

Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки
Кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на
транспорті

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: «Автоматизація барабанної сушарки»

Виконав: студент 2 курсу, групи ЕПА-18м
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка

Баутіста Кілумбакін Даріл Нанкі

(прізвище та ініціали)

Керівник к.т.н., доц., Паянок О. А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент _____

(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОГО МЕХАНІЗМУ І РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ.....	10
2 РОЗРАХУНОК ПРИВЕДЕНИХ СТАТИЧНИХ МОМЕНТІВ І ТАХОГРАМИ РУХУ РОБОЧОГО ОРГАНУ ВИРОБНИЧОГО МЕХАНІЗМУ.....	15
2.1 Розрахунок основних величин.....	15
2.2 Тахограма руху робочого органу виробничого механізму.....	16
2.3 Розрахунок приведених статичних моментів виробничого механізму	17
3 ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВОДНОГО ДВИГУНА.....	19
4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ	21
5 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗА ПОТУЖНІСТЮ І ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ.....	28
6 РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ПОБУДОВА НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ДІАГРАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА.....	30
7 ПЕРЕВІРКА ВИБРАНОГО ДВИГУНА ЗА НАГРІВОМ, ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ ТА УМОВАМИ ПУСКУ.....	31
8 РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДНОГО ДВИГУНА	32
9 РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДА.....	37
9.1 Розробка структурної схеми	37
9.2 Побудова функціональної схеми.....	38
9.3 Розрахунок і вибір елементів силового кола	39

	4
9.3.1 Розрахунок і вибір тиристорів	39
9.3.2 Розрахунок і вибір силового трансформатора	42
9.3.3 Визначення розрахункових параметрів силового кола.....	44
10 РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ САЕП	49
11 МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ САЕП	54
11.1 Моделювання АД з КЗ ротором	54
11.2 Моделювання двоконтурної САЕП типу ПЧ-АД.....	56
12 РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ. ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ТА ЯКОСТІ	58
12.1 Оцінка стійкості	58
12.2 Оцінка якості	60
13. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ СУШКИ ДЕРЕВНОЇ ЩЕПИ В БАРАБАННІЙ СУШАРЦІ.....	62
14 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	72
14.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта	73
14.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць	73
14.1.2 Електробезпека.....	Ошибка! Закладка не определена.
14.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії	80
14.2.1 Мікроклімат.....	80
14.2.2 Склад повітря робочої зони	81
14.2.3 Виробниче освітлення	82
14.2.4 Виробничий шум.....	84
14.2.5 Виробнича вібрація.....	86
14.2.6 Психофізіологічні фактори	87
14.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки	

роботи електропривода барабанної сушарки в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуаціях	88
14.3.1 Дослідження безпеки роботи електропривода барабанної сушарки в умовах дії іонізуючих випромінювань	90
14.3.2 Дослідження безпеки роботи електропривода барабанної сушарки в умовах дії ЕМІ	91
15 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	94
15.1 Розрахунок капітальних вкладень	94
15.2 Розрахунок експлуатаційних витрат	95
ВИСНОВКИ.....	100
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	101
Додаток А Технічне завдання	103
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	106

ВСТУП

Актуальність. Виріб – предмет або набір предметів готової продукції, які призначені для поставки споживачам [1].

Готовий виріб отримують в результаті виконання технологічного процесу, який визначає сукупність послідовних дій і методів обробки, виготовлення, зміни стану, властивостей, форми сировини, матеріалу або напівфабрикату, які реалізуються в процесі виробництва [2].

В загальному випадку виділяють механічну, термічну та хімічну обробку сировини, матеріалу, напівфабрикату. Процес термічної обробки є невід’ємною складовою чи не усіх галузей промисловості, зокрема не можна не відмітити його особливої значимості в деревообробній галузі, оскільки лише деревина з визначеним вмістом вологи набуває необхідних механічних властивостей.

В деревообробній галузі застосовуються різноманітні способи сушки деревини: конвективну атмосферну; конвективну газопарову (камерну); контактну; індукційну; ротаційну; радіаційну; сушку в рідинах; сушку в полі струмів високої частоти; сушка в камерах ПАП [3, 4]. Слід відзначити, що найбільш широке поширення отримала камерна сушка, які здійснюється в спеціальних опалюваних приміщеннях [3].

При виробництві деревинно-стружечних плит (ДСП), які на сьогодні найбільше користуються попитом при виробництві меблі, оформленні інтер’єрів і будівництві, для сушки стружки використовують спеціальні конвективні сушки з механічним або пневматичним переміщенням стружки від кінця завантаження до кінця відвантаження – сушильні барабани [5].

Від надійної і узгодженої роботи сушильних барабанів залежить не лише безперервність виробничого процесу, але і, в першу чергу, пожежна безпека на виробництві та якість готової продукції. Незначне підвищення температури сушильного агенту вище точки загоряння стружки неодмінно призведе до пожежі, а сушіння при низькій температурі суттєво зменшує

продуктивність всього виробництва.

Отже, магістерська робота присвячена важливому питанню модернізації системи керування електропривода сушильного барабана.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Робота виконувалася на кафедрі електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті ВНТУ.

Мета і завдання дослідження. Метою даної магістерської кваліфікаційної дипломної роботи є поліпшення процесу керування автоматизованим електроприводом барабанної сушарки, що забезпечує кращі експлуатаційні та економічні показники та розширює можливості керування. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі:

- здійснити аналіз характеристик та режимів роботи барабанної сушарки;
- сформулювати вимоги до системи автоматизованого електроприводу сушильного барабану;
- провести техніко-економічне обґрунтування вибору системи електропривода;
- розрахувати потужність та вибрати електричний двигун, силовий перетворювач і систему керування;
- розрахувати, та вибрати елементи електричної принципової, функціональної та структурної схем електропривода;
- здійснити моделювання перехідних процесів в системі керування;
- визначити параметри часу сушки для оптимального використання теплових ресурсів;
- здійснити визначення заходів щодо безпечної експлуатації системи автоматизації.

Об'єкт дослідження – процеси автоматичного керування в автоматизованому електроприводі барабанної сушарки.

Предмет дослідження – система електропривода барабана сушарки

деревної щепи.

Методи дослідження. У процесі дослідження застосовувалися:

- методи теорії автоматичного керування для структурного аналізу системи керування та синтезу регуляторів;
- теорія алгоритмів для написання та налагодження програми роботи мікропроцесорних пристроїв;
- комп'ютерне моделювання для аналізу та перевірки достовірності отриманих теоретичних положень;
- теорія чисельних методів для синтезу параметрів регулятора.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше запропоновано новий метод визначення оптимального часу сушки деревної щепи в барабанній сушарці в залежності від параметрів сушильної установки на основі регресійних залежностей отриманих із експериментальних даних.

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних положень розроблено програмні і апаратні засоби, зокрема:

- розроблені структурна та принципова електричні схеми системи автоматизованого електропривода;
- створено математичну модель визначення оптимального часу сушіння в барабанному сушильному апараті;

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів під час доведення наукових положень, строгим виведенням аналітичних співвідношень, порівнянням результатів, отриманих за допомогою розроблених у роботі методів, з відомими, та збіжністю результатів математичного моделювання з результатами, що отримані під час практичної апробації.

Апробація результатів роботи.

Основні положення й результати досліджень доповідалися й обговорювалися на науково-технічній конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (МН-2019).

1 КОРОТКА ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОГО МЕХАНІЗМУ І РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ

Сьогодні ДСП (рисунок 1.1) – найбільш поширений при меблевому виробництві матеріал і будівництві. Незаперечні достоїнства ДСП – легкість обробки і економічність, висока механічна міцність, добре зберігає свою форму в умовах змінної вологості. Вироби з ДСП відрізняються привабливим зовнішнім виглядом, простотою в експлуатації і набагато меншою вартістю в порівнянні з аналогічними виробами, виготовленими з цілісних пиломатеріалів [6].



Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд плити ДСП

Технологічний процес виробництва ДСП можна розділити на такі етапи:

- підготовку сировини, яка складається з операцій приготування і подрібнення стружки, її сушки і сортування;
- приготування синтетичного клею і нанесення його на поверхню стружки;
- утворення рівномірного шару з деревинної і проклеєної стружки, його прогрівання, пресування і обрізання [5, 7].

Розглянемо детально етап приготування сировини. Для виробництва ДСП може бути використано неділова сировина різних порід, а також відходи деревообробних і лісопильних підприємств. Сировину у вигляді обкорованих обаполків, рейок і обрізків розрізають на заготовки довжиною

1 м, які поступають на спеціальний теплий басейн для гідротермічної обробки. Після цього їх розрізають на відрізки завдовжки 0,5 м і подають на спеціальні верстати, які зрізують стружку паралельно волокнам деревини. Далі стружка проходить через спеціальні млини, де вона подрібнюється, стає гладшою, дрібнішою і поступає в бункери. Туди ж поступає стружка від деревообробних цехів, якщо вона не потребує додаткового подрібнення. З бункера стружка подається пневматичним транспортером на сушильну установку. Суха стружка потрапляє на сортувальну установку, де відділяється некондиційна стружка, яка повертається в млин для додаткового подрібнення, а кондиційна стружка подається в бункер сухої стружки [7].

Слід відзначити, що вологість вихідної сировина становить 60 – 120 % залежно від способів її доставки, тривалості і умов зберігання на складі тощо. Вологість же стружки перед змішуванням з клеючою речовиною повинна бути в межах: зовнішніх і проміжних шарів 3 – 6 %, для внутрішнього шару 2 – 4 %. Останнім часом на багатьох підприємствах стружку висушують до 1 – 3 % незалежно від її призначення [5].

Основним елементом сушильної установки є сушильний барабан (рисунок 1.2), де стружка підсушується в потоці нагрітої газоповітряної суміші (сушильного агента), що забезпечує інтенсивний теплообмін між сушильним агентом та матеріалом, а відповідно, і високу продуктивність [5].

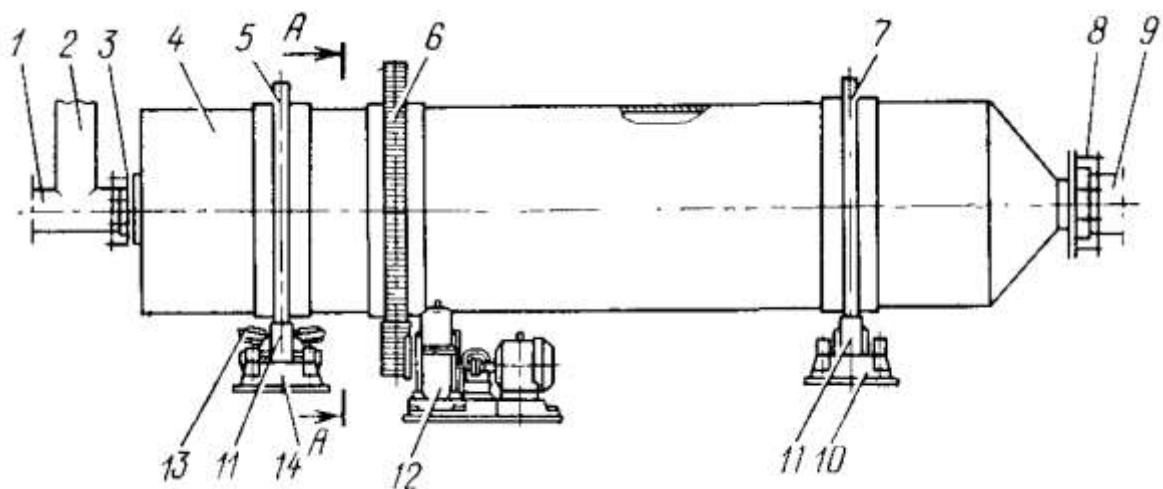


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд сушильного барабану

На рисунку 1.2: 1 – газохід; 2 – трубопровід для завантаження вологої стружки; 3, 8 – плаваючі торцеві ущільнення; 4 – корпус (барабан); 5, 7 – бандажі; 6 – зубчастий вінець; 9 – трубопровід виходу сушильного агента з сухою стружкою; 10, 14 – опорні роликові станції; 11 – опорні ролики; 12 – приводна станція; 13 – упорний ролик.

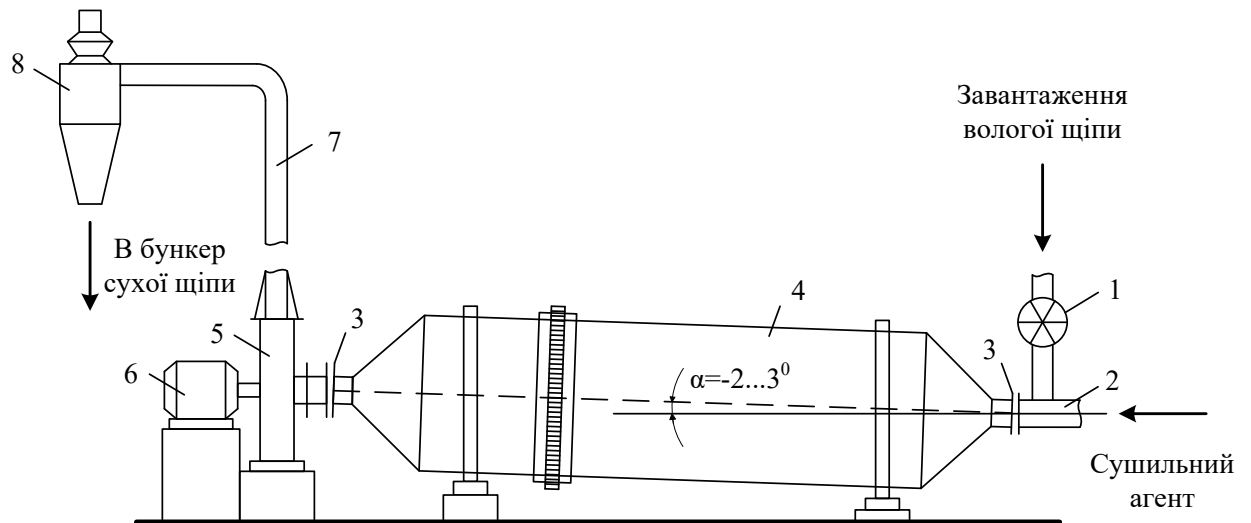


Рисунок 1.3 – Робота сушильного барабану «Прогрес»

На рисунку 1.3: 1 – роторний механізм; 2 – газопровід; 3 – плаваюче торцеве ущільнення; 4 – корпус (барабан); 5 – вентилятор; 6 – електродвигун; 9 – трубопровід пневмотранспортної установки; 8 – циклон.

Робота барабанної сушки полягає в наступному (рисунок 1.3). Паливні гази температурою 900 – 1000 °С, які утворюються в загальній або індивідуальній топці, потрапляють в камеру змішувача, де змішуються зі свіжим повітрям для зниження температури до 200 – 600 °С. Отриманий сушильний агент по газопроводу 2 поступає в сушильний барабан 4. Волога стружка роторним механізмом 1 завантажується в газопровід 2, де захоплюється сушильним агентом і прямує в барабан 4. Роторний механізм 1 для завантаження вологої стружки повинен бути виконаний з максимально можливою герметичністю корпусу, що дозволить звести до мінімуму (не

більше 5 – 8 %) підсос свіжого холодного повітря в сушильний барабан. У газопроводі 2 і на початку сушильного барабана сушильний агент температурою до 550°C зустрічається з холодною і вологою стружкою, відбувається інтенсивний тепло- і масообмін, внаслідок чого по мірі просування до вивантажувального кінця температура сушильного агента і вологість стружки інтенсивно зменшуються [5].

Швидкість проходження стружки через барабан визначається величиною нахилу і частотою обертання барабана, швидкістю руху сушильного агента. Завдяки негативному куту нахилу коефіцієнт заповнення барабана висушуваним матеріалом підвищується до 18 – 35 %, збільшується тривалість перебування стружки в барабані. Цим досягається більш повне спрацьовування сушильного агента, що дозволяє підвищити його температуру на вході в барабан і зменшити на виході. При цьому досягається різке (у 2 – 4 рази) підвищення продуктивності сушильного барабана і забезпечується більш рівномірна вологість деревних частинок різних фракцій [5].

Сушильний барабан працює в тривалому режимі, тому для його приводу використовують електродвигуни S1 закритого виконання із зовнішнім обдувом, які призначені для експлуатації в закритих приміщеннях з високою температурою навколишнього середовища та підвищеною запиленістю.

Кінематична схема механізму приводу сушильного барабану приведена на рисунку 1.4.

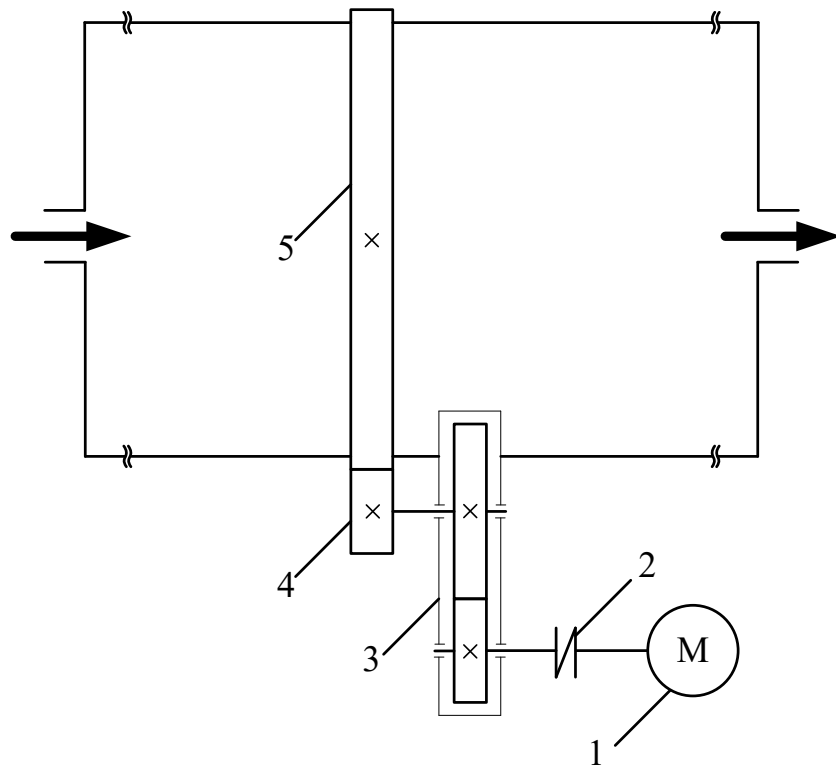


Рисунок 1.4 – Кінематична схема механізму приводу сушильного барабану

На рисунку 1.1: 1 – ходові колеса; 2 – електродвигун; 3 – гальмівний шків; 4 – редуктор.

Згідно проведеного аналізу можна припустити, що для приводу механізму переміщення вантажного візка мостового крану можуть бути застосовані такі системи електричного приводу: РКС-ДПС; РКС-АД з ФР; ТП-ДПС; ТРН-АД; ПЧ-АД.

2 РОЗРАХУНОК ПРИВЕДЕНИХ СТАТИЧНИХ МОМЕНТІВ І ТАХОГРАМИ РУХУ РОБОЧОГО ОРГАНУ ВИРОБНИЧОГО МЕХАНІЗМУ

2.1 Розрахунок основних величин

Загальне передаточне число механізму:

$$i_0 = \frac{D_{\text{шб}}}{D_{\text{пш}}} \cdot i, \quad (2.1)$$

$$i_0 = \frac{2,3}{0,16} \cdot 13,4 \approx 192,625.$$

Номінальна кутова швидкість барабану:

$$\omega_{\text{б. ном}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot n_{\text{б. ном}}}{60}, \quad (2.2)$$

$$\omega_{\text{б. ном}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 5}{60} = 0,524 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальна кутова швидкість двигуна:

$$\omega_{\text{дв. ном}} = \omega_{\text{б. ном}} \cdot i_0 \text{ (с}^{-1}\text{)}, \quad (2.3)$$

$$\omega_{\text{дв. ном}} = 0,524 \cdot 192,625 = 100,858 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Номінальна швидкість обертання двигуна:

$$n_{\text{дв. ном}} = \frac{30 \cdot \omega_{\text{дв. ном}}}{\pi}, \quad (2.4)$$

$$n_{\text{дв. ном}} = \frac{30 \cdot 100,858}{\pi} = 963,125 \text{ (об/хв)}.$$

Номінальна лінійна швидкість на периферії сушильного барабану:

$$V_{\text{пб. ном}} = \omega_{\text{б. ном}} \cdot \frac{D_{\text{б}}}{2}, \quad (2.5)$$

$$V_{\text{пб. ном}} = 0,524 \cdot \frac{2,2}{2} = 0,576 \text{ (м/с)}.$$

Допустиме кутове прискорення двигуна:

$$\varepsilon_{\text{дв}} = \frac{2 \cdot a \cdot i_0}{D_{\text{б}}}, \quad (2.6)$$

$$\varepsilon_{\text{дв}} = \frac{2 \cdot 0,2 \cdot 192,625}{2,2} = 35,023 \text{ (рад/с}^2\text{)}.$$

Номінальна маса стружки в барабані:

$$m_{\text{ном}} = \gamma_{\text{стр}} \cdot k_{\text{зап}} \cdot V_{\text{б}}, \quad (2.7)$$

$$m_{\text{ном}} = 300 \cdot 0,3 \cdot 38 = 3420 \text{ (кг)}.$$

2.2 Тахограма руху робочого органу виробничого механізму

Оскільки виробничий процес має безперервний характер, то це означає, що сушильний барабан та відповідно і його електропривод працюють в тривалому режимі роботи. В зв'язку з цим розрахує лише час роботи привода при пуску та гальмуванні сушильного барабану, які приймаємо рівними між собою:

$$t_{\text{п}} = t_{\text{г}} = \frac{V_{\text{пб. ном}}}{a}, \quad (2.8)$$

$$t_{\text{п}} = t_{\text{г}} = \frac{0,576}{0,2} = 2,88 \text{ (с)}.$$

2.3 Розрахунок приведених статичних моментів виробничого механізму

В загальному випадку опір обертанню барабану в усталеному режимі роботи визначається:

- тертям в підшипниках опорних роликів;
- тертям кочення опорний роликів по площині бандажів сушильного барабану

- тертям в підшипниках упорних роликів. Оскільки значення кута нахилу сушильного барабану становить $\alpha = -3^\circ$, то відповідний момент опору є надто малим (порядку 10^{-3}). У зв'язку з цією обставино дану складову можна не брати до уваги.

