

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ПОГОДЖЕНО

Директор ІНІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ІНІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

проф., д.т.н. _____ **В.В. Каплун** доц., к.т.н. _____ **О.О. Опришко**
(підпис) (ПІБ) (підпис) (ПІБ)
« ____ » _____ 2025 р. « ____ » _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМИ
АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ
ВИТИСКАННЯ СОНЯШНИКОВОЇ ОЛІЇ»**

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(шифр і назва)

Освітня програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(назва)

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна
(назва)

Гарант освітньої програми

_____ **К.Т.Н., доцент**
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Лендел Т.І.
(П.І.Б)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

_____ **д.т.н., професор**
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Шворов С.А.
(П.І.Б)

Виконав

_____ (підпис)

Медвідь А.І.
(П.І.Б студента)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка

к.т.н., доц. _____ **О.О. Опришко**
« _____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ЗДОБУВАЧУ

Медвідю Андрію Ігоровичу

Спеціальність:

174– «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-професійна програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Орієнтація освітньої програми: освітньо-професійна

Тема магістерської кваліфікаційної роботи **«Дослідження та вдосконалення системи автоматичного керування технологічним процесом витискання соняшникової олії»**,

затверджена наказом від 22.10.2025 року №2438«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 14.11.2025 року

Вихідні дані магістерської кваліфікаційної роботи: завдання кафедри на виконання магістерської кваліфікаційної роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження, аналізу та моделювання; наукова література з тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз технологічного процесу виробництва рослинної олії як об'єкта автоматизації.
2. Дослідження прес-екструдера як об'єкта автоматизації.
3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань.
4. Дослідження системи автоматизації.
5. Схеми системи автоматизації.
6. Розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження САК температурою корпусу прес-екструдера УЕП-100.

Дата видачі завдання «22» жовтня 2025 року

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

(Підпис)

Шворов С.А.
(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(Підпис)

Медвідь А.І.
(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

Вступ	4
РОЗДІЛ 1. Аналіз технологічного процесу виробництва рослинної олії як об'єкта автоматизації	7
1.1. Сировина та її якість	7
1.2. Технологічні процеси та обладнання олійних виробництв	9
1.3. Параметричний аналіз технологічного процесу виробництва олії на прес-екструдерах методом "гарячого" пресування	19
1.4. Технологічні прийоми та конструкції установок підведення тепла до зернової та іншої сільськогосподарської продукції	22
РОЗДІЛ 2. Дослідження прес-екструдера як об'єкта автоматизації	26
2.1. Розробка математичної моделі теплових процесів у прес-екструдері	26
2.2. Визначення параметрів індукційного нагрівача корпусу прес-екструдера	36
2.3. Функціональна схема автоматизації системи керування прес-екструдером	43
2.4. Визначення приведеної передатної функції прес-екструдера по каналу керування температурним режимом	46
РОЗДІЛ 3. Вибір регулятора та обґрунтування параметрів його налаштувань	49
3.1. Вибір алгоритму керування нагрівом корпусу прес-екструдера	53
3.2. Вибір регулятора для реалізації вибраного алгоритму керування	57
3.3. Вибір первинного вимірювального перетворювача системи САК температурою корпусу прес-екструдера	60
3.4. Розробка блок-схеми алгоритму та програмного забезпечення роботи мікроконтролерної системи	63
РОЗДІЛ 4. Дослідження системи автоматизації	67
4.1. Дослідження системи автоматичного керування на стійкість	67
4.2. Визначення показників якості роботи САК температурою корпусу прес-екструдера	70
РОЗДІЛ 5. Схеми системи автоматизації	73
РОЗДІЛ 6. Розрахунок техніко-економічної ефективності впровадження САК температурою корпусу прес-екструдера УЕП-100	78
РОЗДІЛ 7. Техніка безпеки та охорона праці	85
7.1. Організаційні питання з безпеки праці	85
7.2. Електробезпека	88
7.3. Розрахунок повторного заземлюючого пристрою	91
Висновки	94
Література	95
Додатки	98

ВСТУП

Олійно-жирова промисловість України – це одна із галузей харчового комплексу, яка складається з взаємопов'язаних виробництв олії, жирів, маргарину, харчового масла та реалізації продукції. В якості вихідної сировини олійно-жирова промисловість використовує насіння олійних культур – соняшнику, сої, рапсу, льону, арахісу, коноплі тощо. В насінні цих культур міститься в середньому 35-40, а в найкращих сортах – понад 50% олії. А в макусі і шпроті більшості з них міститься 30-35 % білкових речовин і до 10% олії, що робить їх концентрованим високоцінним кормом для тварин.

Розвиток світового виробництва олійної продукції, виступає одним з головних факторів впливу на нарощування виробництва олійного насіння та чинником, який стимулює вітчизняних виробників олійних культур формувати ринкову пропозицію на олійно-жирову продукцію.

Олійно-жировий комплекс є однією з найбільших галузей харчової промисловості України, на яку приходить 14% усієї виробленої продукції. Питома вага соняшnikової олії у виробництві рослинних жирів становить близько 97%.

Рослинна олія має різнобічне призначення. Виробляються харчові і технічні рослинні олії. Харчові рослинні олії використовуються населенням безпосередньо в їжу, а також для виробництва жирів, маргаринової продукції, майонезу і ін. Технічні рослинні олії застосовуються для виробництва мила, миючих засобів, оліф, лаків, фарб, жирних кислот, гліцерину і широко використовуються при виробництві фармацевтичної та косметичної продукції.

Відходами виробництва рослинної олії є шрот, макуха, лузга і лушпайка. Шрот і макуха є сировиною для виробництва харчового білка і застосовується в комбикормовій промисловості. Лузга і лушпайка використовуються гідролізною промисловістю й у сільському господарстві.

На ринку олії працює 32 великих підприємств та майже 1000 невеликих олійниць. Олійно-жирова галузь відрізняється досить високою концентрацією.

На сьогодні налічується близько 17 найбільших виробників рослинної олії, які контролюють близько 80% всього виробництва (рис. В1).

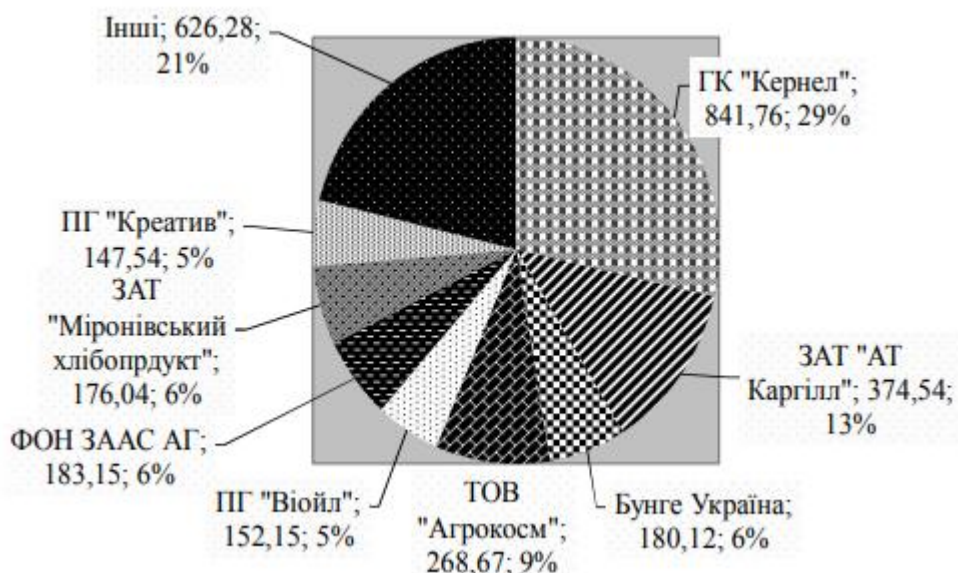


Рис. В1. Найбільші компанії – виробники нерафінованої соняшникової олії в Україні

Суттєва частина енерговитрат у процесах видобування олії – це енергія, що йде на забезпечення потрібної температури (105-130°C), адже підвищена температура олійного матеріалу знижує в'язкість олії. Так, температура корпусу екструдера підтримується за рахунок використання електронагрівачів із ніхромовою спіраллю всередині, ККД яких складає 85-87%.

Метою магістерської роботи є підвищення енергоефективності та виходу соняшникової олії на перс-екструдерах за допомогою використання індукційного нагрівача та диференційованих режимів нагріву корпусу перс-екструдера.

Для досягнення вказаної мети необхідно вирішити наступні задачі:

1) з метою виявлення шляхів підвищення енергоефективності роботи прес-екструдера розробити і дослідити математичну модель теплових процесів

у прес-екструдері;

2) обґрунтувати конструкцію індукційного нагрівача та параметри режимів його роботи, що забезпечить енергоефективну роботу прес-екструдера;

3) обґрунтувати вибір закону керування та технічних засобів його реалізації, визначити показники якості роботи системи автоматичного керування;

4) розробити електричну принципову схему системи автоматичного керування температурою корпусу прес-екструдера;

5) провести техніко-економічне обґрунтування доцільності впровадження розробленої системи керування.

Об'єктом дослідження є температурні режими нагрівання насіння соняшнику при переробці на прес-екструдері.

Предметом досліджень є взаємозв'язки і закономірності температурних режимів отримання соняшникової олії на прес-екструдерах та їх вплив на енергоємність процесу.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА РОСЛИННОЇ ОЛІЇ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1. Сировина та її якість

До олійних належать культури, в насінні або плодах яких міститься не менше ніж 15 % олії. Таких рослин, що належать до різних ботанічних родин, налічується понад 340. Серед олійних розрізняють культури, які вирощують виключно для виробництва олії (соняшник, рицина, ріпак, кунжут, гірчиця, рижій, льон олійний, мак тощо), і рослини комплексного використання, з яких олію одержують як побічний продукт у процесі переробки (бавовник, соя, льон-довгунець, коноплі, арахіс тощо).

Соняшник – основна олійна культура в Україні. Насіння його сортів і гібридів містить олії від 50 до 60%. Порівняно з іншими олійними культурами соняшник дає найбільший вихід олії з гектара. На соняшникову олію припадає 92% загального виробництва олії в Україні. Крім олії, в насінні соняшнику міститься 33–57 % ліпідів, 25% загального азоту, 24–27% вуглеводів, 23–32% клітковини. Серед жирних кислот стеаринової – 1,5–4,5; пальмітинової – 3,5–6,5; олеїнової – 24–40; лінолевої – 46–62 %.

Важливою технологічною особливістю соняшнику є міцність його оболонки. За характером руйнування вона поділяється на три групи: оболонки руйнуються на 2–3 частини; оболонки ламаються на 6–8 частин, на деяких залишається смужка ядра; руйнується ядро, оболонка ламається в декількох місцях, на ядрі залишаються частинки оболонки.

Основні тепло-фізичні характеристики насіння соняшнику наведені в додатку А1. Значення кінематичної в'язкості соняшnikової олії наведені в таблиці 1.1.

Кінематична в'язкість соняшникової олії залежно від температури

$t, ^\circ\text{C}$	20	40	60	80	100	150
$\nu \cdot 10^6, \text{м/с}^2$	59,8	25,2	11,3	6,2	3,3	1,6

З таблиці 1.1 видно, що кінематична в'язкість соняшникової олії з підвищенням температури різко падає.

Для усіх олійних культур характерним є те, що в ендоспермі міститься не лише основна речовина, а й вітаміни, ферменти, ауксини, білки, амінокислоти, в тому числі незамінні, нуклеїнові кислоти, нуклеопротейди.

Якість сировини олійних культур значною мірою залежить від умов вирощування, досягання, способів збирання, зберігання тощо. Збільшення вмісту олії спостерігається з просуванням посівів з півдня на північ, особливо тих, які містять більше ненасичених жирних кислот. Велика вологість ґрунту в період досягання олійних культур сприяє збільшенню вмісту олії і ступеня ненасиченості жирних кислот. Зменшення йодного числа відбувається інтенсивніше за більшої кількості опадів та за меншої температури у вегетаційний період. На півдні за високої температури та недостатньої кількості в ґрунті води нагромаджується менше олії і збільшується вміст насичених жирних кислот.

Умови зберігання насіння олійних культур суттєво впливають на його якість. У першу чергу це залежить від того, як вони впливають на інтенсивність дихання. Від інтенсивності дихання залежать темпи втрат олії. Унаслідок дихання зменшується вміст олії, збільшується кількість вільних жирних кислот і окислених продуктів, змінюються білки. Інтенсивність дихання насіння залежить від вмісту води в ньому і відносної вологості навколишнього повітря; від температури повітря і насіння, газового складу атмосфери. Олії значною мірою відрізняються одна від одної за своїми фізичними властивостями і за хімічною структурою (Додаток А2).

1.2. Технологічні процеси та обладнання олійних виробництв

Рослинну олію виробляють з насіння олійних культур. З кожної культури видобувають свій вид олії, наприклад: соняшникову, ріпакову, гірчичну та ін.

В сучасному олійному виробництві застосовують такі основні способи виготовлення олії:

- *механічний*, в основі якого використовується пресування (віджим) олії з попередньо підготовленої з насіння олійних культур маси (м'язги) або пресування олії безпосередньо з насіння;

- *хімічний* (екстракційний), сутність якого полягає в розчиненні рослинного жиру в попередньо підготовленій з насіння робочій масі (міцели) легко випарним органічним розчинником (бензином, гексаном, ін.);

- *комбінований* спосіб, який включає спосіб пресування олії з м'язги (перший етап) і екстракцію олії з відходів пресування (макухи, шротів тощо).

Виготовлення олії способом екстракції (комбінованим способом) дозволяє застосувати потужне обладнання безперервної дії, при цьому забезпечується більш повне видалення олії з олійновмісних частинок насіння; залишок її у відходах (шроті) не перевищує 1%, в той час як залишок олії в макусі способом віджимання знаходиться в межах 6...16% (менші значення одержують при застосуванні технології та комплектного обладнання з попередньою підготовкою насіння, більші – на прес-екструдерах) [7]. Суттєвим недоліком хімічного способу є складність та висока вартість обладнання, необхідність виконання ретельної очистки (рафінації) олії від органічного розчинника та інших домішок. Хімічний спосіб економічно доцільний при великих обсягах виробництва і є основним на сучасних промислових олійно-жирових заводах.

У сільськогосподарському виробництві застосовується переважно механічний спосіб пресування олії з попередньою обробкою насіння (рис. 1.1) і спосіб пресування олії безпосередньо з насіння на прес-екструдері (рис. 1.2).

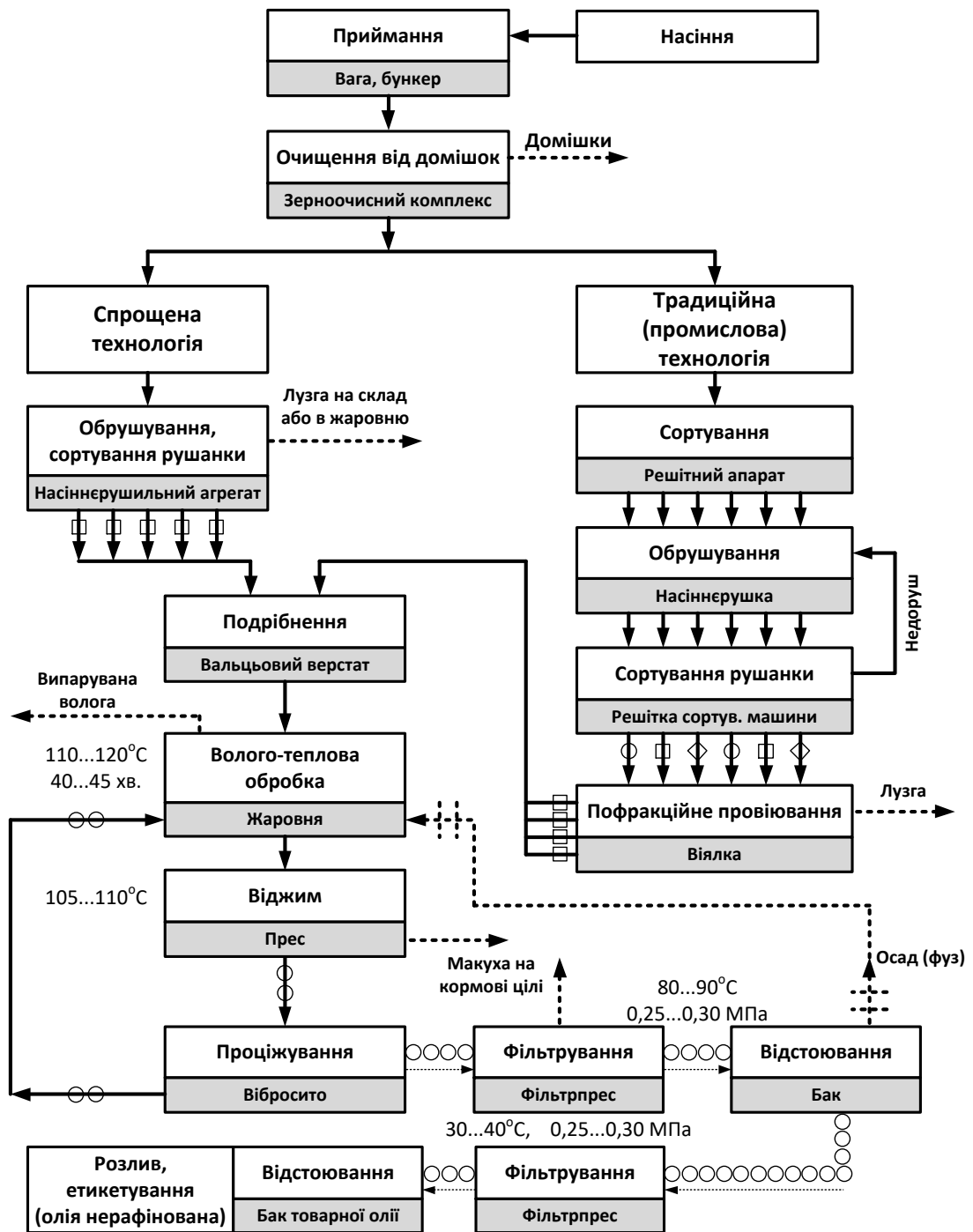


Рис. 1.1. Технологічна схема виготовлення олії способом пресування з попередньою підготовкою насіння

Технологія пресування олії з попередньою підготовкою насіння (рис. 1.1) включає операції обрушування (луцнення) очищеного насіння, розділення (сепарацію) продуктів луцнення (рушанки) на олійновмісну суміш (ядро ціле, дроблене, частково або повністю необрушене насіння, інші частинки) і лузгу, подрібнення цієї суміші на м'ятку, волого-теплову обробку (жаріння) м'ятки, пресування олії з піджареної м'ятки (м'язги) та очищення олії від домішок

способом відстоювання і фільтрації. У такий спосіб одержують нерафіновану олію.

Під час переробки на олію деяких культур (ріпаку, гірчиці) після очищення від домішок насіння не лущать, а подрібнюють.

Найбільш простою технологією добування олії є застосування прес-екструдерів (рис. 1.2).

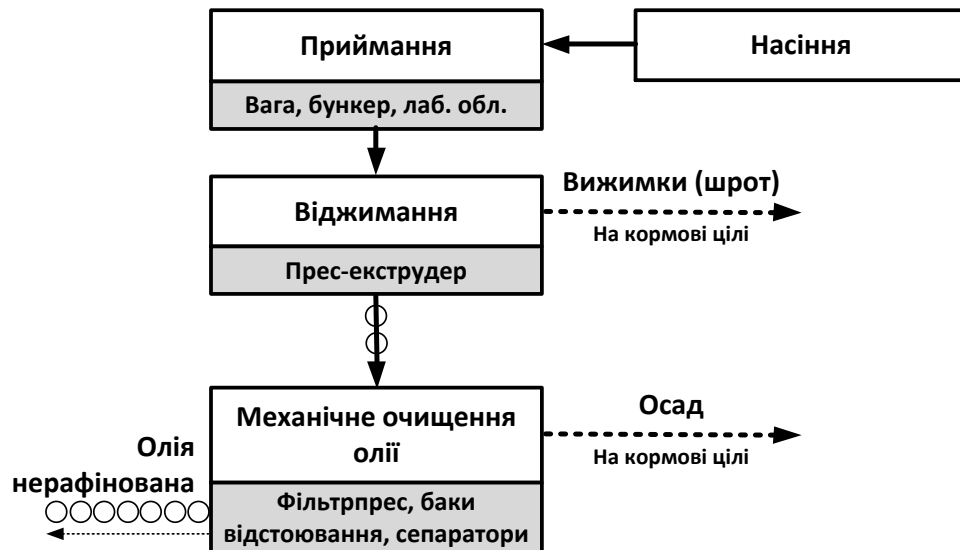


Рис. 1.2. Технологічна схема виготовлення олії без попередньої обробки насіння

У даному технологічному процесі спочатку виконуються всі підготовчі операції, такі як зважування насіння, магнітна сепарація, подвійне очищення, сушіння, подрібнення насіння, а потім віджимання олії.

Для віджимання (пресування) олії, що є основною операцією при зазначеній технологічній схемі, застосовують переважно гідравлічні і шнекові преси різноманітних конструкцій. Класифікацію основних типів їх за призначенням, періодичністю процесу і конструктивними ознаками наведено на рис. 1.3.

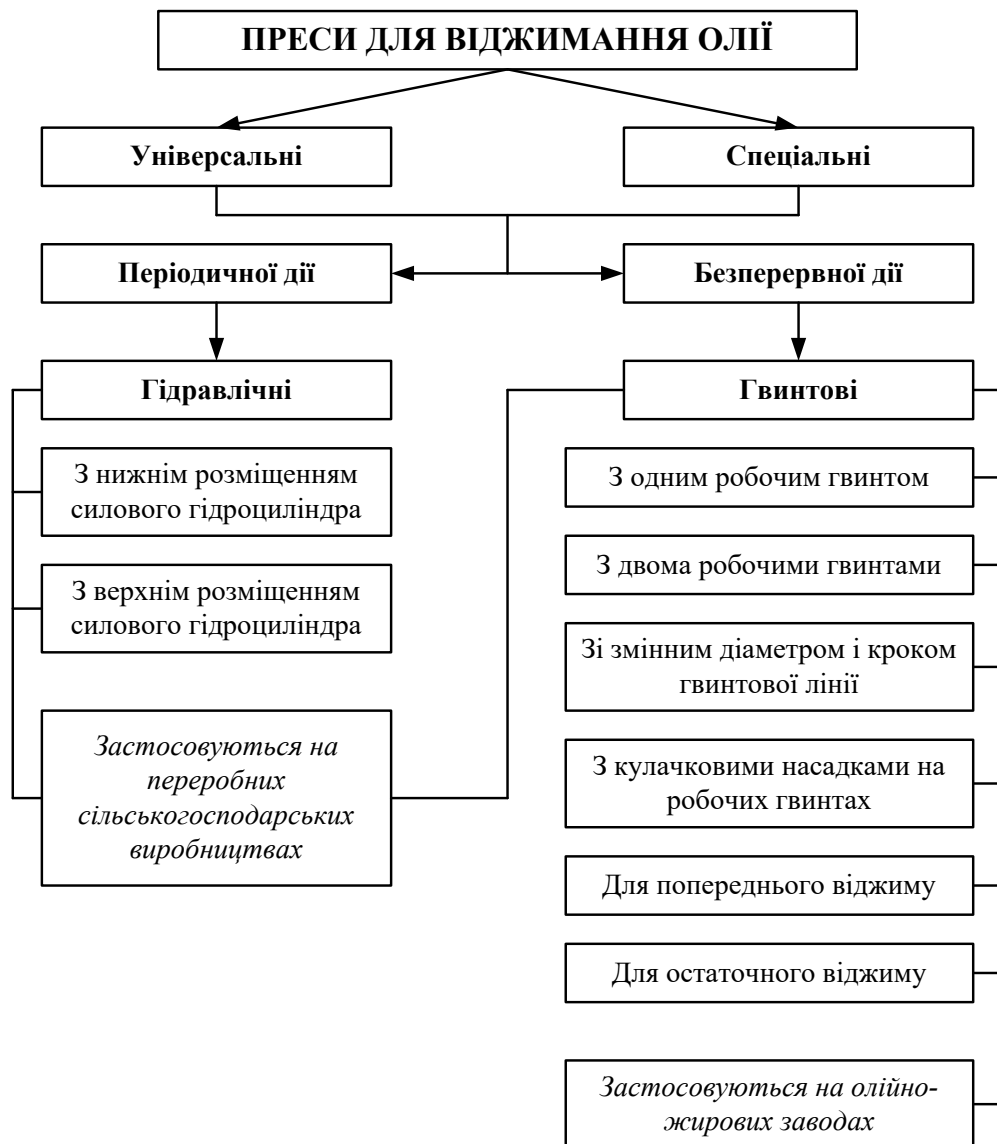


Рис. 1.3. Класифікація пресів для віджимання олії

Універсальні преси призначені для отримання рослинної олії із усіх відомих олійних культур із вмістом олії не нижче 15% (насіння соняшника, сої, ріпаку, льону, рицини тощо). Перед пресуванням олії з тієї чи іншої культури прес переобладнують шляхом нескладної заміни окремих деталей, підбирають відповідні даній культурі параметри робочого процесу.

