_40u0q09ri3.pdf)

18. Видмиш А.А. Основи електропривода. Частина 1 : навчальний посібник / А.А. Видмиш. – Вінниця : ВНАУ, 2020. – 387 с.

<https://repository.vsau.vin.ua/getfile.php/25015.pdf>

19. Василега П. О. Електропривод робочих машин : підручник / П. О. Василега. – Суми : Сумський державний університет, 2022. – 290 с.

<https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream/123456789/88282/3/Vasilega.pdf>

20. Колб А.А. Теорія електроприводу : навчальний посібник. – 2-е вид. – Дніпро : Національний гірничий університет, 2011. – 540 с.

[https://elprivod.nmu.org.ua/ua/student/disciplines/tep/%D0%9A%D0%BE%D0
%BB%D0%B1%20%D0%A2%D0%95%D0%9F%202011.pdf](https://elprivod.nmu.org.ua/ua/student/disciplines/tep/%D0%9A%D0%BE%D0%BB%D0%B1%20%D0%A2%D0%95%D0%9F%202011.pdf)

					02.02 – БКР. 2607 „С” 25.10.30.012. ПЗ	Арк.
Зм	А	№ документа	Підпис	Дата		87