Статичний момент в режимі холостого ходу приведений до валу двигуна:

$$M_{c_{xx}} = \frac{m_{\delta} \cdot g \cdot \frac{(\mu \cdot d_{\text{ц}} + 2 \cdot f)}{D_p} \cdot R_{\delta}}{i_0 \cdot \eta_{xx}}, \quad (2.9)$$

де g – прискорення вільного падіння ($g = 9,81 \text{ м/с}^2$);

R_{δ} – радіус барабану ($R_{\delta} = 1,1 \text{ м}$).

$$M_{c_{xx}} = \frac{5000 \cdot 9,81 \cdot \frac{(0,08 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,002)}{0,1} \cdot 1,1}{192,625 \cdot 0,75} = 23,902 \text{ (Н}\cdot\text{м)},$$

Статичний момент в режимі номінального навантаження приведений до валу двигуна:

$$M_{c_{\text{нав}}} = \frac{(m_{\delta} + m_{\text{ном}}) \cdot g \cdot \frac{(\mu \cdot d_{\text{ц}} + 2 \cdot f)}{D_p} \cdot R_{\delta}}{i_0 \cdot \eta_{\text{ном}}}, \quad (2.10)$$

$$M_{c_{\text{наб}}} = \frac{(5000 + 3420) \cdot 9,81 \cdot \frac{(0,08 \cdot 0,03 + 2 \cdot 0,002)}{0,1} \cdot 1,1}{192,625 \cdot 0,85} = 35,516 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

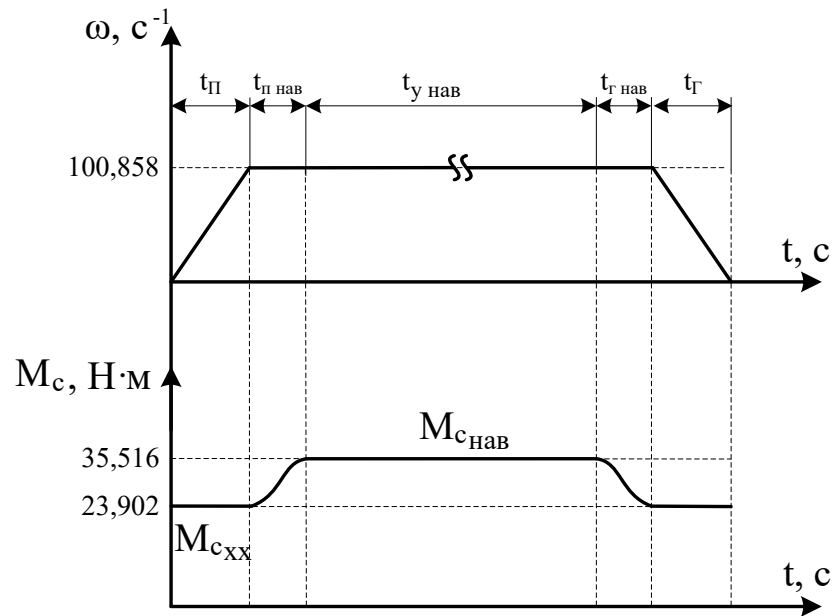


Рисунок 2.1 – Тахограма та статичні моменти механізму приводу сушильного барабану

Розраховано та побудовано тахограму сушильного барабану, розраховано моменти статичного опору.

3 ПОПЕРЕДНІЙ РОЗРАХУНОК ПОТУЖНОСТІ ПРИВІДНОГО ДВИГУНА

Оскільки сушильний барабан працює в тривалому режимі S1, що обумовлено безперервним характером технологічного процесу, то розрахунок потужності приводного двигуна необхідно здійснювати для режиму номінального завантаження:

$$P_N = M c_{\text{нав}} \cdot \omega_{\text{дв}}, \quad (3.1)$$

$$P_N = 35,516 \cdot 100,858 \approx 3582 \text{ (Вт)}.$$

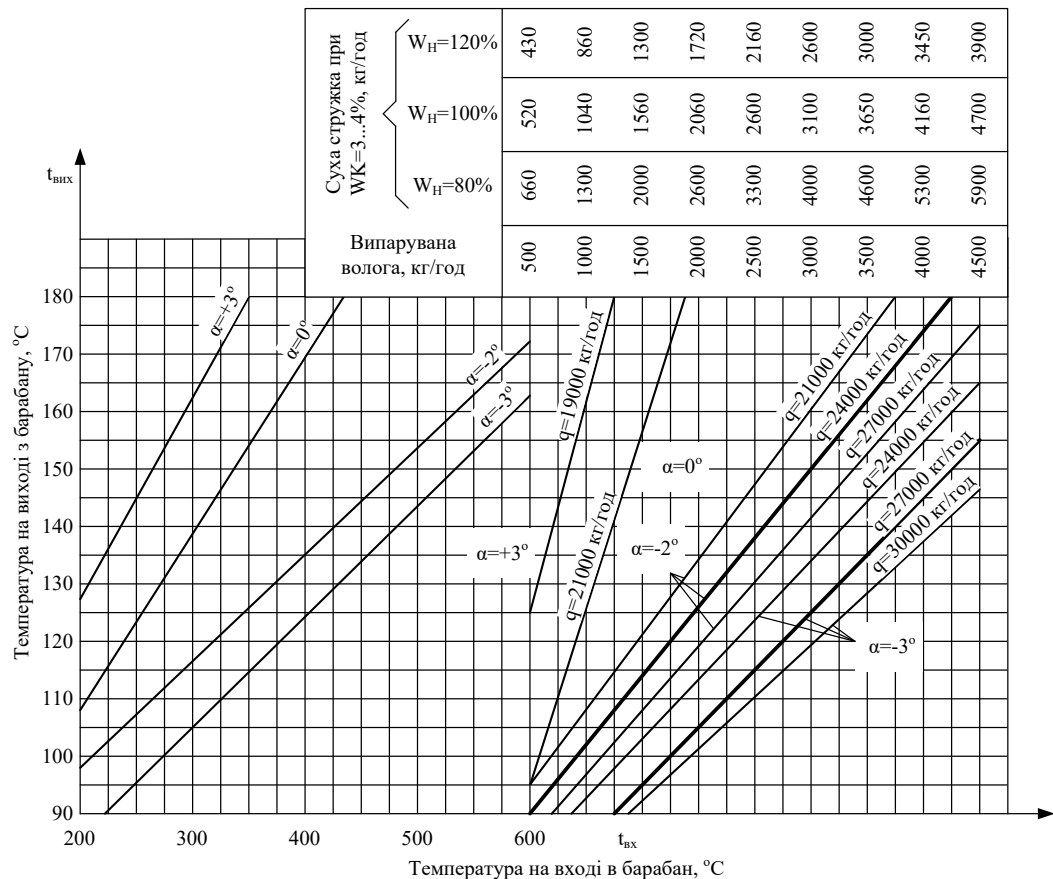


Рисунок 3.1 – Номограма для визначення продуктивності сушильного барабану

Залежно від температури сушильного агента або необхідної продуктивності (рисунок 3.1) виникає необхідність регулювання швидкості

сушильного барабану вниз від основної, а отже погіршуються умови охолодження приводного двигуна, що може зумовити його перегрів при тривалій роботі.

Дану обставину врахуємо підвищенням значенням коефіцієнту запасу:

$$P_{\text{роз}} = k_3 \cdot M c_{\text{нав}} \cdot \omega_{\text{дв}} = k_3 \cdot P_N, \quad (3.2)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу ($k_3 = 1,2 \dots 1,4$).

$$P_N = (1,2 \dots 1,4) \cdot 3582 = 4298 \dots 5.015 \text{ (Вт)} \approx 4,3 \dots 5 \text{ (кВт)}.$$

Здійснено попередній розрахунок потужності приводного двигуна. Згідно стандартного ряду потужностей найближчою більшою є потужність 5,5 кВт.

4 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ

Згідно даних розділу 1 відомо, що для приводу сушильного барабану можуть бути застосовані такі системи електричного приводу: РКС-ДПС; РКС-АД з ФР; ТП-ДПС; ТРН-АД; ПЧ-АД.

З метою вибору оптимального варіанту з позиції економічної ефективності (капітальних затрат та терміну окупності) здійснимо їх порівняння згідно критерію приведених затрат:

$$Z_i = E_n \cdot K_i + C_i, \quad (4.1)$$

де i – кількість розглянутих варіантів;

E_n – нормативний коефіцієнт економічної ефективності (приймається 0,17 для всіх галузей промисловості), 1/рік;

K_i – капітальні затрати, грн.;

C_i – загальні відрахування, грн./рік.

Для прикладу, здійснимо розрахунок для системи ПЧ-АД.

Капітальні затрати:

$$K = D + SK, \quad (4.2)$$

де D – вартість приводного двигуна ($D = 4150$ грн.);

SK – вартість системи керування ($SK = 8345$ грн.).

$$K = 4150 + 8345 = 12495 \text{ (грн.)}$$

Річні капітальні затрати:

$$K_{\text{річні}} = E_n \cdot K, \quad (4.3)$$

$$K_{\text{річні}} = 0,17 \cdot 12495 = 2124,2 \text{ (грн./рік)}$$

Загальні додаткові відрахування:

$$C = C_A + C_D + C_P + C_O, \quad (4.4)$$

де C_{Ai} – амортизаційні відрахування, грн./рік;

C_{Pi} – відрахування на ремонт, грн./рік;

C_{Di} – додаткові відрахування, грн./рік;

C_{Oi} – відрахування на обслуговування, грн./рік.

Величина амортизаційних відрахувань в середньому приймається 10% від капітальних затрат:

$$C_A = 0,1 \cdot K, \quad (4.5)$$

$$C_A = 0,1 \cdot 12495 = 1249,5 \text{ (грн./рік)}.$$

Відрахування на ремонт електрообладнання приймають в розрахунку 2% від капітальних затрат:

$$C_P = 0,02 \cdot K, \quad (4.6)$$

$$C_P = 0,02 \cdot 12495 = 249,9 \text{ (грн./рік)}.$$

Додаткові відрахування враховують втрати енергії в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи:

$$C_D = \Delta P_{\Sigma} \cdot c, \quad (4.7)$$

де ΔP_{Σ} – сумарні втрати потужності в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи, (кВт·год)/рік;

c – вартість для промисловості одного кіловата потужності за годину, грн./(кВт·год).

Сумарні втрати потужності в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи:

$$\Delta P_{\Sigma} = (\Delta P_{\text{ном}} + \Delta P_{\text{перех.}}) \cdot k_3 \cdot \Phi, \quad (4.8)$$

де $\Delta P_{\text{ном}}$ – втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи, кВт;
 $\Delta P_{\text{перех.}}$ – додаткові втрати потужності у перехідних режимах роботи, кВт;
 k_3 – коефіцієнт завантаження по потужності (приймають рівним 0,8);
 Φ – дійсний фонд часу роботи системи електропривода за рік, год/рік.

Втрати потужності в двигуні в номінальному режимі роботи:

$$\Delta P_{\text{ном}} = P_{\text{ном}} \cdot \frac{1 - \eta_{\text{ном}}}{\eta_{\text{ном}}}, \quad (4.9)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність електричного двигуна ($P_{\text{ном}} = 5,5$ кВт);
 $\eta_{\text{ном}}$ – номінальний ККД двигуна ($\eta_{\text{ном}} = 0,85$).

$$\Delta P_{\text{ном}} = 5,5 \cdot \frac{1 - 0,85}{0,85} = 0,9706 \text{ (кВт)}.$$

Додаткові втрати потужності в двигуні у перехідних режимах роботи приймають рівними 10% від номінальних:

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot \Delta P_{\text{ном}}, \quad (4.10)$$

$$\Delta P_{\text{перех.}} = 0,1 \cdot 0,9706 \approx 0,0971 \text{ (кВт)}.$$

Дійсний фонд часу роботи системи електричного привода за рік:

$$\Phi = \varepsilon \cdot Z_{\text{р.д.}} \cdot Z_{\text{р.з.}} \cdot t_{\text{р.з.}}, \quad (4.11)$$

де ε – відносна тривалість ввімкнення згідно тахограми ($\varepsilon = 0,5$);
 $Z_{\text{р.д.}}$ – кількість робочих днів за рік ($Z_{\text{р.д.}} = 250$ 1/рік);
 $Z_{\text{р.з.}}$ – кількість робочих змін ($Z_{\text{р.з.}} = 1$);
 $t_{\text{р.з.}}$ – тривалість робочої зміни ($t_{\text{р.з.}} = 8$ год).

$$\Phi = 0,5 \cdot 250 \cdot 1 \cdot 8 = 1000 \text{ (год/рік)}.$$

Сумарні втрати потужності в двигуні у стаціонарних та перехідних режимах роботи згідно формули (4.8):

$$\Delta P_{\Sigma} = (0,9706 + 0,0971) \cdot 0,8 \cdot 1000 = 2011 \text{ ((кВт}\cdot\text{год)/рік)}.$$

Додаткові відрахування згідно формули (4.7):

$$C_{\text{Д}} = 2011 \cdot 2,1 = 5022 \text{ (грн./рік)}.$$

Відрахування на обслуговування електрообладнання приймають рівним 5% від суми відрахувань на амортизацію, ремонт та додаткових затрат:

$$C_{\text{О}} = 0,05 \cdot (C_{\text{А}} + C_{\text{Д}} + C_{\text{Р}}). \quad (4.12)$$

$$C_{\text{О}} = 0,05 \cdot (1249,5 + 5022,2 + 249,9) = 326,081 \text{ (грн./рік)}.$$

Загальні додаткові відрахування згідно формули (4.4):

$$C = 1249,5 + 5022,2 + 249,9 + 326,081 = 6847,7 \text{ (грн./рік)}.$$

Приведені затрати згідно формули (4.1):

$$З = 0,17 \cdot 12495 + 6847,7 = 8971,8 \text{ (грн./рік)}.$$

Термін окупності:

$$T = \frac{K}{З}, \quad (4.13)$$

$$T = \frac{12495}{8971,8} \approx 1,39 \text{ (роки)}.$$

Для інших систем електричного приводу проведемо аналогічні розрахунки, результати розрахунків зведемо в порівняльну таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Порівняння таблиця

Показник	Система електричного привода				
	РКС-ДПС	РКС-АД з ФР	ТП-Д	ТРН-АД	ПЧ-АД
Вартість двигуна Д, грн.	10300	8250	10300	4150	4150
Вартість системи керування СК, грн.	4180	4510	5500	7513	8345
Капітальні затрати К, грн.	14480	12760	15800	11663	12495
Річні капітальні затрати $K_{річн}$, грн./рік	2461,6	2169,2	2686	1982,7	2124,2
Амортизаційні відрахування C_A , грн./рік	1448	1276	1580	1166,3	1249,5
Відрахування на ремонт C_P , грн./рік	289,6	255,2	316	233,26	249,9
Додаткові відрахування C_D , грн./рік	5022,2				
Відрахування на обслуговування C_O , грн./рік	337,991	327,671	345,91	321,089	326,081
Загальні відрахування C , грн./рік	7097,8	6881,1	7264,1	6742,9	6847,7
Приведені затрати Z , грн./рік	9559,4	9050,3	9950,1	8725,6	8971,8
Термін окупності Т, років	1,51	1,41	1,59	1,34	1,39

Для остаточно прийняття рішення щодо вибору системи електричного приводу здійснимо порівняння розглянути систем з позиції технічної ефективності.

Приводний двигун повинен бути розрахований на роботу в тривалому режимі роботи, а система керування – забезпечувати регулювання швидкості

та можливість комплексної автоматизації.

Використовувати двигуни постійного струму і системи побудовані на їх основі є недоцільним оскільки вони мають значні масо-габаритні показники порівняно з двигуна змінного струму і потребують значно більших витрат на обслуговування та ремонт.

АД з контактними кільцями і ФР в порівнянні з АД з КЗ ротором мають дещо більші масо-габаритні показники, більш дорогі, складніші за конструкцією, однак основна їх позитивна особливість полягає в можливості зменшення пускового струму (за допомогою реостата) при одночасному збільшенні пускового моменту. Оскільки пускові моменти в даному випадку не значні, то в даному випадку використання систем ЕП на базі АД з ФР є не виправданим. Окрім того, релейно-контакторна система керування передбачає лише ступінчасте регулювання швидкості та більш складна для включення її в сучасну автоматизовану систему.

Недоліком АД з КЗ ротором є великий пусковий струм, який у 5...7 разів перевищує струм двигуна при роботі в номінальному режимі. Однак при його використанні в системах ЕП типу ТРН-АД; ПЧ-АД цей недолік суттєво згладжується.

Система електричного приводу типу ТРН-АД широко розповсюджена через великий ККД, простоти в обслуговуванні і дозволяє реалізувати різні функції по керуванню і оптимізації режимів ЕП, а також може змінювати напрям швидкості АД, але має малий діапазон регулювання швидкості. Основним недоліком є зменшення критичного моменту при зниженні напруги живлення, а отже, зменшується і перевантажувальна здатність.

Система електричного приводу типу ПЧ-АД характеризується широким діапазоном регулювання швидкості, а отримані характеристики мають високу жорсткість з високими показниками і малими втратами. Сучасні ПЧ реалізують принцип відкритих систем, тому їх досить просто включити в системи комплексної автоматизації, що є суттєвою їх перевагою.

Незважаючи на те, що найбільш вигідним для застосування з економічної точки зору є система електричного приводу типу ТРН-АД, однак взявши до уваги такі показники як перевантажувальна здатність, надійність, зручність експлуатації та налагодження доцільно для приводу сушильного барабану використати систему ПЧ-АД.

5 ВИБІР ЕЛЕКТРОДВИГУНА ЗА ПОТУЖНІСТЮ І ШВИДКІСТЮ ОБЕРТАННЯ

Згідно розрахункових даних для приводу сушильного барабану вибираємо АД з КЗ ротором (таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Технічні дані приводного двигуна типу 4А132S6

Параметри	Значення
Номінальна потужність $P_{\text{ном}}$, кВт	5,5
Номінальна напруга $U_{\text{ном}}$, В	380
Номінальна швидкість обертання $n_{\text{ном}}$, об/хв	967
$\cos\varphi_{\text{ном}}$	0,8
Коефіцієнт корисної дії $\eta_{\text{ном}}$, %	85
Кратність пускового моменту $\lambda_{\text{м пуск}}$	2,0
Кратність максимального моменту $\lambda_{\text{м max}}$	2,5
Номінальний струм статора $I_{1 \text{ ном}}$, А	12,25
Кратність пускового струму $\lambda_{\text{I.пуск}}$, А	6,0
Момент інерції ротора $J_{\text{рот}}$, кг·м ²	0,04

Номінальний момент приводного двигуна:

$$M_{\text{ном}} = 9550 \cdot \frac{P_{\text{ном}}}{n_{\text{ном}}}, \quad (5.1)$$

$$M_{\text{ном}} = 9550 \cdot \frac{5,5}{967} = 54,317 \text{ (Н·м)}.$$

Номінальна кутова швидкість обертання приводного двигуна:

$$\omega_{\text{ном}} = 0,1047 \cdot n_{\text{ном}}. \quad (5.2)$$

$$\omega_{\text{ном}} = 0,1047 \cdot 967 = 101,245 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Пусковий момент двигуна:

$$M_{\text{пуск}} = \lambda_{m \text{ пуск}} \cdot M_{\text{ном}}, \quad (5.3)$$

$$M_{\text{пуск}} = 2,0 \cdot 54,317 = 108,634 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Максимальний момент двигуна:

$$M_{\text{max}} = \lambda_{m \text{ max}} \cdot M_{\text{ном}}, \quad (5.4)$$

$$M_{\text{max}} = 2,5 \cdot 54,317 = 135,794 \text{ (Н}\cdot\text{м)}.$$

Згідно розрахункових даних для приводу сушильного барабану попередньо вибрано АД з КЗ ротором типу 4А132S6 потужністю 5,5 кВт.

6 РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ ТА ПОБУДОВА НАВАНТАЖУВАЛЬНОЇ ДІАГРАМИ ЕЛЕКТРОПРИВОДА

Оскільки нормальний режим роботи сушильного барабану передбачає його пуск та зупинку без стружки в барабані, тобто в режимі холостого ходу, то розрахуємо приведений момент інерції для даного режиму:

$$J_{\text{пр. хх}} = 1,1 \cdot J_{\text{рот}} + J_{\text{ред}} + \frac{J_{\text{шш}}}{i^2} + \frac{J_{\text{б}}}{i_0^2}, \quad (6.1)$$

$$J_{\text{пр. хх}} = 1,1 \cdot 0,04 + 0,1 + \frac{0,05}{13,4^2} + \frac{5990}{192,625^2} = 0,306 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Динамічний момент при пуску (гальмуванні) в режимі холостого ходу:

$$M_{\text{д хх}} = J_{\text{пр. хх}} \cdot \varepsilon_{\text{дв}}, \quad (6.2)$$

$$M_{\text{д хх}} = 0,306 \cdot 35,023 = 10,707 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Приведені до валу двигуна статичні моменти на ділянках пуску і гальмування виробничого механізму:

- пуск в режимі холостого ходу:

$$M_{\Sigma \text{ п. хх}} = M_{\text{с хх}} + M_{\text{д хх}}, \quad (6.3)$$

$$M_{\Sigma \text{ п. хх}} = 23,902 + 10,707 = 34,609 \text{ (Н} \cdot \text{м)};$$

- гальмування в режимі холостого ходу:

$$M_{\Sigma \text{ г. хх}} = M_{\text{с хх}} - M_{\text{д хх}}, \quad (6.4)$$

$$M_{\Sigma \text{ г. хх}} = 23,902 - 10,707 = 13,195 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Навантажувальна діаграма привода приведена в додатку Б.