Спеціальними пресами віджимають олію лише з однієї або декількох культур, насіння яких мало відрізняється за фізико-механічними і хімічними властивостями, а також з видів сировини з малим вмістом олії.

В сільському господарстві України широко поширеними є гідравлічні преси КН-61 та ХЦ-25, а також прес-екструдери УЕП (УЕП-100, УЕП-150, УЕП-250, УЕП-450) та ПХП виробництва ЗАТ РНВП «Укрекспо-Процес», ЕК-75/1200, ЕК-105/1200 (НВО "Екструдер", м. Харків), МП-50, МП-60, МП-80, МП-100, МП-150, МП-200, М8-МПД (АТ "Аліментармаш", м. Кишинів, Молдова), УПМ-1 та УМПП-1М-50, преси дотискання ПД-1 і ПД-1М та ін.

Більш досконалыми із зазначених є гвинтові преси (прес-екструдери) (рис. 1.4), в яких видалення олії відбувається безперервно в тонкому шарі олійного матеріалу. До переваг гвинтових пересів належать компактність, стабільність роботи, зменшене енергоспоживання та більший вихід олії порівняно з іншими типами пресів [7].

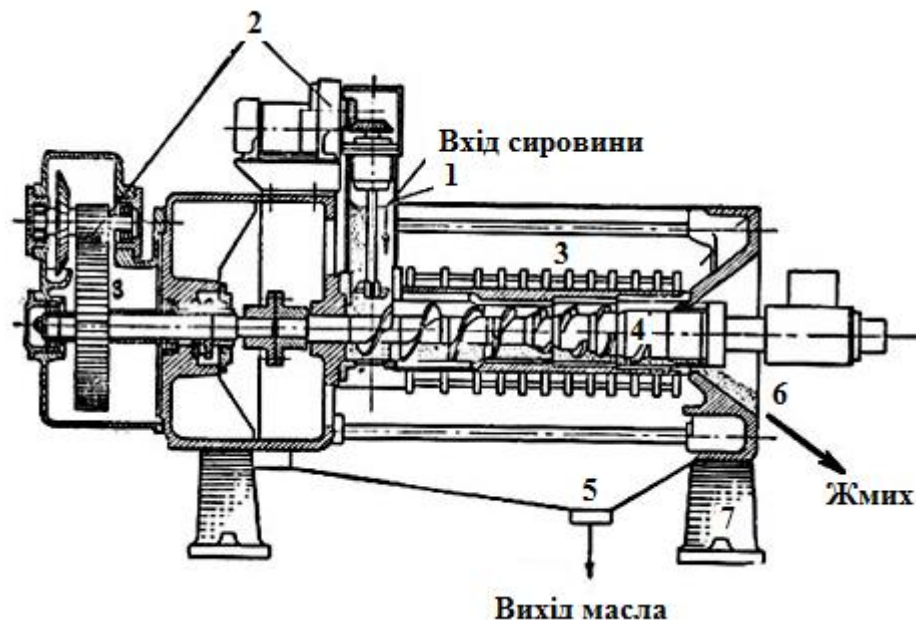


Рис. 1.4. Гвинтовий прес неперервної дії:

1 – живильник; 2 – редуктор; 3 – зерний барабан; 4 – шнековий вал; 5 – вихід масла; 6 – вихід жмиху; 7 – станина пресу

Насіння різних олійних культур переробляється на одношнекових та двошнекових прес-екструдерах [18]. Наявність двох робочих валів (рис. 1.5), які знаходяться у взаємному зчепленні та рухаються в одному напрямку, є унікальною особливістю маслопресу, що дозволяє досягти більш глибокого руйнування клітинної структури насіння з підвищенням виходу олії при малих

тискає і температурах, що в кілька разів продовжує термін служби робочої зони, збільшує надійність і різко знижує експлуатаційні витрати.

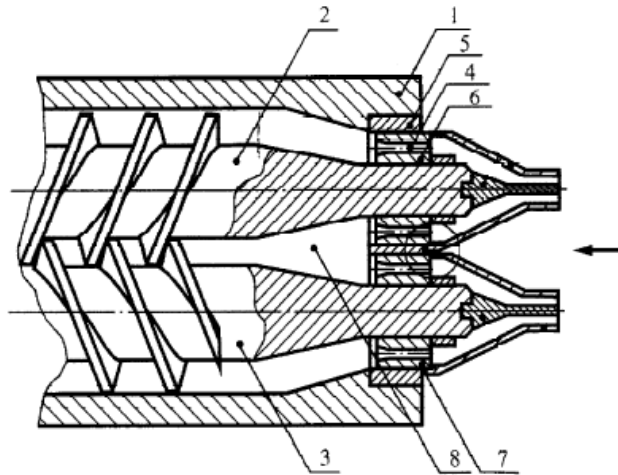


Рис. 1.5. Конструкція двошнекового прес-екструдера:

1 – корпус прес-екструдера; 2,3 – вали шнеків; 4 – перепускний отвір; 5 – обойма вузла підшипників; 6,7 – внутрішні втулки підшипників; 8 – порожнина

Принцип роботи гвинтових пресів залишається незмінним і полягає у поступовому багатоступінчастому подрібненні та стисканні насіння двома набірними шнеками із змінним кроком (рис. 1.6) та спеціальними подрібнювачами-змішувачами.

Двошнекові прес-екструдери мають три основні зони. Перша зона – завантажувальна, куди самопливом через бункер 1 потрапляє насіння. *Друга зона* – зона нагрівання, в якій здійснюється подрібнення та нагрівання насіння нагрівачами, що встановлені назовні корпусу прес-екструдера. Інтенсивне короткочасне нагрівання до 95...115°C призводить до ослаблення поверхневих сил, що утримують олію в м'ятці, і олія переходить у відносно вільний стан. У *третьій зоні*, що утворена зєрною камерою 5, відбувається безпосереднє віджимання та вихід олії через зазори між зєрними планками та збирання її в піддоні.

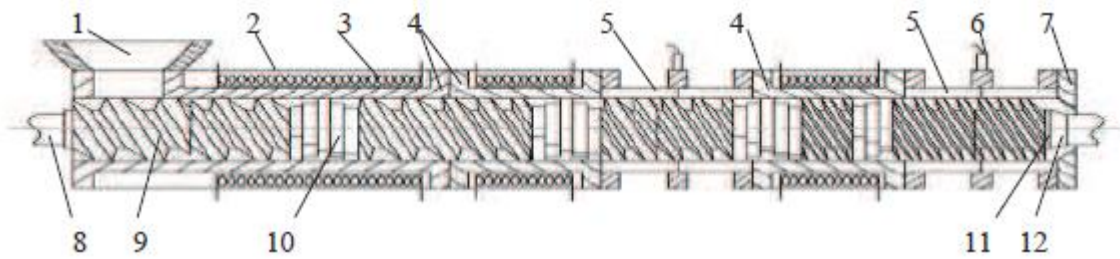


Рис.1.6. Повздовжня частина двошнекового прес-екструдера:

1 – завантажувальний бункер; 2 – захисний кожух; 3 – електронагрівальний елемент; 4 – непроникні секції корпусу; 5 – зерні секції корпусу; 6 – температурний датчик; 7 – матриця; 8 – вал; 9 – шнеки; 10 – кулачкові подрібнювачі-змішувачі; шайба; 11 – шайба; 12 – конусна регулююча насадка

Теоретичний опис процесу віджимання олії пресуванням дуже складний. Процес вивчали здебільшого на прикладі окремих олійних культур.

Встановлено такі фактори, що визначають глибину і продуктивність процесу віджимання: тиск пресування; вид олійної культури; ступінь подрібнення і вологість; об'єм навантаженої в прес маси (м'язги); тривалість пресування.

Олія під час пресування рухається між частками шару подрібненого ядра (м'язги) ніби по капілярах змінного перерізу і різної кривизни аналогічно переміщенню рідини в шарі стиснутого пористого матеріалу при фільтруванні. Тобто процес можна описати за допомогою [11] закону Пуазейля, який дає змогу визначити масу олії, яка проходить крізь капіляри за одиницю часу, кг/с

$$Q = \frac{\Delta p \cdot \alpha \cdot d_K^4}{32 \cdot \nu \cdot l_K}, \quad (1.1)$$

де: Δp - перепад тиску в капілярі, Па; α - коефіцієнт, що враховує форму перерізу капіляра (для круглого перерізу $\alpha = \pi/4$; d_K - діаметр капіляра, м; ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини, м²/с; l_K - довжина капіляра, м.

Аналіз цього виразу дає можливість зробити висновок, що зі зменшенням в'язкості та підвищенням тиску збільшується кількість віджатої олії. Разом з цим підвищення тиску зменшує переріз капілярів. Отже, доцільно віджимання олії проводити при підвищеній температурі (зменшується в'язкість), а тиск пресування збільшувати поступово з урахуванням

структурно-механічних властивостей м'язги. Чим більший об'єм і товщина м'язги в пресі, тим довший шлях витікання (довші капіляри), тому при всіх рівних інших умовах менша буде продуктивність преса і більший залишок олії в макусі. При віджиманні підведена зовні енергія витрачається на подолання сил зчеплення частинок м'язги, деформацію клітинної структури матеріалу, подолання опору під час руху олії по капілярах. Причому опір зростає внаслідок ущільнення м'язги та збільшені її об'єму. Ці особливості робочого процесу необхідно враховувати при виборі типу, параметрів і режимів роботи преса.

Методи пресування на гвинтових пресах поділяються на два типи: «гарячого» та «холодного» пресування. Відмінність цих методів полягає у температурі корпусу екструдера, що підтримується на постійному рівні. При «гарячому» пресуванні температура корпусу преса знаходиться у межах 105 – 125°C, при «холодному» пресуванні – у межах 60 – 65°C [15].



Рис. 1.7. Зовнішній вигляд прес-екструдера УЕП-100

Двошнековий прес-екструдер УЕП-100 (рис. 1.7) призначений для переробки насіння практично усіх олійних культур (соняшника, ріпаку, льону, розторопші, коноплі, гарбуза, гірчиці, маку, кукурудзяних зародків, арахісу) з метою отримання рослинної олії та макухи у гранулах, що за якістю відповідають ГОСТ 1129-93. Режим роботи прес-екструдера – неперервний.

У роботі прес-екструдера УЕП-100 використовується метод "гарячого" пресування.

Малі габаритні розміри (довжина 1600 мм, ширина 600 мм, висота 1100 мм) і вага прес-екструдера, а також наявність єдиної несучої рами,

дозволяє використовувати це обладнання як для стаціонарного монтажу в приміщенні, так і для влаштування пересувної переробної ділянки (на кузові причепа, шасі та ін.). Наявність примусового електронагріву подовжує термін служби прес-екструдера і забезпечує можливість його роботи в зимовий період. Вживаний в робочій зоні прес-екструдера для подрібнення насіння олійних культур метод розтирання замість традиційного розплющування, дозволяє досягти глибокого руйнування клітинної структури олійного насіння і підвищити вихід харчового рослинного масла. Відсутня необхідність у використанні допоміжного обладнання для підготовки насіння олійних культур (насінерушка, насінневійки, вальці, жаровня).

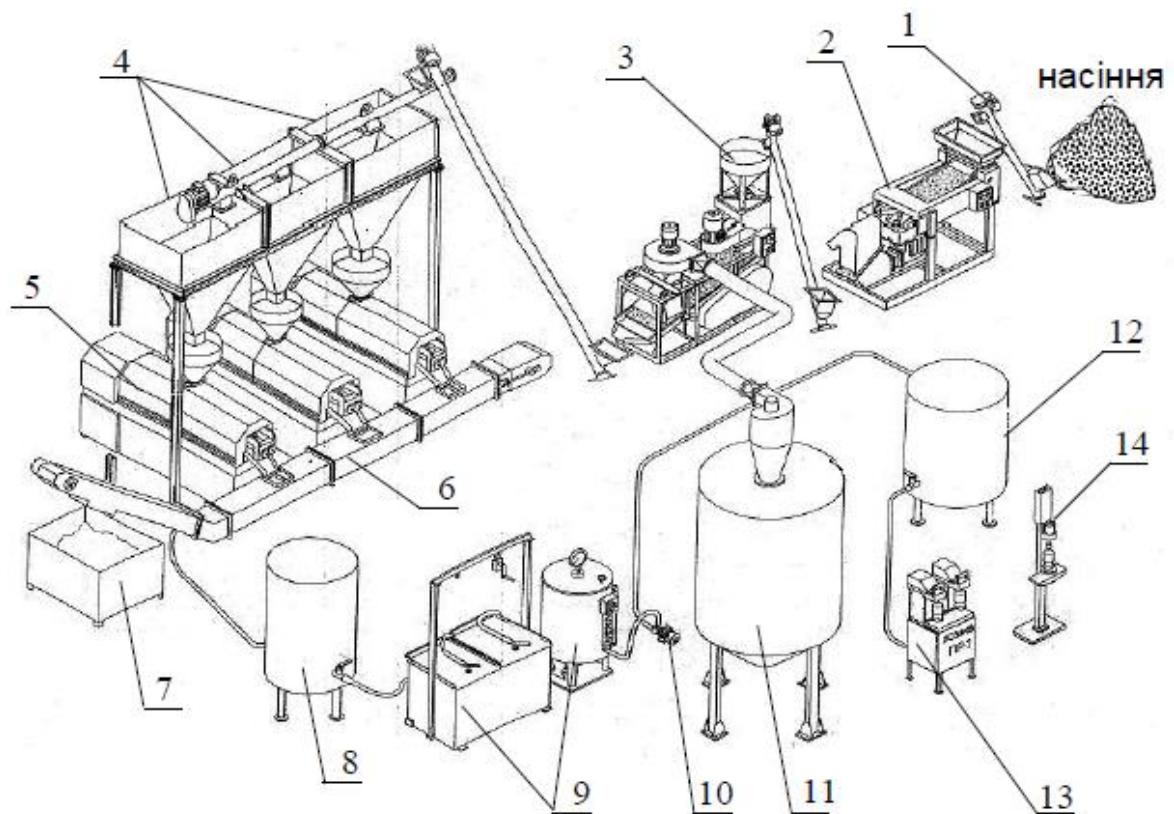


Рис. 1.8. Лінія пресування олії прес-екструдерами:

1 – гвинтовий транспортер; 2 – модуль очищення насіння; 3 – насіннерушительний агрегат; 4 – проміжні бункери; 5 – прес-екструдери; 6 – скребковий транспортер; 7 – бункер для макухи; 8,12 – баки для олії; 9 – фільтр вакуумний; 10 – насос; 11 – бункер для луски; 13,14 – напівавтомати для розливу олії

Малі габарити прес-екструдера дозволяють влаштувати переробну ділянку в невеликих приміщеннях (рис. 1.8) або на відкритій території,

максимально наблизивши ділянку до місця зберігання насіння олійних культур.

Електричне живлення агрегату здійснюється від трифазної мережі змінного струму напругою 380 В.

В прес-екструдері наявні дві основні електричні схеми керування – електроприводом двигуна шнеків та електричним нагрівом секційного корпусу.

Для технічного обслуговування прес-екструдера УЕП-100 необхідний 1 оператор.

Основні технічні характеристики двошнекових прес-екструдерів наведені в таблиці 1.2 (продуктивність агрегатів зазначена по насінню соняшника).

Таблиця 1.2.

Основні технічні характеристики двошнекових прес-екструдерів

Виробник	Марка преса	Продуктивність, кг/год.	Вихід олії, %	Залишок олії у макусі, %	Встановлена потужність, кВт		Маса, кг
					електро-двигуна	електро-нагрівачів	
ЗАТ РНВП «Укреспо-Процес», м. Київ, Україна	УЕП-100	100 - 110	-	8 - 10	5,5	8	450
	УЕП-150	150 - 170	-	10 - 12	7,5	11	650
	УЕП-250	220 - 250	-	12 - 14	11	15	950
	УЕП-450	400 - 450	-	12 - 14	15	20	1500
НВО «Екструдер», м. Харків, Україна	ЕК-75/1200	175	до 42	-	7,5	12	700
	ЕК-105/1500	350	36 - 42	-	11	24	1250
	ЕК-130/2000	1000	36 - 42	-	30	42	2500
ВАТ «Універсальний механічний завод», м. Кіровоград, Україна	УПСР-200	до 250	до 40	-	7,5	9	650
АТ «Аліментармаш», м. Кишинів, Молдова	М8-МПД	120 - 150	-	9 - 12	7,5	-	600

1.3. Параметричний аналіз технологічного процесу виробництва олії на прес-екструдерах методом "гарячого" пресування

При переробці більшість тепла олійна сировина отримує внаслідок тертя із шнековими робочими органами та корпусом при проходженні нею вздовж тракту апарату, а також саму об себе. Однак для двошнекового прес-екструдера та деяких типів конструкцій одношнекових пресів для забезпечення кращого виходу олії необхідно забезпечити як попередній нагрів апарату, так і нагрів (підтримання певного значення температури) під час віджимання олії. Температурний режим прес-екструдера може змінюватись в залежності від виду сировини (насіння, ядра, м'ятки), її стану і засміченості, заданої продуктивності пресу та типу встановлених робочих органів. Правильно підібраний температурний режим екструдера в сукупності з правильно встановленим співвідношенням обертів шнеку і дозатора продуктивності призводять до раціонального процесу віджимання олії.

Спираючись на існуючу інформацію та на аналіз попереднього дослідження об'єкта були вибрані два основних фактори, які суттєво впливають на якісні та технічні показники роботи прес-екструдера:

1) температура обігріву корпусу – T ($^{\circ}\text{C}$); 2) вихідний зазор в матриці – b (мм) (змінюється за допомогою конусної регулюючої насадки 12 (рис. 1.6)).

Дослідження впливу температурних режимів роботи та ширини вихідного зазору в двошнекових прес-екструдерах при переробці насіння ріпаку на кількість видаленої олії проводились в [6].

Отримані авторами дані (рис. 1.9, 1.10) показують, що при мінімальному значенні величини зазору $b = 8$ мм вихід олії при всіх температурних режимах є мінімальним внаслідок зменшеної перепускної здатності преса. Подальше збільшення зазору до 10 мм призводить до збільшення перепускної здатності преса (рис. 1.10) і, відповідно, виходу олії (рис. 1.9).

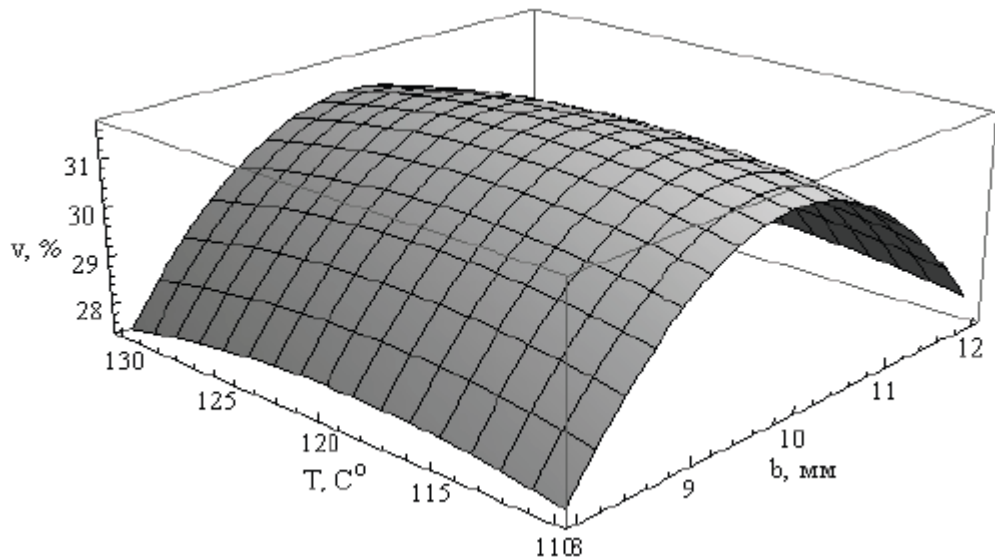


Рис. 1.9. Залежність виходу олії V (%) від температури обігріву корпусу T ($^{\circ}\text{C}$) та від величини зазору b (мм)

Однак при наступному збільшенні зазору до 12мм, вихід олії зменшується (рис. 1.9) у зв'язку із збільшеним вихідним отвором, тиск на олійну сировину зменшується, що призводить до неповної віддачі олії мезгою. У той-же час, загальна продуктивність (перепускна спроможність) преса продовжує збільшуватись (рис. 1.10) у зв'язку із зменшенням опору переміщенню макухи на виході з преса, що призводить до збільшення її олійності (залишок олії в макусі збільшується).

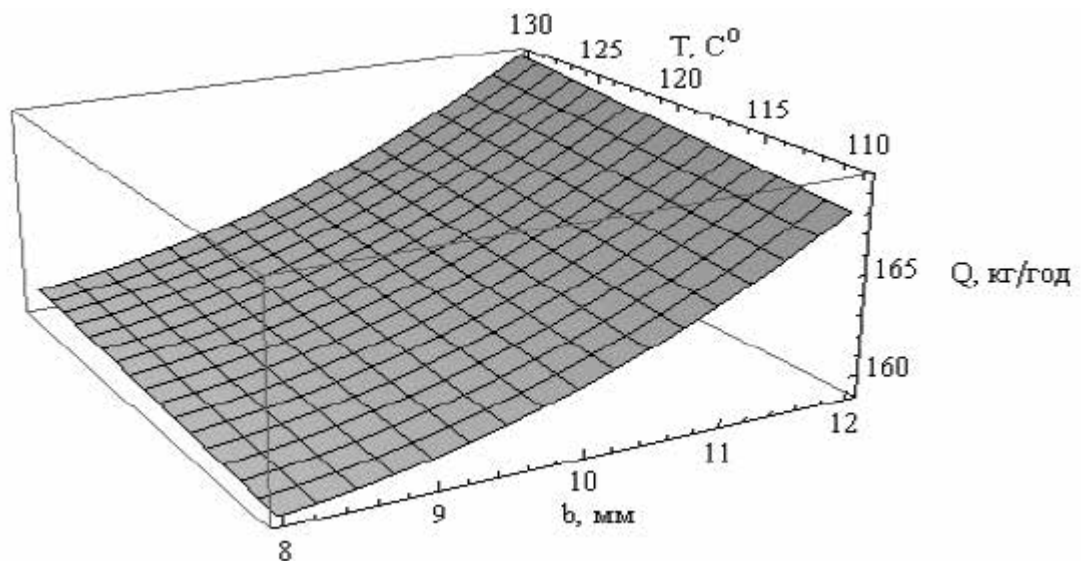


Рис. 1.10. Залежність величини продуктивності Q (кг/год.) від температури обігріву корпусу T ($^{\circ}\text{C}$) та від величини зазору b (мм)

Слід зазначити, що на холодному не розігрітому пресі неможливо забезпечити формування твердої структури макухи та достатній вихід олії; перегрівання матеріалу призводить до зменшення виходу олії, погіршенню якості олії і макухи, погіршенню показників роботи пресу. Так, при зміні температури корпусу від 110°C до 130°C (при постійному значенні зазору 10мм) вихід олії спочатку збільшується до температури 121°C , досягаючи свого найбільшого значення ($31,6\%$), а потім зменшується. При цьому спостерігається незначне збільшення продуктивності пресу з $161,9$ до $163,3$ кг/год., що пов'язано із зменшенням загальної в'язкості мезги та збільшенням її текучості.

Враховуючи наведені дані, параметрична схема прес-екструдера як об'єкта керування (ОК) матиме наступний вигляд (рис. 1.11).