ПЕРЕВІРКА ВИБРАНОГО ДВИГУНА ЗА НАГРІВОМ, ПЕРЕВАНТАЖУВАЛЬНОЮ ЗДАТНІСТЮ ТА УМОВАМИ ПУСКУ

Оскільки двигун працює в режимі S1 і розрахунок його потужності здійснено для номінального режиму роботи, то здійснювати перевірку за нагрівом не має змісту, вона автоматично виконується.

Умова перевірки двигуна на перевантажувальну здатність:

$$M_{c_{\max}} \leq M_{\max}, \quad (7.1)$$

де $M_{c_{\max}}$ – максимальний момент згідно навантажувальної діаграми привода.

$$M_{c_{\max}} = M_{c_{\text{нав}}}, \quad (7.2)$$

$$35,516 \leq 135,794.$$

Отже, умова перевірки на перевантажувальну здатність виконується.

Умова перевірки двигуна за пусковими умовами:

$$M_{c_{\text{пуск}}} \leq k_u^2 \cdot M_{\text{пуск}}, \quad (7.3)$$

де $M_{c_{\text{пуск}}}$ – максимальний статичний пусковий момент згідно навантажувальної діаграми привода;

k_u – коефіцієнт, який враховує падіння напруги при пуску ($k_u = 0,9$).

$$M_{c_{\text{пуск}}} = M_{\Sigma \text{ п. хх}}, \quad (7.4)$$

$$34,609 \leq 0,9^2 \cdot 108,635,$$

$$34,609 \leq 87,994.$$

Отже, перевірки на пускові умови виконується.

Оскільки умови всіх перевірок виконуються, то двигун вибрано вірно.

РОЗРАХУНОК СТАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДНОГО ДВИГУНА

Для побудови природної механічної характеристики АД з КЗ ротором в діапазоні зміни ковзання:

- від 0 до S_k доцільно використати формулу Клоса:

$$M(S) = \frac{2 \cdot M_k \cdot (1 + a \cdot S_k)}{\frac{S}{S_k} + 2 \cdot a \cdot S_k + \frac{S_k}{S}}, \quad (8.1)$$

де M_k – критичний момент двигуна;

S – ковзання;

S_k – критичне ковзання;

- від S_k до 1 задовільні результати дає формула Чекунова:

$$M(S) = M_k \cdot \frac{2 + (S^2 + S_k^2) \cdot K_s}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}, \quad (8.2)$$

де K_s – розрахунковий коефіцієнт.

Всі необхідні параметри знайдемо з паспортних даних електродвигуна.

Критичний момент двигуна:

$$M_k = M_{\max} = 135,794 \text{ (Н}\cdot\text{м)}. \quad (8.3)$$

Синхронна кутова швидкість двигуна:

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1}{p}, \quad (8.4)$$

де f_1 – частота напруги живлення ($f_1 = 50$ Гц);

p – чило пар полюсів електричної машини ($p = 3$).

$$\omega_0 = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3} = 104,72 \text{ (с}^{-1}\text{)}.$$

Синхронна швидкість обертання двигуна:

$$n_0 = \frac{60 \cdot f_1}{p}, \quad (8.5)$$

$$n_0 = \frac{60 \cdot 50}{3} = 1000 \text{ (об/хв)}.$$

Номінальне ковзання:

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{n_0 - n_{\text{НОМ}}}{n_0}, \quad (8.6)$$

$$S_{\text{НОМ}} = \frac{1000 - 967}{1000} = 0,033.$$

Критичне ковзання:

$$S_k = S_{\text{НОМ}} \cdot (\lambda_{m \text{ max}} + \sqrt{\lambda_{m \text{ max}}^2 - 1}), \quad (8.7)$$

$$S_k = 0,033 \cdot (2,5 + \sqrt{2,5^2 - 1}) = 0,158.$$

Механічні втрати приймають рівними 5% від номінальної потужності:

$$P_{\text{МЕХ}} = 0,05 \cdot P_{\text{НОМ}}, \quad (8.8)$$

$$P_{\text{МЕХ}} = 0,05 \cdot 5,5 = 0,275 \text{ (кВт)} = 275 \text{ (Вт)}.$$

Розрахунковий активний опір ротора приведенний до статора:

$$R'_p = \frac{1}{3} \cdot \frac{P_{\text{НОМ}} + P_{\text{МЕХ}}}{I_{\text{НОМ}}^2 \cdot \frac{1 - S_{\text{НОМ}}}{S_{\text{НОМ}}}}, \quad (8.9)$$

$$R'_p = \frac{1}{3} \cdot \frac{5500 + 275}{12,25^2 \cdot \frac{1 - 0,033}{0,033}} = 0,438 \text{ (Ом)}.$$

Номинальна фазна напруга:

$$U_{\phi.\text{НОМ}} = \frac{U_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3}}, \quad (8.10)$$

$$U_{\phi.\text{НОМ}} = \frac{380}{\sqrt{3}} = 219,393 \text{ (В)}.$$

Розрахунковий активний опір статора:

$$R_c = \frac{U_{\phi.\text{НОМ}} \cdot \cos\varphi \cdot (1 - \eta_{\text{НОМ}})}{I_{\text{НОМ}}} - C^2 \cdot R'_p - \frac{P_{\text{МЕХ}}}{3 \cdot I_{\text{НОМ}}^2}, \quad (8.11)$$

де C – розрахунковий коефіцієнт ($C = 1,025$).

$$R_c = \frac{219,393 \cdot 0,8 \cdot (1 - 0,85)}{12,25} - 1,025^2 \cdot 0,438 - \frac{275}{3 \cdot 12,25^2} = 1,078 \text{ (Ом)}.$$

Коефіцієнт a :

$$a = \frac{R_c}{R'_p}, \quad (8.12)$$

$$a = \frac{1,078}{0,438} = 2,463.$$

Коефіцієнт K_s :

$$K_s = \frac{\frac{\lambda_{m \text{ пуск}}}{\lambda_{m \text{ max}}} \cdot \left(\frac{1}{S_k} + S_k \right) - 2}{1 - S_k^2}, \quad (8.13)$$

$$K_s = \frac{\frac{2,0}{2,5} \cdot \left(\frac{1}{0,158} + 0,158 \right) - 2}{1 - 0,158^2} = 3,268.$$

Вираз (8.1) набуде вигляду:

$$M(S) = \frac{2 \cdot 135,794 \cdot (1 + 2,463 \cdot 0,158)}{\frac{S}{0,158} + 2 \cdot 2,463 \cdot 0,158 + \frac{0,158}{S}}.$$

Вираз (8.2) набуде вигляду: $M(S) = M_k \cdot \frac{2 + (S^2 + S_k^2) \cdot K_s}{\frac{S}{S_k} + \frac{S_k}{S}}$

$$M(S) = 135,794 \cdot \frac{2 + (S^2 + 0,158^2) \cdot 3,268}{\frac{S}{0,158} + \frac{0,158}{S}}.$$

Рівняння, яке описує залежність швидкості обертання двигуна від ковзання має вигляд:

$$\omega(S) = \omega_0 \cdot (1 - S). \quad (8.14)$$

Для побудови механічної характеристики за рівняннями (8.1), (8.2) та (8.14) скористаємось ППП Mathcad.

На рисунку 8.1 представлено механічні характеристики АД з КЗ побудовані окремо за формулами Клоса (характеристика 1) та Чекунова (характеристика 2).

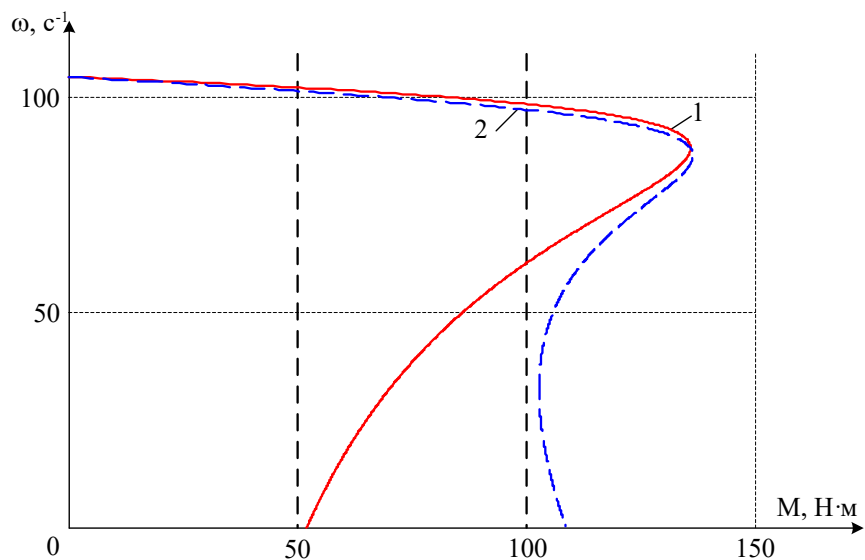


Рисунок 8.1 – Природні механічні характеристики АД з КЗ ротором побудовані окремо за формулами Клоса (1) та Чекунова (2)

Як видно із рисунка 8.1, жодна з наведених характеристик не дає задовільних результатів на всьому діапазоні зміни ковзання від 0 до 1. Задовільний результат отримуємо при їх спільному розв'язанні (рисунок 8.2).

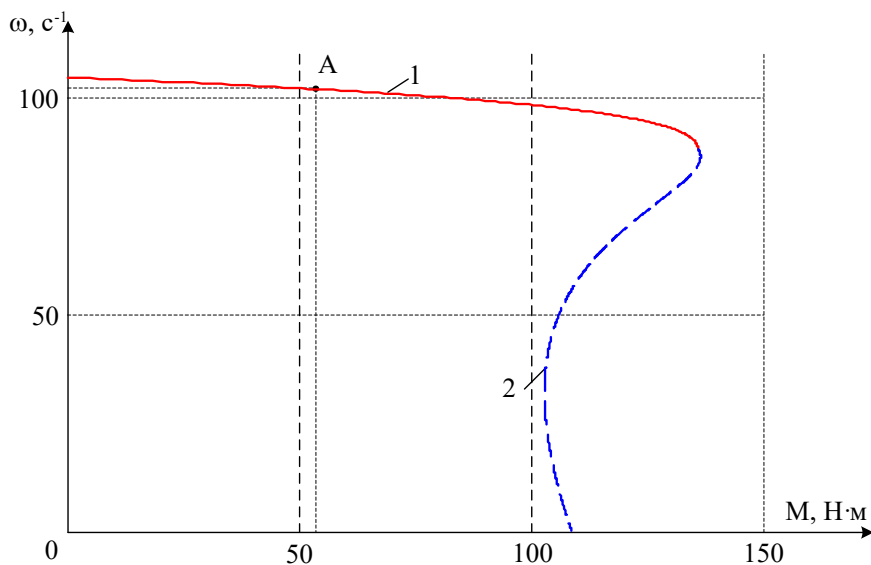


Рисунок 8.2 – Природна механічна характеристики АД з КЗ ротором побудована спільно за формулами Клоса (1) та Чекунова (2)

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПРИВОДА

9.1 Розробка структурної схеми

В якості базової було обрано двоконтурну систему підпорядкованого керування із зворотними зв'язками за швидкістю та струмом (рисунку 9.1).

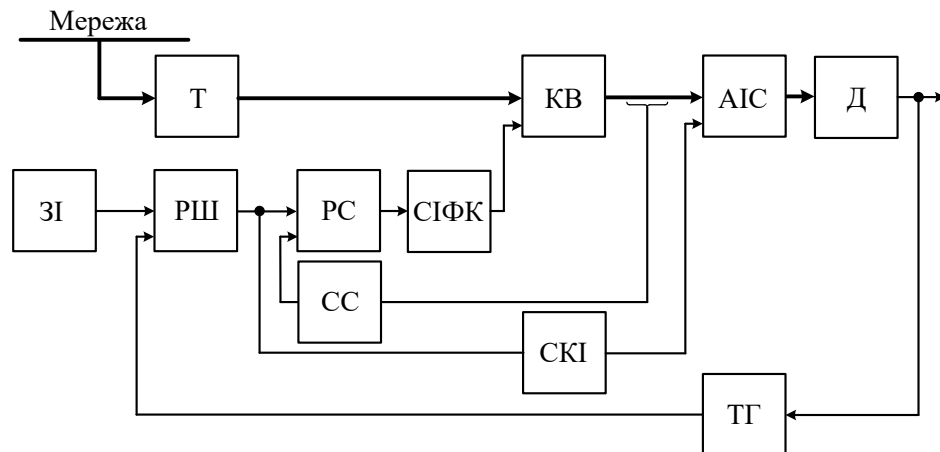


Рисунок 9.1 – Схема структурна системи ЕП

Система ЕП отримує живлення від мережі змінного струму 380 В через роздільний трансформатор (Т), робоча напруга з виходу якого прикладається через керований випрямляч (КВ) та автономний інвертор струму (АІС) до приводного двигуна (Д).

Задатчик інтенсивності (ЗІ) призначений для формування сигналу керування відповідно до вимог технологічного процесу. Зворотній зв'язок за швидкістю реалізовано за допомогою тахогенератора (ТГ), який забезпечує перетворення швидкості обертання у відповідний електричний сигнал, що подається на вхід регулятор швидкості (РШ), вихідний сигнал якого подається на вхід системи керування інвертором (СКІ) та регулятора струму (РС), який разом з сенсором струму (СС) формує відповідний контур регулювання.

Випрямляч (КВ) керується системою імпульсно-фазового керування відповідно до сигналу на виході регулятора струму (РС).

9.2 Побудова функціональної схеми

На рисунку 9.2 наведена функціональна схема електропривода за системою ПЧ-АД з автономним інвертором струму.

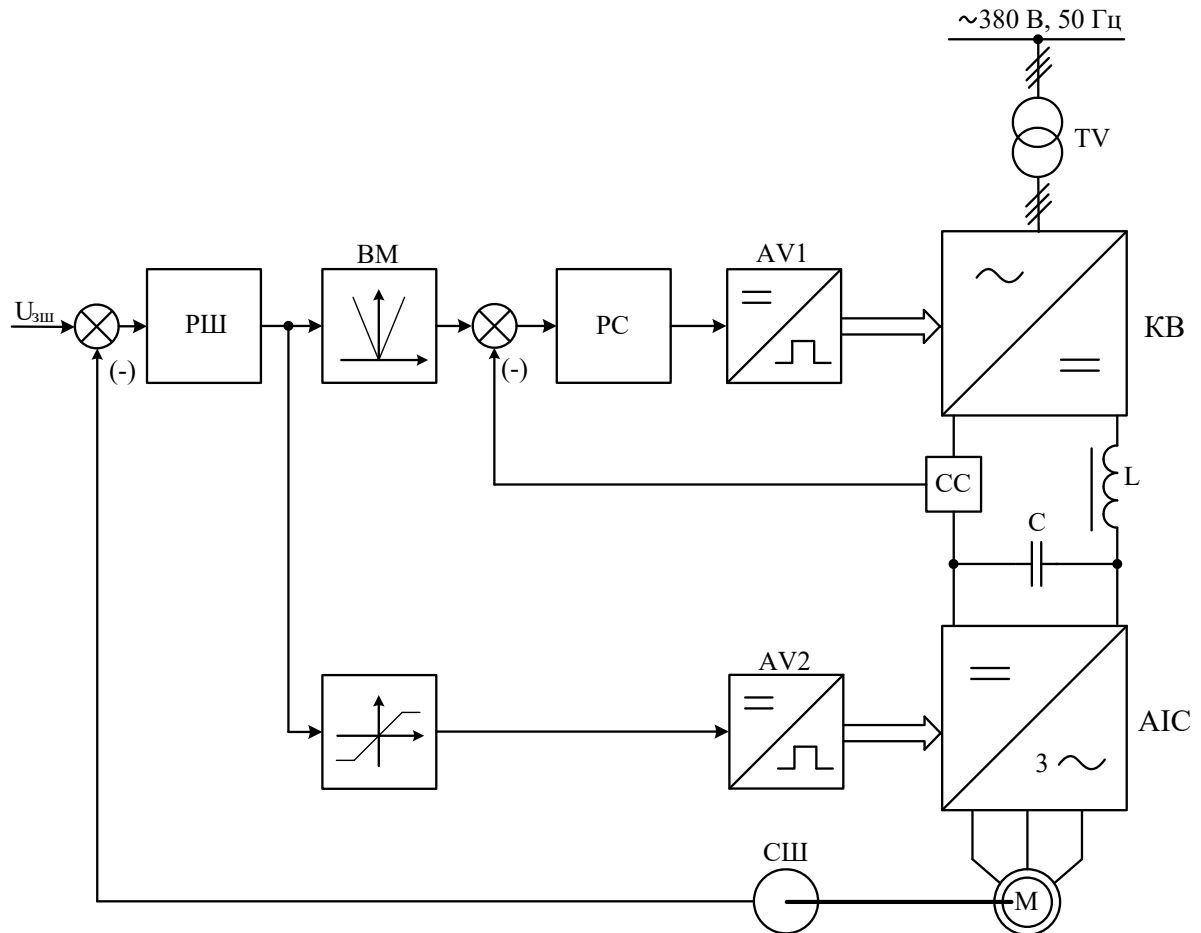


Рисунок 9.2 – Функціональна схема електропривода за системою ПЧ-АД з автономним інвертором струму

Система керування виконана двоконтурною з регуляторами швидкості (РШ) та струму (РС). Сигнал зворотного зв'язку за струмом реалізовано за допомогою сенсора струму (СС), який знаходиться ланці постійного струму. Регулятор швидкості забезпечує формування сигналу керування контуру струму та інвертора AV2. Сенсор зворотного зв'язку за швидкість (СШ) забезпечує формування контуру швидкості.

Застосування системи зворотних зв'язків забезпечує бажану статичну точність швидкості обертання та динаміку.

9.3 Розрахунок і вибір елементів силового кола

Оскільки потрібно здійснювати регулювання частоти обертання двигуна шляхом зміни частоти мережі, то виберемо перетворювач частоти з проміжною ланкою постійного струму (рисунок 9.3).

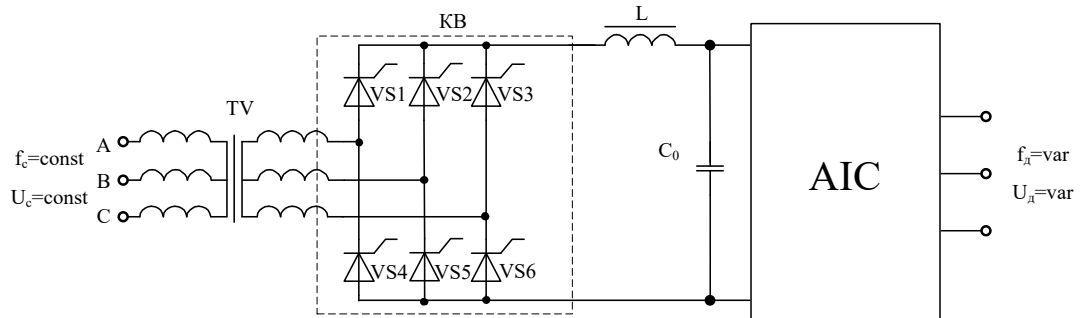


Рисунок 9.3 – Схема перетворювача частоти на базі автономного інвертора струму

Змінний струм фіксованої частоти мережі випрямляється за допомогою керованого трифазного мостового випрямляча KB. Зменшення пульсацій випрямленої напруги забезпечує LC контур-фільтр. Випрямлена напруга подається на автономний інвертор AIC, який забезпечує зворотне її перетворення. При цьому на виході отримуємо регульовані частоту та напругу або струм. Функцію регулювання вихідної напруги виконує інвертор, а саме він формує на виході періодичну криву напруги, а форма струму визначається властивостями навантаження.

9.3.1 Розрахунок і вибір тиристорів

Значення випрямленої напруги на виході керованого випрямляча [8]

$$U_d = K_{y_i} \cdot K_C \cdot K_\alpha \cdot U_H, \quad (9.1)$$

де K_{y_i} – коефіцієнт схеми інвертування ($K_y = 1,1$);

K_C – коефіцієнт запасу по напрузі ($K_C = 1,05 \dots 1,1$);

K_α – коефіцієнт, що враховує неповне відкриття тиристорів ($K_\alpha = 1,17$);

U_H – номінальна напруга живлення двигуна ($U_H = 380$ В),

$$U_d = 1,104 \cdot 1,1 \cdot 1,17 \cdot 380 \approx 540 \text{ (В)}.$$

Лінійна напруга на вході КВ:

$$U_{2л} = K_{УВ} \cdot K_R \cdot U_d, \quad (9.2)$$

де $K_{УВ}$ – коефіцієнт схеми випрямлення ($K_{УВ} = 0,74$);

K_R – коефіцієнт, падіння напруги в тиристорах ($K_R = 1,05$);

U_H – номінальна напруга живлення двигуна ($U_H = 380$ В),

$$U_{2л} = 0,74 \cdot 1,05 \cdot 540 = 419,58 \approx 420 \text{ (В)}.$$

Найбільше значення зворотної напруги на вентилі АІС:

$$U_{зв.маx АІС} = k_3 \cdot k_{посл} \cdot \sqrt{2} \cdot U_H, \quad (9.3)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу по напрузі ($k_3 = 1,3$);

$k_{посл}$ – коефіцієнт, нерівномірності напруги тиристорів ($k_{посл} = 1$),

$$U_{зв.маx АІС} = 1,3 \cdot 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 380 = 698,6 \approx 700 \text{ (В)}.$$

Середнє значення струму через вентиль АІС:

$$I_{АІС} = \frac{k_i \cdot I_H}{k_{охл}}, \quad (9.4)$$

де k_i – коефіцієнт, збільшення струму в перехідному процесі ($k_i = 2$);

$k_{охл}$ – коефіцієнт охолодження ($k_{охл} = 0,5$),

$$I_{АІС} = \frac{2 \cdot 12,25}{0,5} = 49 \text{ (А)}.$$

Максимальна величина зворотної напруги на тиристорі КВ:

$$U_{зв.ма\text{X KB}} = k_3 \cdot k_{\text{посл}} \cdot \sqrt{2} \cdot U_{2л}, \quad (9.5)$$

де k_3 – коефіцієнт запасу по напрузі ($k_3 = 1,3$);

$k_{\text{посл}}$ – коефіцієнт, нерівномірності напруги між тиристорами ($k_{\text{посл}} = 1$),

$$U_{зв.ма\text{X KB}} = 1,3 \cdot 1 \cdot \sqrt{2} \cdot 420 = 772,2 \text{ (В)}.$$

Середнє значення струму через вентиль KB:

$$I_{\text{KB}} = \frac{k_i \cdot I_{\text{H}}}{m \cdot k_{\text{охл}}}, \quad (9.6)$$

де m – кількість фаз мережі живлення ($m = 3$),

$$I_{\text{KB}} = \frac{2 \cdot 12,25}{3 \cdot 0,35} \approx 23 \text{ (А)}.$$

Із каталогу [8] вибираємо тиристор типу T142 – 50, дані якого занесені до таблиці 9.1.