При інформаційному аналізі ОК виявлено, що:

- керуючими змінними є вихід олії V (%) та продуктивність Q (кг/год.);
- керуючими діями є температура обігріву корпусу прес-екструдера T ($^{\circ}\text{C}$) та величина зазору в матриці b (мм);
- неконтрольованими збуреннями є температура навколишнього середовища T_H ($^{\circ}\text{C}$), температура T_C ($^{\circ}\text{C}$) та вологість сировини φ (%).

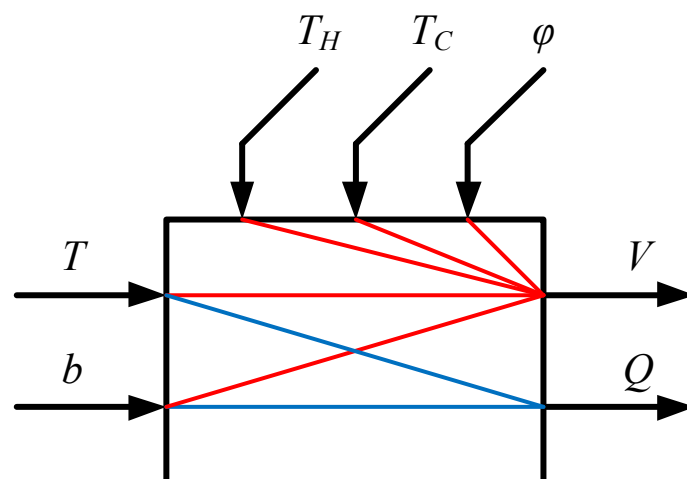


Рис. 1.11. Параметрична схема прес-екструдера як об'єкта керування

1.4. Технологічні прийоми та конструкції установок підведення тепла до зернової та іншої сільськогосподарської продукції

За способом підведення тепла до матеріалу розрізняють: конвективний, контактний, вакуум-сублімаційний, електричний та ін. [9].

При термообробці з конвективним теплообміном тепло, яке необхідне для нагрівання матеріалу, передається йому конвекцією від газоподібного теплоносія. Теплоносій не тільки передає тепло матеріалу, а також поглинає випари від вологи. Цей спосіб дозволяє обробляти зерно з вологістю до 35% та характеризується порівняно високою швидкістю процесу. До негативних сторін конвективного теплообміну належать великі витрати тепла та зниження якості оброблюваного матеріалу при незначних порушеннях технології температурної обробки.

При контактному способі термообробки матеріал контактує з нагрітою поверхнею, отримуючи від неї тепло шляхом теплопровідності. Для такого способу характерний нерівномірний нагрівання зернової маси, розташованої на різній відстані від нагрітої поверхні. При контактному способі термообробки доцільно використовувати методи підвищення коефіцієнта теплопровідності за рахунок застосування розгалужених поверхонь теплообміну або вібрації останньої.

При променевому способі тепло підводиться до матеріалу у вигляді сонячних або інфрачервоних променів. При термообробці інфрачервоними променями, випромінюваними генераторами (електролампами, керамічними чи металевими панелями, що нагрівають електрострумом або газом), потрібна висока щільність теплового потоку на поверхні матеріалу (в 30...70 разів більше, ніж при конвективній термообробці). В установках, що працюють за таким принципом, низький коефіцієнт корисної дії (ККД) та значні витрати електричної енергії (150...250 кВт·год./т обробленого матеріалу) [5].

Електричний спосіб термообробки протікає під дією струмів високої частоти (СВЧ). Цей спосіб базується на тому, що молекули об'єкта, поміщеного в поле СВЧ між двома пластинами, поляризуються та виконують

коливальний рух. Останній супроводжується тертям часток та нагріванням матеріалу. Незважаючи на ряд переваг (швидке й рівномірне нагрівання матеріалу та висока інтенсивність температурної обробки), термообробка в полі СВЧ не знаходить широкого застосування внаслідок великої витрати електричної енергії (понад 200 кВт·год./т) [20].

Головною науково-практичною проблемою в температурній обробці є пошук та розробка нових методів та установок, які здатні максимально забезпечити технологічні вимоги та істотно скороти енерговитрати. В цьому полягає максимально повне відпрацювання потенціалу теплоносія, його стабільний режим роботи та дотримання екологічних норм. Перспективним напрямком є розробка систем, в яких теплоносії отримують з нагрітої поверхні. Основні переваги цих систем – низькі енергозатрати, екологічність процесу, а також якість процесу в порівнянні із звичайною системою, де теплоносії отримують шляхом спалювання палива.

Широко застосовується теплова обробка у виробництві олії. Процес переробки значним чином залежить від вологості та температури олійного матеріалу, що визначає ефективність механічного процесу видалення олії. Тому дуже важливо правильно вибрати такий технологічний режим теплової обробки, який би найкращим чином враховував хімічний склад та теплофізичні властивості олійного матеріалу, а також конструкцію тепло обробної установки.

Конструкція теплового елемента повинна забезпечувати рівномірний нагрів, бути економічною щодо питомих витрат енергії, мати можливо меншу металоємність та бути універсальною для різних типів зернового матеріалу.

Установки для температурної обробки класифікують за ознаками [23]:

- за способом підведення тепла до матеріалу – конвекційні (матеріал омивається потоком заздалегідь нагрітого сушильного агента), кондуктивні або контактні (забезпечується безпосередній контакт матеріалу з поверхнею нагрівання), радіаційні, які, у свою чергу, розділяються за діапазонами частот електромагнітного випромінювання, що використовує інфрачервоне

випромінювання, струми високої частоти чи надвисокочастотне випромінювання;

- за тиском повітря в теплообробній камері – атмосферні, вакуумні, сублімації;
- за характером роботи – апарати періодичної дії і безперервної дії;
- за видом температурного агента – апарати, що використовують нагріте повітря, димові гази, суміш повітря з димовими газами або перегріту пару;
- за механізмом циркуляції температурного агента – установки з природною циркуляцією і з примусовою циркуляцією;
- за характером руху температурного агента щодо матеріалу – прямоточні (при однаковому напрямі руху температурного агента і матеріалу), протиточні (при протилежному напрямі руху матеріалу і температурного агента) з пронизуванням шару матеріалу потоком температурного агента;
- за кратністю використання температурного агента – з однократним і багатократним застосуванням нагрітого повітря;
- за видом об'єкта термообробки для твердих, великих, дрібних, пилоподібних, рідких і пастоподібних матеріалів;
- за конструктивними ознаками – тунельні, камерні, шахтні, коридорні, барабанні, вальцеві.

Одним з ефективних методів передачі енергії, при якому густина потоку набагато перевищує потік енергії теплопровідністю, є індукційний нагрів. В основі індукційного нагрівання лежить використання теплової дії струмів Фуко, що виникає у провіднику внаслідок зміни в часі магнітного поля, або руху провідника в магнітному полі за рахунок зміни магнітного потоку, що проходить через тіло або його частину [22].

Індукційне нагрівання є дуже ефективним, оскільки передача тепла від електропровідних елементів до матеріалу здійснюється без проміжних термічних опорів. При цьому виникають два пов'язаних процеси: контактний теплообмін (у випадку, коли дисперсний матеріал рухається вздовж) між електропровідними елементами і матеріалом, та пароутворення в контактному

шарі. В останньому випадку відбувається додаткове перенесення тепла до верхніх шарів матеріалу.

Індукційний нагрів як прогресивний вид нагрівання все частіше використовується в технологічних процесах різних виробництв. Преваги індукційного нагрівання в порівнянні з іншими методами отримання теплоти полягають в наступному:

1. Теплову енергію одержують безпосередньо в теплообмінних вузлах.

2. При індукційному нагріві виділення тепла відбувається в об'єкті нагрівання, без участі термічних опорів проміжних середовищ, що сприяє зниженню витрат електроенергії та підвищенню ККД.

3. При використанні індукційного нагрівання можна одержати більші швидкості нагрівання в порівнянні з непрямим нагрівом опором за умов однакової потужності нагрівачів.

4. У динамічному відношенні індукційний нагрів дозволяє одержати кращі результати, тому що власна теплова ємність нагрівального пристрою не впливає на передачу регулюючого впливу об'єкта нагрівання.

5. Індукційний нагрівач характеризується компактністю, простотою керування та обслуговування.

Проаналізувавши переваги використання індукційного нагрівання перед іншими типами нагрівачів, доцільно в процесі переробки зерна ріпаку на прес-екструдерах для підтримки необхідних температурних режимів застосовувати саме нагрівачі індукційного типу.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕС-ЕКСТРУДЕРА ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1. Розробка математичної моделі теплових процесів у прес-екструдері

Продуктивність прес-екструдера, кількість і якість видаленої олії залежить від температури перероблюваної сировини, тому для інтенсифікації масообмінних процесів в пресах використовують нагрівання конструктивних елементів.

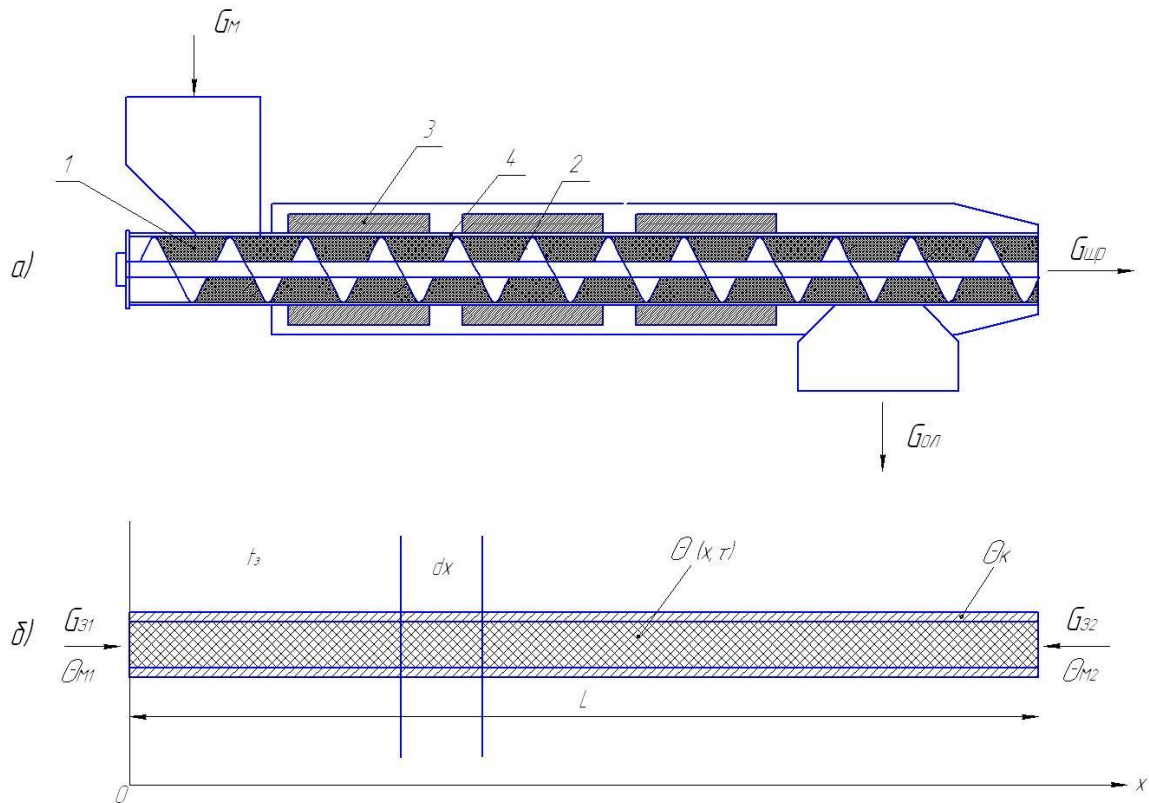


Рис. 2.1. Конструктивна (а) та розрахункова (б) схеми шнекового преса:
1 – матеріал; 2 – шнек; 3 – нагрівальний елемент; 4 – корпус екструдера

Робоча зона преса (рис. 2.1, а) складається із корпуса, шнека і нагрівальних елементів поверхневого або індукційного типу [12, 14]. Вихід готової продукції та продуктивність преса в значній мірі залежить від температури оброблюваної сировини.

Подання математичного опису динаміки температурних режимів системою диференціальних рівнянь.

Для одержання математичного опису динаміки процесу нагрівання рослинної маси у шнековому пресі приймемо такі припущення:

- градієнт температури в стінки корпусу та індуктора в радіальному напрямку відсутній із врахуванням того, що корпус нагрівається за рахунок індукційного нагріву;
- теплофізичні характеристики матеріалу і конструктивних елементів пресу не змінюються в часі і за координатою x та не залежать від температури;
- нехтуємо нагріванням маси за рахунок теплоти, еквівалентної механічної енергії, що витрачається на пресування і переміщення матеріалу; коефіцієнти теплообміну і теплопередачі не залежать від температури і в часі не змінюються і дорівнюють середнім значенням за процес;
- не беремо до уваги градієнт температур при теплопередачі теплопровідністю в радіальному і осьовому напрямках в корпусі та потоці матеріалу;
- приймемо також одномірний розподіл теплоти в напрямку руху матеріалу (вісь x).

Для зменшення порядку рівнянь віднесемо теплоємність шнека до теплоємності матеріалу.

Приймемо такі позначення: $\Theta_m(\tau, x)$ – температура оброблюваного матеріалу, $^{\circ}\text{C}$; $\Theta_k(\tau)$ – температура корпусу, $^{\circ}\text{C}$; $\Theta_h(\tau)$ – температура шнека; t_c – температура зовнішнього середовища, $^{\circ}\text{C}$; $c_k m_k$ – теплоємність корпусу, Дж/град ; C_h – питома теплоємність матеріалу і шнека, Дж/град ; m_m, m_u – маса матеріалу в об'ємі преса і шнека, кг ; c_m, c_u, c_k – відповідно питома теплоємність матеріалу, шнека та корпусу, $\text{Дж/кг}\cdot\text{град}$; α_{zm}, α_{8m} – коефіцієнти теплопередачі від корпусу до зовнішнього середовища і матеріалу, що рухається, $\text{Вт/м}^2\cdot\text{град}$; f_z, f_8 – зовнішня та внутрішня поверхня корпусу, м^2 ; f_h – поверхня шнека, м^2 ; L – довжина робочої зони преса, м ; G –

подача матеріалу в корпусі (середня продуктивність преса), $кг/с$; P – потужність нагрівальних елементів, $Вт$; $q = P/L$ – питомі виділення теплоти, $Вт/м$.

Розглянемо елемент робочої зони преса довжиною dx . Відповідно до теплофізичної моделі процесу рівняння теплового балансу, що описує зміну температури, буде мати вигляд для корпусу преса:

$$c_k S_k \rho_k dx d\Theta_k = P(x) dx d\tau - \frac{\alpha_6 f_6}{L} (\Theta_k - \Theta_m) - \frac{\alpha_3 f_3}{L} (\Theta_k - t_3) dx d\tau, \quad (2.1)$$

для оброблюваного матеріалу:

$$c \rho_m S_m dx d\Theta_m = \frac{\alpha_6 f_6}{L} (\Theta_k - \Theta_m) dx d\tau - \frac{\alpha_h f_h}{L} (\Theta_m - \Theta_h) dx d\tau, \quad (2.2)$$

для гвинта шнека:

$$c_h S_h \rho_h S_m dx d\Theta_h = \frac{\alpha_h f_h}{L} (\Theta_m - \Theta_h) dx d\tau, \quad (2.3)$$

де: c_k – теплоємність корпусу екструдера, $Дж/(кг \cdot град)$; S_k, S_m, S_h – відповідно площа перетину корпусу, матеріалу та шнека, $м^2$; ρ_k, ρ_m – густина корпусу екструдера та матеріалу, $г/м^3$; $P(x)$ – прикладена потужність нагрівачів, $Вт$; L – довжина шнека, $м$; α_6 – тепловіддача від внутрішньої поверхні екструдера, $Вт/(^{\circ}C \cdot м^2)$; f_6 – площа внутрішньої поверхні екструдера, $м^2$; α_3 – тепловіддача від зовнішньої поверхні екструдера, $Вт/(^{\circ}C \cdot м^2)$; f_3 – площа зовнішньої поверхні екструдера, $м^2$; Θ_k – температура корпусу, $^{\circ}C$; Θ_m – температура матеріалу, $^{\circ}C$.

Розкриваючи повні диференціали $d\Theta = \frac{d\Theta}{\partial \tau} \partial \tau + \frac{d\Theta}{dx} dx$ температур корпусу

і матеріалу з урахуванням, що $\frac{dx}{\partial \tau} = V$ (V – швидкість руху для корпусу; $V=0$), а

$S\rho = \frac{G}{V}$, $m = S\rho L$. Після перетворень одержимо математичний опис теплових

процесів у вигляді системи рівнянь:

$$\begin{cases} m_k c_k \frac{\partial \Theta_k}{\partial \tau} = P(x) - \alpha_a f_a (\Theta_e - \Theta_i) - \alpha_\zeta f_\zeta (\Theta_k - t_\zeta); \\ m_i c_i \frac{\partial \Theta_i}{\partial \tau} + GcL \frac{\partial \Theta_i}{dx} = \alpha_a f_a (\Theta_e - \Theta_i) - \alpha_h f_h (\Theta_e - \Theta_i); \\ m_h c_h \frac{\partial \Theta_h}{\partial \tau} = \alpha_h f_h (\Theta_i - \Theta_h); \end{cases} \quad (2.4)$$

Система рівнянь (2.4) аналітичного розв'язку відносно $\Theta_k(\tau)$ і $\Theta_m(\tau)$ не має, тому динамічні температурні режими будемо визначати наближеним методом [29]. Для визначення градієнту температури в напрямку руху матеріалу розглянемо статичні характеристики об'єкта за умови $\frac{d\Theta_k}{d\tau} = \frac{d\Theta_m}{d\tau} = \frac{d\Theta_h}{d\tau} = 0$; $\frac{d\Theta_m}{d\tau} = 0$. Система рівнянь (2.4) при цьому буде описувати сталий (встановлений) режим.

$$\begin{cases} P - \alpha_\zeta f_\zeta (\Theta_k - \Theta_m) - \alpha_3 f_3 (\Theta_k - t_3); \\ GcL \frac{d\Theta_m}{dx} = \alpha_\zeta f_\zeta (\Theta_k - \Theta_m) - \alpha_h f_h (\Theta_m - \Theta_h); \\ \Theta_h = \Theta_m; \end{cases} \quad (2.5)$$

Визначимо розподіл температури матеріалу за довжиною робочої зони преса.

З першого рівняння системи (2.5) отримаємо значення температури корпусу Θ_k :

$$\Theta_k = a + b\Theta_m, \quad (2.6)$$

$$\text{де: } a = \frac{P(x) + \alpha_3 f_3 t_3}{\alpha_3 f_3 + \alpha_\zeta f_\zeta}; \quad b = \frac{\alpha_\zeta f_\zeta}{\alpha_3 f_3 + \alpha_\zeta f_\zeta}.$$

Підставляючи значення Θ_k у друге рівняння системи (2.5), одержимо:

$$T_m \frac{d\Theta_m}{dx} = \alpha - (1-b)\Theta_m, \quad (2.7)$$

де $T_m = \frac{cGL}{\alpha_6 f_6 + \alpha_3 f_3}$.

Розв'язок рівняння (2.7) отримуємо для граничних умов: $x = 0$, $\Theta_m = \Theta_1$; $P(x) = P = const$ у вигляді:

$$\Theta(x) = \frac{a}{1-b} - \left(\frac{a}{1-b} - \Theta_1 \right) e^{-\frac{x}{T_m}(1-b)} \quad (2.8)$$

Розподіл температури матеріалу в робочій зоні для сталого режиму наведено на рис. 2.2 (для нагріву насіння соняшнику). Аналіз графічних залежностей $tz(x)$ показує, що частина робочої зони використовується не ефективно, тобто зерновий матеріал не досягає заданої технологічними вимогами температури. Чисельні значення вихідних даних та розрахунків наведені в додатку А.

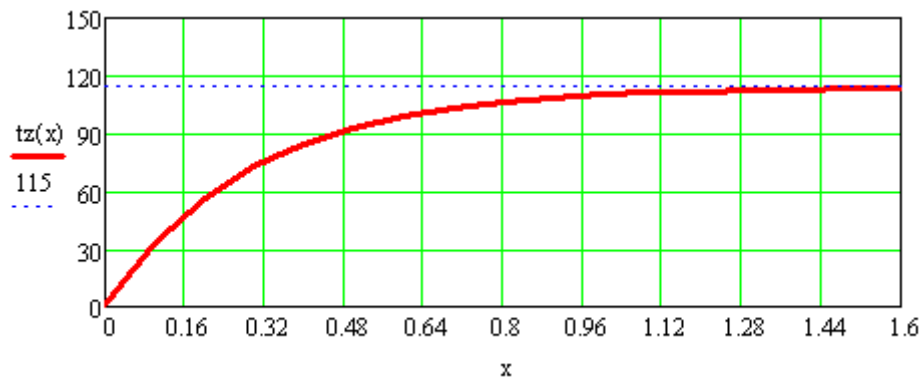


Рис. 2.2. Розподіл температури матеріалу в робочій зоні для сталого режиму

В роботах [19] автори пропонують збільшити потужність, що передається в корпус екструдера, для створення рівномірного температурного поля олійного матеріалу під час переробки.

Використовуючи створену математичну модель, виконаємо дослідження розподілу температури олійного матеріалу при початковій температурі зерна 0°C , на зміні потужності від 6-16 кВт з кроком 1 кВт.

Виявляється, що при збільшенні переданої потужності до 10 кВт (рис. 2.3), довжина зони з температурою матеріалу 115°C становить 63% всієї довжини корпусу (рис. 2.4.), на відміну від 10% довжини корпусу при параметрах, запропонованих виробником.

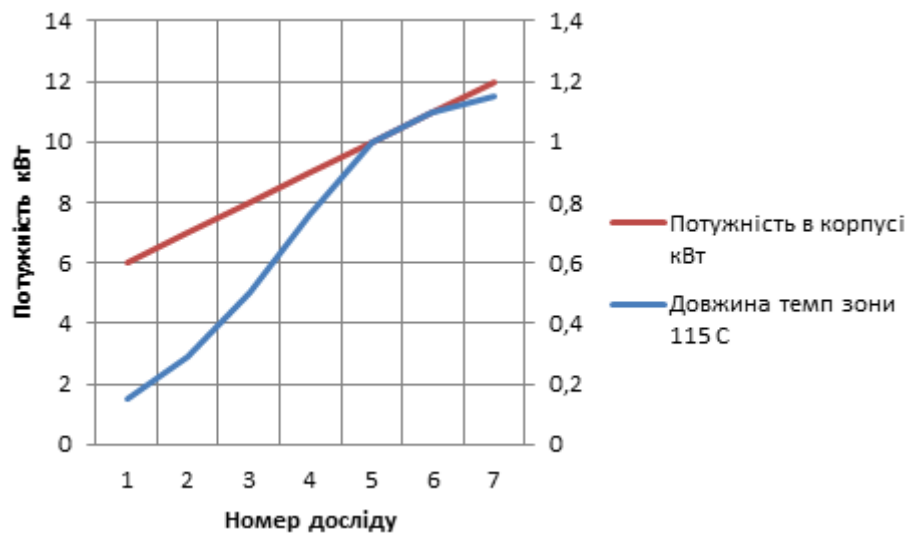


Рис. 2.3. Дослідження температури олійного матеріалу при зміні переданої потужності в корпус прес-екструдера

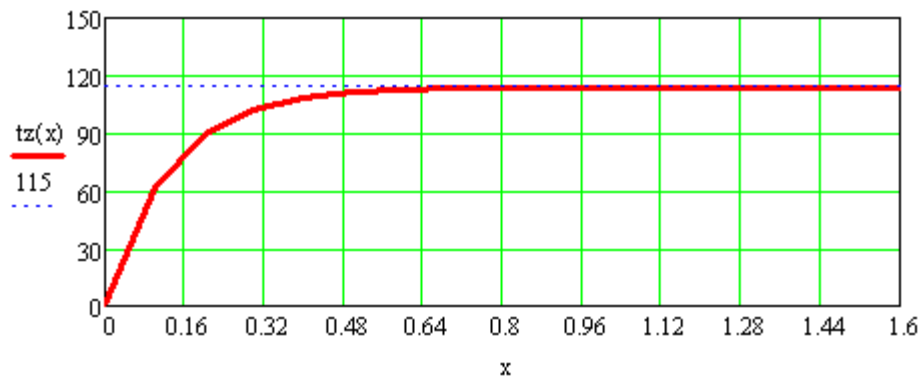


Рис. 2.4. Розподіл температури матеріалу в робочій зоні при переданій потужності 10 кВт та початковій температурі насіння 1°C

Однак слід зауважити, що початкова температура олійного матеріалу, що надходить на переробку, може змінюватися в залежності від кліматичних умов та сезону переробки і може змінюватись від 0 до 30°C [17]. Така зміна початкової температури олійного матеріалу безперечно змінить величину необхідної для підтримання максимальної довжини температурної зони. Для оцінки величини таких впливів виконаємо дослідження режимів роботи преса з використанням вище наведеної моделі, при початковій температурі 0°C, +15°C та +30°C із забезпеченням максимальної довжини зони преса з температурою 115°C та визначимо потужність, необхідну для забезпечення вказаних режимів роботи.

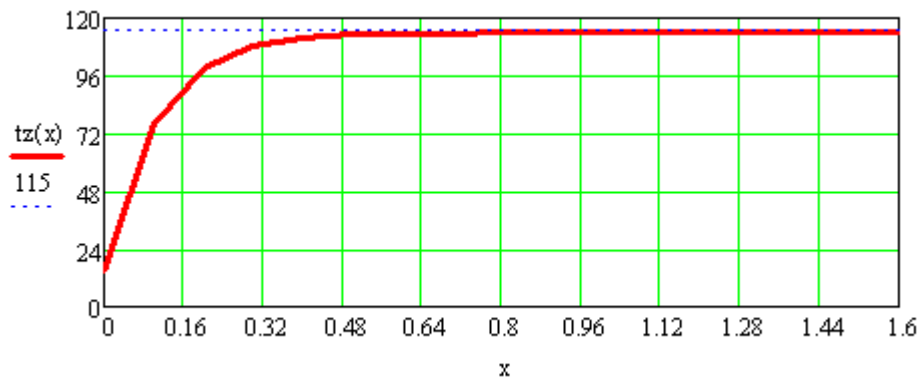


Рис. 2.5. Розподіл температури матеріалу в робочій зоні при переданій потужності 5 кВт та початковій температурі насіння 15°C

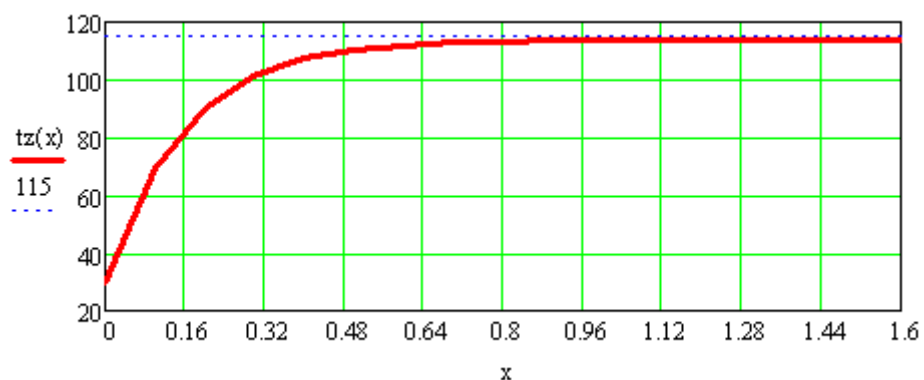


Рис. 2.6. Розподіл температури матеріалу в робочій зоні при переданій потужності 3 кВт та початковій температурі насіння 30 °C

Проведені дослідження дозволяють зробити висновок, що при початковій температурі зерна на рівні $+15^{\circ}\text{C}$ потужність, необхідна для забезпечення рекомендованої температурної зони, становить 5 кВт (рис. 2.5), а при початковій температурі олійного матеріалу на рівні $+30^{\circ}\text{C}$ потужність, яку необхідно передати в корпус прес-екструдера, становить 3 кВт (рис. 2.6).

Визначимо градієнт температури матеріалу по координаті напрямку руху і продеференціюємо рівняння (2.8)

$$\frac{d\Theta_m(x)}{dx} = \frac{1-b}{T_x} \left(\frac{a}{1-b} - \Theta_1 \right) e^{-\frac{1-b}{T}x} \quad (2.9)$$

Підставляючи отримане значення в друге рівняння системи (2.4), після відповідних перетворень матимемо:

$$m_m c_m \frac{d\Theta_m}{d\tau} = -\alpha_\epsilon f_\epsilon (a - (1-b)\Theta_1) e^{-\frac{(1-b)\alpha_\epsilon f_\epsilon x}{GcL}} + \alpha_\epsilon f_\epsilon \Theta_k + \alpha_h f_h \Theta_h - (\alpha_\epsilon f_\epsilon + \alpha_h f_h) \Theta_m \quad (2.10)$$

Таким чином, замість системи рівнянь (2.4) в частинних похідних отримали систему рівнянь в звичайних похідних, яка має аналітичний розв'язок.

Позначимо першу складову лівої частини рівняння (2.10) через функцію координати $F(x)$ (сталу за часом). Тоді математичну модель динаміки температурних режимів запишемо у вигляді:

$$\begin{cases} \frac{m_k c_k}{\alpha_\epsilon f_\epsilon + \alpha_\kappa f_\kappa} \frac{\partial \Theta_k}{\partial \tau} + \Theta_k = \frac{P}{\alpha_\epsilon f_\epsilon + \alpha_\kappa f_\kappa} - \frac{\alpha_\epsilon f_\epsilon}{\alpha_\epsilon f_\epsilon + \alpha_\kappa f_\kappa} \Theta_m + \frac{\alpha_\kappa f_\kappa}{\alpha_\epsilon f_\epsilon + \alpha_\kappa f_\kappa} t_3; \\ \frac{m_m c_m}{\alpha_\kappa f_\kappa + \alpha_h f_h} \frac{\partial \Theta_m}{\partial \tau} + \Theta_m = -F(x, G, \Theta_1) + \frac{\alpha_\kappa f_\kappa}{\alpha_\kappa f_\kappa + \alpha_h f_h} \Theta_k - \frac{\alpha_h f_h}{\alpha_\kappa f_\kappa + \alpha_h f_h} \Theta_h; \\ \frac{m_h c_h}{\alpha_h f_h} \frac{\partial \Theta_h}{\partial \tau} + \Theta_h = \Theta_m; \end{cases} \quad (2.11)$$

Для спрощення математичного опису, не змінною для загальної фізичної картини теплових процесів, приймаємо, що температура на поверхні шнека дорівнює температурі матеріалу, а теплоємність шнека додамо до

теплоємності матеріалу, використавши поняття еквівалентної теплоємності:

$$mc = m_m c_m + m_h c_h.$$

Введемо такі позначення:

$$T_k = \frac{m_k c_k}{\alpha_e f_e}; \quad a_1 = \frac{\alpha_e f_e + \alpha_k f_k}{\alpha_e f_e}; \quad a_1 = \frac{P + \alpha_k f_k t_3}{\alpha_e f_e}; \quad T_n = \frac{m_m c_m + m_h c_h}{\alpha_k f_k}; \quad a_2 = 1;$$

$$b_2 = \alpha_e f_e (a - (1-b)\Theta_{m1}) e^{-\frac{(1-b)\alpha_e f_e x}{cL}} = b_2(x).$$

З урахуванням зроблених позначень, перше та друге рівняння системи (2.11) запишемо у вигляді:

$$T_k \frac{d\Theta_k}{d\tau} + a_1 \Theta_k - b_1 = \Theta_m \quad (2.12)$$

$$T_m \frac{d\Theta_m}{d\tau} + \Theta_m - b_2(x) = \Theta_k \quad (2.13)$$

Зводячи рівняння (2.12) і (2.13) до одного, матимемо:

$$T_k T_m \frac{d^2 \Theta_m}{d\tau^2} + (T_k + a_1 T_m) \frac{d\Theta_m}{d\tau} + (a_1 + 1) \Theta_m = a_1 b_2(x) \quad (2.14)$$

Розв'язок неоднорідного диференціального рівняння (2.14) за початкових умов: $\tau = 0$; $\Theta_m = \Theta_{m0}$, $d\Theta_m/d\tau = 0$ (де Θ_{m0} – початкове значення температури зерна) отримаємо у вигляді:

$$\Theta(\tau, x) = \frac{\Theta_{m0} - D_1(x)}{C(r_1 - r_2)} (r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}) + \frac{D_1(x)}{C} \quad (2.15)$$

де: $r_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A}$ - корені характеристичного рівняння; $A = T_k T_m$;

$$B = T_k + a_1 T_m; \quad c = a_1 - 1; \quad D_1(x) = a_1 b_2(x).$$

Аналогічно отримаємо рівняння зміни температури корпусу.

$$\Theta_k(\tau, x) = \frac{C\Theta_{k0} - D_2(x)}{C(r_1 - r_2)} (r_1 e^{r_2 \tau} - r_2 e^{r_1 \tau}) + \frac{D_2(x)}{C} \quad (2.16)$$

де: $D_2(x) = a_1 b_2(x)$.

Використовуючи отримані рівняння побудуємо розгінну характеристику прес-екструдера (рис. 2.7) при використанні індукційних нагрівачів для забезпечення технологічно обґрунтованих температурних режимів роботи.

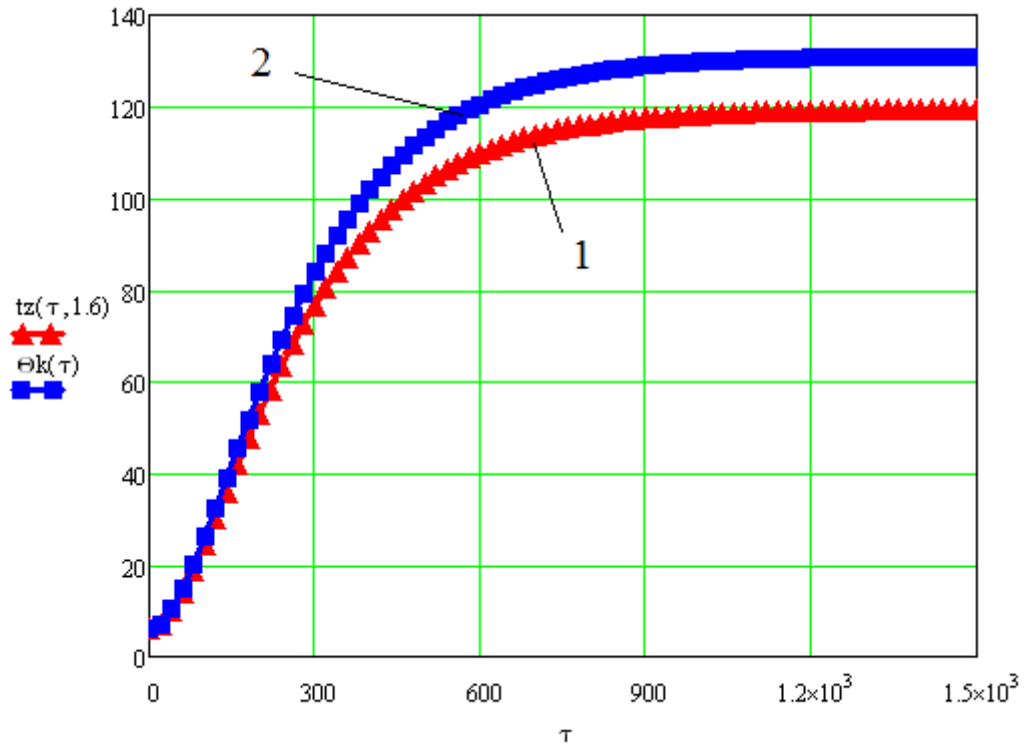


Рис. 2.7. Розподіл температури олійного матеріалу (1) та корпусу прес-екструдера (2) в робочій зоні при сталому режимі ($\Theta_k, ^\circ\text{C}$; $t_z, ^\circ\text{C}$; $x, \text{м}$)

Висновки. У результаті математичного моделювання виявлено можливості підвищення ефективності роботи прес-екструдера шляхом використання диференційованих режимів нагріву корпусу, одержано графічну характеристику розподілу температури в робочій зоні преса та цільову теоретичну графічну залежність, що забезпечуватиме ефективніше використання енергії. За літературними даними, збільшення ширини зони корпусу преса з температурою 115°C призводить до зниження споживаної потужності двигуна екструдера на 16% за рахунок зміни фізичних характеристики олійного матеріалу при підвищенні температури.

Наступним кроком є розробка конструкції індукційного нагрівача який може монтуватись безпосередньо на прес та забезпечуватиме передачу розрахованих значень потужності.

2.2. Визначення параметрів індукційного нагрівача корпусу прес-екструдера

Індукційні системи нагрівання належать до групи пристроїв непрямого нагрівання (рис. 2.8). Завдяки своїй універсальності вони можуть бути використані для обігріву різного технологічного обладнання, наприклад, хімічних реакторів, трубопроводів чи екструдерів [2].

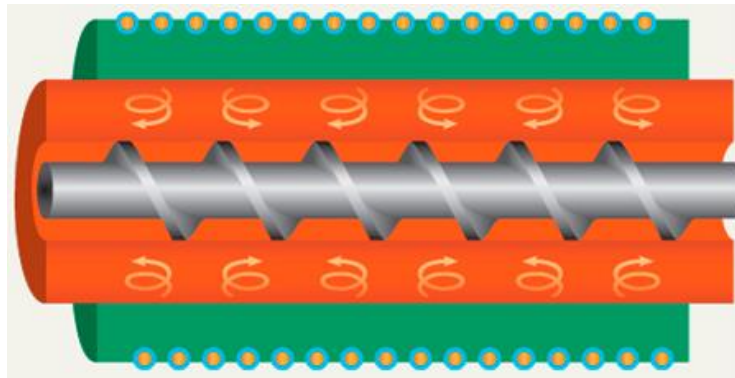


Рис. 2.8. Індукційне нагрівання корпусу прес-екструдера

Існує декілька методів аналізу електромагнітних процесів в індукційних системах, а саме методи аналітичного та чисельного розрахунку.

Одним з найпоширеніших аналітичних методів є метод магнітних схем заміщення [1,14]. Також широко використовуються чисельні методи розрахунку характеристик електромагнітного поля, але останні, хоча і дають більш точні результати, та вимагають суттєво більшу витрату ресурсів обчислювальної техніки.

Добре розвинуто та випробувано на практиці аналітичний метод розрахунку електромагнітного поля та інтегральних енергетичних характеристик циліндричних індукторів скінченної довжини з урахуванням

нелінійних властивостей феромагнетиків, які враховуються за допомогою організації розрахунку енергетичних параметрів по ітераціям магнітної проникності, яка змінюється по параболічному закону від напруженості магнітного поля на поверхні завантаження [13].

Від характеристик електромагнітного поля, які представлені у вигляді компонент індукції та густини струму [13], автори переходять до енергетичних параметрів, що визначають індукційний нагрів.

Інтегруванням напруженості електричного поля вздовж намотки індуктора за умови синусоїдальної форми сигналів (лінеаризації магнітних полів) індуквану ЕРС отримують за формулою [13]:

$$\dot{e}_m = -i\omega 2\pi r_1 \frac{w}{a} \int_{\frac{l}{2} - \frac{a}{2}}^{\frac{l}{2} + \frac{a}{2}} \dot{A}_2 \Big|_{\rho=r_1} dz \quad (2.17)$$

де: $\dot{A}_2 \Big|_{\rho=r_1}$ – комплексне значення моменту векторного потенціалу на поверхні індуктора (рис. 2.9.).

Далі в роботі [13] переходять до схеми заміщення (рис. 2.10) і визначають комплексний опір, що вноситься $\underline{z}_{m1} = \frac{\dot{U}_m}{\dot{I}_m}$, $\dot{U}_m = -\dot{e}_m$. Визначений опір враховує геометрію завантаження, його електрофізичні параметри та магнітні потоки, що замикаються поза феромагнітним завантаженням.

На підставі схем заміщення в [13] отримано вираз для розрахунку комплексного опору, що вноситься при завантаженні індуктора розгалуженим пучком феромагнітних труб чи стержнів. При цьому для визначення опору, що вноситься, використовується розв'язок для електромагнітного поля індуктора, який завантажений однією трубою. Такий прийом дозволяє уникнути тривимірної постановки задачі і значно спростити обчислювальні операції.

Таким чином для схеми заміщення індуктора (рис 2.10), можна знайти струм, який буде визначатись за формулою:

$$\dot{I}_{ind} = \frac{\dot{U}}{\underline{z}_m + r_{об}} \quad (2.18)$$

Для урахування нелінійності феромагнітних середовищ розроблено ітераційний процес по величині магнітної проникності. Після визначення струму визначається повна потужність індуктора, яка складається з активної та реактивної складових, визначається за наступною формулою:

$$\underline{S} = \dot{U} \dot{I} \quad (2.19)$$

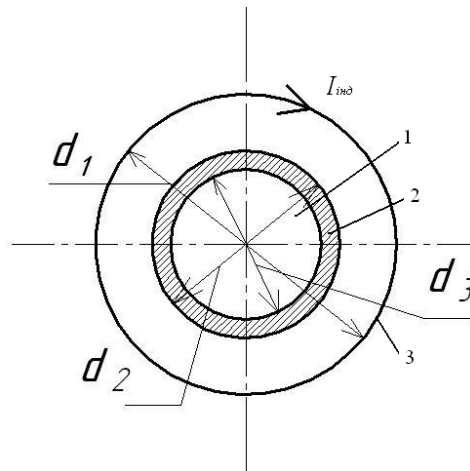


Рис. 2.9. Індуктор із завантаженням у вигляді однієї феромагнітної труби:
1 – повітря; 2 – феромагнітна труба; 3 – лінійне струмове навантаження

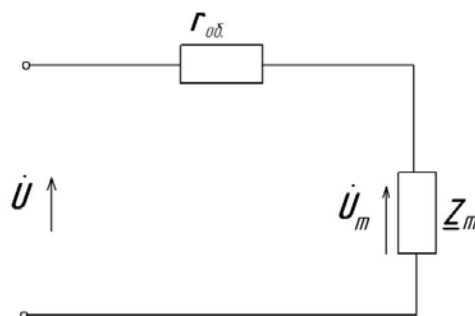


Рис. 2.10. Послідовна схема заміщення

Активна потужність індуктора представляє собою дійсну частину повної потужності і визначається за формулою:

$$P = \text{Re}(S) \quad (2.20)$$

Реактивна потужність індуктора розраховується для визначення необхідної кількості та потужності компенсуючих пристроїв, вона представляє собою уявну частину повної потужності

$$Q = \text{Im}(S) \quad (2.21)$$

При визначенні коефіцієнту потужності індукційної установки, необхідно враховувати її активну та реактивну потужності (повну потужність):

$$\cos\varphi = \frac{P}{|S|} \quad (2.22)$$

Величина електричного ККД установки визначається за наступною формулою:

$$\eta = \frac{P - r_{об} \cdot \dot{I}_{инд}^2}{P} \quad (2.23)$$

Рівняння, що наведені вище, та інженерна методика [13] дозволяють виконати розрахунки енергетичних характеристик циліндричних індукторів. Однак, кожна з конструкцій пресів має свої особливості, такі як форма корпусу, наявності вузлів з'єднання елементів корпусу, кріплення станини преса та інші фізичні параметри корпусів пресів, які необхідно враховувати при розрахунках. Оскільки форма корпусу преса може відрізнятися від круглої, а фундаментальні методи розрахунку індукторів орієнтовані на об'єкти кругової форми, потрібно провести додаткові дослідження з розробки методики еквівалентування форми корпусу преса для розрахунків параметрів індуктора відомими методами з прийнятною точністю.

Індукційний нагрів в загальному випадку вимагає розгляду складних взаємозалежних явищ різної фізичної природи.

Використовуючи наведені вище рівняння виконаємо розрахунок енергетичних параметрів індуктора, необхідного для підтримання заданих теплових режимів нормальної роботи прес-екструдера, рекомендованих виробником.

Корпус преса (рис. 2.11) має дві зони нагрівання.

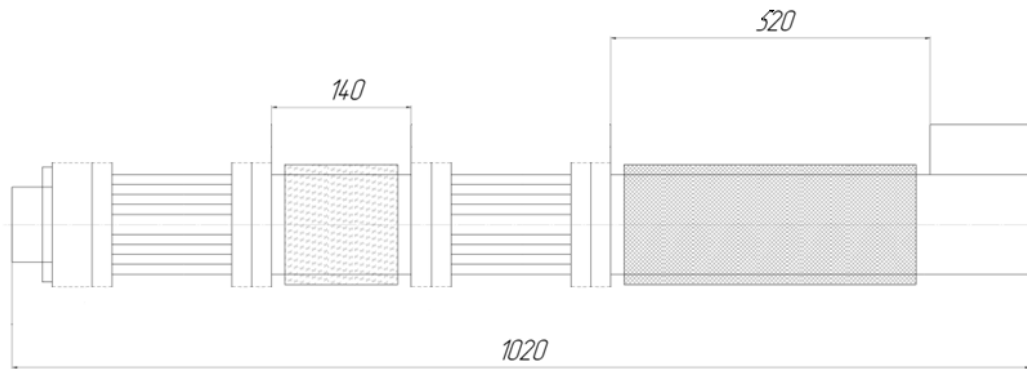


Рис. 2.11. Конструктивна схема преса УЕП-100

Фізичні розміри корпусу преса (рис. 2.11) дозволяють виконати індуктори для встановлення безпосередньо на місце дротового нагрівача (ТЕНа), що був передбачений у вихідній конструкції преса. Паспортна потужність, яка передається в корпус екструдера в першій зоні нагрівання, дорівнює 6 кВт.

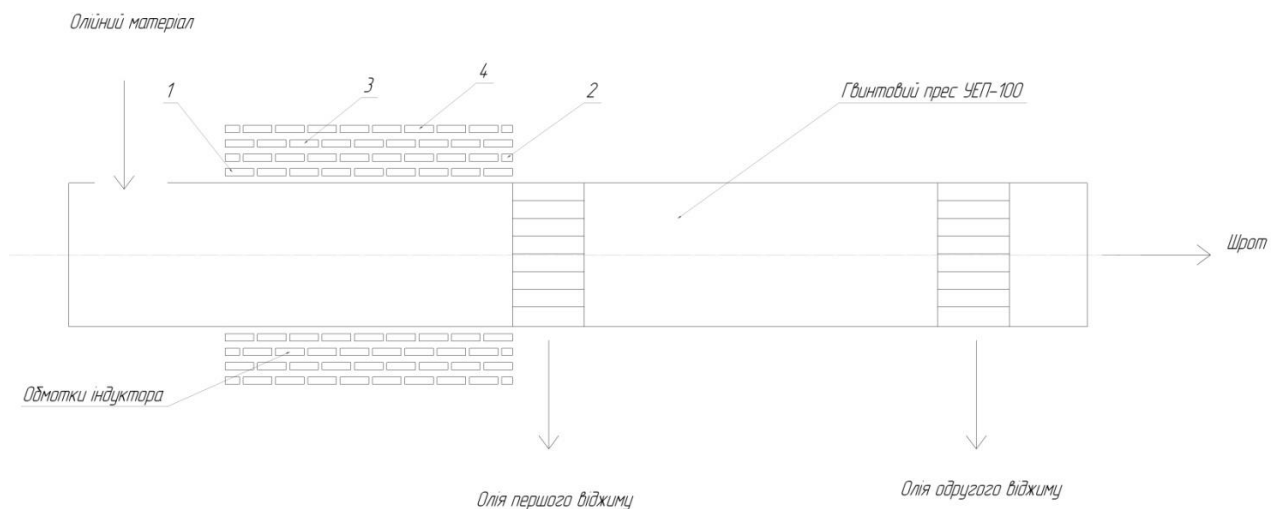


Рис. 2.12. Встановлення індукційного нагрівача на корпус прес-екструдера УЕП-100:

1 – перший шар обмотки індукційного нагрівача; 2 – другий шар обмотки індукційного нагрівача; 3 – третій шар обмотки індукційного нагрівача; 4 – четвертий шар обмотки індукційного нагрівача

Використовуючи інженерну методику розрахунку основних енергетичних параметрів індуктора та еквівалентного діаметру прес-екструдера, наведену в роботі [13], визначимо параметри індуктора, що забезпечить необхідну температуру корпусу прес-екструдера при температурі олійного матеріалу (насіння ріпаку) при температурі 0°C, +15°C та +30°C (див. п.2.1). Отримані результати наведені в таблицях 2.1 – 2.3.

Таблиця 2.1.