Таблиці 9.1 – Технічні дані тиристора T142 – 50

Параметр	Значення
Постійна і максимальна зворотні напруги $U_{зв.п}$, $U_{зв.,ма\text{X}}$, В	1300-2000
Постійна і максимальна напруги в закритому стані $U_{зс.п}$, $U_{зс.ма\text{X}}$, В	1300-2000
Імпульсний струм у відкритому стані $I_{\text{вс.і}}$, А	78
Середній струм у відкритому стані $I_{\text{вс.ср.}}$, А	50
Імпульсна напруга та напруга у відкритому стані $U_{\text{вс.і}}$, $U_{\text{вс.}}$, В	2,1
Невідпираюча постійна напруга управління $U_{\text{у.нвід}}$, В	0,3
Відпираючий постійний струм управління $I_{\text{у.від}}$, мА	150
Постійна відпираюча напруга управління $U_{\text{у.,від}}$, В	4
Час ввімкнення $t_{\text{ввім}}$, мкс	20
Час вимкнення $t_{\text{вимк}}$, мкс	63-250

9.3.2 Розрахунок і вибір силового трансформатора

Діюче значення струму вторинної обмотки трансформатора:

$$I_{2\phi} = k_I \cdot k_{I2} \cdot I_H, \quad (9.7)$$

де k_I – коефіцієнт, відхилення форми струму від прямокутної ($k_I = 1,05 \dots 1,1$);

k_{I2} – коефіцієнт, що залежить від схеми з'єднання тиристорів ($k_{I2} = 0,915$).

$$I_{2\phi} = 1,1 \cdot 0,915 \cdot 12,25 = 12,9 \text{ (A)}.$$

Діюче значення струму в первинній обмотці трансформатора трансформатора:

$$I_{1\phi} = \frac{I_{2\phi}}{k_{\text{тр}}}, \quad (9.8)$$

де $k_{\text{тр}}$ – коефіцієнт трансформації.

$$k_{\text{тр}} = \frac{U_{1\text{л}}}{U_{2\text{л}}}, \quad (9.9)$$

$$k_{\text{тр}} = \frac{380}{380} = 1.$$

Діюче значення струму в первинній обмотці трансформатора трансформатора:

$$I_{1\phi} = \frac{12,9}{1} = 12,9 \text{ (A)}.$$

Типова потужність трансформатора:

$$S_{\text{тр}} = k_s \cdot E_{\text{до}} \cdot I_H \quad (9.10)$$

де k_s – коефіцієнт типової потужності ($k_s = 1,045$);

Е.р.с. перетворювача при куті керування 0° ел.:

$$E_{do} = 1,35 \cdot U_{2л}, \quad (9.11)$$

$$E_{do} = 1,35 \cdot 380 = 513 \text{ (В)},$$

$$S_{тр} = 1,045 \cdot 513 \cdot 12,25 = 6,567 \text{ (кВА)}.$$

Вибираємо [9] трансформатор типу: ТС-10 технічні параметри якого наведені в таблиці 9.2:

Таблиця 9.2 – Технічні дані трансформатора ТС-10

Параметри	Числові значення
Номінальна потужність, S_H кВА	10
Номінальна напруга первинної обмотки U_1 , В	380
Номінальна напруга вторинної обмотки U_2 , В	380
Напруга короткого замикання $U_{к\%}$, %	3
Струм холостого ходу $I_0\%$, %	7
Потужність холостого ходу P_0 , Вт	75
Потужність короткого замикання $P_к$, Вт	280

Перевірка обраного трансформатора:

$$I_{2H} > I_{2ф}, \quad (9.12)$$

$$I_{1H} = \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_{1л}}, \quad (9.13)$$

$$I_{1H} = I_{2H} = \frac{10000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 15,2 \text{ (А)},$$

$$15,2 > 12,9.$$

Отже номінальний струм двигуна менший за номінальний струм трансформатора, а це означає, що трансформатор вибраний вірно.

9.3.3 Визначення розрахункових параметрів силового кола

Розрахунковий опір кола випрямленого струму:

$$R_{\text{розр}} = R_{\text{ст}} + R_{\text{перетв}}, \quad (9.16)$$

де $R_{\text{перетв}}$ – опір перетворювача,

$$R_{\text{перетв}} = 2R_{\text{тр}} + R_{\text{екв}} + mX_{\text{T}} / 2\pi, \quad (9.17)$$

$$R_{\text{тр}} = \frac{\Delta P_{\text{кз}}}{m \cdot I_{\text{н}}^2 \cdot K_{\text{тр}}^2}, \quad (9.18)$$

$$R_{\text{тр}} = \frac{280}{3 \cdot 12,25^2 \cdot 26,3^2} = 0,0042 \text{ (Ом)},$$

$$R_{\text{екв}} = \frac{R_{\text{тр}}}{3}, \quad (9.19)$$

$$R_{\text{екв}} = \frac{0,0042}{3} = 0,0014 \text{ (Ом)},$$

$$R_{\text{перетв}} = 2 \cdot 0,0042 + 0,0014 + 3 \cdot 0,0348 / 2 \cdot 3,14 = 0,0264 \text{ (Ом)},$$

$$R_{\text{розр}} = 7,5 + 0,0264 = 7,526 \text{ (Ом)}.$$

Необхідне значення випрямленої напруги для підтримки заданої швидкості:

$$U_{d0} = U_H + 1,7 \cdot I_H \cdot R_{\text{розр}}, \quad (9.20)$$

$$U_{d0} = 380 + 1,7 \cdot 12,25 \cdot 7,526 = 536,7 \text{ (В)}.$$

9.3.4 Розрахунок індуктивності згладжуючого дроселя і ємності

Необхідну індуктивність знайдемо за даною формулою:

$$L = \frac{U_{d2}}{\omega_c \cdot \Delta I_{d2}} \cdot \left[\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta\right)^2}}{\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta} - \arccos \left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta\right) + \beta - \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \text{tg} \beta \right], \quad (9.21)$$

де ΔI_{d2} – допустимі пульсації струму в реакторі,

$$\Delta I_{d2} = (0,05 \dots 0,1) \cdot I_d, \quad (9.22)$$

$$\Delta I_{d2} = (0,05 \dots 0,1) \cdot 12,25 = 0,613 \dots 1,225 \text{ (А)},$$

де ω_c – кругова частота мережі ($\omega_c = 314,16$ рад/с);

β – кут інвертування ($\beta = \pi/6$).

Приймаємо $\Delta I_{d2} = 1$ А.

$$L = \frac{380}{314,16 \cdot 1} \cdot \left[\frac{\sqrt{1 - \left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta\right)^2}}{\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta} - \arccos \left(\frac{3}{\pi} \cdot \cos \beta\right) + \beta - \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{3}} \cdot \text{tg} \beta \right] \approx 0,11 \text{ (Гн)}.$$

Еквівалентна ємність комутуючих конденсаторів:

$$C_e = \frac{I_H \cdot t_B}{U_{d2}}, \quad (9.23)$$

де t_B – час вимикання тиристорів ($t_B=1,5$ мс).

$$U_{d2} \geq (1,2\dots1,3) \cdot \sqrt{6} \cdot U_c, \quad (9.24)$$

де U_c – напруга статора,

$$U_{d2} \geq (1,2\dots1,3) \cdot \sqrt{6} \cdot 380 = 1116,97\dots1210,05 \text{ (В)}.$$

Вибираємо $U_{d2}=1200$ В.

$$C_e = \frac{12,25 \cdot 1,5 \cdot 10^{-3}}{1200} \approx 15,31 \text{ (пФ)}.$$

9.3.5 Вибір апаратів керування та захисту

Загальні вимоги до апаратів керування, електричних кіл управління, регулювання та захисту. Вони повинні:

- забезпечувати надійність та точність роботи установки;
- мати достатню термічну стійкість як при нормальному режимі роботи, так і в режимі короткого замикання;
- протистояти дії електродинамічних сил (при дії струмів короткого замикання);
- мати здатність ввімкнення та вимкнення електричних пристроїв при всіх режимах роботи даного електричного кола;
- мати найменші габарити, вагу і вартість;
- мати ізоляцію з достатньою електричною міцністю і електричним опором при всіх режимах роботи.

Магнітні пускачі призначаються для прямого пуску, зупинки та захисту коротко замкнутих асинхронних електродвигунів.

Для пуску даного електродвигуна використаємо магнітний пускач типу ПММ-2/16 [10] з технічними даними занесеними в таблицю 9.3:

Таблиця 9.3 – Номінальні параметри магнітного пускача ПММ-2/16

Параметри	Значення
Номінальна напруга $U_{\text{ном}}$, В	380
Номінальна потужність гл. контактів $P_{\text{ном}}$, кВт	7,5
Номінальний струм $I_{\text{ном}}$, А	16
Номінальний тепловий струм I_{th} , А	32
Контакти	3Р+NO

Вибір автоматичних вимикачів проводимо за умовами:

$$U_{\text{на}} \geq U_{\text{мер}}, \quad (9.25)$$

$$I_{\text{на}} \geq I_{1\text{н}}, \quad (9.26)$$

$$I_{\text{нр}} \geq I_{2\text{н}}, \quad (9.27)$$

$$I_{\alpha.\text{кз}} = \frac{I_{\text{н}}}{U_{\text{кз}\%} \cdot k_{\text{тр}}}, \quad (9.28)$$

де $k_{\text{тр}}$ – коефіцієнт трансформації;

$U_{\text{на}}$ – номінальна напруга автомата;

$I_{\text{на}}$ – номінальний струм автомата;

$I_{\text{нр}}$ – номінальний струм розщеплювача.

$$I_{\alpha.\text{кз}} = \frac{12,25}{6,5 \cdot 25} = 0,754 \text{ (кА)}.$$

Максимальна напруга спрацювання:

$$U_{\text{спр}} = 1,1 \cdot U_{\text{н}}, \quad (9.29)$$

$$U_{\text{спр}} = 1,1 \cdot 380 = 418 \text{ (В)}.$$

З дотриманням вказаних вище умов вибираємо з довідника [10] вимикач навантаження типу АВ2000/3–С 16 400-УЗ, який має такі номінальні параметри, що занесені до таблиці 9.4.

Таблиця 9.4 – Номінальні параметри автоматичного вимикача типу АВ2000/3–С 16 400-УЗ

Параметри	Значення
Кількість полісів Р	3
Відключаюча характеристика ВХ	С
Номінальний струм $I_{\text{на}}$, А	16
Номінальна напруга $U_{\text{на}}$, В	400
Номінальна частота F, Гц	50
Максимальний струм відключення $I_{\text{max.відкл.}}$, кА	6

Вибираємо [4] реле теплове типу РТ 2М-25, $I_{\text{ном}} = 12\text{--}18$ А. Вибираємо [14] пост кнопочний ПК112-2 (кнопка “Пуск” і “Стоп”) (таблиця 9.5)

Таблиця 9.5 – Апарати керування та захисту

Позначення на схемі	Назва апарату	Тип	Кількість
		380В	
КК1	Теплове реле	РТ 2М-25	1
SB1	Кнопка “Пуск”	ПК112	1
SB2	Кнопка “Стоп”	ПК112	1

РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ САЕП

Розглянемо лінеаризовану модель АД описується рівнянням:

$$M = \frac{M_k}{S_k} \cdot S = \frac{M_k}{S_k} \cdot \left(\frac{\omega_0 - \omega}{\omega_0} \right) = \frac{M_k}{S_k \cdot \omega_0} \cdot (\omega_0 - \omega) = \beta \cdot (\omega_0 - \omega), \quad (10.1)$$

де β – жорсткість лінеаризованої статичної механічної характеристики АД.

Відповідно до рівняння (10.1) структурна схема лінеаризованої моделі АД зображена на рисунку 10.1.

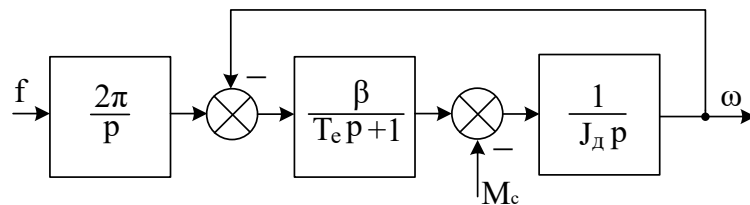


Рисунок 10.1 – Структурна схема лінеаризованої моделі АД

Структурна схема двоконтурної системи ЕП типу ПЧ-АД з внутрішнім зворотним зв'язком за моментом, оскільки явно сигнал струму не представлений в моделі, та швидкістю представлена на рисунку 10.2.

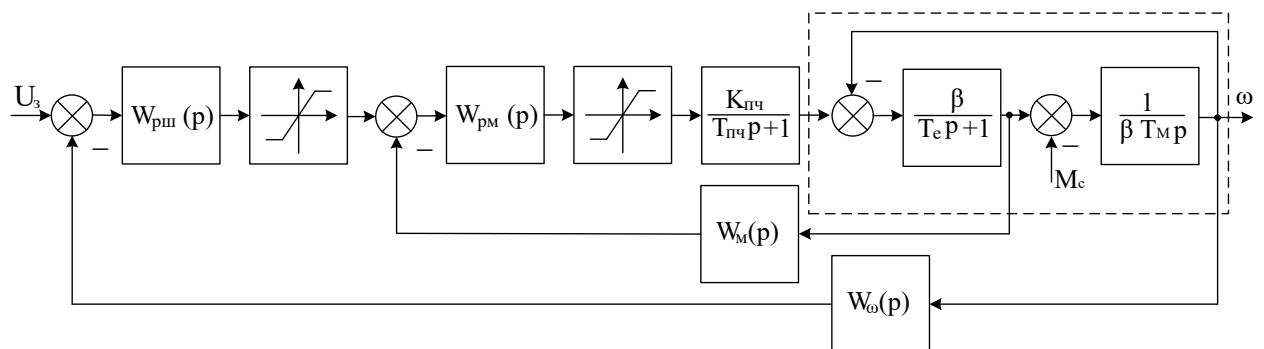


Рисунок 10.2 – Структурна схема електропривода за системою ПЧ-АД

Модуль жорсткості лінеаризованої статичної механічної характеристики АД:

$$\beta = \frac{2 \cdot M_k}{\omega_0 \cdot S_k}, \quad (10.2)$$

$$\beta = \frac{2 \cdot 135,794}{104,72 \cdot 0,158} = 16,41.$$

Електромагнітна стала часу АД:

$$T_e = \frac{1}{\omega_0 \cdot S_k}, \quad (10.3)$$

$$T_e = \frac{1}{104,72 \cdot 0,158} = 0,06 \text{ (с)}.$$

Передаточна функція лінійної моделі АД:

$$W_{\text{АД}}(p) = \frac{\beta}{T_e \cdot p + 1}, \quad (10.4)$$

$$W_{\text{АД}}(p) = \frac{16,41}{0,06 \cdot p + 1}.$$

Електромеханічна стала часу АД з врахуванням механізму:

$$T_m = J_{\text{пр}} \cdot \frac{S_k \cdot \omega_0}{2 \cdot M_k}, \quad (10.5)$$

$$T_m = 0,306 \cdot \frac{0,158 \cdot 104,72}{2 \cdot 135,794} = 0,0186 \text{ (с)}.$$

Передаточна функція механічної частини АД:

$$W_{\text{АД мех}}(p) = \frac{1}{\beta \cdot T_m \cdot p}, \quad (10.6)$$

$$W_{\text{АД мех}}(p) = \frac{1}{0,306 \cdot p}.$$

Коефіцієнт перетворювача частоти з врахуванням коефіцієнта АД підсилення по частоті:

$$K_{\text{пч}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_{\text{max}}}{p \cdot U_{\text{max}}}, \quad (10.7)$$

де f_{max} – максимальна частота ($f_{\text{max}} = 50$ Гц);

p – число пар полюсів електричної машини ($p = 3$);

U_{max} – максимальна задаюча напруга ($U_{\text{max}} = 10$ В).

$$K_{\text{пч}} = \frac{2 \cdot \pi \cdot 50}{3 \cdot 10} = 10,472 .$$

Передаточна функція перетворювача частоти:

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{K_{\text{пч}}}{T_{\text{пч}} \cdot p + 1}, \quad (10.8)$$

де $T_{\text{пч}}$ – стала часу перетворювача частоти ($T_{\text{пч}} = 0,005$ с),

$$W_{\text{пч}}(p) = \frac{10,472}{0,005 \cdot p + 1} .$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю:

$$K_{\omega} = \frac{U_{\text{max}}}{\omega_{\text{max}}}, \quad (10.9)$$

де ω_{max} – максимальна кутова швидкість ($\omega_{\text{max}} = \omega_0 = 104,72$ с⁻¹),

$$K_{\omega} = \frac{10}{104,72} = 0,095 .$$

Передаточна функція контуру зворотного зв'язку за швидкістю:

$$W_{\omega}(p) = K_{\omega} = 0,095, \quad (10.10)$$

Коефіцієнт зворотного зв'язку за моментом двигуна:

$$K_M = \frac{U_{\max}}{M_{\max}}, \quad (10.11)$$

де M_{\max} – максимальний момент двигуна ($M_{\max} = M_k = 135,794 \text{ с}^{-1}$),

$$K_M = \frac{10}{135,794} = 0,0736.$$

Передаюча функція контуру зворотного зв'язку за моментом:

$$W_M(p) = K_M = 0,0736. \quad (10.12)$$

Розглянемо окремо внутрішній контур струму та зовнішній контур швидкості.

Оскільки, струму в моделі зображеній на рисунку 10.2 явно немає, то замість зворотного зв'язку за струмом розглянемо зворотній зв'язок за моментом.

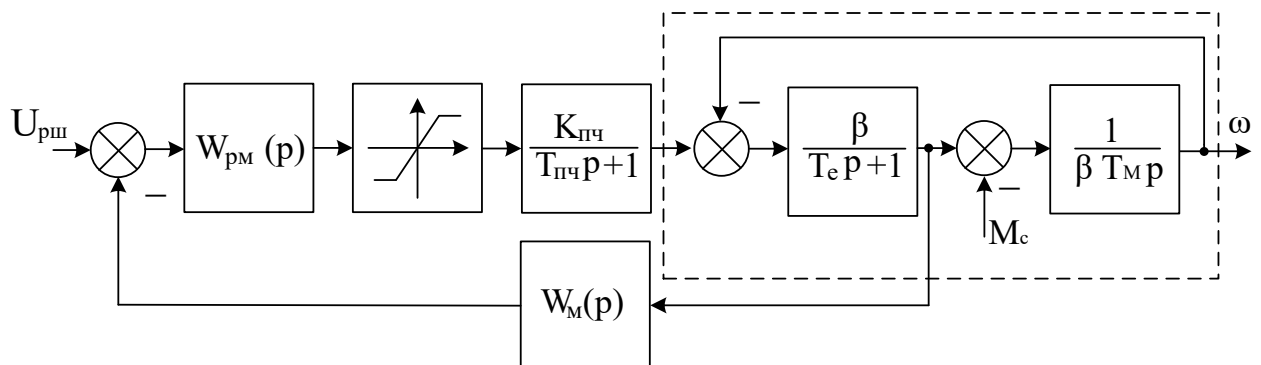


Рисунок 10.3 – Структурна схема внутрішнього контуру моменту САЕП сушильного барабану

Для того, щоб знайти тип регулятора потрібно знайти передаючу функцію об'єкта регулювання контуру моменту. Об'єкт регулювання в

даному випадку представляється послідовно з'єднаними передаточними функціями перетворювача частоти та жорсткості механічної характеристики. Передаточна функція внутрішнього контуру, до якої потрібно прийти в результаті вибору регулятора, має вигляд:

$$G_M(p) = \frac{1}{T_{0M}p}, \quad (10.13)$$

де T_{0M} – мала незкомпенсована стала часу даного контуру

Приймаємо сталу часу перетворювача частоти $T_{пч} = 0,005$ с, оскільки вона є на порядок меншою електромагнітної сталої часу двигуна $T_e = 0,06$ с.

Розділивши $G_M(p)$ на передаточну функцію об'єкта регулювання, отримаємо передаточну функцію регулятора моменту:

$$W_{рм}(p) = 0,004775p + \frac{15,81}{p} + 1,034. \quad (10.14)$$

Як впливає з отриманої передаточної функції, в якості регулятора моменту буде ПД-регулятор.