Значення основних енергетичних параметрів індуктора, що складається з 3 шарів обмоток (температура олійного матеріалу 0°C)

Найменування	Од. вим.	Значення
Довжина індуктора	м	0,5
Внутрішній діаметр індуктора	м	0,15
Діаметр корпусу екструдера	м	0,162
Кількість витків обмотки в шарі	шт.	90
Кількість шарів обмотки	шт.	3
Напруга живлення	В	220
Струм індуктора	А	65
Потужність в корпусі екструдера	Вт	9889
ККД	%	94
$\cos\varphi$	-	0,685

Таблиця 2.2.

Значення основних енергетичних параметрів індуктора, що складається з 4 шарів обмоток (температура олійного матеріалу 15°C)

Найменування	Од. вим.	Значення
Довжина індуктора	м	0,5
Внутрішній діаметр індуктора	м	0,15
Діаметр корпусу екструдера	м	0,144
Кількість витків обмотки в шарі	шт.	90
Кількість шарів обмотки	шт.	4
Напруга живлення	В	220
Струм індуктора	А	32,7
Потужність в корпусі екструдера	Вт	4737
ККД	%	96
$\cos\varphi$	-	0,659

Значення основних енергетичних параметрів індуктора, що складається з 5 шарів обмоток (температура олійного матеріалу 30°C)

Найменування	Од. вим.	Значення
Довжина індуктора	м	0,5
Внутрішній діаметр індуктора	м	0,15
Діаметр корпусу екструдера	м	0,144
Кількість витків обмотки в шарі	шт.	90
Кількість шарів обмотки	шт.	5
Напруга живлення	В	220
Струм індуктора	А	21,9
Потужність в корпусі екструдера	Вт	3101
ККД	%	97
$\cos\varphi$	-	0,644

Висновки.

1. Для підвищення ефективності роботи прес-екструдера УЕП-100 та забезпечення більш ефективного використання електроенергії необхідно замінити дротовий електронагрівач першої (основної) зони нагріву корпусу прес-екструдера на індукційний нагрівач (індуктор). Дротовий електронагрівач другої зони нагріву (допоміжний) залишається від базової конструкції.

2. Індуктор налічує п'ять шарів обмотки. Живлення напругою змінного струму 220 В підводиться до обмоток 1-3, до 4 обмотки, до 5 обмотки.

3. Забезпечення диференційованих режимів нагрівання корпусу преса здійснюється наступним чином:

- при температурі олійного матеріалу 0°C нагрів корпусу здійснюється при подачі живлення на обмотки 1 – 3 індуктора. При цьому спостерігається максимальне споживання потужності нагрівачами (9,9 кВт);

- при температурі олійного матеріалу 15°C необхідна температура корпусу для віджимання олії забезпечується при подачі живлення на обмотки 1-3 та на 4 обмотку. Споживана потужність нагрівачами при цьому зменшується до значення 4,7 кВт;

- при температурі олійного матеріалу, близькою до 30°C , напруга живлення подається на усі обмотки індуктора. Споживана потужність нагрівачів зменшується при цьому до значення 3,1 кВт.

2.3. Функціональна схема автоматизації системи керування прес-екструдером

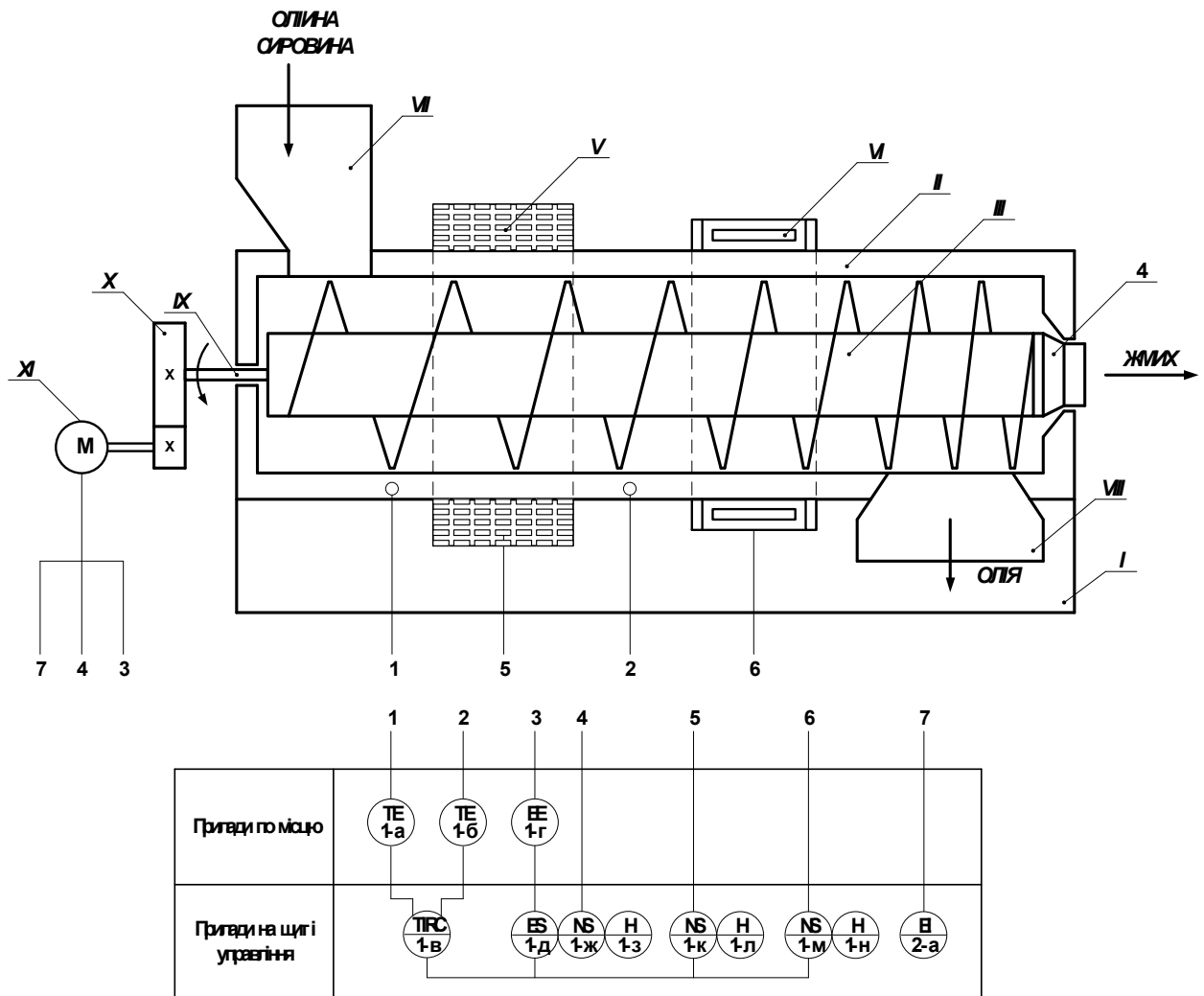


Рис. 2.13. Функціональна схема автоматизації системи

керування прес-екструдером:

I – рама; *II* – корпус прес-екструдера; *III* – гвинтовий шнек; *IV* – втулка конусна; *V* – індуктор; *VI* – електронагрівач; *VII* – завантажувальний бункер; *VIII* – піддон для відведення олії; *IX* – вал; *X* – редуктор; *XI* – електродвигун

Функціональна схема автоматизації системи керування прес-екструдера УЕП-100 зображена на рис. 2.13.

Для отримання олії з насіння необхідно зруйнувати кліткову структуру його тканин. У проточній частині пресу кліткова структура тканин, що містять олію, руйнуються, оскільки піддаються інтенсивному стисканню, короткочасному нагріву та перетиранню під дією активних елементів конструкції преса.

При подачі насіння через завантажувальний бункер преса сировина захоплюється першими шнеками, які мають найбільший крок, і спрямовуються у проточну частину пресу. По довжині проточної частини крок шнеків зменшується і досягає найменшого значення у місці виходу олії, завдяки чому насіння стискається.

Проточна частина прес-екструдера поділяється на дві зони нагріву, перша з яких знаходиться ближче до завантажувального бункера (основний нагрів), друга (додатковий нагрів) – наступна за нею. В базовій конструкції прес-екструдера УЕП-100 нагрів першої та другої зони забезпечувався дротовими електронагрівачами.

У вдосконаленому виконанні температура нагріву у першій зоні забезпечується індуктором, у другій зоні залишається дротовий електронагрівач від базової конструкції. При цьому споживана потужність індуктора змінюється в залежності від температури олійної сировини, що надходить на переробку, за допомогою вмикання різної кількості обмоток індуктора.

Значення температури нагріву корпусу у відповідній зоні вимірюються за допомогою двох первинних вимірювальних перетворювачів (датчиків температури) ТЕ (1-а) та ТЕ (1-б). Керуючий елемент регулятора температури корпусу TIRC (1-в) через відповідні симістори (NS (1-к) та електромагнітні пускачі NS (1-м)) і NS (1-ж)) формує керуючі сигнали, відповідно обмотками індуктора та дротовим електронагрівачем, а також електродвигуном приводу гвинтового шнеку прес-екструдера.

Для захисту електродвигуна від перевантаження використовується теплове реле (EE-ES), увімкнене в коло керування електродвигуном.

У схемі передбачене керування у ручному та автоматичному режимі.

В обох режимах завантаження сировини в завантажувальний бункер здійснюється оператором в залежності від показів амперметра (EI (2-a)), який показує струм, що споживається електродвигуном. Збільшення струму споживання характеризує ступінь перевантаження прес-екструдера.

При складанні функціонально-структурної схеми системи автоматичного керування температурою корпусу прес-екструдера слід зупинитись на індукторі як функціональному елементі автоматики. Як було зазначено, індукційні нагрівачі відносяться до пристроїв непрямого нагрівання. *Якщо розглядати індуктор як виконавчий механізм САК температури корпусу, його вхідним сигналом є споживаний струм (потужність), а вихідним сигналом – зміна у часі величини магнітного потоку, внаслідок чого у корпусі, що нагрівається, виникають струми Фуко, що призводить до його нагрівання.* Вказана обставина суттєво ускладнює визначення передатної функції індуктора як виконавчого механізму САК температури корпусу прес-екструдера. Тому для спрощення подальших розрахунків, а також враховуючи ту обставину, що при отриманні розгінних характеристик прес-екструдера (рис. 2.7) у математичній моделі врахована теплова дія індукційного нагрівача, прийmemo, що індуктор є складовою частиною корпусу преса як об'єкта управління.

Функціонально-структурна схема системи автоматичного керування температурою корпусу прес-екструдера з урахуванням вказаних обставин матиме вигляд, зображений на рис. 2.14.

На схемі прийняті наступні позначення: KE – керуючий елемент регулятора температури корпусу прес-екструдера; ОУ – об'єкт управління (корпус прес-екструдера з індуктором); ПВП – первинний вимірювальний перетворювач (датчик температури); Θ - діюче значення температури прес-екструдера; R - значення опору ПВП, що відповідає значенню температури Θ ;

$R_{зад}$ - значення опору, що відповідає заданому значенню температури $\Theta_{зад}$; ΔR - сигнал розузгодження; $P_{кер}$ - потужність керування, яка змінюється в залежності від кількості ввімкнених обмоток індуктора за рахунок зміни споживаного струму, що призводить до зміни температури корпусу прес-екструдера; $F(t)$ - збурення, що впливають на об'єкт управління (зміна вологості насіння, зміна температури завантаженого насіння).

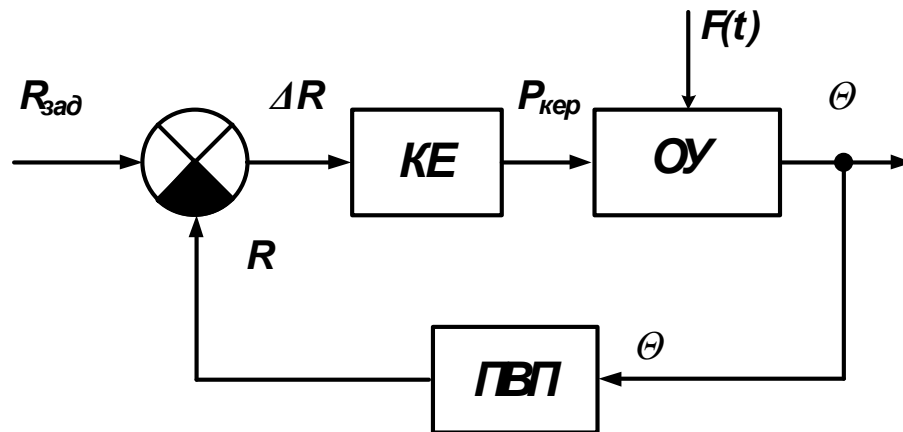


Рис. 2.14. Функціонально-структурна схема системи автоматичного керування температурою корпусу прес-екструдера

2.4. Визначення приведеної передатної функції прес-екструдера по каналу керування температурним режимом

Для визначення передатної функції прес-екструдера по каналу керування був використаний графічний метод [21]. Для цього розгінна характеристика (рис. 2.7, 1) була пронормована за виразом

$$y(t_i) = \frac{y(t_i) - y(t_0)}{y(\infty) - y(t_0)} = \frac{y(t_i) - 6}{120 - 6} \quad (2.24)$$

Результати розрахунку занесені в таблицю 2.4, нормована крива розгону прес-екструдера УЕП-100 зображена на рис. 2.15.

Розрахункові дані для побудови нормованої розгінної характеристики
прес-екструдера УЕП-100

Час t_i, c	Температура корпусу $T, ^\circ C$	$y(t_i)$	Час t_i, c	Температура корпусу $T, ^\circ C$	$y(t_i)$
0	6,00	0	800	115,67	0,895
50	8,23	0,051	850	116,27	0,911
100	22,16	0,149	900	116,92	0,925
150	42,70	0,253	950	117,14	0,935
200	58,53	0,349	1000	117,48	0,949
250	65,31	0,436	1050	117,76	0,966
300	78,04	0,512	1100	118,26	0,970
350	83,78	0,578	1150	118,48	0,973
400	91,65	0,636	1200	118,61	0,979
450	96,76	0,686	1250	119,15	0,985
500	103,20	0,730	1300	119,62	0,989
550	108,06	0,768	1350	119,88	0,993
600	110,42	0,801	1400	120,00	0,997
650	112,34	0,829	1450	120,00	1,000
700	113,88	0,854	1500	120,00	1,000
750	114,89	0,876			

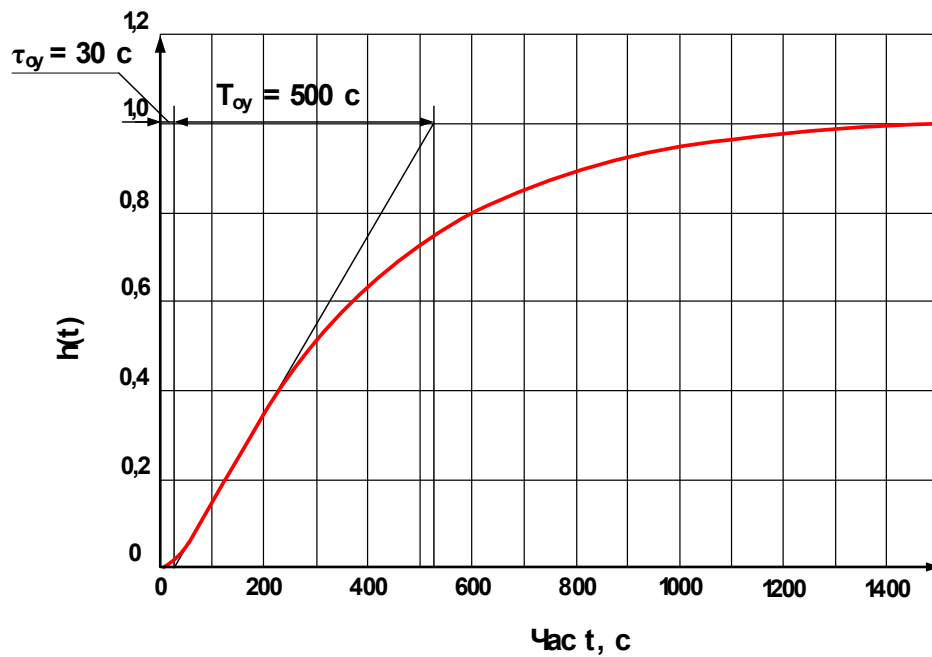


Рис. 2.15. Нормована розгінна характеристика прес-екструдера
УЕП-100 по каналу керування температурним режимом

Для статичних об'єктів передатна функція, отримана за кривою розгону, представляється у вигляді інерційної ланки із запізненням

$$W(s) = \frac{k_{OY} \cdot e^{-\tau_{OY} \cdot s}}{T_{OY} \cdot s + 1} \quad (2.25)$$

де k_{OY} - коефіцієнт передачі об'єкта; T_{OY} - постійна часу об'єкта, що характеризує його інерційність, с; τ_{OY} - час чистого запізнення, с.

Чисельне значення постійної часу T_{OY} та часу запізнення τ_{OY} об'єкта знаходять за допомогою дотичної, яку проводять до точки перегину нормованої розгінної характеристики (рис. 2.15). Точка перегину відповідає середині відрізка часу, на якому спостерігається максимальний приріст ординати кривої розгону.

Коефіцієнт передачі об'єкта управління визначаємо за формулою

$$k_{OY} = \frac{T_k - T_n}{P_k - P_n} \quad (2.26)$$

де T_k та T_n – відповідно кінцева та початкова температура корпусу прес-екструдера, °С;

P_k та P_n – відповідно кінцеве та початкове відносне значення споживаної потужності індукційного нагрівача, що відповідають значенням температури T_k та T_n , %.

$$T_k = 120^\circ\text{C}, T_n = 6^\circ\text{C}; P_k = 100\%, P_n = 0\%.$$

$$k_{OY} = \frac{120 - 6}{100 - 0} = 1,14 \left[\frac{^\circ\text{C}}{\% \text{ потужності}} \right].$$

Значення постійної часу та часу чистого запізнення, визначені з нормованої розгінної характеристики прес-екструдера, складають

$$T_{OY} = 500 \text{ с}, \tau_{OY} = 30 \text{ с}.$$

Передатна функція прес-екструдера по каналу керування температурою корпусу $W_{OY}(s) = \frac{1,14}{500 \cdot s + 1} \cdot e^{-30s}$.

РОЗДІЛ 3

ВИБІР РЕГУЛЯТОРА ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЙОГО НАЛАШТУВАНЬ

3.1. Вибір алгоритму керування нагрівом корпусу прес-екструдера

Будь-яка система автоматичного керування складається з регулятора та об'єкта управління. Динамічні властивості останнього відіграють вирішальну роль при виборі найбільш ефективного закону керування.

Встановлено, що критерієм для правильного вибору закону керування може служити значення відношення часу чистого запізнення об'єкта до його постійної часу, тобто $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}}$ [21]. Для цього передатна функція для статичного об'єкта повинна бути представлена у вигляді (2.25). В залежності від величини відношення часу запізнювання τ_{ov} до постійної часу об'єкта T_{ov} :

- при $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} < 0,2$ рекомендованим є використання регулятора позиційної дії;
- при $\frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} > 1$ необхідно вибирати спеціальний цифровий (імпульсний) регулятор із випередженням, який компенсує запізнювання в контурі керування;
- при $0,2 \leq \frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} \leq 1$ зазвичай вибирають неперервний або цифровий регулятор, що реалізує П-, ПІ-, ПД-, ПІД-закон керування.

Крім того, для обґрунтування закону керування і вибору регулятора, який відповідає цьому закону, необхідно знати не тільки властивості об'єкта та вимоги до технологічного процесу, але й деякі конструктивні особливості самих регуляторів. Промислові регулятори реалізують закон регулювання з певною похибкою, що обов'язково повинно враховуватись при виборі усіх технічних засобів, що входять до складу системи автоматичного керування.

У прес-екструдері температура в проточній частині преса та вологість олійного матеріалу відіграють вирішальну роль в ефективності процесу віджимання олії. Для насіння соняшника оптимальною температурою в робочій зоні преса вважається 105-110°C, ріпаку – 115-125°C [7]. Віджимання олії при температурі нижче 100°C знижує відсоток виходу олії. При температурі вище 135°C погіршуються споживчі властивості олії: підвищується кислотне число, змінюється показник кольору, з'являється пригар і т.п.

В даному випадку передатна функція прес-екструдера УЕП-100

$$W_{ov}(s) = \frac{1,14}{500 \cdot s + 1} \cdot e^{-30 \cdot s}, \text{ для нього відношення } \frac{\tau_{ov}}{T_{ov}} = \frac{30}{500} = 0,06.$$

За вказаною методикою необхідно вибрати закон керування позиційної дії. Але враховуючи ту обставину, що при виробництві олії в корпусі прес-екструдера за технологічними вимогами необхідно підтримувати постійне значення температури без значних її коливань, а також для покращення якості регулювання, виберемо неперервний алгоритм керування.

Методика вибору найкращого закону керування неперервної дії для певного об'єкта полягає у визначенні динамічного коефіцієнта регулювання [21].

Для статичних об'єктів:

$$R_d = \frac{y_1}{k_{об} \cdot y_3} \quad (3.1)$$

де $k_{об}$ – коефіцієнт передачі об'єкту управління, $k_{об} = 1,14$;

y_3 – максимально допустиме збурення по навантаженню, в % ходу РО, $y_3 = 30\%$;

y_1 – максимальне динамічне відхилення, $y_1 = 5^\circ\text{C}$.

Підставивши відповідні значення, отримаємо:

$$R_d = \frac{5}{1,14 \cdot 30} = 0,16.$$

За графічними залежностями [21], визначаємо закон керування – це ПІ-алгоритм керування з типовим перехідним процесом з 20%-вим перерегулюванням.

Перевіримо, чи забезпечується при цьому необхідний час регулювання за умовою

$$t_p = \psi \cdot \tau_{OB} \leq t_{РЕГ.ЗАД}. \quad (3.2)$$

де ψ - відносний час регулювання, для ПІ-закону регулювання з типовим перехідним процесом з 20%-вим перерегулюванням $\psi = 12,0$ [21];

τ_{OB} - час запізнення об'єкта управління, $\tau_{OB} = 30$ с ;

$t_{РЕГ.ЗАД}$ - найбільше значення часу регулювання, обумовлений технологічними вимогами, $t_{РЕГ.ЗАД} \leq 500$ с [25].

$$t_p = 12,0 \cdot 30 = 360 \text{ с}; \quad 360 \text{ с} < 500 \text{ с}.$$

Умова 2.28 виконується.

Передатна функція регулятора, що реалізує ПІ-закон керування

$$W_{PI}(s) = k_p \cdot \left(1 + \frac{1}{T_I \cdot s} \right) \quad (3.3)$$

ПІ-регулятори на практиці є одними з найбільш поширених, яким властиві наступні переваги:

- забезпечують нульову статичну похибку регулювання;
- є достатньо простими в налагодженні, оскільки мають тільки два параметри настройки – коефіцієнт підсилення k_p і постійну часу інтегрування T_I . В таких регуляторах існує можливість оптимізації величини співвідношення $\frac{k_p}{T_I} \rightarrow \min$, що забезпечує управління з мінімально можливою середньоквадратичною похибкою регулювання;
- мала чутливість до шумів у каналі вимірювання (на відміну від ПД-регуляторів).

На стадії проектування розрахунків параметрів настройки ПІ-регуляторів, за якими їх вибирають, ведуть здебільшого за трьома інженерними методиками:

- на заданий амплітудний показник коливальності;
- на заданий частотний показник коливальності;
- на заданий кореневий показник коливальності.

Параметри настройки ПІ-регулятора для керування нагрівом корпусу прес-екструдера виконаємо за першою методикою.

Для розімкненої системи з ПІ-регулятором можна записати:

$$\begin{aligned} W_{PO3}(j \cdot \omega) &= k_p [1 - (j/T_i \cdot \omega) \cdot W_{OY}(j \cdot \omega)] = \\ &= k_p \cdot W_{OY}(j \cdot \omega) - j \cdot [k_p \cdot W_{OY}(j \cdot \omega)]/T_i \cdot \omega \end{aligned} \quad (3.4)$$

У разі підключення ПІ-регулятора до об'єкта, кожний вектор цього об'єкта збільшуватиметься в k_p раз і до нього ще додаватиметься вектор $[k_p W_{OY}(j \cdot \omega)]/T_i \cdot \omega$.