Доповнивши структуру, представлену на рисунку 10.3 регулятором швидкості та зворотнім зв'язком по швидкості, аналогічним шляхом знаходимо форму та параметри регулятора швидкості.

Передаточна функція регулятора швидкості матиме вигляд:

$$W_{рш}(p) = \frac{128,6}{p+16,56} - \frac{979,3}{p+227,8} + 30,61. \quad (10.15)$$

Розроблено математичну модель САЕП сушильного барабану. Розраховано параметри регуляторів моменту та швидкості САЕП.

МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ САЕП

Перехідним або динамічним режимом електропривода називається режим роботи при переході з одного усталеного стану до іншого, який відбувається під час пуску, гальмування, реверсу, скиду та накиду навантаження.

У перехідному режимі електропривода одночасно і взаємопов'язано між собою діють перехідні механічні, електромагнітні і теплові процеси. При процесах, які швидко протікають, зміна теплового стану електропривода у більшості випадків несуттєво впливає на інші процеси, тому в подальшому при побудові графіків перехідних процесів зміну теплового стану двигуна не будемо враховувати. У цьому випадку мають на увазі протікання тільки механічних і електромагнітних перехідних процесів, які в сукупності називаються електромеханічним перехідним процесом.

Моделювання електропривода здійснимо в Simulink.

11.1 Моделювання АД з КЗ ротором

Модель АД з КЗ ротором в Simulink представлено на рисунку 11.1.

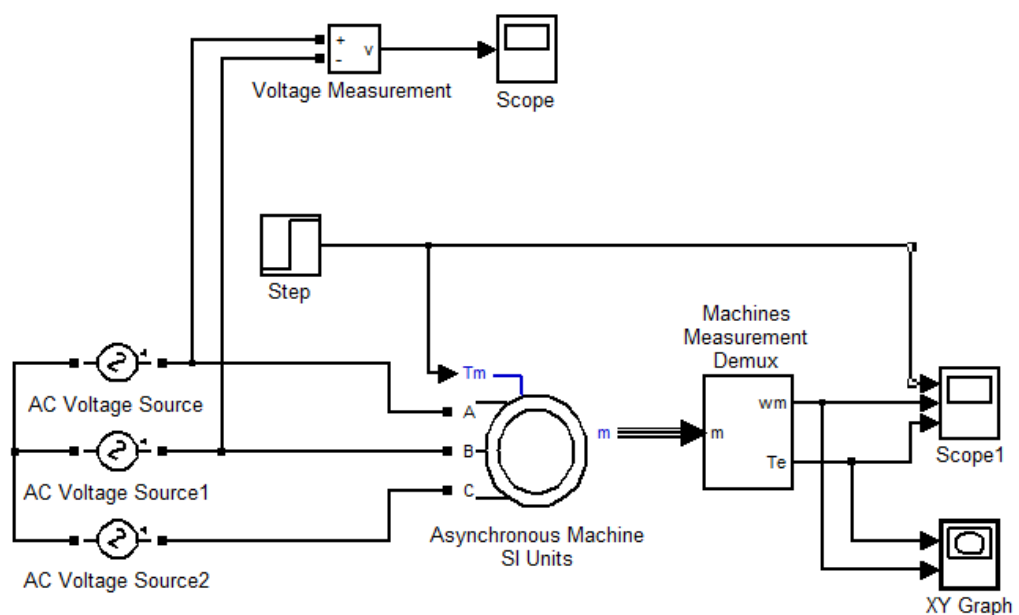


Рисунок 11.1 – Модель АД в Simulink

Для настройки моделі АД необхідно додатково розрахувати такі параметри:

- приведена індуктивність розсіювання статора і ротора:

$$L'_c = L'_p = \frac{U_{\phi, \text{НОМ}}}{4 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot (1 + C^2) \lambda_{I \text{ пуск}} \cdot I_{\text{НОМ}}}, \quad (11.1)$$

де $U_{\phi, \text{НОМ}}$ – номінальна фазна напруга при з'єднанні обмоток в зірку, В;

$\lambda_{I \text{ пуск}}$ – кратність пускового струму.

$$L'_c = L'_p = \frac{219,393}{4 \cdot \pi \cdot 50 \cdot (1 + 1,025^2) \cdot 6 \cdot 12,25} = 0,002317 \text{ (Гн)};$$

- індуктивність статора:

$$L_c = \frac{U_{\phi, \text{НОМ}}}{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot I_{\text{НОМ}} \sqrt{1 - \cos^2 \phi} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot f_1 \cdot M_{\text{max}} \cdot S_{\text{НОМ}}}{p \cdot U_{\phi, \text{НОМ}} \cdot S_k}}, \quad (11.2)$$

$$L_c = \frac{219,393}{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 12,25 \sqrt{1 - 0,8^2} - \frac{2}{3} \cdot \frac{2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 135,794 \cdot 0,033}{3 \cdot 219,393 \cdot 0,158}} = 0,095 \text{ (Гн)};$$

- індуктивність кола намагнічування:

$$L_m = L_c - L'_c = 0,095 - 0,002317 \approx 0,093 \text{ (Гн)}. \quad (11.3)$$

Отримані розрахункові дані внесемо в параметри настройки моделі.

В якості навантаження модельованого двигуна є розрахунковий момент статичного опору виробничого механізму.

Результати моделювання приведені на рисунку 11.2.

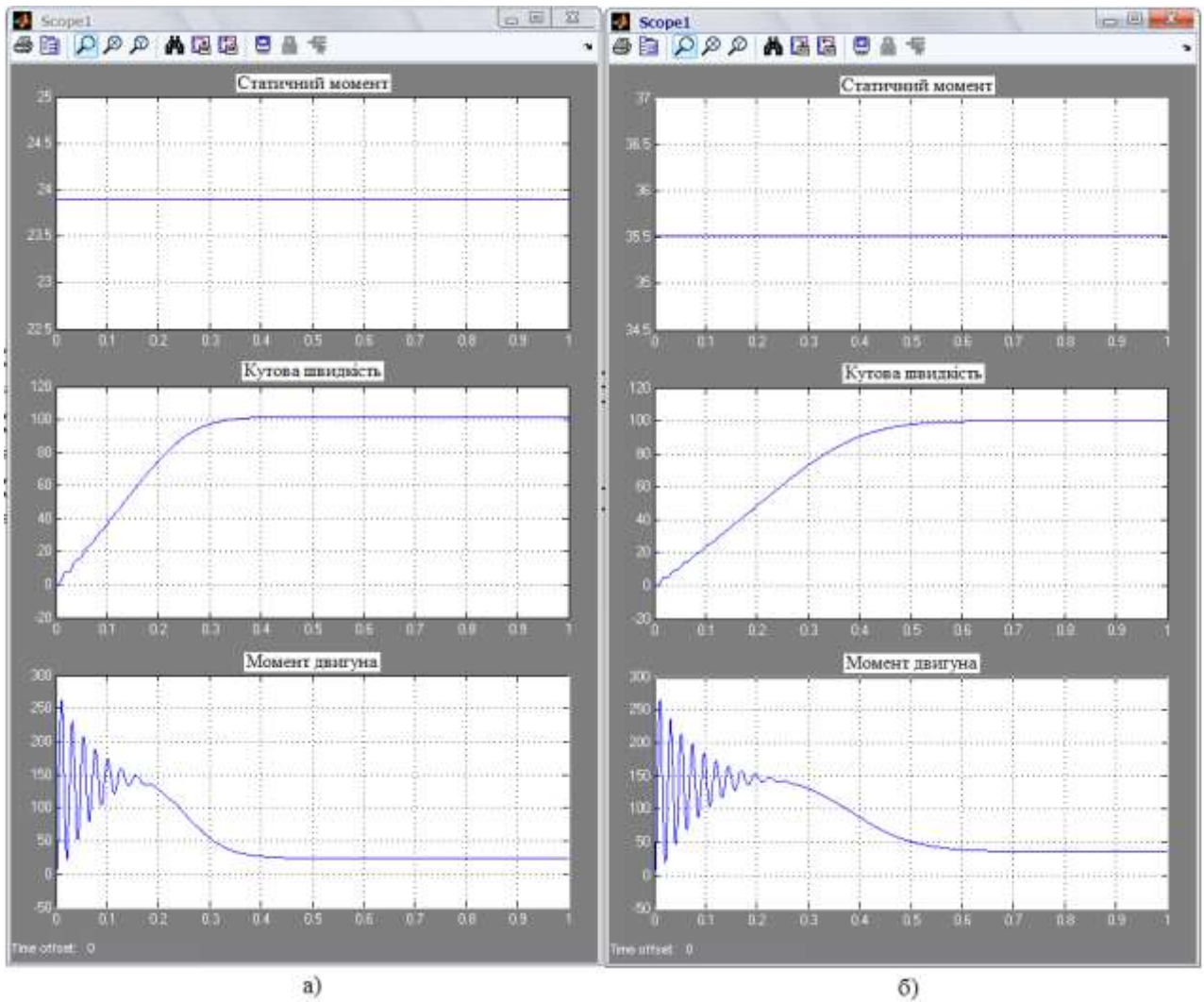


Рисунок 11.2 – Характеристики АД при холостому ході (а) та номінальному завантаженні (б) сушильного барабану

11.2 Моделювання двоконтурної САЕСП типу ПЧ-АД

Модель ПЧ-АД в Simulink відповідно до результатів розрахунків здійснених в розділі 10 та структури, зображеної на рисунку 10.2, зображена на рисунку 11.3.

Результати моделювання представлені на рисунку 11.4.

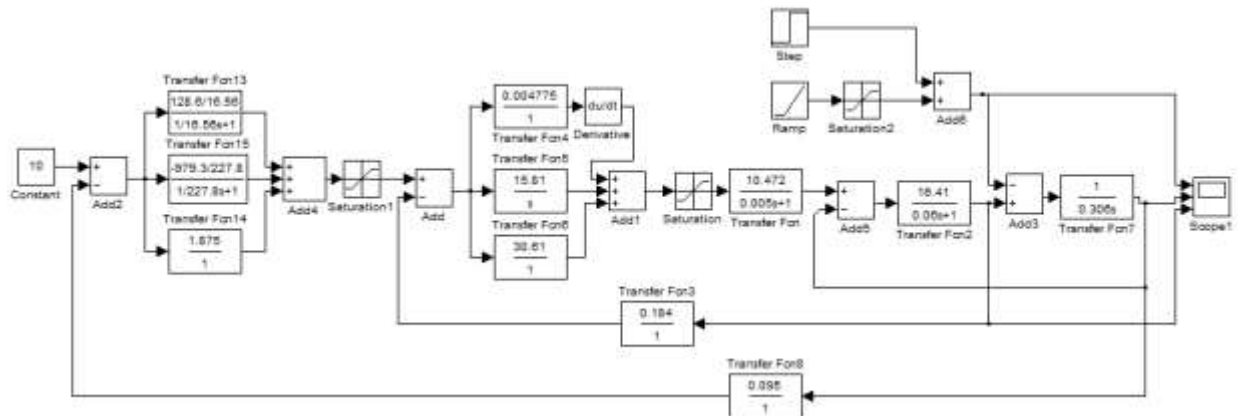


Рисунок 11.3 – Модель ПЧ-АД в Simulink

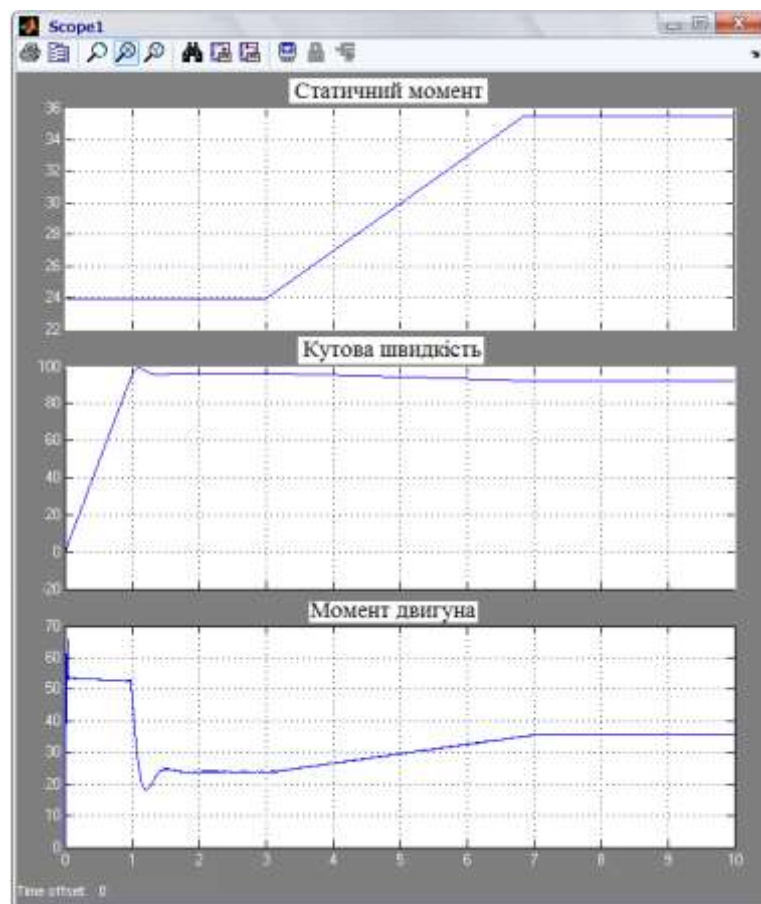


Рисунок 11.4 – Характеристики САЕП при нормальному завантаженні сушильного барабану

З представлених графіків видно, двигун при пуску швидко досягає номінальної швидкості обертання і стабілізується. Таким чином, виконані розрахунки регуляторів системи керування вірні.

РОЗРАХУНОК ДИНАМІЧНИХ РЕЖИМІВ. ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ТА ЯКОСТІ

12.1 Оцінка стійкості

Дослідження системи на стійкість передбачає знаходження загальної передаточної функції системи. Оскільки, при розрахунку параметрів регуляторів зовнішній контур швидкості зводився до одиничного зворотного зв'язку, то загальна передаточна функція системи ЕП запишеться:

$$W(p) = \frac{F_{\text{ш}}(p)}{1 + F_{\text{ш}}(p)} \cdot \frac{1}{k_{\text{ззш}}}, \quad (12.1)$$

де $F_{\text{ш}}(p)$ – загальний вигляд передаточної функції прямого каналу зовнішнього контуру швидкості, налагодженого на модульний оптимум.

$$F_{\text{ш}}(p) = \frac{1}{2T_{0\text{ш}}p(T_{0\text{ш}}p + 1)}, \quad (12.2)$$

де $T_{0\text{ш}}$ – мала незкомпенсована стала часу зовнішнього контуру швидкості.

Таким чином передаточна функція системи:

$$W(p) = \frac{271685}{p^2 + 227,8p + 25943},$$

Для побудови логарифмічної амплітудо-частотної характеристики (ЛАЧХ) та логарифмічної фазочастотної характеристики (ЛФЧХ) використаємо спеціальні оператори в Matlab. Відповідне вікно команд представлено на рисунку 12.1.

```

>> num=[271685]

num =

    271685

>> den=[1 227.8 25943]

den =

    1.0e+004 *
    0.0001    0.0228    2.5943

>> h=tf(num,den)

Transfer function:
    271685
-----
s^2 + 227.8 s + 25943

>> margin(h)
>> |

```

Рисунок 12.1 – Вікно команд в Matlab

Отримано графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ, які представлено на рисунку 12.2.

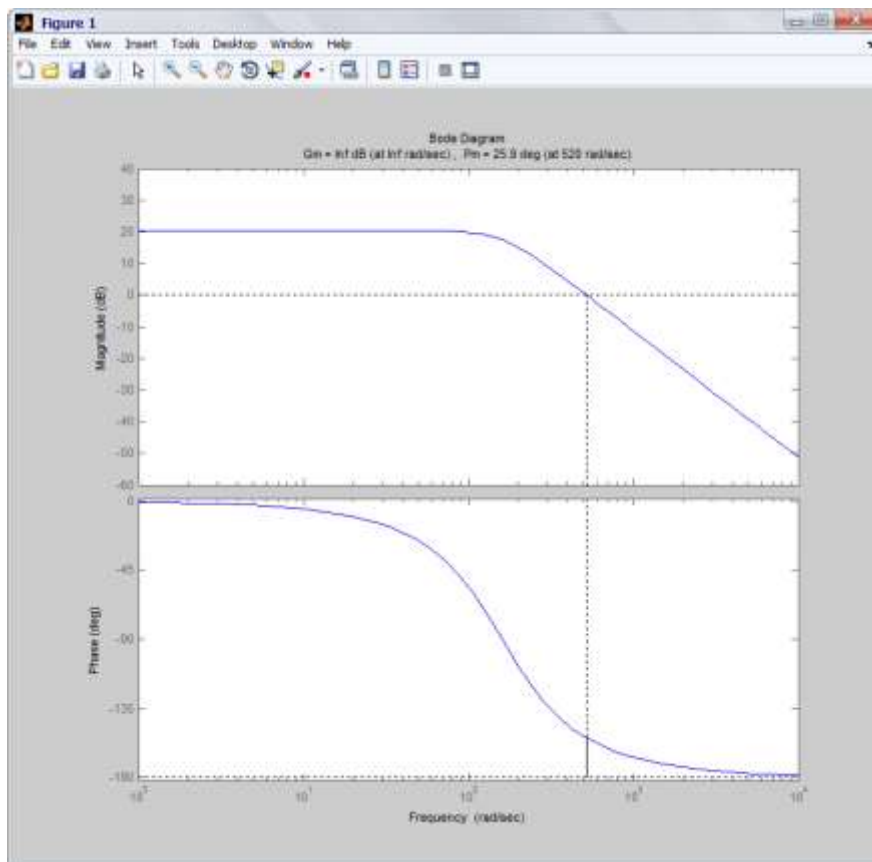


Рисунок 12.2 – Графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ

З отриманих графічних залежностей для ЛАЧХ та ЛФЧХ визначаємо

відповідно частоту зрізу $\omega_{зр}$, тобто частоту при якій ЛАЧХ дорівнює нулю, та критичну частоту $\omega_{кр}$, тобто частоту при якій ЛФЧХ перетинає вісь $-\pi$.

Очевидно, система є стійкою оскільки виконується умова:

$$\omega_{зр} \leq \omega_{кр}, \quad (12.3)$$

Значення ЛАЧХ при критичній частоті дає запас стійкості системи по амплітуді, а 180 відняти значення фазочастотної характеристики в частоті зрізу – запас по частоті.

12.2 Оцінка якості

Виконання вимоги щодо стійкості САЕП є недостатнім, оскільки система може бути стійкою, але мати великий час затухання перехідного процесу або велику помилку в усталеному режимі, що призводить до погіршення властивостей системи.

Якість системи можна визначити по її реакції на типові вхідні збурення, як правило на одиничну функцію $1(t)$, тобто по перехідній характеристиці:

$$H(p) = \frac{W(p)}{p}, \quad (12.4)$$

Для побудови перехідної характеристики використаємо спеціальні оператори в Matlab. Відповідне вікно команд представлено на рисунку 12.3.

```

>> num=[271685]

num =

    271685

>> den=[1 227.8 25943]

den =

    1.0e+004 *
    0.0001    0.0228    2.5943

>> h=tf(num,den)

Transfer function:
    271685
-----
s^2 + 227.8 s + 25943

>> step(h)
>>

```

Рисунок 12.3 – Вікно команд в Matlab

Графік перехідної характеристики зображений на рисунку 12.4.

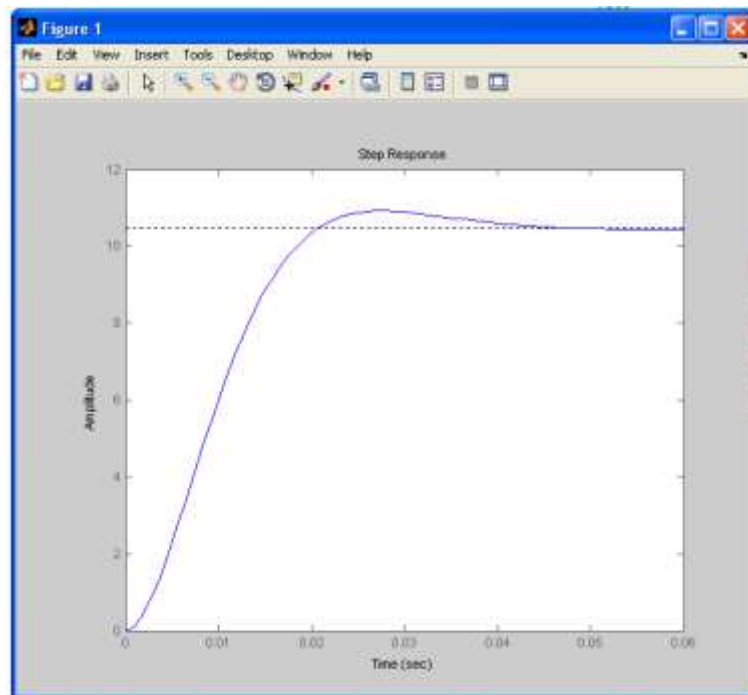


Рисунок 12.4 – Графік перехідної характеристики

Оцінюючи показники стійкості та якості можна дійти висновку, що система стійка та якісна.

13. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ВИЗНАЧЕННЯ ЧАСУ СУШКИ ДЕРЕВНОЇ ЩЕПИ В БАРАБАННІЙ СУШАРЦІ

Використання біомаси як відновлюваного джерела енергії привертає все більше уваги в наш час через розвиток глобальних екологічних проблем та виснаження не відновлювальних видів палива. Однак не всі види біомаси придатні для прямого згорання, за винятком випадків природного висушування перед процесом спалювання. Останнім часом через високі енергетичні витрати та екологічні проблеми, деякі органічні відходи з високим вмістом води, наприклад, органічні відходи, мул або мікроводорості використовуються як паливо. Ця сильно волога біомаса повинна бути механічно та / або термічно висушена перед зпалюванням. Дослідження показали, що сушка біопалива до згорання може підвищити ефективність котла, знизити викиди в атмосферу та покращити роботу котла [11].