Для забезпечення заданого запасу стійкості системи за модулем S при різних співвідношеннях k_p та T_i необхідно, щоб АФЧХ розімкненої системи проходила через точку D з координатами $((1-S), j0)$, тобто вектор $\overline{OE_i}$ має описати у третьому квадранті комплексної площини геометричне місце точок - півколо, радіус якого становить $(1-S)/2$, а центр міститься в точці з координатами $(-(1-S)/2, j0)$ (рис. 3.1).

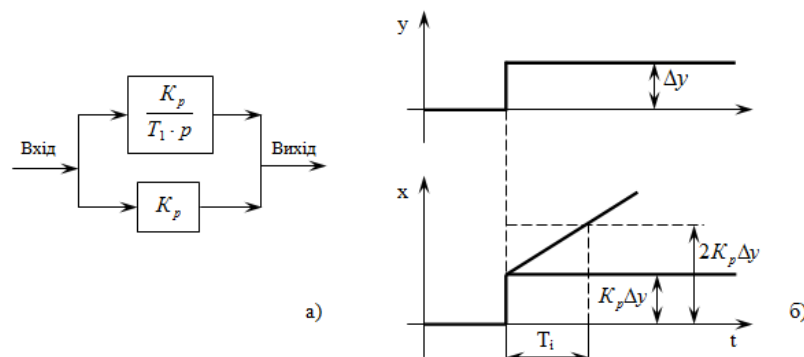


Рис. 3.1. Крива розгону пропорційно-інтегрального регулятора:

а) структурна схема, б) розгінна характеристика

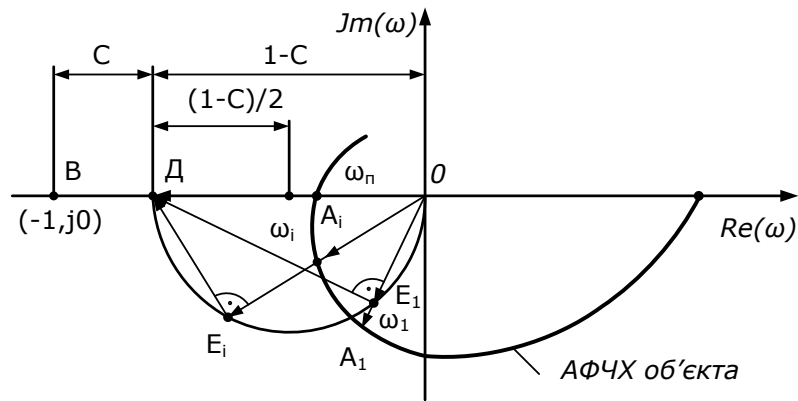


Рис. 3.2. Методика розрахунку параметрів ПІ-регулятора за умов обмеження системи на заданий запис стійкості за амплітудою

Значення параметрів K_p і T_i , що забезпечують потрібний запас стійкості за амплітудою C , знаходять за виразами:

$$\begin{aligned} \overline{OD} = W(j \cdot \omega_i) &= \overline{OE_i} + \overline{ED_i} = k_p \cdot W_{OV}(j \cdot \omega) - \frac{k_p \cdot W_{OV}(j \cdot \omega)}{T_i \cdot \omega} = \\ &= k_p \cdot \overline{OA_i} - j \cdot \frac{k_p \cdot \overline{OA_i}}{T_i \cdot \omega}. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Звідки

$$\overline{OE_i} = k_p \cdot \overline{OA_i}, \quad k_p = \frac{\overline{OE_i}}{\overline{OA_i}} \quad (3.6)$$

$$\overline{ED_i} = \frac{k_p \cdot W_{OV}(j \cdot \omega)}{T_i \cdot \omega_i} = \frac{\overline{OE_i}}{T_i \cdot \omega_i}, \quad (3.7)$$

$$T_i = \frac{\overline{OE_i}}{\omega_i \cdot \overline{ED_i}}. \quad (3.8)$$

Розрахуємо параметри ПІ-регулятора за заданим амплітудним показником коливальності $C = 0,45$ у математичному пакеті Mathcad.

$$r = \frac{1-C}{2}, \quad d = 2 \cdot r. \quad (3.9)$$

де d – діаметр кола; r – радіус кола; C – показник коливальності.

Передатна функція прес-екструдера

$$W_{OV}(s) = \frac{1,14}{500 \cdot s + 1} \cdot e^{-30 \cdot s}$$

Будуємо годограф АФЧХ, будуємо коло, проводимо декілька відрізків, які відсікають на АФЧХ відрізки OA на колі OE та OD (рис. 3.3).

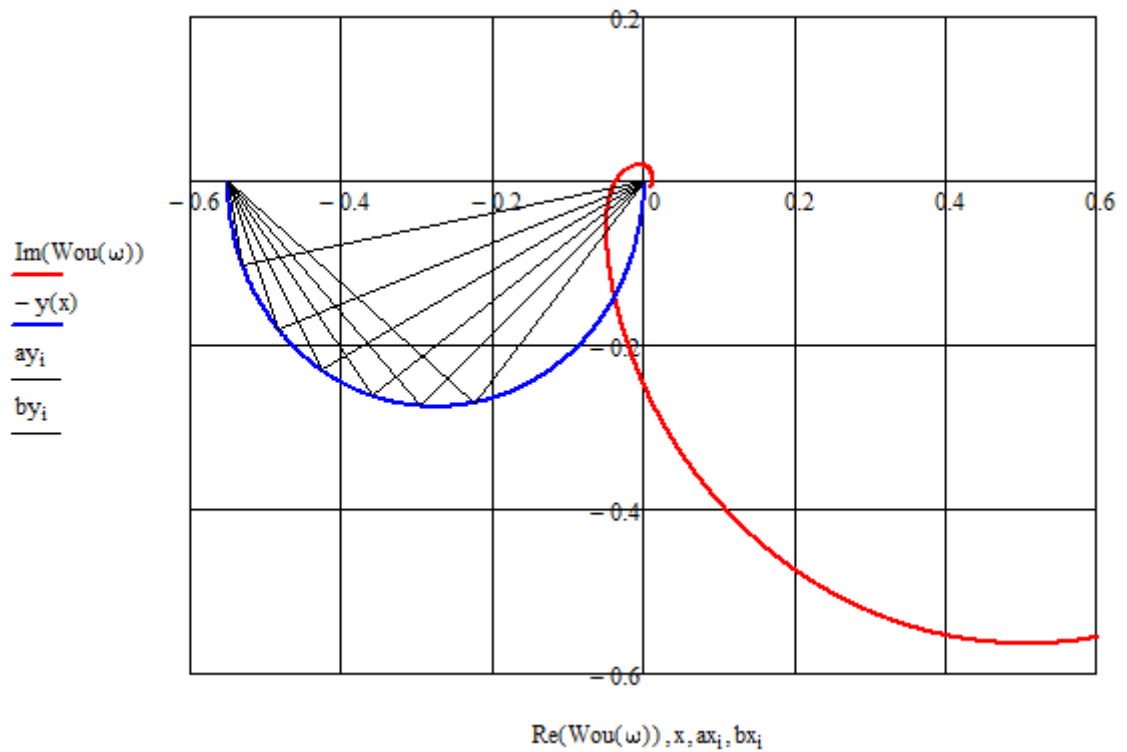


Рис. 3.3. Графічні побудови до розрахунку параметрів ПІ-регулятора за умов обмеження системи на заданий запис стійкості за амплітудою

Визначаємо довжину відрізків OA, OE, OD.

$$OA_i := \sqrt{(cx_i)^2 + (cy_i)^2}$$

$$ED_i := \sqrt{d^2 - [(ax_i)^2 + (ay_i)^2]}$$

$$OE_i := \sqrt{(ax_i)^2 + (ay_i)^2}$$

OA_i =

0
0.078
0
0.068
0
0.059
0
0.053
0
0.048
0
0.043

ED_i =

0.55
0.424
0.55
0.374
0.55
0.323
0.55
0.261
0.55
0.192
0.55
0.105

OE_i =

0
0.35
0
0.403
0
0.445
0
0.484
0
0.515
0
0.54

Визначаємо частоти, при яких відбувається перетин АФЧХ та відрізків (рис. 3.4).

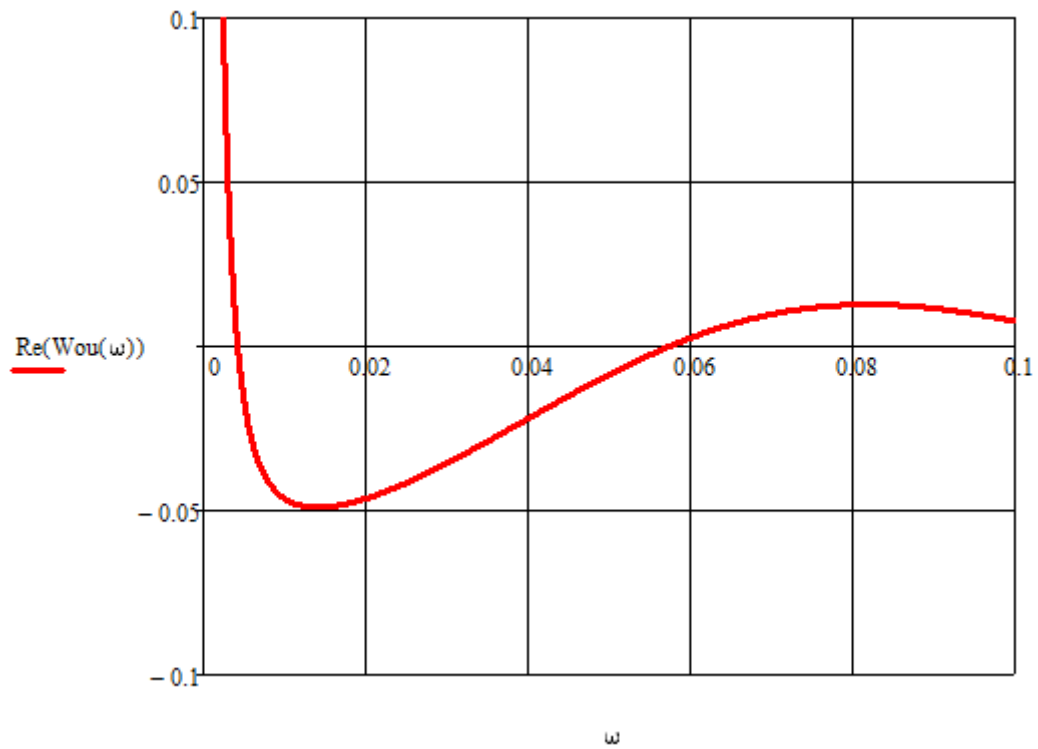


Рис. 3.4. Визначення частот, при яких відбувається перетин АФЧХ та відрізків

$cx_i :=$	$\omega_i :=$	$OA_i =$	$ED_i =$	$OE_i =$	$\omega_i :=$
-0.049	0.0138	0.078	0.424	0.35	0.0138
-0.0488	0.0156	0.068	0.374	0.403	0.0156
-0.0478	0.0179	0.059	0.323	0.445	0.0179
-0.0462	0.0202	0.053	0.261	0.484	0.0202
-0.0443	0.0223	0.048	0.192	0.515	0.0223
-0.0418	0.0248	0.043	0.105	0.54	0.0248

Визначаємо параметри настройки регулятора k_p та T_i .

$$Kp_i := \frac{OE_i}{OA_i} \quad Tiz_i := \frac{OE_i}{\omega_i \cdot ED_i} \quad Opt_par := \frac{Kp}{Tiz}$$

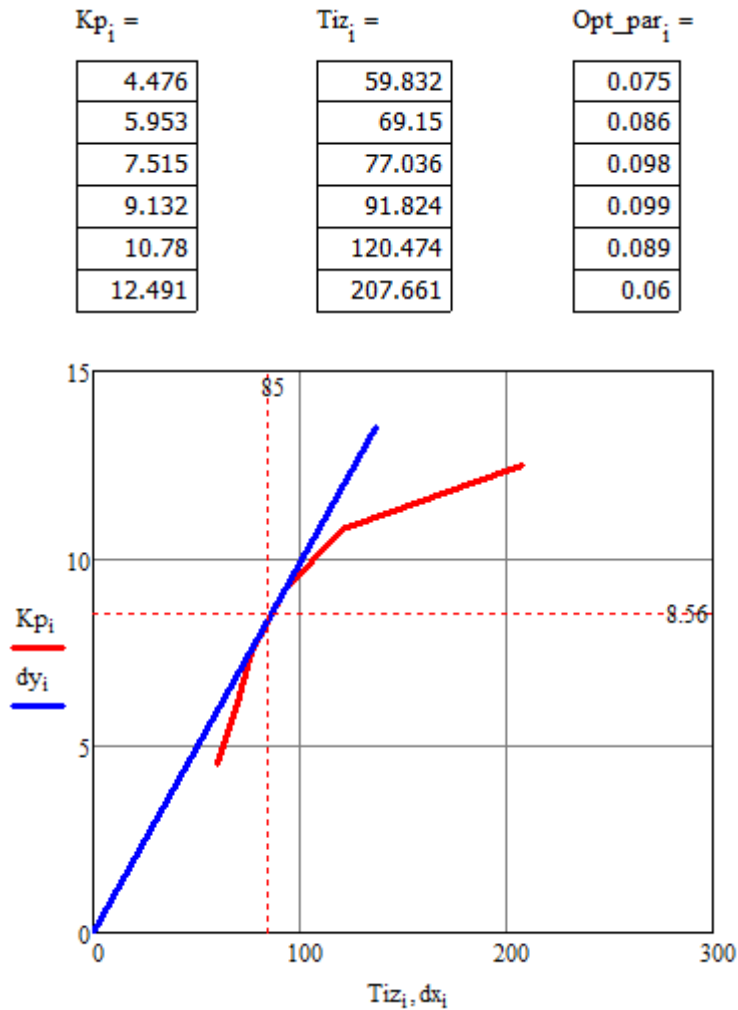


Рис. 3.5. Визначення оптимальних параметрів настройки ПІ-регулятора

Оскільки необхідний запас стійкості S може бути забезпечений при різних співвідношеннях k_p і T_i , то постає задача щодо вибору оптимального співвідношення. Ці параметри можуть бути знайдені у разі проведення дотичної з початку координат до лінії межових співвідношень (осями координат з k_p та T_i на рис. 3.5). Будуємо лінію межових співвідношень та дотичну до неї.

$$k_p = 8,56, T_i = 85 \text{ c}.$$

Передатна функція ПІ-регулятора

$$W_{III}(s) = 8,56 \cdot \left(1 + \frac{1}{85 \cdot s} \right).$$

3.2. Вибір регулятора для реалізації вибраного алгоритму керування

Керуючий елемент регулятора температури корпусу прес-екструдера реалізується програмним шляхом на базі мікроконтролера фірми MICROCHIP PIC16F877. Крім того, передбачається можливість підключення регулятора за допомогою шини RS-232 до комп'ютера та управління системою автоматичного керування в ручному та автоматичному режимах.

Мікроконтролери відносяться до дешевих, високоефективних, 8-розрядних мікропроцесорів із вбудованим аналогово-цифровим перетворювачем. Усі мікроконтролери ряду PIC16/17 використовують RISC структуру процесорного ядра, мають розширені можливості, восьмирівневий стек та багато зовнішніх та внутрішніх переривань.

Гарвардська архітектура з окремими шинами команд і даних дозволяє одночасно передавати 14-розрядні команди та 8-розрядні дані.

Двохкомандний конвеєр забезпечує виконання усіх команд за один машинний цикл, окрім команд розгалуження програми.

Система команд складається лише з 35 команд. Висока ефективність досягається завдяки використанню нових рішень стосовно архітектури і великого набору додаткових регістрів.

Мікроконтролер PIC16F877 має 368 байт пам'яті даних і 33 контакти I/O. Окрім цього, є периферійні пристрої, що входять його складу: три таймери, два модуля порівняння і широтно-імпульсної модуляції (ШІМ). Синхронний послідовний порт може функціонувати як трьохпровідний послідовний периферійний інтерфейс (SPI) або двохпровідна шина (I²C). PIC16F877 має швидкодіючий 10 розрядний АЦП (A/D) із 5 мультиплексорними вхідними каналами.

Основні характеристики мікроконтролера PIC16F877 наведені у таблиці 3.1.

Характеристика контролера PIC16F877

Макс. робоча частота, МГц	10
ППЗУ, 14-бітних слів	2048
ОЗУ, байт	128
8 – розрядний таймер TMRO	+
Вихід із SLEEP по зміні сигналу на одному із виходів	+
Число джерел переривань	4
Число каналів вводу – виводу	16
Число каналів вводу	1
Число каналів 8 – розрядного АЦП	4
Налагоджувальні резистори	+
Напруга живлення, В	2,5...5,5
Послідовне програмування в готовому пристрої	+
Число команд ЦПУ	35
Корпус DIP – 8	+
Корпус SO - 8	+
Корпус JW - 8	+

Можливості ядра мікроконтролера:

- 35 однослівних команд;
- більшість команд виконується за 1 цикл довжиною 1мкс, команди розгалуження відбуваються за два цикли;
- тактова частота 10МГц, довжина машинного циклу 1мкс;
- 14-розрядна шина команд;
- 8-розрядна шина даних;
- декілька регістрів спеціального призначення РСН;
- 8-рівневий апаратний стек.
- внутрішній RC- генератор 4МГц, що програмно калібрується;
- вихід тактового сигналу;
- прямий, безпосередній і непрямий режим адресації;
- програмування в готовому пристрої по послідовному каналу;
- 4 – каналний 8 – розрядний АЦП;

Периферія:

- TMRO: 8-розрядний таймер – лічильник з 8 – розрядним програмованим переддільником;
- скидання подачі напруги живлення POR;
- таймер включення живлення PWRT і таймер запуску генератора OST;
- сторожевий таймер WDT з власним RC – генератором на кристалі для великої надійності;
- біт захисту зчитування пам'яті програм;
- режим пониженого енергоспоживання SLEEP;
- переривання по зміні сигналу на вході;
- вбудовані налагоджувальні резистори на входах;
- програмний вибір генератора;
- INTRC: вбудований 4 мГц RC – генератор;
- EXTRC: зовнішній RC – генератор;
- XT: звичайний кристал резонатор;
- HS: високочастотний кварцовий генератор;
- вбудований налагоджувальний резистор на вході – MCLR.

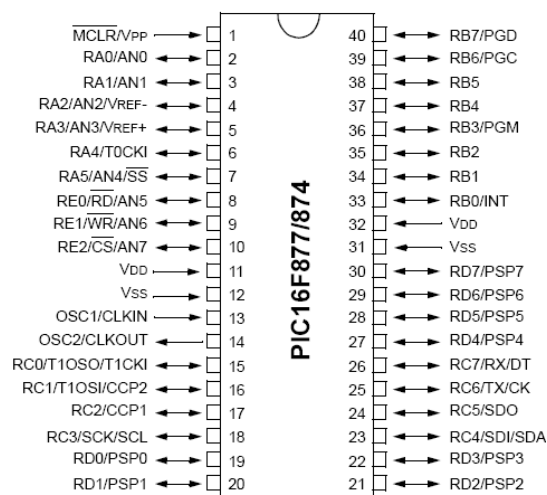


Рис. 3.6. Розташування контактів мікроконтролера PIC16F877

3.3. Вибір первинного вимірювального перетворювача системи САК температурою корпусу прес-екструдера

До первинних вимірювальних перетворювачів (ПВП) висуваються наступні вимоги:

- лінійність і однозначність статичної характеристики (допустима нелінійність не повинна перевищувати 0,1...3,0%);
- висока чутливість;
- стабільність характеристик у часі;
- швидкодія;
- стійкість до хімічних впливів контролюючого і навколишнього середовища (первинні перетворювачі, розміщені у захисній оболонці);
- мінімальний зворотній вплив на контролюючий параметр та зручність монтажу і обслуговування.

Вимірювальні перетворювачі, що входять до складу регулятора, вибирають в два етапи:

- на першому етапі за типом контрольованого параметра об'єкта управління та умовами його роботи визначається різновид перетворювача;
- на другому етапі, після вибору всіх елементів регулятора за каталогами, знаходять його типорозмір.

ПВП рекомендується підбирати таким чином, щоб межі його вимірювання охоплювали діапазон зміни контрольованої ним величини і були якнайближчими до них, не забуваючи про необхідність забезпечення необхідної перевантажувальної здатності ПВП і про можливість його підключення до обраного електронного пристрою управління регулятора. При цьому особливу увагу необхідно приділяти швидкодії (інерційності) ПВП, яка характеризується його постійною часу.

Так, при обґрунтуванні вибору ПВП температури корпусу прес-екструдера необхідно в першу чергу звернути увагу на те, вимірювання якого

діапазону зміни температури відповідно до технологічних умов він повинен забезпечити.

Діапазон зміни температури корпусу прес-екструдера знаходиться у межах $+100\dots+150^{\circ}\text{C}$ (при заданій температурі соняшнику $105\dots110^{\circ}\text{C}$).

Для того, щоб ПВП у процесі вимірювання температури корпусу на заданому рівні не вносив недопустиму динамічну похибку вимірювання, його постійна часу $T_{\text{ПВП}}$ повинна бути на порядок меншою від постійної часу об'єкта $T_{\text{ОУ}}$.

Постійна часу об'єкту $T_{\text{ОУ}} = 500\text{ с}$. З огляду на сказане, максимальна постійна часу сприймаючого елемента повинна бути не більше $\frac{500}{10} = 50\text{ с}$.

Враховуючи вимоги за діапазоном вимірювання та інерційністю, для вимірювання температури корпусу прес-екструдера обраний термоперетворювач опору загальнопромислового виконання ТСМ-1088-50М-В-3-60-40-Р4 ($-50\dots+180^{\circ}\text{C}$) (ТУ 25-7363.032-89) (рис. 3.7), технічні характеристики якого наведені в таблиці 3.2.

Термоперетворювач ТСМ-1088 відповідає вимогам ДСТУ 2858-94 (ГОСТ 6651-94).



Рис. 3.7. Зовнішній вигляд термоперетворювача ТСМ-1088

Для визначення передатної функції ПВП скористаємось його номінальною статичною характеристикою (рис. 3.8).

За динамічними властивостями датчик є інерційною ланкою, передатна функція якого має вигляд

$$W_{ПВП}(s) = \frac{k_{ПВП}}{T_{ПВП} \cdot s + 1}.$$

Коефіцієнт передачі $k_{ПВП}$ (чутливість), визначається за формулою:

$$k_{ПВП} = \frac{\Delta R}{\Delta T} = \frac{88,500 - 39,225}{180 - (-50)} = 0,214 \frac{\text{Ом}}{^\circ\text{C}}, \quad (3.10)$$

де ΔT – різниця значень температур в робочому діапазоні, $^\circ\text{C}$; ΔR – різниця опорів, що відповідає значенням температур в робочому діапазоні, Ом.

Таблиця 3.2.

Основні технічні характеристики термоперетворювача опору ТСМ-1088

Номинальна статична характеристика датчика	50М
Відношення опору чутливого елемента при 100 $^\circ\text{C}$ до опору при 0 $^\circ\text{C}$	$W_{100} = 1,428$
Діапазон вимірюваних температур, $^\circ\text{C}$	-50...+180
Діапазон зміни опору датчика, що відповідає діапазону змінюваних температур, Ом	39,225...88,500
Схема підключення датчика за ДСТУ 2858-94 (ГОСТ 6651-94)	- двохпровідна - трьохпровідна
Струм, мА	1
Довжина монтажної частини, мм	60
Довжина зовнішньої частини, мм	40
Клас допуску	В
Допустиме відхилення вимірюваної температури, $^\circ\text{C}$	$\pm(0,25+0,0035 t)$
Показник теплової інерції, с	10
Ступінь захисту від зовнішніх факторів за ГОСТ 14254-96	IP65
Матеріал захисної арматури	Сталь 12Х18Н10Т
Матеріал головки термометра опору	пресматеріал АГ-4В
Шифр датчика ТСМ-1088-50М-В-3-60-40-Р4 (-50...+180)	
Позначення конструкторської документації ААЭИ.405212.088	

Враховуючи, що показник теплової інерції сприймаючого елемента складає $T_{ПВП} = 10 \text{ с}$ (таблиця 3.2), передатна функція датчика ТСМ-1088

$$W_{ПВП}(s) = \frac{k_{ПВП}}{T_{ПВП} \cdot s + 1} = \frac{0,214}{10 \cdot s + 1}.$$

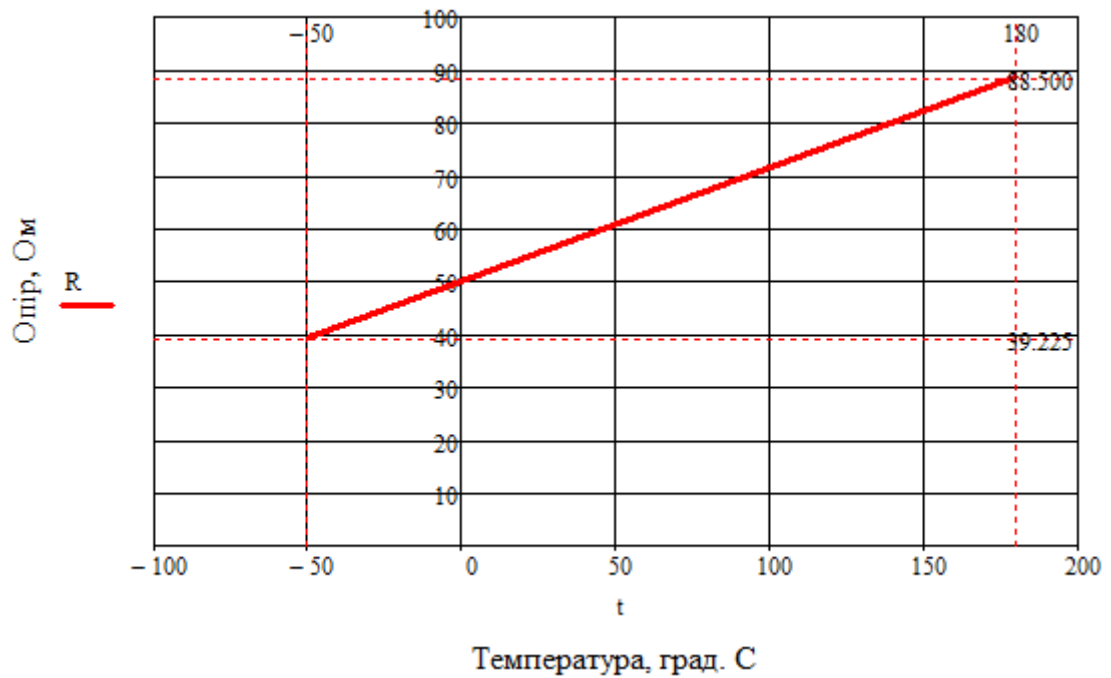


Рис. 3.8. Статична характеристика термоперетворювача опору TCM-1088 (50M)

3.4. Розробка блок-схеми алгоритму та програмного забезпечення роботи мікроконтролерної системи

Складовими частинами блок-схеми (рис. 3.9) алгоритму керування температурним режимом нагрівання олійної сировини в прес-екструдері складається з наступних основних операцій.

1. Ініціалізація. У цій процедурі проходить встановлення регістрів, що конфігурують апаратну частину контролера.
2. Установка початкових параметрів (встановлення початкових значень змінних).
3. Запуск АЦП перетворення (при цьому необхідно передбачити закінчення перетворення АЦП: якщо квант занадто малий, то АЦП може не встигати виконати перетворення).
4. Отримання реального значення температури.
5. Порівняння виміряного і заданого значення температури корпусу прес-екструдера.

6. Розрахунок керуючого впливу (наведений нижче).
7. Подача живлення на відповідний нагрівач.
8. Виконання затримки відповідно до значення керуючого впливу.
9. Зняття живлення з нагрівачів.
10. Виконання затримки до кінця періоду.
11. Індикація.

Розрахунок керуючої дії.

Згідно з розрахунками (п.3.1), отримана передатна функція ПІ-регулятора, яку необхідно реалізувати за допомогою мікроконтролера

$$W_{PI}(s) = 8,56 \cdot \left(1 + \frac{1}{85s} \right).$$

Відповідно до вказаної передатної функції

$$\frac{R(s)}{Q(s)} = \frac{728 \cdot s + 8,56}{85 \cdot s},$$

$$85 \cdot R(s) = 728 \cdot s \cdot Q(s) + 8,56 \cdot Q(s);$$

$$85 \cdot \frac{dR(t)}{dt} = 728 \cdot \frac{dQ(t)}{dt} + 8,56 \cdot Q(t);$$

Нехай

$$dt = \Delta t = h;$$

$$R(t) = Y_k;$$

$$Q(t) = X_k.$$

Тоді приймаємо $h = \frac{85}{17}$, $h = 5$.

$$X(t) = X_{зад} - X_{вим};$$

$$\frac{dX(t)}{dt} = \frac{X_k - X_{k-1}}{h};$$

Тоді:

$$85 \cdot \left(\frac{Y_k - Y_{k-1}}{h} \right) = 728 \cdot \left(\frac{X_k - X_{k-1}}{h} \right) + 8,56 \cdot X_k$$

Спростимо рівняння з урахуванням того, що $h=5$

$$17 \cdot Y_k - 17 \cdot Y_{k-1} = 145,6 \cdot X_k - 145,6 \cdot X_{k-1} + 1,7 \cdot X_k,$$

$$17 \cdot Y_k - 17 \cdot Y_{k-1} = 147,3 \cdot X_k - 145,6 \cdot X_{k-1}$$

Звідси:

$$Y_k = \frac{147,3}{17} X_k - \frac{145,6}{17} X_{k-1} + \frac{17}{17} Y_{k-1}$$

$$Y_k = 8,7 X_k - 8,5 X_{k-1} + Y_{k-1}.$$

Програмний код, розроблений для реалізації блок-схеми алгоритму керування температурою корпусу прес-екструдера (рис. 3.9), наведений в Додатку В.

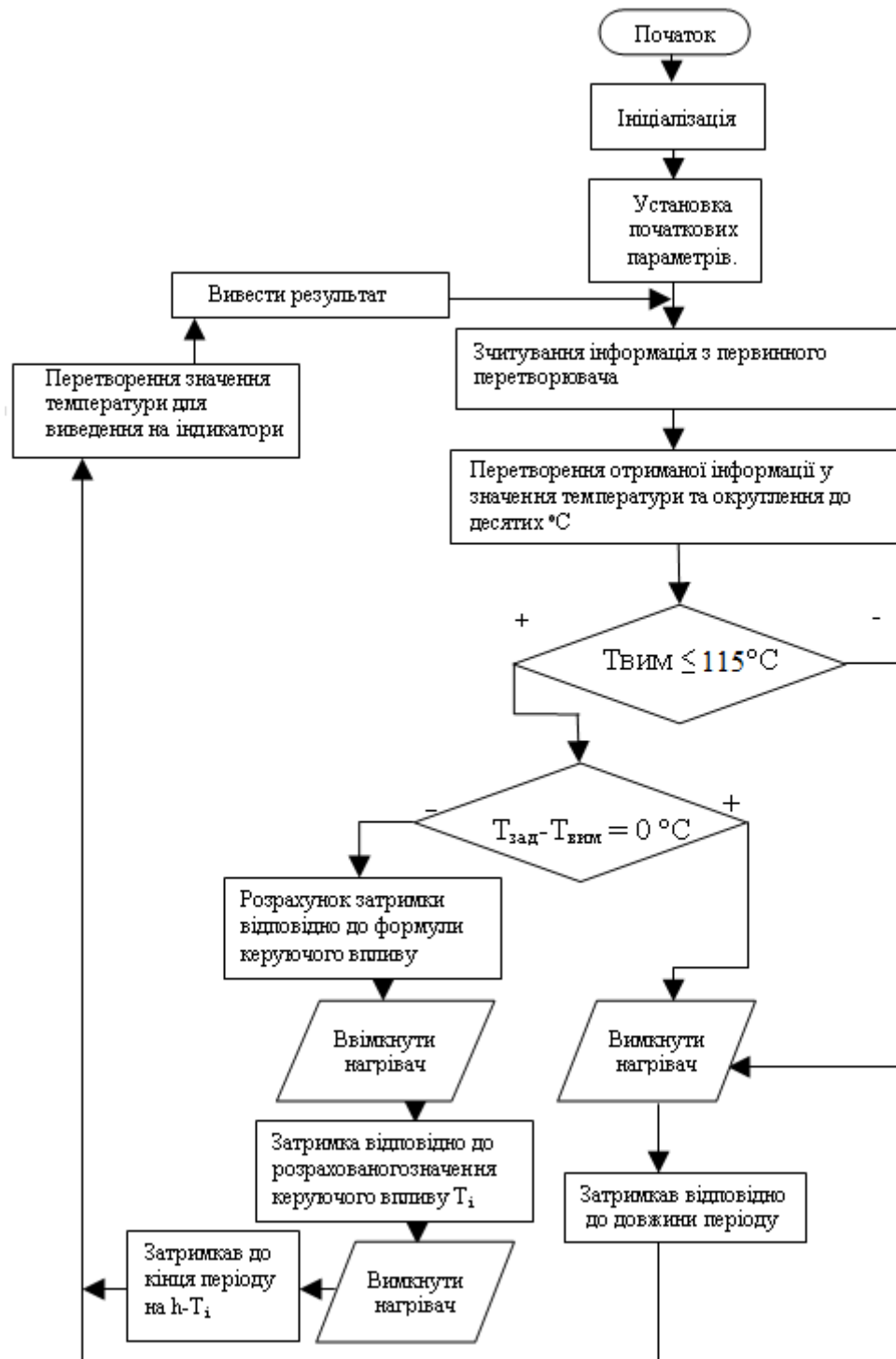


Рис. 3.9. Блок-схема алгоритму керування температурою корпусу прес-екструдера

РОЗДІЛ 4

ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

4.1. Дослідження системи автоматичного керування на стійкість

Частотні критерії стійкості базуються на використанні частотних характеристик. Одним із названих критеріїв є критерій стійкості Михайлова.

Критерій Михайлова – частотний критерій, який дозволяє судити про стійкість замкненої системи автоматичного керування за характером поведінки її характеристичного вектора (вектора Михайлова) на комплексній площині.

Для оцінки стійкості замкненої системи необхідно скласти характеристичний поліном Михайлова (характеристичне рівняння). Його отримують шляхом заміни у характеристичному рівнянні замкненої системи

$$C(s) = c_n \cdot s^n + c_{n-1} \cdot s^{n-1} + \dots + c_1 \cdot s + c_0 = 0, \quad (4.1)$$

параметра s на уявний параметр $j \cdot \omega$

$$C(s) = c_n \cdot (j \cdot \omega)^n + c_{n-1} \cdot (j \cdot \omega)^{n-1} + \dots + c_1 \cdot (j \cdot \omega) + c_0 = X(\omega) + j \cdot Y(\omega), \quad (4.2)$$

де $X(\omega) = c_0 - c_2 \cdot \omega^2 + c_4 \cdot \omega^4 - \dots$ - дійсна складова годографа Михайлова;

$Y(\omega) = c_1 \cdot \omega - c_3 \cdot \omega^3 + c_5 \cdot \omega^5 - \dots$ - уявна складова годографа Михайлова.

Якщо змінювати частоту ω від 0 до ∞ і відкласти значення $X(\omega)$ по вісі абсцис, а значення $Y(\omega)$ по вісі ординат комплексної площини, то кінець характеристичного вектору окреслить криву, що називається годографом Михайлова.

Критерій формулюється наступним чином: лінійна система n -го порядку буде стійкою, якщо годограф Михайлова бере свій початок на додатній напіввісі $X(\omega)$ комплексної площини, проходить в додатному напрямку (проти годинникової стрілки) n квадрантів, охоплюючи початок координат, і прямує в n -му квадранті в нескінченість.

Передатна функція розімкненої системи автоматичного керування

$$W_{PO3}(s) = W_{III}(s) \cdot W_{OV}(s) \cdot W_{III}(s), \quad (4.3)$$

$$\begin{aligned} W_{PO3}(s) &= 8,56 \cdot \left(1 + \frac{1}{85 \cdot s}\right) \cdot \frac{1,14 \cdot e^{-30s}}{500 \cdot s + 1} \cdot \frac{0,214}{10 \cdot s + 1} = \\ &= \frac{177,48 \cdot s + 2,088}{85 \cdot s \cdot (500 \cdot s + 1) \cdot (10 \cdot s + 1)} \cdot e^{-30s}. \end{aligned}$$

Передатна функція замкненої системи автоматичного керування

$$W_{3AM}(s) = \frac{W_{PO3}(s)}{1 + W_{PO3}(s)}, \quad (4.4)$$

$$W_{3AM}(s) = \frac{\frac{(177,48 \cdot s + 2,088) \cdot e^{-30s}}{85 \cdot s \cdot (500 \cdot s + 1) \cdot (10 \cdot s + 1)}}{1 + \frac{(177,48 \cdot s + 2,088) \cdot e^{-30s}}{85 \cdot s \cdot (500 \cdot s + 1) \cdot (10 \cdot s + 1)}};$$

$$W_{3AM}(s) = \frac{(177,48 \cdot s + 2,088) \cdot e^{-30s}}{85 \cdot s \cdot (500 \cdot s + 1) \cdot (10 \cdot s + 1) + (177,48 \cdot s + 2,088) \cdot e^{-30s}};$$

$$W_{3AM}(s) = \frac{(177,48 \cdot s + 2,088) \cdot e^{-30s}}{425000 \cdot s^3 + 43350 \cdot s^2 + 85 \cdot s + (177,48 \cdot s + 2,088) \cdot e^{-30s}}.$$

Отримане характеристичне рівняння замкненої системи автоматичного керування 3-го порядку

$$C(s) = 425000 \cdot s^3 + 43350 \cdot s^2 + 85 \cdot s + (177,48 \cdot s + 2,088) \cdot e^{-30s}, \quad (4.5)$$

$$e^{-30s} = \cos 30\omega - j \cdot \sin 30\omega, \quad (4.6)$$

$$\begin{aligned} C(j \cdot \omega) &= 425000 \cdot (j \cdot \omega)^3 + 43350 \cdot (j \cdot \omega)^2 + 85 \cdot (j \cdot \omega) + \\ &+ (177,48 \cdot (j \cdot \omega) + 2,088) \cdot (\cos 30\omega - j \cdot \sin 30\omega). \end{aligned}$$

Після перетворень отримаємо

$$X(\omega) = -43350 \cdot \omega^2 + 177,48 \cdot \omega \cdot \sin 30\omega + 2,088 \cdot \cos 30\omega;$$

$$Y(\omega) = -425000 \cdot \omega^3 + 85 \cdot \omega + 177,38 \cdot \omega \cdot \cos 30\omega - 2,088 \cdot \omega \cdot \sin 30\omega.$$

Годограф Михайлова замкненої системи автоматичного керування температурою корпусу прес-екструдера УЕП-100, побудований за допомогою математичного пакету Mathcad, зображений на рис. 4.1, 4.2.

$$X(\omega) = -43350 \cdot \omega^2 + 177.48 \cdot \omega \cdot \sin(30 \cdot \omega) + 2.088 \cdot \cos(30 \cdot \omega)$$

$$Y(\omega) = -425000 \cdot \omega^3 + 85\omega + 177.48 \cdot \omega \cdot \cos(30 \cdot \omega) - 2.088 \cdot \omega \cdot \sin(30 \cdot \omega)$$

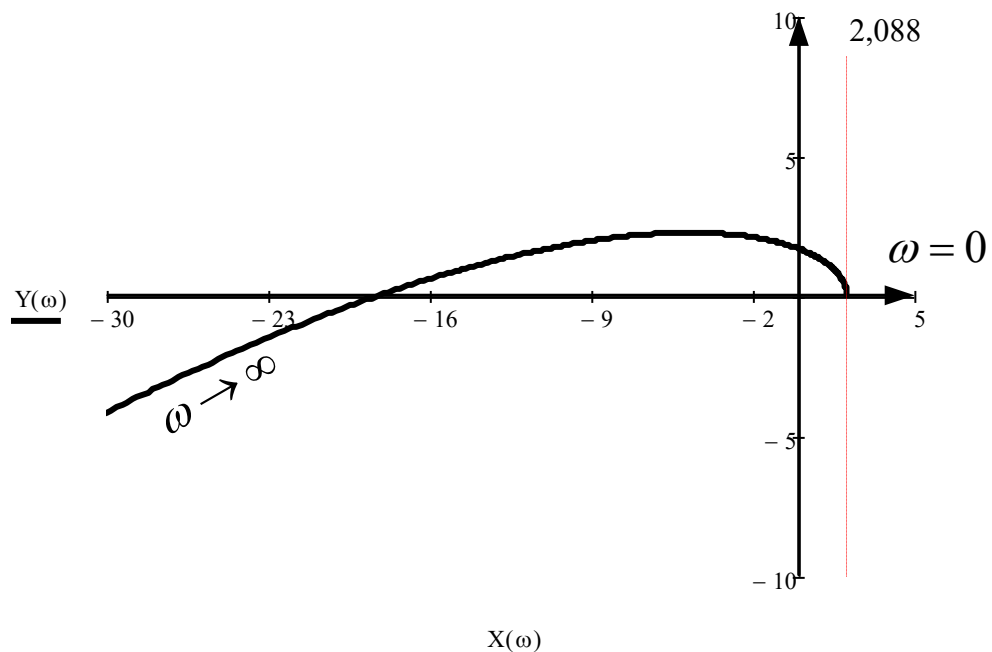


Рис. 4.1. Початок годографу Михайлова на комплексній площині

Рис. 4.1 та 4.2 показують, що годограф Михайлова 3-го порядку бере свій початок на додатній напіввісі $X(\omega)$ комплексної площини у точці $c_0 = 2,088$, проходить в додатному напрямку (проти годинникової стрілки) 3 квадранти, охоплюючи початок координат, і прямує в 3-му квадранті в нескінченність.

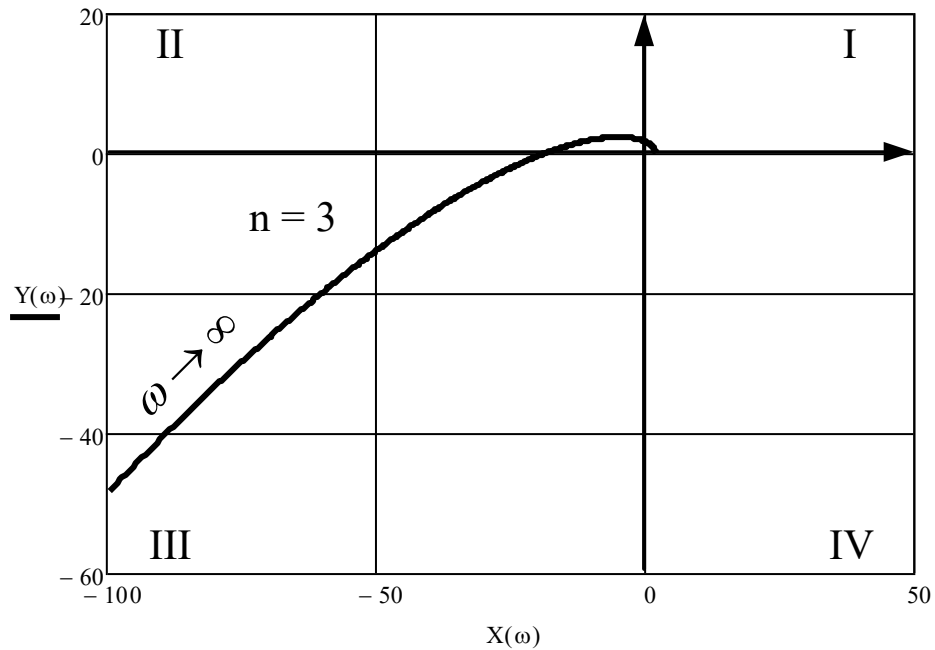


Рис. 4.2. Годограф Михайлова замкненої САК температурою корпусу прес-екструдера

За критерієм Михайлова система автоматичного керування температурою корпусу прес-екструдера є стійкою.

4.2. Визначення показників якості роботи САК температурою корпусу прес-екструдера

Для визначення показників якості роботи системи зазвичай проводять аналіз реакції системи на різні типові впливи (одинична сходинка, одиничний імпульс, гармонійний вплив, стаціонарний випадковий процес).

Якість роботи системи автоматичного керування визначається рядом показників, основними з яких є:

- швидкодія системи оцінюється часом t_{PEF} , який визначається проміжком часової вісі від моменту прикладення впливу до моменту, коли різниця між заданою та вихідними величинами в усі наступні моменти часу

стає меншою за величину $\Delta = \pm 5\%$ від усталеного значення вихідної величини $y(\infty)$;

- перерегулювання $\sigma\%$ характеризує величину максимального динамічного відхилення системи у перехідному процесі

$$\sigma = \frac{y_{MAX} - y(\infty)}{y(\infty)} \cdot 100\%, \quad (4.7)$$

де y_{MAX} - максимальне значення регульованої величини;

- кількість напівколивань n за час перехідного процесу t_{PEF} є мірою коливальності;

- статична похибка в усталеному режимі $\delta(t)$.

Для визначення показників якості роботи системи використаємо програму імітаційного моделювання Simulink середовища Matlab.

Імітаційна модель системи автоматичного керування температурою корпусу прес-екструдера зображена на рис. 4.3, а графік перехідного процесу системи керування – на рис. 4.4.

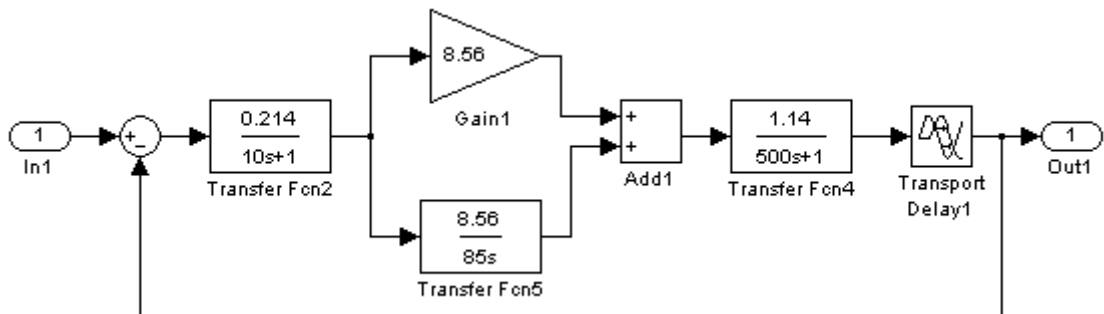


Рис. 4.3. Імітаційна модель САК температурою корпусу прес-екструдера у середовищі Matlab

Аналізуючи криву перехідного процесу з ПІ-регулятором (рис. 4.4), можна оцінити показники якості:

- плавність перехідного процесу, або кількість коливань вихідної величини за час t_p , тобто коливальність, складає $n = 1$;

- час регулювання t_p – час, протягом якого змінюється регульована величина. Він складає для нашого об'єкту $t_p = 326$ с.

- перерегулювання σ – максимальне відхилення регульованої величини від усталеного значення

$$\sigma = \frac{1,17 - 1,0}{1,0} \cdot 100\% = 17\% ;$$

- відсутня статична похибка в усталеному режимі.