Високий вміст води знижує температуру горіння спричиняючи неповне згорання та виділення небажаних продуктів реакції. Крім того, біопаливо з високим вмістом води потребує великої кількості допоміжного палива, щоб зробити його горючим [12]. Деякі дані про те як вміст води впливає на ефективність котла та інші ключові параметри горіння такі як температура полум'я розкриті в роботі [13].

Більшість сучасних електростанцій на біомасі мають інтегровані сушильні установки. Залежно від технології сушіння та властивостей біомаси, час висихання може бути тривалий, близько місяця [14], або короткий, якщо використовувати гаряче повітря. В другому випадку процес сушіння займатиме декілька хвилин, для такої реалізації використовуються високотемпературні димові гази [15]. При цьому біомаса з рівнем води 55-65% може підтримувати горіння, проте оптимальний вміст води становить 10-15 % [16]. В роботі [17] показано важливість сушіння біомаси для малих та середніх масштабів газогенераторних установок для спалювання біомаси,

встановлено, що високий рівень вмісту вологи в сировині не тільки знижує продуктивність системи, але також погіршує якість генерованого газу.

Продуктивність процесу горіння можна підвищити за рахунок видалення вологи з сировини. Найбільшого поширення здобули такі способи сушіння: сушка на пару, сушка в середовищі димових газів та вакуумна сушка, дані способи проаналізовані в роботі [18]

Експлуатація сушарки досягається затратами, оскільки сушка потребує затрати енергія та додаткового пального. Енергетична вартість процесу сушіння може бути зменшена за рахунок використання низькосортного відпрацьованого тепла [19], але в той же час збільшення розміру сушарки робить її занадто громіздкою і дорогою.

Тому виникає актуальна наукова задача знаходження варіантних моделей, які пов'язують рівень сушіння, додаткові витрати палива та ефективність котла.

Вміст вологи залежить від часу сушіння відповідно до рівняння:

$$M = a \cdot t^2 + b \cdot t + c, \quad (13.1)$$

де t – час сушіння.

Швидкість висихання на кожному етапі вмісту вологи визначається виходячи з часу висихання з початкового і кінцевого вмісту вологи на кожному етапі. Швидкість висихання деревної стружки багато в чому залежить від початкова вологість деревної стружки.

Загалом початкова вологість дерев'яної щепи не перевищує 50% (волога основа). В у цьому дослідженні приймемо початкову вологість деревини вологість 50% для стандартизації. Визначимо чотири етапи вмісту вологи з інтервалом зміни 10% тобто 50% ~40%, 40% ~30%, 30% ~20% і 20% ~10%. Швидкість висихання оцінимо для кожного кроку, використовуючи рівняння:

$$R_i = \frac{M_i - M_f}{t_f - t_i}, \quad (13.2)$$

де R_i - швидкість сушіння на i -тому етапі зміни вологості (% / хв);

M_i – початкове значення вологості на i -тому етапі зміни вологості (%);

M_f - кінцеве значення вологості на i -тому етапі зміни вологості (%);

t_f - кінцевий час на i -тому етапі зміни вологості (хв);

t_i - початковий час на i -тому етапі зміни вологості (хв).

Вплив початкової вологості на швидкість сушіння при постійній температурі сушіння враховується використовуючи регресійний аналіз згідно рівняння (13.3). І вплив температури сушіння на швидкість висихання при постійній початковій вологості також аналізувався через регресію згідно рівняння (13.4):

$$R_T = a \cdot M_i^2 + b \cdot M_i + c, \quad (13.3)$$

$$R_{M_i} = a \cdot T^2 + b \cdot T + c, \quad (13.4)$$

де R_T - швидкість висихання при заданій температурі T (°C) (% / хв);

R_{M_i} – швидкість висихання при заданій початковій вологості M_i (% / хв);

a, b, c – коефіцієнти регресії.

Для подальших доведень необхідно задатись початковими значеннями вхідних параметрів, які сформовані в технічному завданні. Зведемо необхідні значення в таблицю 13.1.

Таблиця 13.1 – Вхідні дані для розрахунків

Назва величини	Позначення	Значення	Од.вим.
Початкова вологість щепи	M	40	%
Кінцева вологість щепи	M_c	10	%
Продуктивність сушарки вхідна	F	1000	кг/год
Продуктивність сушарки вихідна	P	600	кг/год

Продовження таблиці 13.1

ККД процесу сушки	η	60	%
Температура оточуючого середовища	T_a	15	$^{\circ}\text{C}$
Початкова температура щепи	T_f	15	$^{\circ}\text{C}$

Тепловий ККД сушарки визначається як відношення тепла, яке використовується для випаровування води до загальної подачі тепла в сушарку. Теплова ефективність ротаційної сушарки багато в чому залежить від різниці температур вхідного і вихлопного газу, хоча на теплопередачу також впливає взаємозв'язок між конструкцією сушарки та швидкістю її обертання. Незалежно від температури газу та матеріалу під час сушіння відбувається дифузія води від серцевини до поверхні матеріалу. Як відомо кількість теплоти необхідна для випаровування води постійна і становить 539 ккал/кг. Кількість теплоти для випаровування води з сировини протягом 1 години Q_n і питомі витрати тепла Q_g , необхідні протягом 1 години можна обчислити з рівняння (13.5) та (13.6), відповідно:

$$Q_n = (F - P) \cdot 539, \quad (13.5)$$

$$Q_g = \frac{Q_n}{\eta/100}, \quad (13.6)$$

Температура газу на виході (гарячого повітря) сушарки прогнозується за температурою на вході газу до сушарки з використанням рівняння (13.7):

$$T_o = 0,05 \cdot T_i + 64,5, \quad (13.7)$$

де T_o - температура газу на виході з сушарки ($^{\circ}\text{C}$);

T_i - температура газу на вході з сушарки ($^{\circ}\text{C}$).

Припускаючи питому теплоту і щільність газу (повітря) постійною - 0,24 ккал/кг / $^{\circ}\text{C}$ та 1,2 кг/м³ відповідно питома витрата газу потрібна на 1

годину сушки W_g і нормальний об'ємний витрат газу V_g , необхідна протягом 1 години, може бути оцінений з рівнянь (13.8) та (13.9) відповідно:

$$W_g = \frac{Q_{fg}}{(T_i - T_o) \cdot 0,24}, \quad (13.8)$$

$$V_g = \frac{W_g}{1,2}. \quad (13.9)$$

Теплоємність (питоме тепло) деревини залежить від температури та вологості деревини, але практично не залежить від щільності чи виду. Питома теплоємність сухої деревини та води вважатимемо постійною 0,26 та 1,00 ккал/кг/°С відповідно. Передбачається, що вода не випарується з щепи під час нагрівання до 100°С. Витрати тепла Q_h , необхідні для попереднього нагрівання вихідної сировини до 100 °С і час попереднього нагрівання t_h можна оцінити, використовуючи рівняння (13.10) та (13.11) відповідно:

$$Q_h = (100 - T_f) \cdot \left[F \cdot \left(1 - \frac{M}{100} \right) \cdot 0,26 + F \cdot \frac{M}{100} \cdot 1 \right], \quad (13.10)$$

$$t_h = \frac{Q_h}{Q_g} \cdot 60 \quad (13.11)$$

Висушена в сушарці маса сировини W_o і швидкість випаровування води W_{oi} (кг/год) на етапі висихання обчислюються як рівняння (13.12) та (13.13) відповідно:

$$W_o = F \cdot \left(1 - \frac{M}{100} \right), \quad (13.12)$$

$$W_{oi} = \frac{W_o}{\left(1 - \frac{m_i}{100} \right)} - \frac{W_o}{\left(1 - \frac{m_{i+1}}{100} \right)}. \quad (13.13)$$

Отже, чисті витрати тепла для випаровування води з сировини на стадії сушіння для 1 години для і-того кроку обчислюється (13.14):

$$Q_i = W_{oi} \cdot 539, \quad (13.14)$$

За допомогою Q_i , зниження температури газу T_{di} та середня температура газу на етапі сушіння T_{ai} може визначатись за рівняннями (13.15) та (13.16) відповідно:

$$T_{di} = \frac{Q_i}{W_g \cdot 0,24 \cdot \eta / 100}, \quad (13.15)$$

$$T_{ai} = \frac{[T_{ii} + (T_{ii} - T_{di})]}{2}. \quad (13.16)$$

Час сушіння t_i на і-тому кроці із швидкістю висихання R_{Ti} при температурі гарячого газу T_i можна оцінити рівнянням:

$$t_i = \frac{M_{ii} - M_{fi}}{R_{Ti}}. \quad (13.17)$$

На рисунку 1 показані криві сушіння деревної стружки при трьох різних температурах 100 °С, 200 °С і 300 °С і коефіцієнти рівнянь регресії для кривих сушіння зведені до таблиці 13.2. Як і очікувалося, швидкість сушіння зростала зі збільшенням температури сушіння.

Таблиця 13.2 - Коефіцієнти рівняння регресії кривих сушіння деревної щепи для різних температур

Температура, °C	Коефіцієнти регресії		
	a	b	c
100	0.0361	-3.3144	76.846
200	0.1621	-7.5171	73.957
300	0.3345	-13.018	72.248

Таблиця 13.3 - Розрахункові швидкості сушіння (%/хв) відповідно до ступеня вологості та температури сушки

Температура, °C	Етапи сушки та відповідна швидкість, % /хв				
	50-40	40-30	30-20	20-10	50-10
100	3.015	2.557	1.991	0.592	1.368
200	6.431	4.790	4.131	3.528	5.482
300	14.411	12.735	10.747	8.263	11.025

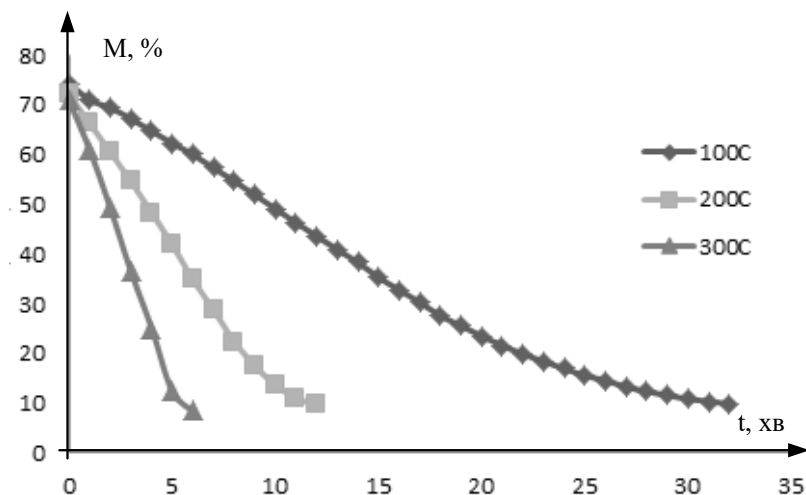


Рисунок 13.1 - Криві сушіння деревної стружки при трьох різних температурах 100 °C, 200 °C і 300 °C

Швидкість висихання для п'яти різних етапів видалення вологи оцінювались при кожній температурі сушіння з використанням регресії коефіцієнти рівняння якої наведено в таблиці 13.3.

З даних швидкості висихання в таблиці 13.4 оцінимо вплив початкового вмісту вологи при постійній температурі сушіння та вплив температури сушіння при однаковому вмісті вологи на швидкість висихання, за допомогою регресійного аналізу (таблиця 13.5).

Таблиця 13.4 – Коефіцієнти функції регресії для рівняння

$$R_T = a \cdot M_i^2 + b \cdot M_i + c,$$

Температура, °C	Коефіцієнти регресії		
	a	b	c
100	-0.0024	0.2430	3.2912
200	0.0026	-0.0880	4.2957
300	-0.0020	0.3457	2.1658

Таблиця 13.5 – Коефіцієнти функції регресії для рівняння

$$R_{M_i} = a \cdot T^2 + b \cdot T + c,$$

Початкова вологість, %	Коефіцієнти регресії		
	a	b	c
50	0.00010	0.0070	0.2511
40	0.00010	0.0047	0.2229
30	0.00010	0.0022	0.1815
20	0.00010	-0.0040	0.1003

Вцілому процеси сушіння були змодельовані на основі про даних про

швидкість сушіння з лабораторії, криві сушильних характеристик і основні умови сушки (рисунок 13.2). Загальне видалення води становило 333 кг/год від вмісту вологи від 40% до 10%. Питома потреба в теплі склала 378,211 ккал/год з врахуванням тепла, втраченого в процесі сушіння (таблиця 13.6).

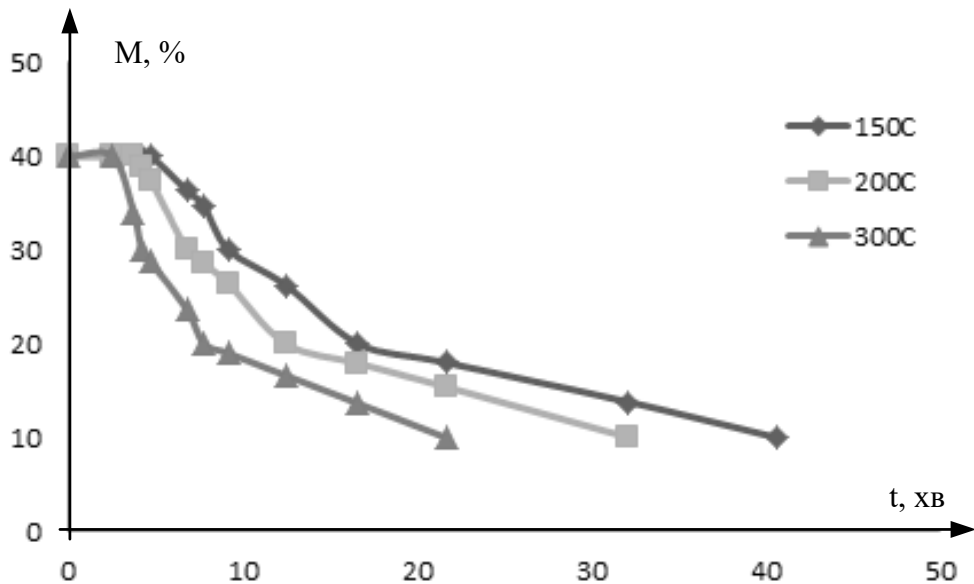


Рисунок 13.2 - Розрахункові криві сушіння дерев'яної щепи при температурі газу 150 °C, 200 °C і 300 °C

Є відмінності між лабораторною та змодельованою кривою сушіння. У лабораторії газова експериментальна установка підтримує температуру на постійному рівні. Але в практичному процесі сушіння гарячий газ на вході витрачає тепло для попереднього нагрівання матеріалу, випаровування води та компенсація втрат тепла тому температура газу постійно знижується. Це означає, що потенціал висушування гарячого газу зменшується по мірі просушування.

Таблиця 13.6 - Результати моделювання для сушіння щепи з вмісту вологи 40% до 10% при температурі гарячого газу 300 °С зі швидкістю подачі 1000 кг/год

Параметр	Поперед. нагрів	Зміна вологості, %			Сума
		40-30	30-20	20-10	
Видалення води (кг/год)	0	143	107	83	333
Витрати тепла (ккал / год)	78,7	128,3	96,2	74,8	378
Температура подачі газу (°С)	300	254	179	123	-
Перепад температури газу (°С)	46	75	56	44	-
Температура газу виходу (°С)	254	179	123	80	-
Середня температура газу (°С)	277	217	151	101	-
Швидкість сушіння (% /хв)	0	21.70	11.15	4.15	7.04
Час (хв)	0.49	0.46	0.90	2.41	4.26

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Даний розділ магістерської роботи присвячено питанням охорони праці на підприємстві, де використовуються барабанні сушарки. Охорона здоров'я працівників, забезпечення безпеки умов праці, ліквідація професійних захворювань і виробничого травматизму складає одну з головних турбот людського суспільства. Приділяється більше уваги на необхідність широкого застосування прогресивних форм наукової організації праці, зведення до мінімуму ручної, малокваліфікованої праці, створення обстановки, що виключає професійні захворювання і виробничий травматизм.

На робочому місці повинні бути передбачені заходи захисту від можливого впливу небезпечних і шкідливих факторів виробництва. Рівні цих чинників не повинні перевищувати граничних значень, обумовлених правовими, технічними та санітарно-технічними нормами.

На роботу оперативно-ремонтного персоналу підприємства, який обслуговує автоматизовані барабанні сушарки, згідно ГОСТ 12.0.003-74 [85], мають вплив такі небезпечні та шкідливі виробничі фактори:

фізичні:

- машини і механізми, що рухаються, рухомі частини виробничого обладнання; рухомі вироби, заготовки, матеріали;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена та знижена температура повітря робочої зони;
- підвищена температура поверхонь обладнання, матеріалів;
- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- підвищений рівень вібрації;
- підвищений рівень інфразвуку;
- підвищений рівень ультразвуку;
- підвищена та знижена вологість повітря;
- підвищена та знижена рухомість повітря;

- високий рівень напруги в електричному ланцюгу, замикання якого може пройти через тіло людини;
 - підвищений рівень статичної електрики;
 - недостатність природного світла;
 - недостатня освітленість робочої зони;
 - знижена контрастність;
 - підвищений рівень ультрафіолетової радіації;
 - підвищений рівень інфрачервоної радіації;
 - гострі краї, задирки, шорсткість на поверхнях заготовок, інструменту та обладнання;
- психофізіологічні:
- фізичні перевантаження (динамічні);
 - нервово-психічні перевантаження (перенапруга аналізаторів, монотонність праці).

14.1 Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

14.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць

Відповідне приміщення, де перебуває оперативно-ремонтний персонал, який забезпечує роботу та здійснює технічне обслуговування обладнання підприємства, зокрема обслуговує автоматизовані барабанні сушарки, розташоване в одноповерховому будинку, залізобетонної конструкції. Впритул до будівлі є двохповерхова адмінбудівля з кімнатою охорони яка зменшує природну освітленість приміщення та автодорога, яка є джерелом шуму та вібрацій. Загальна площа приміщення складає 70 м², при висоті стелі 2,8 метри. У приміщенні є одне вікно шириною 3 м і висотою 1,5 м і двері шириною 1,5 м. У приміщенні перебуває 2 особи. Тобто площа на одного працівника складає 35 м², що повністю відповідає нормам ДНАОП 0.00-1.31-99, ДСанПіН 3.3.2.007-98.

Для прикладу розглянемо робоче місце інженера-електрика та електромеханіка на підприємстві (рисунок 14.1).

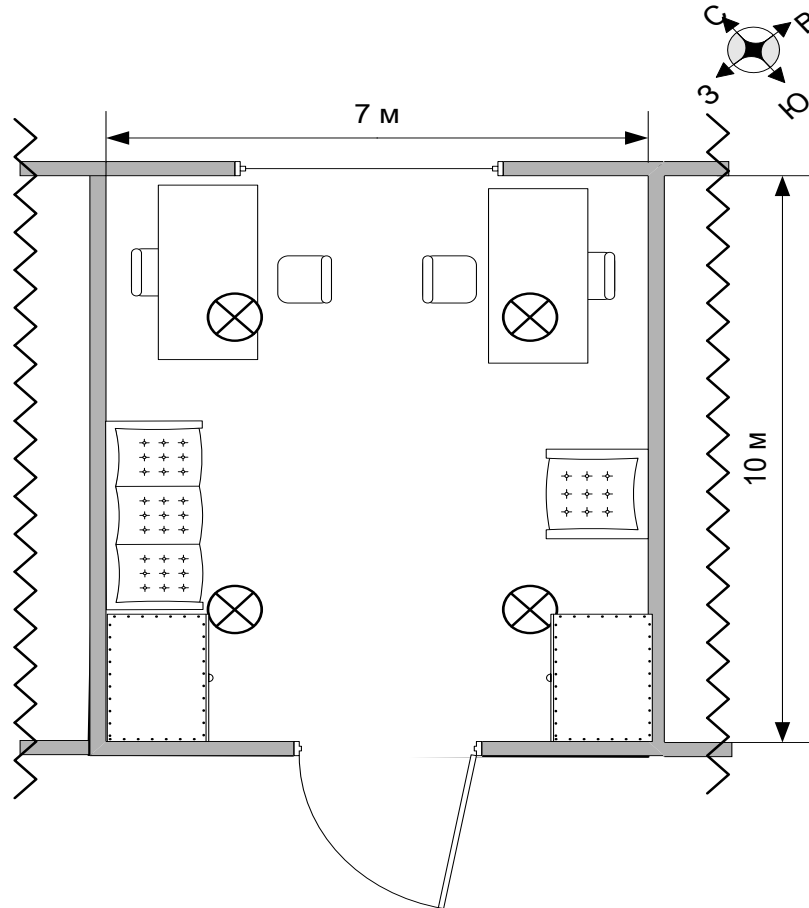


Рисунок 14.1 - План приміщення

Конструкція робочого столу працівників відповідає сучасним вимогам ергономіки і забезпечує оптимальне розміщення на робочій поверхні використовуваного обладнання (робочих інструментів) і документів. Висота робочої поверхні столу становить 750 мм, а ширина - 1300 мм, глибина – 900 мм. Робочий стіл має простір для ніг заввишки 700 мм, завширшки – 950 мм, завглибшки (на рівні колін) 550 мм.

Робоче крісло є підйомно-поворотним, регульованим за висотою, з переднім заокругленим краєм. Висота поверхні сидіння регулюється в межах від 400 до 500 мм, а ширина і глибина становлять по 450 мм. Кут нахилу спинки регулюється в межах від 0° до 30° відносно вертикального

положення. Для зниження статичного напруження м'язів верхніх кінцівок встановлені стаціонарні підлокітники завдовжки 250 мм. Поверхня сидіння відповідає усім вимогам.

Робочі місця мають розташовані на відстані не менше 1,5 м від стіни з вікнами, від інших стін на відстані 1 м, між собою на відстані не менше 1,5 м. Відносно вікон робоче місце доцільно розташовувати таким чином, щоб природне світло падало на нього збоку, переважно зліва.

Загальна організація та комплектування робочого місця повинна сприяти максимальній ефективності процесу праці й відповідати цільовому призначенню. Вона визначає продуктивність праці працівника та її якість.

Організація робочого місця — це система заходів щодо його спеціалізації, оснащення необхідними засобами і предметами праці, їхнього розміщення на робочому місці, його зовнішнього оформлення і створення належних умов праці. Конкретний зміст цих заходів визначається характером і спеціалізацією робочого місця, його видом і значенням у виробничому процесі.

Комплексне оснащення робочого місця є необхідною передумовою ефективної організації процесу праці. Однак не менш важливим є раціональне просторове розміщення засобів оснащення на робочому місці так, щоб забезпечити зручність їх обслуговування, вільний доступ до механізмів, економію рухів і пересувань працівника, зручну робочу позу, гарний огляд робочої зони, безпеку праці, економію виробничої площі, зручний взаємозв'язок із суміжними робочими місцями, з підлеглими і керівниками. Забезпечення цих умов досягається в процесі планування робочих місць.

Можна підкреслити, що ергономічно продуманий план розміщення устаткування може істотно позначитися на безпеці, ефективності і мотивації працівників, тоді як складне приводить до необґрунтованих витрат виробничих площ, часу, а іноді здатний заподіяти і серйозних збитків.

При складанні плану розміщення робочого місця, а в нашому випадку

основний робочий час проводиться за столом, а це означає, що повинна забезпечуватись зручність, безпека, освітленість та гігієна праці.

Зручність забезпечується оснащенням робочого місця сучасним обладнанням, комфортними меблями та вільним простором. Все інше досягається дотриманням норм з охорони праці та безпеки життєдіяльності.

14.1.2 Електробезпека

Живлення здійснюється від П/С 10/0,4 кВ кабельними лініями, що прокладені в траншеях. У приміщенні цеху використовується трифазна чотирьохпровідна мережа із заземленою нейтраллю напругою 380/220 В. Відповідно з ГОСТ 12.1.013-78 умови праці за ступенем небезпеки ураження працівників електричним струмом є умовами з підвищеною небезпекою, тому що підлога у робочому приміщенні є струмопровідною.

Категорія умов по небезпеці електротравматизму – підвищеної небезпеки, у зв'язку з наявністю у цехах підвищеної вологості. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам:

1) Для запобігання електротравм від контакту з нормально-струмовідними елементами електроустаткування, необхідно:

- розміщувати неізольовані струмовідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах;

- використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні - написи, таблички, попереджувальні знаки;

- підвід кабелів до споживачів здійснювати у закритих конструкціях підлоги;

2) При живленні однофазних споживачів струму від трипровідної мережі при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений споживач відключається від мережі.

Згідно з вимогами нормативів, повинна бути забезпечена необхідна кратність струму К.З. залежно від типу запобіжного пристрою, повинна бути забезпечена цілісність нульового захисного провідника.

3) Електрозахисні засоби захисту. Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Згідно із ГОСТ 12.1.030-81, в якості захисту від ураження людей електричним струмом застосовується заземлення. Крім того безпека експлуатації при нормальному режимі роботи забезпечується застосуванням ізолювальних пристроїв, огороженням струмоведучих частин, використанням малих напруг. Особи, що обслуговують електроустановки повинні користуватися ЗІЗ - спецвзуття, рукавиці. Засоби захисту необхідно періодично випробувати, їх слід захищати від механічних пошкоджень, впливу факторів, що погіршують їх діелектричні властивості.

Загальні вимога безпеки до виробничого обладнання встановлені згідно з ГОСТ 12.2.003-74, в якому визначені вимоги до основних елементів конструкції, органів управління і засобів захисту, які входять в конструкцію виробничого обладнання любого виду і призначення.

Електропривід компресора, насосів, вентиляторів, іншого обладнання повинний бути виконаний відповідно до Правил устрою електричних установок.

В установках напругою до 1 кВ огороження роблять суцільними. Безпечні відстані між огороженнями і не ізолюваними струмоведучими частинами регламентується ПУЕ і в установках до 1 кВ із суцільними огороженнями - 5см. Висота розміщення не огорожених струмоведучих частин залежить від значення напруги і рівня підготовки людей, що

працюють з електроустаткуванням. Струмоведучі частини напругою до 1 кВ у місцях, де працюють люди, висота розміщення повинна бути не менше 3,5 м. Постійний контроль за ізоляцією, тому що протягом часу відбувається старіння ізоляції, що може привести до пробую і створити небезпеку при дотику людини до ізольованих проводів. Використовують наступні кольори для маркування ізоляції: чорна - для силових ланцюгів; червона - для ланцюгів керування.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки

Помилки при експлуатації джерел електричної енергії може призвести до враження електричним струмом і виходу з ладу електричного устаткування. Тому варто дотримуватись наступних основних правил електробезпеки:

- не робити будь-які втручання відкритими руками, так і за допомогою інструмента і сторонніх предметів в електроустаткуванні. Це стосується не тільки електроустаткування напругою 10 кВ, а й приладів з напругою 380 В;

- не допускати постановку в електричні ланцюги високої та низької напруги некаліброваних плавких уставок;

- строго виконувати правила техніки безпеки при експлуатації. Перед

початком огляду електроустаткування верстата або виконання робіт з технічного обслуговування необхідно:

- від'єднати від живлячої мережі силові кола, а також кола керування верстатом;

- при знятті окремих агрегатів і деталей, що вимагають фізичних зусиль, також при незручностях у роботі, пов'язаних зі зніманням агрегатів і деталей рекомендується застосовувати спеціальні пристосування (знімачі), її забезпечують безпечну роботу;

- працюючи молотком, або кувалдою при рубанні, чеканки і подібні роботах, потрібно надягати захисні окуляри і приймати всі міри до того щоб і травмувати людей себе., що знаходяться поруч, частками металу, що відлітають.

При проведенні технічного обслуговування забороняється:

- виконувати будь-які монтажні роботи при під'єднаному до мереж електроустаткуванні верстата.

Обов'язкова установка захисного заземлення і занулення та захисного відключення. При роботі з електроустаткуванням існують основні і додаткові електрозахисні засоби. До основних відносяться: ізолюючі штанги; ізолюючі і струмовимірювальні кліщі; слюсарно-монтажні інструменти з ізолюючим руків'ям. До додаткових відносяться: діелектричні рукавички; переносне заземлення; огорожуючі пристосування; плакати та знаки безпеки.

На ключах керування і приводах роз'єднувачів віддільників і вимикачах навантаження, а також на підставках запобіжників, за допомогою яких може бути подана напруга до місця робіт, вивішують плакат: "Не включати - працюють люди". На вентилях, що закривають доступ повітря в пневматичні приводи таких апаратів, вивішується плакат: "Не відкривати - працюють люди".

Передбачена проектом апаратура повинна експлуатуватися у відповідності з паспортними значеннями номінального струму та напруги. В процесі експлуатації слід постійно контролювати стан контактних сполучень

та ізоляції апаратури, відсутність слідів дуги та оплавлення ошинування, опір ізоляції силових та освітлювальних мереж, правильність підключення. На всіх підготовлених місцях роботи після накладається заземлення вивіщується плакат "Працювати тут".

14.2 Технічні рішення з гігієни праці і виробничої санітарії

Персонал, який обслуговує електроустановки промислових підприємств, працює в умовах можливої дії ряду небезпечних та шкідливих для здоров'я факторів, обумовлених станом приміщень та характером виробництва. Тому для збереження здоров'я та працездатності людей при проектуванні та будівництві підприємстві необхідно врахувати вимоги санітарних норм проектування промислових підприємств СП 2.2.1.1312-0.

14.2.1 Мікроклімат

Основними нормативними документами, що регламентують параметри мікроклімату виробничих приміщень, є ДСН 3.3.6.042-99.

Мікроклімат цеху характеризується наступними чинниками: температурою повітря, відносною вологістю повітря, швидкістю руху повітря, інтенсивністю теплового випромінювання.

Роботи по обслуговуванню технологічного обладнання відносяться до категорії - середньої тяжкості Пб. Допустимі параметри мікроклімату приведені в таблиці 14.1

Таблиця 14.1 - Нормовані параметри мікроклімату в робочій зоні виробничого приміщення

Період року	Категорія робіт по важкості	Температур а °С	Відносна вологість %	Швидкість повітря м/с
		Допустима	Допустима	Допустима
Холодний	Середня П б	13-23	75	0,4
Теплий	Середня П б	17-29	75 при 24°	0,2-0,5

Інтенсивність теплового випромінювання на працюючих визначається нагрітими поверхнями технологічного обладнання, освітлювальними пристроями. Інсоляції на постійних і непостійних робочих місцях не повинні перевищувати 36 Вт/м^2 при опроміненні більше 25% поверхні тіла.

Потрібний стан повітряного середовища може бути забезпечений використанням окремих заходів, до основних з яких належать: механізація і автоматизація виробничих процесів, дистанційне керування ними: захист від джерел теплових випромінювань; встановлення вентиляції і опалення.

14.2.2 Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується гранично допустимими концентраціями (ГДК) в мг/м^3 .

В умовах виробничого процесу експлуатації обладнання можливим забруднювачами повітря може бути промисловий пил. При роботі системи вентиляції, провітрюванні у приміщенні може попадати пил та інші шкідливі речовини, які виділяються при технологічних процесах в цеху і знаходяться повітрі навколишнього середовища. Їх ГДК наведено в таблиці 14.2.

Таблиця 14.2 - Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин для повітря атмосфери в робочій зоні

Назва речовини	ГДК, мг/м^3		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4

Для забезпечення складу повітря робочої зони відповідно до ГОСТу 12.1.004-91. ССБТ проектом передбачені наступні рішення:

- застосування пиловідсмоктуючих агрегатів з рукавними фільтрами, які встановленні безпосередньо на дільницях біля обладнання із яких очищене повітря поступає у виробниче приміщення;

- необхідно проводити контроль за ГДК шкідливих речовин у приміщенні;
- застосовувати природну вентиляцію: організовану і неорганізовану.

14.2.3 Виробниче освітлення

Природне освітлення. Підприємство знаходиться у Житомирській області, система природного освітлення цеху - бокова. КЕО при природному та суміщеному освітленню. Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 характеристика зорової роботи при виконанні - роботи високої точності; розряд зорової роботи - III; підрозряд зорової роботи - г; контраст об'єкту розпізнавання - середній; характеристика фону - світлий; бокове КЕО, %:

- природне 2,0;
- суміщене 1,2.

Основною величиною для розрахунку і нормування природного освітлення є коефіцієнт природної освітленості (КПО). Прийняте роздільне нормування КЕО для бічного і верхнього освітлення. Ті місця, що освітлюється тільки бічним світлом, нормується мінімальне значення КЕО в межах робочої зони, що повинно бути забезпечене в точках, найбільше віддалених від вікна. Нормовані значення КЕО для будинків визначаються за формулою:

$$e_N = e_H \cdot m_N, \quad (14.1)$$

де m_N – коефіцієнт світлового клімату- 0,85, вікна зорієнтовані на захід;

e_N – значення КПО;

N - номер групи забезпеченості природнім світлом.

Природне освітлення:

$$e_N = 2 \cdot 0,85 = 1,7\%.$$

Для сумісного освітлення:

$$e_N = 1,2 \cdot 0,85 = 0,9\%.$$

Штучне освітлення. Правильна експлуатація установок природного і штучного освітлення відіграє важливу роль для створення високого рівня освітленості в приміщеннях і економії електроенергії, що витрачається на штучне електричне освітлення. Норми освітленості при штучному освітленні занесені до таблиці 14.3.

Таблиця 14.3 - Норми освітленості при штучному освітленні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнювання	Розряд зорової роботи		Контраст об'єкта розрізнювання з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк	
		III	Г			Штучне освітлення	
						Комбіноване	Загальне
Середньої точності	Вище 0,5 до 1	III	Г	Середній, малий	Середній, темний	400	200

При експлуатації здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

Правильне освітлення робочого місця полегшує працю робітника, знижує втомленість, підвищує продуктивність праці, знижує небезпеку виробничого травматизму. Норми освітлення представлені в таблиці 14.3.

У виробничих приміщеннях, особливо в зимовий період, коли світловий день досить короткий, природнього освітлення недостатньо, тому

використовуємо штучне освітлення (таблиця 14.4).

Таблиця 14.4 - Вибір освітлювального пристрою

Тип світильника	Кососвітло емальоване
Світло розподілення	Несиметричне
Потужність лампи, Вт	До 200
ККД	0,6
Найменша висота підвіски	Будь-яка
Рекомендації по використанню світильників	Для освітлення вертикальних поверхонь пультів управління та

14.2.4 Виробничий шум

На підприємстві джерелами виробничого шуму є генератори, вентилятори, електродвигуни, верстати, циркулярні пили, транспортні засоби і т.д.

Шум - це хаотична сукупність різних за силою і частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину.

Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки - дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Шум має кумулятивний ефект, тобто акустичні подразнення, накопичуючись в організмі людини, все сильніше пригнічують нервову систему. Тому перед втратою слуху від впливу шумів виникає функціональний розлад центральної нервової системи. Особливо шкідливий вплив шуму позначається на нервово-психічній діяльності людини. Процес нервово-психічних захворювань вищий серед осіб, що працюють у гомінких умовах, ніж у людей, що працюють у нормальних звукових умовах.

Рівень звука вимірюється в децибелах і визначається по формулі:

$$L = 10\lg(I/I_0) = 10\lg(p/p_0) = 10\lg(U/U_0) \quad (14.2)$$

де L - рівень шуму, дБ;

p - звуковий тиск, Па;

U_0 - коливальна швидкість, 5-10 м/с;

P_0 - нульове значення звукового тиску, прийняте рівним $2 \cdot 10^5$ Па.

При санітарно-гігієнічному нормуванні шуму використовують два методи:

-нормування за гранично допустимим спектром шуму;

-нормування рівня звуку за шкалою А шумоміра.

За характером спектру шум - широкопasmовий з безперервний спектром шириною більше октави; за тональною характеристикою постійний; за походженням - гідродинамічний.

Допустимі рівні звукового тиску, рівні звуку і еквівалентні рівні звуку на робочих місцях приймаються за вимогами СН 32.23-85 і наведені в таблиці 14.5.

Таблиця 14.5 - Допустимі рівні звукового тиску

Робоче місце	Рівні звукового тиску в октавних смугах з середньгеометричними частотами, Гц								
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
На постійних робочих місцях у виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69

Основним джерелом шуму у виробничих приміщеннях є двигуни електроприводів дробарок, транспортерів, вентиляторів.

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину. Також зниження рівня шуму до допустимого застосовують малошумні установки, оснащення машин і установок засобами дистанційного керування і тиску в даному виробничому приміщенні при постійному шумі (дБА).

14.2.5 Виробнича вібрація

Вібрацією називають будь-які механічні коливання пружних тіл, які проявляються в їх переміщенні в просторі. Коливання частотою нижче 16 (Гц) сприймаються органами як вібрації.

Джерелами вібрацій можуть бути електричні пилки, дробарки, електродвигуни, вентилятори. Джерелом збудження вібрацій є зворотньо-поступальний рух системи, невірноваженої маси.

Основними гігієнічними характеристиками вібрації, які визначають вплив на людину, є середньоквадратичні значення віброшвидкості чи її логарифми. Систематична дія вібрації призводить до різних порушень здоров'я людини, стає причиною вібраційної хвороби. Загальна вібрація діє на нервову, серцево-судинну систему, порушується обмін речовин; виникає головний біль, порушується сон, знижується продуктивність праці.

З метою виключення можливості виникнення віброхвороби обмежують параметри вібрації робочих місць і поверхні контакту працюючих

Допустимі значення нормованих вібрацій на постійних робочих місцях в даному виробничому приміщенні приведені в таблиці 14.6.

Таблиця 14.6 - Допустимі рівні вібрації на робочих місцях.

Вид вібрації	Октавні смуги з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	31,5	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: На постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	$\frac{1,3}{108}$	$\frac{0,45}{99}$	$\frac{0,22}{93}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	$\frac{0,2}{92}$	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, м/с 10^{-2} , знаменнику - логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Основними методами колективного віброзахисту є зниження вібрації шляхом дії на джерело виникнення: відстрочка від режиму резонанс; динамічне гасіння коливань, заміна конструктивних елементів уставок і будівельних конструкцій. Засоби індивідуального захисту діляться на засоби для ніг, рук та тіла працюючого.

Заходи боротьби: динамічне гасіння коливань і зміна конструктивних елементів установки.

Боротьба з вібрацією досягається вибором таких кінематичних і технологічних схем, при яких динамічні процеси, які викликані поштовхами, різкими прискореннями, будуть виключені чи гранично знижені. Динамічне гасіння вібрації відбувається частіше всього шляхом розміщення установок на фундаменті, масу яких визначають з розрахунку, щоб амплітуда коливань не перевищувала 0,1-0,2 (мм).

14.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори небезпеки – чинники, обумовлені особливостями фізіології та психології людини, що можуть завдати їй шкоди за певних обставин.

На трудову діяльність людини та її організм впливають обсяг сприймання і перероблення інформації, фізичне, нервово-психологічне,

розумове, емоційне перенавантаження, ритм і темп роботи, монотонність праці. Їх оцінювання дає змогу визначити ступінь і характер навантаження під час роботи, відповідність робочого місця і засобів праці анатомо-фізіологічним особливостям людини, встановити раціональні режими праці і відпочинку, облаштувати робочі місця, налагодити професійний добір та профорієнтацію тощо.

Керуючись таблицею «Класи умов праці за показниками важкості праці» ми бачимо що дана професія належить до другого класу, оскільки нахили тулуба за зміну рівні 51-100 раз, робоча поза має наступний характер, періодичне перебування в незручній позі (робота з поворотом тулуба, незручним розташуванням кінцівок), загальні енергозатрати організму до 290 Вт.

Згідно таблиці «Класи умов праці за показниками напруженості праці» ми бачимо що дана професія належить до третього класу, оскільки зміст роботи носить в собі рішення складних завдань з вибором за алгоритмом (робота за серією інструкцій), розподіл функцій за ступенем складності завдання має обробку, перевірку і контроль за виконанням завдання, розмір об'єкта розрізнення є 1,0-0,3 мм більше 50% часу; менше 0,3 мм 25-50% часу.

14.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Дослідження безпеки роботи електропривода барабанної сушарки в умовах дії загрозливих чинників надзвичайних ситуаціях

Забезпечення безпеки роботи системи автоматизації барабанної сушарки у НС базується на комплексі організаційних, інженерно-технічних заходів і засобів, спрямованих на збереження її працездатності в умовах дії загрозливих чинників. Для цього необхідно: прогнозувати та оцінити можливі наслідки; заздалегідь спланувати заходи із запобігання та зменшення вірогідності виникнення НС і скорочення масштабів прояву результатів НС; організація робіт в умовах НС та ліквідація її наслідків.

Вплив іонізуючих випромінювань (α , β , γ) на матеріали і деталі обладнання системи автоматизації барабанної сушарки системи автоматизації барабанної сушарки залежить від виду випромінювання, дози та умов навколишнього середовища. В обладнанні застосовуються елементи, до складу яких входять такі матеріали: метали, неорганічні матеріали, провідники і різноманітні органічні сполуки (діелектрики, смоли і т.д.). Серед цих матеріалів метали найбільш чутливі до впливу іонізуючих випромінювань, оскільки їм властива висока концентрація вільних носіїв. Відомо, що іонізуючі випромінювання викликають зворотні і незворотні процеси, внаслідок яких можуть відбуватися порушення роботи електричних елементів схеми, що призводять до виходу з ладу апаратури. Так, проходячи через елементи, потік гамма-випромінювань створює в них вільні носії електричних зарядів, в результаті переміщення яких виникає помилковий імпульс, який призводить до спрацьовування пристрою. В результаті опромінення у транзисторах змінюється обернений струм і коефіцієнт підсилення, у конденсаторах знижуються напруги пробою та опір стікання, змінюється провідність і внутрішній нагрів; руйнується електрична ізоляція дротів тощо. [24]

Для інженерної практики найбільший інтерес представляє оцінка безпеки системи електропривода роботи системи автоматизації барабанної сушарки при впливі на її компоненти іонізуючих випромінювань протягом певного часу.

Найбільш піддаються впливу електромагнітного імпульсу (ЕМІ) системи автоматизації барабанної сушарки, зв'язку, сигналізації і керування. ЕМІ ушкоджують напівпровідниковим приладам, резисторам, конденсаторам та представляє велику небезпеку для обладнання системи автоматизації барабанної сушарки добре захищеної від впливу інших вражаючих факторів. Тому слід пам'ятати, що апаратура може втратити працездатність, знаходячись у надійних захисних спорудженнях [15].

14.3.1 Дослідження безпеки роботи електропривода барабанної сушарки в умовах дії іонізуючих випромінювань

Максимально допустимі значення потужності дози γ -випромінювань для вище перерахованих елементів наведені в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Граничні значення потужності доз системи автоматизації

	Блок	Елементи системи автоматизації	$P_{гр,i}$ (P/	$P_{гр}$
	Блок управління	Автоматичний вимикач ВА 53-41	10^5	10^4
		Мікросхеми	10^4	
	Блок живлення	Конденсатори К53-1, 1 мкФ×32В(10%)	10^6	
		Резистори С2-29-5%	10^6	
	Блок підсилення	Напівпровідники	10^4	
		Транзистори IRG7PH46UPBF	10^4	

1. За мінімальним значенням $p_{гр}$ (див. табл. 5.1) межа безпеки роботи системи автоматизації барабанної сушарки складає $p_{гр} = 10^4$ (P/год).

2. Для оцінки безпеки роботи системи автоматизації барабанної сушарки визначається граничне значення потужності дози гамма-випромінювання ($p_{гр}$) за наступною формулою:

$$P_{гр} = K \times p_{гр} \times K_n, \quad (5.1)$$

де: K – коефіцієнт надійності, $K = 0,9..0,95$;

$p_{гр}$ – рівень радіації, що відповідає початку зворотних змін найменш стійкого елемента;

$K_{пос}$ – коефіцієнт послаблення радіації ($K_{пос} = 2$),

$$P_{гр} = 0,92 \times 10^4 \times 2 = 1,84 \times 10^4 \text{ (P/год)},$$

1. З вище наведених розрахунків можна зробити висновок, що безпека роботи системи автоматизації барабанної сушарки в умовах дії іонізуючих випромінювань буде забезпечуватись, якщо радіація в умовах експлуатації не перевищуватиме $P_{гр} = 1,84 \times 10^4$ (P/год).

2. Розрахуємо допустимо максимальний час перебування обладнання системи електропривода в умовах дії іонізуючих випромінювань:

$$D_m = \frac{2P_{ep}(\sqrt{t_K^2} - \sqrt{t_{II}^2})}{1}, \quad (5.2)$$

де: $\sqrt{t_{II}^2}$, дорівнює 1;

D_m – дорівнює 10^3 ;

Оскільки всі значення відомі, то допустимий час роботи системи автоматизації барабанної сушарки буде таким:

$$t_d = \left(\frac{10^3 \cdot 7 + 2 \cdot 6,3 \cdot \sqrt{1}}{2 \cdot 6,3} \right)^2 = 16141286(\text{год}).$$

З розрахунків можна зробити висновок, що робота системи автоматизації барабанної сушарки в умовах впливу іонізуючих випромінювань буде працювати безпечно 5,03 роки, а це більше часу морального старіння обладнання системи. Отже, проводити заходи щодо підвищення безпеки її роботи не потрібно.

14.3.2 Дослідження безпеки роботи електропривода барабанної сушарки в умовах дії ЕМП

Початкові дані: $U_{ж} = 5$ (В) - напруга живлення;

$l_r = 1,68$ м – максимальна довжина горизонтальних струмоведучих провідників.

Плати пристроїв як правило розташовані горизонтально. Так як вертикальна складова напруженості електричного поля приблизно на три порядки більша за горизонтальну, подальші розрахунки здійснюємо з врахуванням вертикальної складової.

В якості показника безпеки виступає коефіцієнт безпеки, який визначається за формулою:

$$K_{\sigma} = \frac{20 \lg U_{\Delta}}{U_{B(\Gamma)}} \geq 40 \text{ дБ}, \quad (5.3)$$

де: $U_{B(\Gamma)}$ – напруга наведення у вертикальних (горизонтальних) струмопровідних частинах.

$$U_{\Delta} = \frac{U_{ж} + U_{ж}n}{100}, \quad (5.4)$$

де: n – відхилення напруги живлення від її номінальної, $n = 25\%$;

$$U_{\Delta} = 5 + \frac{5}{100} \cdot 25 = 6,25 \text{ (В)},$$

Допустима напруга наведення U_{Γ} :

$$U_{B} = \frac{U_{\Delta}}{\frac{40}{10^{20}}} = \frac{6,25}{100} = 0,0625 \text{ (В)},$$

Вертикальна складова напруженості електричного поля визначається:

$$E_{\Gamma} = \frac{U_{B}}{l_{B}}, \quad (5.5)$$

$$E_{\Gamma} = \frac{0,0625}{1,68} = 0,037 \text{ (В/м)}$$

Оціночно:

$$E_{B} = E_{\Gamma} \times 10^3 = 0,037 \times 10^3 \text{ (В/м)},$$

Отже, оцінюючи безпеку роботи системи автоматизації барабанної сушарки потрібно відмітити, що вертикальна складова напруженості електричного поля повинна не перевищувати $0,037 \times 10^3$ В/м, граничне значення потужності дози гамма- випромінювання $P_{\Gamma} = 6,3 \times 10^5$ (Р/год), а також допустимий максимальний час перебування системи автоматизації барабанної сушарки в умовах дії іонізуючих випромінювань більше 5 років, що визначено розрахунками.

Також визначено, що основними засобами для забезпечення безпеки роботи системи автоматизації барабанної сушарки в умовах дії іонізуючих випромінювань та електромагнітного імпульсу є:

- використання спеціальних екранів;
- використання активного електропривода від дії потоку заряджених частинок.

При імпульсній дії ЕМІ, крім перерахованих способів використовуються пристрої, що вимикають апаратуру і обладнання системи автоматизації барабанної сушарки заводу на період його дії, а також збільшення відстані між елементами, що під напругою.

ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

15.1 Розрахунок капітальних вкладень

Замовник для модернізації системи барабанної сушарки залучає власні кошти для реалізації технічного рішення зі створення засобу автоматичного підбору швидкості обертання барабану в залежності від вологості вхідної сировини. Він несе витрати на розробку, впровадження та експлуатацію розробки.

До модернізації швидкість обертання двигуна, а отже барабана не змінювалась, тому процес сушінні деревної щепи перебігав не завжди в оптимальному режимі, модернізація установки передбачає встановлення перетворювача частоти та відповідних електротехнічних компонентів, сенсорів зворотного зв'язку, які дозволять створити замкнену систему керування. Таких підхід дозволить заощадити на витратах електроенергії та підвищить якість готової продукції.

Всі витрати, пов'язані з реалізацією проекту називають капітальними вкладеннями. До капітальних вкладень відносять витрати на розробку проекту, придбання обладнання, доставку на підприємство, монтаж і налагодження. Затрати на монтаж та придбання системи електропривода зведено в таблицю 15.1.

Таблиця 15.1 – Кошторис базового набору елементів системи

Елемент	Ціна, грн
Електродвигун 4A132S6	4150
Перетворювач частоти	7200
Сенсори	1400
Провідники та кабелі	300
Інші компоненти	500
Всього	13450
Затрати на монтаж і транспорт	$13450 \cdot 0,13 = 1748$
Всього	15198

15.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати включають витрати на забезпечення нормального функціонування певного технічного рішення в період його експлуатації в розрахунку на рік.

Вартість споживаної активної потужності за рік:

$$C_{A.E} = \frac{P_{н.Е}}{\eta} \cdot \Phi \cdot k_b \cdot c, \quad (15.1)$$

де $P_{н.Е}$ – потужність (кВт);

η – коефіцієнт корисної дії системи;

Φ – річний час роботи системи керування;

c – тариф на електроенергію (2,8 грн/кВт·год);

k_b – коефіцієнт використання ($k_b = 0,5$).

$$C_{A.E} = \frac{5,5}{0,9} \cdot 1000 \cdot 0,5 \cdot 2,8 = 8555 \text{ (грн)}.$$

Вартість реактивної енергії:

$$C_{P.E} = C_{A.E} \cdot D \cdot \operatorname{tg}\phi \cdot (1 + 1,3 \cdot (\operatorname{tg}\phi - 0,25)^2), \quad (15.2)$$

де D – економічний еквівалент реактивної потужності ($D=0,1$);

$\operatorname{tg}\phi$ – коефіцієнт реактивної потужності ($\operatorname{tg}\phi=0,75$).

$$C_{P.E} = 8555 \cdot 0,1 \cdot 0,75 \cdot (1 + 1,3 \cdot (0,75 - 0,25)^2) = 850 \text{ (грн)}.$$

Загальну вартість споживаної електроенергії можна оцінити за формулою:

$$C_{E.E} = C_{A.E} + C_{P.E}. \quad (15.3)$$

$$C_{E.E} = 8555 + 850 = 9405 \text{ (грн)}.$$

Тарифна ставка першого розряду $ТС_1 = 25$ грн/год. Розрахуємо тарифну ставку електромеханіка 5-го розряду (таблиця 15.2).

Таблиця 15.2 – Тарифна сітка погодинників

Тарифні розряди	I	II	III	IV	V	VI
Тарифні коефіцієнти	1	1,5	1,8	2,03	2,33	2,7

Відповідно із таблицею тарифний коефіцієнт для 5 розряду складає 2,33. Розраховуємо тарифну ставку:

$$ТС_5 = 2,33 \cdot 25 = 58,25 \text{ (грн/год)}. \quad (15.4)$$

Заробітну плату персоналу за рік визначаємо за формулою:

$$З_{\text{обс}} = N \cdot l_A \cdot F_q \cdot 1,2, \quad (15.5)$$

де N – кількість обслуговуючого персоналу, чел.;

l_A – тарифна ставка за годину роботи персоналу, грн.;

F_q – фонд часу робочого обслуговуючого персоналу;

1,2 – коефіцієнт, що враховує доплати, додаткову заробітну плату і відрахування на соціальне страхування.

Таким чином згідно норм по обслуговуванню електрообладнання необхідні один електромонтер V розряду

Годинна тарифна ставка станом на 2019 рік:

для електромонтерів V розряду – 58,25 грн/год;

Фонд часу робочого обслуговування персоналу на рік, год:

$$F_q = k \cdot T_p, \quad (15.6)$$

де k – тривалість обслуговування системи автоматизації за зміну;

T_p – кількість робочих днів на рік.

Приймаємо тривалість обслуговування 0,5 год/зміну, кількість робочих днів 250 днів, то фонд часу робочого обслуговування на рік буде:

$$F_q = 0,5 \cdot 250 = 125 \text{ (год)}.$$

Тоді заробітна плата персоналу, який займається налагоджуванням складе:

$$Z_{\text{обс}} = 1 \cdot 58,25 \cdot 125 \cdot 1,2 = 8737 \text{ (грн)}.$$

Поточний ремонт системи автоматизації здійснюється на місці встановлення з його відключенням від мережі силами ремонтного персоналу.

Витрати на проведення ремонтних робіт складаються з витрат на комплектуючі, з витрат на запасні частини та інші елементи, які підлягають заміні, а також з витрат на оплату праці персоналу, який проводить ремонтні роботи. Для визначення витрат на оплату праці ремонтників необхідно розрахувати трудомісткість ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт визначається згідно графіка планово-попереджувальних ремонтів, у якому показано тривалість міжремонтних періодів та трудомісткість кожного виду ремонту.

Графік планово-попереджувальних ремонтів наведено в таблиці 15.3.

Таблиця 15.3 – Графік ремонтів

Найменування обладнання	Види ремонтів по місяцях												Трудомісткість, люд-год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Система керування			2						2				4
Комутаційна апаратура						2			2				4
Електромеханічна система			2			2			2		2		8
Загальна трудомісткість												16	

Ремонтні роботи проводить електромеханік п'ятого розряду. З врахуванням того, що відома трудомісткість робіт, з (15.3), матимемо:

$$E_{30} = I_A \cdot \Phi_{\text{эф}}, \quad (15.7)$$

$$E_{30} = 58,25 \cdot 16 = 932 \text{ (грн)},$$

Витрати на матеріали, комплектуючі та запасні частини для поточного ремонту приймають рівними 15% від затрат на основну заробітну плату. Отже, витрати на матеріали для ремонтів становлять:

$$8737 \cdot 0,15 = 1311 \text{ (грн)},$$

Всього витрати на поточний ремонт обладнання становлять:

$$E_{\text{пр}} = 932 + 1311 = 2243 \text{ (грн)}.$$

Дрібні та невраховані витрати – це витрати, на послуги найманого транспорту, оплату опалення, освітлення, вентиляції приміщень; витрати на утримання ділянок, на придбання інвентарю; затрати по техніці безпеки і охороні праці; затрати на відрядження.

Дрібні та невраховані витрати в середньому становлять 6% загальної суми експлуатаційних витрат (без врахування амортизаційних відрахувань):

$$C_{\text{м.е}} = 0,06 \cdot (C_{\text{е.е}} + Z_{\text{обс}} + E_{\text{пр}}). \quad (15.8)$$

$$C_{\text{м.е}} = 0,06 \cdot (9405 + 8737 + 2243) = 1223 \text{ (грн)}.$$

Амортизаційні відрахування – відрахування, які йдуть на повне або часткове повернення затрат, пов'язаних із зносом обладнання.

Середні амортизаційні відрахування визначаються за формулою:

$$A_E = \frac{k \cdot H_B}{100}, \quad (15.9)$$

де k – капіталовкладення, грн;

H_B – норма амортизаційних відрахувань.

$$A_E = \frac{15198 \cdot 10}{100} = 1520 \text{ (грн)}.$$

Тоді сумарні річні експлуатаційні витрати визначаємо за формулою:

$$E_E = Z_{\text{обс}} + C_E + C_{\text{м.н}} + E_{\text{пр}} + A, \quad (15.10)$$

$$E_E = 8737 + 9405 + 1223 + 2243 + 1520 = 23128 \text{ (грн)}$$

У результаті проведених розрахунків можна зробити висновок, що впровадження нової системи автоматизованого електропривода барабанної сушарки є економічно вигідним та не потребує значних затрат.

ВИСНОВКИ

В роботі модернізовано систему автоматизованого електроприводу сушильного барабану.

На основі проведеного аналізу визначено, що для приводу сушильного барабану доцільним є використання таких системи електричного приводу: РКС-ДПС; РКС-АД з ФР; ТП-ДПС; ТРН-АД; ПЧ-АД.

На основі даних, що характеризують технологічний процес побудовано тахограму та розраховано моменти статичного опору в режимах холостого ходу та номінального завантаження робочого механізму, а також здійснено попередній розрахунок потужності приводного двигуна.

На основі техніко-економічного обґрунтування визначено, що для приводу сушильного барабану доцільним є використання системи електричного приводу типу ПЧ-АД з КЗ ротором.

Здійснено попередній вибір приводного двигуна, розраховано динамічні навантаження та побудовано навантажувальну діаграму привода.

Здійснено перевірку вибраного двигуна за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску. Оскільки умови перевірок виконуються, то двигун вибрано вірно.

За допомогою формул Клоса та Чекунова побудовано природну механічну характеристику приводного двигуна типу 4A132S6.

Для живлення приводного двигуна розраховано основні елементи силового кола та вибрано стандартний промисловий частотний перетворювач фірми Siemens, номінальна потужність якого складає 5,5 кВт.

Розроблено математичну модель САЕП, розраховано основні параметри структурної схеми САЕП, розраховано параметри регуляторів в контурах регулювання швидкості та моменту (струму).

Розроблено математичну модель визначення часу сушки деревної щепи в барабанній сушарці, що дає змогу визначати оптимальний час перебування щепи в сушарці.

Перевірено правильність проведених розрахунків шляхом комп'ютерного моделювання в ППП Matlab.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org>.
2. Белов М. П. Автоматизированный электропривод типовых производственных механизмов и технологических комплексов / М. П. Белов, М. А. Новиков, Л. Н. Рассудов. – М.: Академия, 2007. – 576 с.
3. Пейч Н. Н. Сушка древесины. / Н. Н. Пейч, Б. С. Царев. – М.: Высшая школа, 1971. – 220 с.
4. Тюкина Ю. П. Технология лесопильно-деревообрабатывающего производства / Ю. П. Тюкина, Н. С. Макарова. – М. : Высшая школа, 1988. – 271 с.
5. Отлев И. А. Справочник по древесно-стружечным плитам / И. А. Отлев, Ц. Б. Штейнберг. – М.: Лесная пром-сть, 1983. – 240 с.
6. Технология производства древесно-стружечных плит [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.shkafy-kupe.ru/articles/materials/dsp.htm>.
7. Власов Г. Д. Технология деревообрабатывающих производств / Г. Д. Власов, В. А. Куликов. – М.: Гослесбумиздат, 1960. – 567 с.
8. Справочник по тиристорам [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://kazus.ru/guide/thyristors/index.htm>
9. Сухие трансформаторы. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tsks.ru/tsz-10.shtml>
10. Украинский производитель низковольтной техники [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://promfactor.com/index.php>
11. Amos W.A. Report on biomass drying technology. National Renewable Energy Laboratory; 1998.
12. Khan A.A, de Jong W, Jansens PJ, Spliethoff H. Biomass combustion in fluidized bed boilers: potential problems and remedies. Fuel Process Technol 2009;90(1):21-50.

13. Imatran Voima O.Y. HASL. Thermal drying of wet fuels: opportunities and technology. Prepared by H.A. Simons LTD. for Electric Power Research Institute of Canada, TR-107109 4269-0; 1996.
14. Broek R., Faaij A., Wijk A. Biomass combustion for power generation. *Biomass and Bioenergy* 1996;11(r):271-81.
15. Matt Worley hGI. Biomass Drying Technology Update. 2011.
16. Roos C.J. Biomass Drying and Dewatering for Clean Heat & Power. Olympia, WA: WSU Extension Energy Program; 2008.
17. Brammer J.G., Bridgwater A. The influence of feedstock drying on the performance and economics of a biomass gasifier-engine CHP system. *Biomass Bioenerg* 2002;22(4):271-81.
18. Andersson E., Harvey S., Berntsson T. Energy efficient upgrading of biofuel integrated with a pulp mill. *Energy* 2006;31(10-11):1384-94.
19. Li H.N., Chen Q., Zhang X.H., Finney K.N., Sharifi V.N., Swithenbank J. Evaluation of a biomass drying process using waste heat from process industries: a case study. *Appl Therm Eng* 2012;35:71-80.

Додаток А

Технічне завдання

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ПОГОДЖЕНО

Заст. декана ФЕЕЕМ з НМР
_____ Бурикін О.Б.

“ ____ ” _____ 20__ р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ЕМСАПТ
_____ д.т.н., проф. В.М. Кутін

“ ____ ” _____ 201__ р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську дипломну роботу

АВТОМАТИЗАЦІЯ БАРАБАННОЇ СУШАРКИ

08-16.МКР.009.00.000 ТЗ

Керівник дипломної роботи

доц. Паянок О.А.

“ ____ ” _____ 201__ р.

Розробив студ. гр. ЕПА-18м.

Баутіста Кілумбакін Даріл Нанкі

“ ____ ” _____ 201__ р.

Вінниця ВНТУ 2019

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Автоматизація барабанної сушарки».

Скорочене найменування розробки – «Електропривод сушарки».

Замовник – кафедра електромеханічних систем автоматизації в промисловості і на транспорті.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем магістерських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Електропривод сушильного барабана приведення в дію сушильного барабана.

4 Вимоги до розробки

Електропривод сушильного барабана повинен забезпечувати надійну роботу в тривалому режимі роботи. Експлуатація здійснюється в умовах запиленості приміщень, підвищеної вологості повітря та при високих температурах.

5 Комплектація розробки

Виріб складається з електродвигуна, системи керування та робочого органу у вигляді барабана. Вихідний вал двигуна з'єднаний з робочим органом через циліндричний редуктор та з'єднувальну муфту.

6 Технічні характеристики

Тривалість ввімкнення ТВ, %	100
-----------------------------	-----

Кількість двигунів, шт.	1
-------------------------	---

7 Елементна база

Двигун, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т.п. виробництва України, країн близького зарубіжжя та Європи.

8 Конструктивне виконання

Електропривод виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки у пило-вологозахищеному виконанні.

9 Показники технологічності

Електропривод сушильного барабану – двигун, апарати керування і захисту, провідники, кабелі тощо. Виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинні відповідати правилам улаштування електроустановок.

10 Стадії і етапи розробки

Стадії і етапи розробки	Термін виконання
Основна частина пояснювальної записки	
Графічна частина	

11 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем автоматизації та електропривода.

12 Живлення електропривода

Живлення електропривода повинно бути виконане напругою 380 В від силової мережі підприємства.

Додаток Б

Ілюстративні матеріали

АНОТАЦІЯ

Баутіста Кілумбакін Даріл Нанкі Автоматизація барабанної сушарки. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 118 с. Бібл.:19. Іл.:23. Табл.:28.

Здійснено модернізацію системи керування електропривода сушильного барабана. На основі техніко-економічних показників вибрано систему електропривода, розраховано та вибрано електродвигун, перевірено його за нагрівом, перевантажувальною здатністю та умовами пуску, досліджено характеристики в статистичному та динамічному режимах, а також розроблено електричні схеми САЕП сушильного барабану. Для перевірки модернізованої САЕП проведено моделювання в ППП Matlab, а також перевірка на стійкість та якість.

Ключові слова: електропривод, сушильний барабан, перетворювач частоти.

АННОТАЦИЯ

Баутиста Килумбакин Дарил нанка Автоматизация барабанной сушилки. Магистерская квалификационная работа. - Винница: ВНТУ, 2019. - 118 с. Библ.: 19. Ил.: 23. Табл.: 28.

Осуществлена модернизация системы управления электропривода сушильного барабана. На основе технико-экономических показателей выбрана система электропривода, рассчитан и выбран электродвигатель, проверен он за нагревом, перегрузочной способностью и условиями пуска, исследованы характеристики в статистическом и динамическом режимах, а также разработаны электрические схемы САЕП сушильного барабану. Для проверки модернизируемой САЕП проведено моделирование в ППП Matlab, а также проверка на стойкость и качество.

Ключевые слова: электропривод, сушильный барабан, преобразователь частоты.

THE SUMMARY

Bautista Quilumbaquin Daryl Nanky Automation of a drum dryer. Master's qualification work. - Vinnitsa: VNTU, 2019. - 118 p. Bibl .: 19. Pic.: 23. Table: 28.

Modernization of control system of electromechanic of drying drum is carried out. On the basis of TEO indexes the system of electromechanic is chosen, an electric motor is expected and chosen, he is tested after heating, shifting ability and starting terms, descriptions are investigational in statistical and dynamic modes, and also the electric charts of SAEP are worked out drying to the drum. For verification of modernized SAEP a design is conducted in Matlab, and also checking for firmness and quality.

Keywords: electromechanic, drying drum, transformer of frequency.