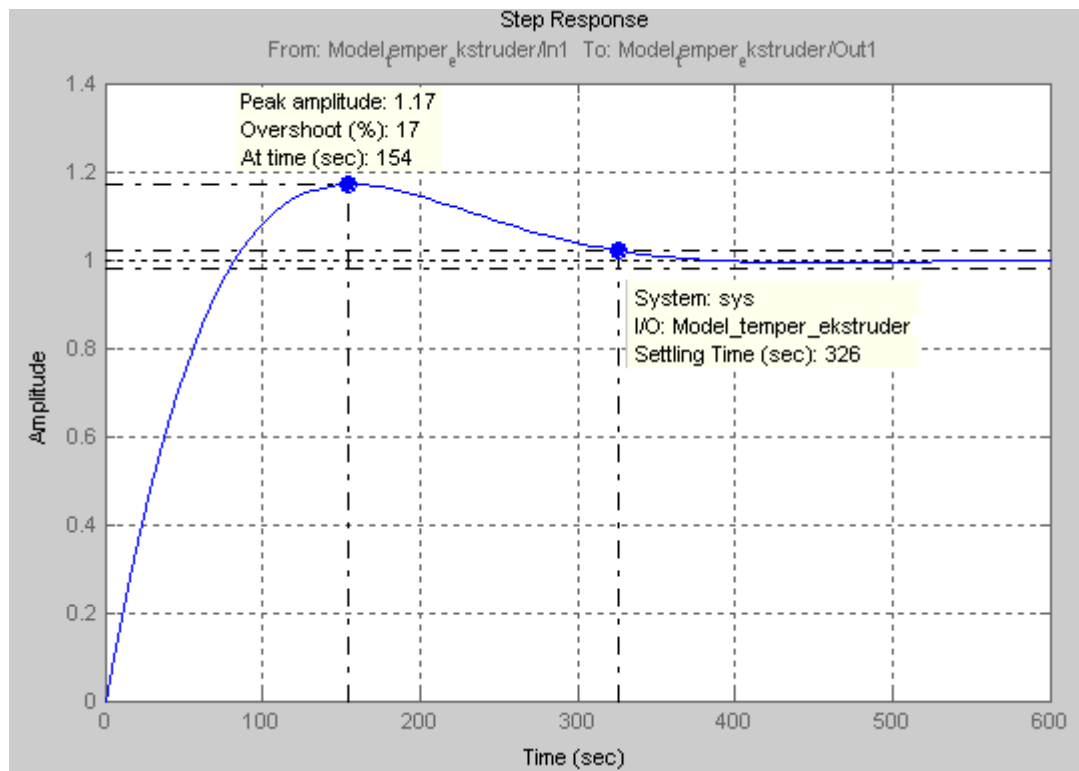


Рис. 4.4. Графік перехідного процесу САК температурою корпусу прес-екструдера у середовищі Matlab

Як видно з приведених розрахунків, усі параметри перехідного процесу задовольняють технологічним вимогам.

РОЗДІЛ 5

СХЕМИ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

У п.2.3 було зазначено, що від базової комплектації прес-екструдера УЕП-100 залишається система керування електродвигуном приводу гвинтових шнеків, а також дровим електронагрівачем другої (допоміжної) зони нагріву.

Проектування електричної принципової схеми системи керування індукційним електронагрівачем, тобто нагрівачем першої (основної) зони нагріву, можна умовно поділити на декілька етапів:

- розробка схеми підключення PIC – контролера;
- схема вимірювання;
- силової частини схеми;
- схема інтерфейсу з'єднання з ЕОМ;
- схема інтерфейсу користувача;
- схема живлення.

Центральним елементом схеми є контролер PIC16F877, що працює на тактовій частоті 20 MHz, до якого підключено всі пристрої реалізації вимірювання, керування та індикації.

Розробка схеми вимірювання. Датчики температури TCM-1088, які вимірюють температуру у першій та другій зоні нагріву, увімкнені у мостові схеми, які живляться від джерел струму, що реалізовані на джерелі опорної напруги +5В (REF195, U8, U23) та операційному підсилювачі U5В. Опори плечей підібрані таким чином, що схеми врівноважені при температурі. З мостової схеми сигнал по екранованому кабелю передається на схему підсилення і нормалізації, яка зібрана на 3 операційних підсилювачах (змінний резистор R15 встановлює коефіцієнт підсилення). Вихід зі схеми нормалізації подається на аналогові входи контролера AN0 та AN1.

Схема погодження між датчиком температури TCM-1088 та мікроконтролером PIC16F877 наведена на рис. 5.1.

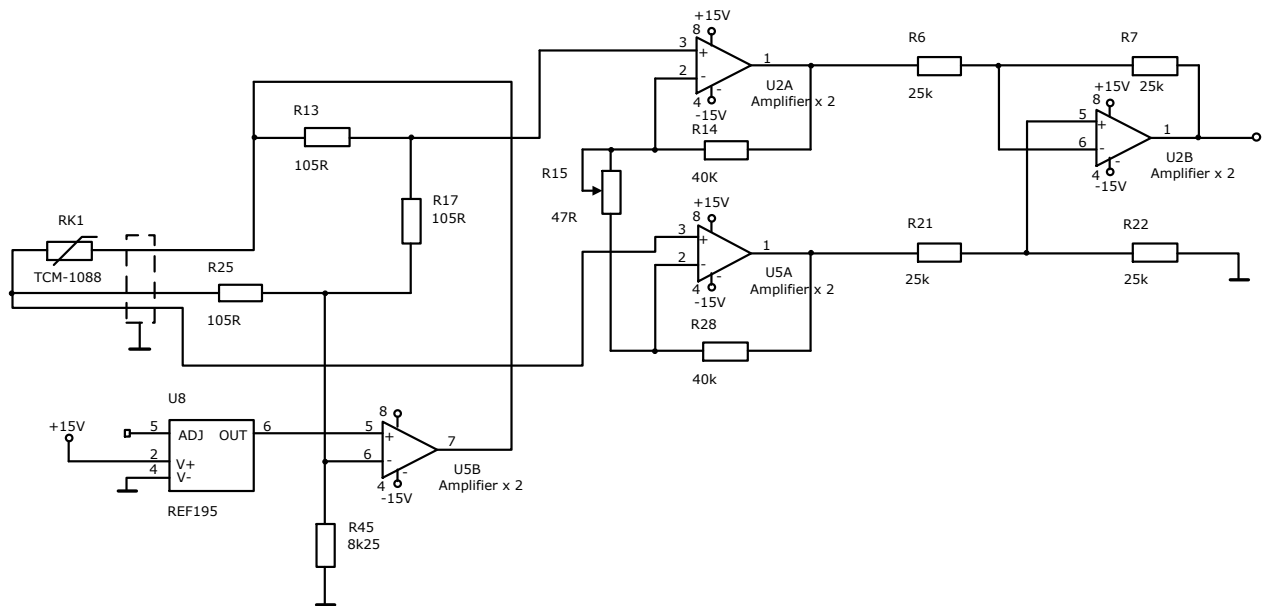


Рис. 5.1. Схема погодження між датчиком температури TCM-1088 та мікроконтролером PIC16F877

Схема інтерфейсу користувача має два основних блоки: блок індикації та блок кнопок.

Блок індикації складається з 8 семисегментних індикаторів A1-A4 – виведення строку роботи установки та часу, а також інформації під час налаштування системи за допомогою кнопок, A5-A8 – виведення значення температури у відповідній зоні нагріву корпусу прес-екструдера.

Блок кнопок, призначений для налаштування системи, включає в себе кнопки "+", "-", "Меню", "ОК"

Схема живлення призначена для отримання напруг таких рівнів:

+5В – основна напруга, від якої живиться вся схема, за винятком окремих модулів;

+15В – живлення джерела опорної напруги та операційних підсилювачів;

-15В – живлення операційних підсилювачів.

Роз'єми P3, P4, P5 – виходи з трансформатора напруги (~ 24В).

Діодні мости D3, D4, D5 призначені для отримання постійної напруги.

Інтегральні стабілізатори U16 (LM7815 +15В), U17 (LM7915 -15В), U18

(LM7805 +5V). Конденсатори C13, C15, C11 (220mF) фільтрують змінну складову напруги.

Силова частина в свою чергу розділяється на схему керування і схему безпосереднього підключення силових елементів – обмоток індуктора (індукційного електронагрівача).

Опис роботи схеми керування: на вихід мікроконтролера послідовно виводяться сигнал управляючої дії і подаються на вхід регістру зсуву U3 (74НС164, при його використанні для управління будуть задіяні лише 2 біти зовнішнього порти контролера), з виходу регістра зсуву сигнали потрапляють на відповідні входи тригера U4 (74НС164), де значення сигналу фіксується і передається безпосередньо на силову частину схеми.

Симісторне управління використовується у випадках, коли можлива велика кількість перемикачів за короткий проміжок часу.

Опис роботи симісторного контуру: сигнал високого рівня засвічує світлодіод оптопари і вона починає пропускати струм. Оптопара використовується для гальванічної розв'язки низько- і високовольтних частин схеми. Як наслідок, напруга подається на керуючий вивід симістора ВТА16, він відкривається і вмикає відповідну обмотку індукційного електронагрівача.

Опис роботи релейного контуру: сигнал високого рівня, що подається через резистор (R=1K) в базу транзистора (BC817SO n-p-n), який відкривається. Відповідно, на котушці реле з'являється живлення і його контакти замикаються. Додатково паралельно з котушкою реле встановлюється діод, тому що в ній наводиться ЕРС самоіндукції, яке може вивести з ладу транзистор у момент перемикачання.

Головним елементом **схеми з'єднання з ЕОМ** є мікросхема інтерфейсу RS232 MAX216, що має стандартне підключення.

Схеми електричні принципи системи автоматичного керування індукційним електронагрівачем наведені на рис. 5.2 та 5.3.

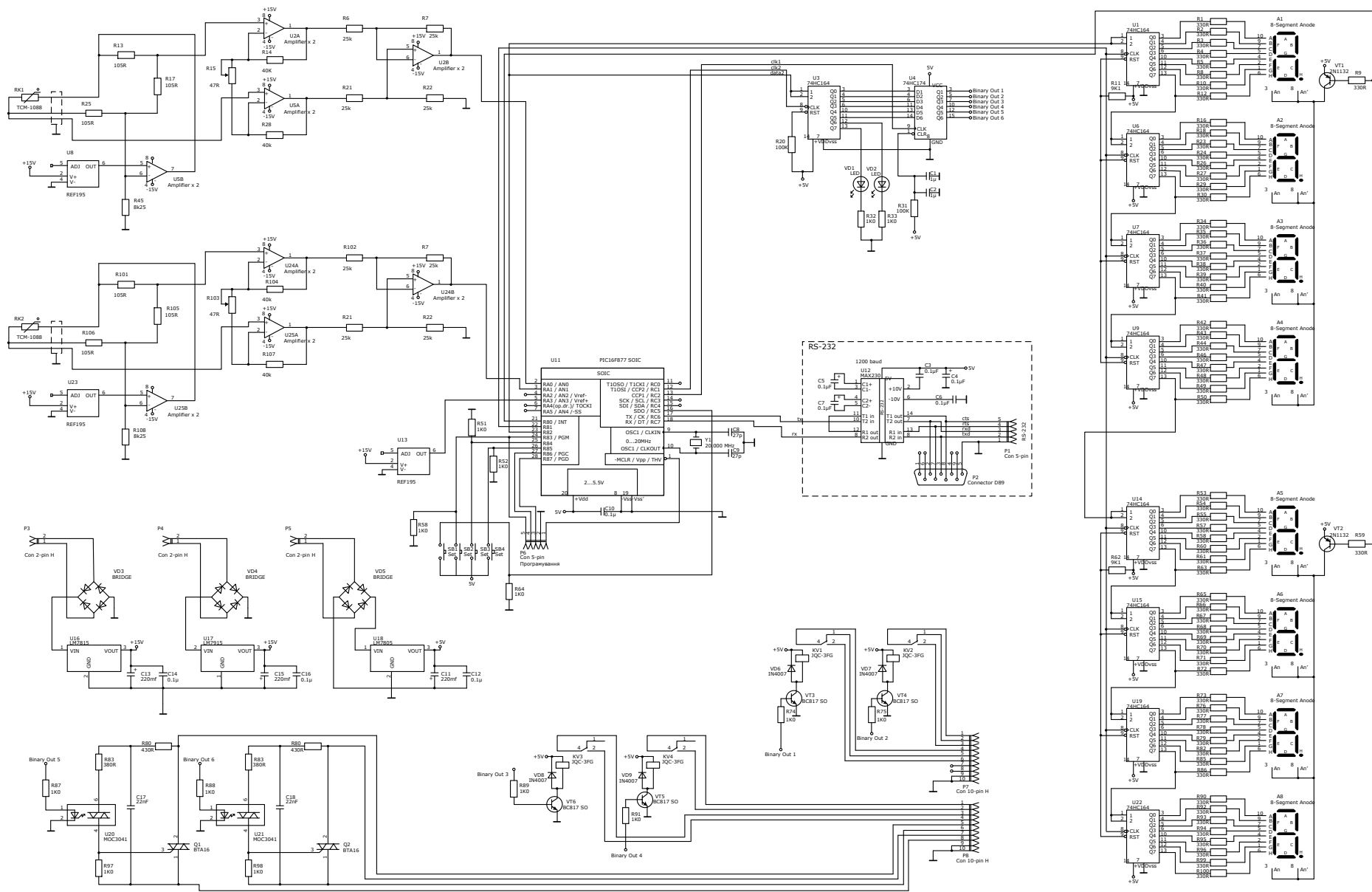


Рис. 5.2. Система керування індукційним електронагрівачем корпусу прес-екструдера УЕП-100.
Схема електрична принципова

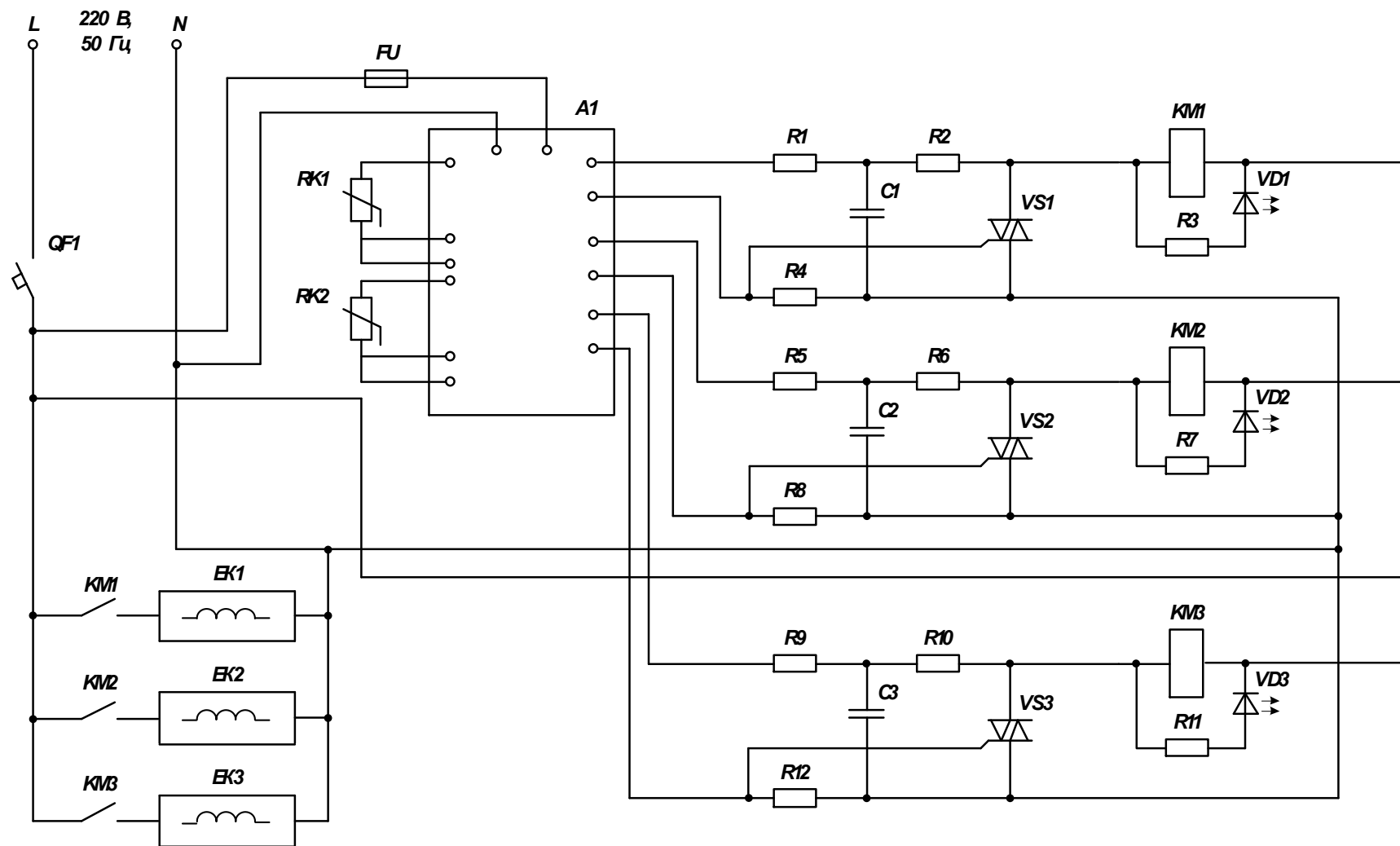


Рис. 5.3. Система керування індукційним електронагрівачем корпусу прес-екструдера УЕП-100 (Силова частина).
Схема електрична принципова

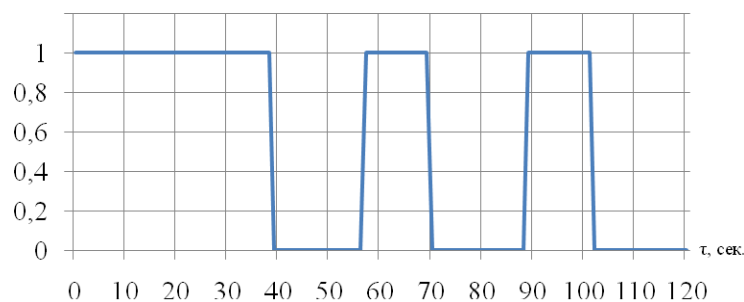
РОЗДІЛ 6
РОЗРАХУНОК ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ
ВПРОВАДЖЕННЯ САК ТЕМПЕРАТУРОЮ КОРПУСУ
ПРЕС-ЕКСТРУДЕРА УЕП-100

Виконаємо порівняння роботи розробленої системи автоматичного керування з індукційним нагрівачем та системи автоматичного керування, яка встановлена виробником.

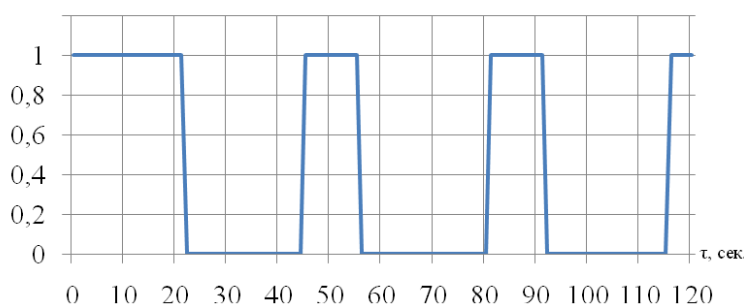
Для цього використаємо електронний ключ вводу/виводу DS2406, інформаційні канали якого підключимо до вільних контактів реле вмикання живлення дротового нагрівача в щиті управління прес-екструдера. Дані стану реле живлення нагрівачів зчитуємо з дискретністю в одну хвилину та записуємо до бази даних. Дослідження проведемо при роботі преса без установки попереднього нагрівання (рис. 6.1) та з установкою (рис. 6.2).

Виявилось, що використання розробленої системи автоматичного керування зменшило час виходу преса на робочі режими на 18 хвили для першої зони та на 15 хвилин для другої зони нагрівання. Це дозволить швидше виводити прес на робочі режими, скоротити кількість олійної сировини, з якої олія не видалялась через недостатню температуру корпусу, та зменшити кількість енергії, що витрачається при початку роботи преса, на 1775 Вт. Крім того, використання запропонованої системи автоматично керування зменшило час роботи дротових нагрівачів – за годину роботи споживана потужність зменшилась на 1646 Вт.

Економічні показники нової розробленої установки визначалися за методикою, викладеною в ДСТУ 4397:2005 "Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробувань", а також за методикою визначення економічної ефективності використання техніки в народному господарстві [27].

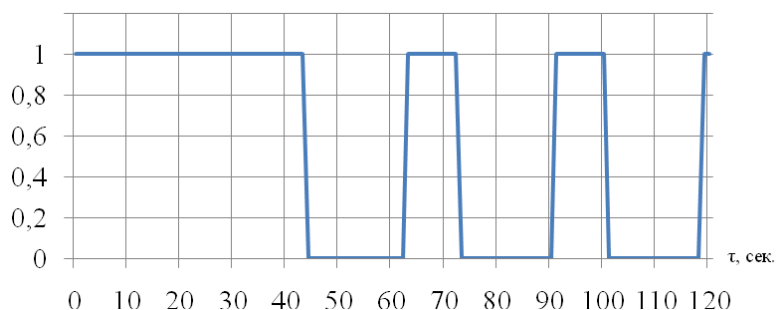


а

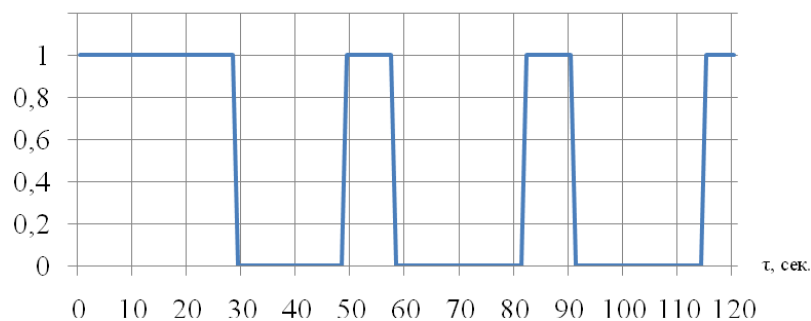


б

Рис. 6.1. Дослідження режиму роботи нагрівачів першої зони нагрівання прес-екструдера УЕП-100 зі стандартною (а) та розробленою (б) системою автоматичного керування



а



б

Рис. 6.2. Дослідження режиму роботи нагрівачів другої зони нагрівання прес-екструдера УЕП-100 зі стандартною (а) та розробленою (б) системою автоматичного керування

Для визначення оптової ціни нової установки був застосований спосіб розрахунку ціни за формулою [17]

$$Ц_{н.м.} = \left(\frac{(П_{\delta} - П_{н})B_3 + C_{ян} - C_{яб} + Ц_{м}k_{\delta}}{a_n + E_n} \right) \frac{1}{k_{\delta}} \delta, \quad (6.1)$$

де $П_{\delta}$, $П_{н}$ – сукупні витрати на одиницю виробітку відповідно до базової і нової установки, грн./од;

B_3 – річний обсяг виробітку новою установкою;

$C_{ян}$, $C_{яб}$ – вартість продукції, одержаної у результаті застосування відповідно нової та базової установки протягом року, грн.;

a_n – коефіцієнт відрахувань на амортизацію нової установки;

E_n – коефіцієнт ефективності інвестиційних вкладів;

$Ц_{м}$ – ціна установки без податку на додану вартість, грн.;

k_{δ} – коефіцієнт перерахунку ціни придбання в балансову вартість установки;

δ – коефіцієнт гарантії споживачу економічного ефекту від використання нової машини.

Річний економічний ефект від використання нової установки визначається відповідно до загальноприйнятої методики [17], згідно з якою

$$\mathcal{E}_z = B_z \cdot (П_{\delta} - П_{н}), \quad (6.2)$$

де $П_{\delta}$, $П_{н}$ – приведені витрати на одиницю напрацювання для базової і нової установки, грн./кг.

Приведені витрати $П$ на одиницю напрацювання становлять суму прямих експлуатаційних витрат і капітальних вкладень

$$П = И + E \cdot K, \quad (6.3)$$

де $И$ – прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання, грн./кг;

K – одноразові капітальні вкладення на одиницю напрацювання, грн.;

E – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Прямі експлуатаційні витрати на одиницю напрацювання визначені за формулою

$$I = Z + \mathcal{E} + P + A, \quad (6.4)$$

де Z – витрати на оплату праці.

$$Z = \frac{\sum L \cdot \tau}{Q} \quad (6.5)$$

де $\sum L$ – кількість працівників даної кваліфікації, зайнятих на виконанні даного процесу, чол.;

Q – продуктивність установки за 1 годину;

τ – годинна тарифна ставка оплати праці обслуговуючого персоналу, грн./люд.·год.;

Витрати на електроенергію

$$\mathcal{E} = \frac{N_{\mathcal{E}} \cdot C_{\mathcal{E}}}{Q}, \quad (6.6)$$

Де $N_{\mathcal{E}}$, – встановлена потужність установки, кВт·год;

Q – витрата електроенергії за 1 годину експлуатаційного часу, кВт/год.;

$C_{\mathcal{E}}$ – ціна 1 кВт·год., $C_{\mathcal{E}} = 4,5$ грн./кВт·год.

Витрати відрахувань на амортизацію (капітальний ремонт та реновацію) визначені за балансовою вартістю установки та відповідним для неї нормами амортизаційних відрахувань

$$A = \frac{B \cdot \alpha}{B_2 \cdot 100\%}, \quad (6.7)$$

де B – балансова ціна установки, грн.;

α – відсоток щорічних амортизаційних відрахувань на реновацію;

Балансова вартість установки визначається

$$B = C \cdot \beta \quad (6.8)$$

де β - коефіцієнт, що визначає середні витрати на транспортування,

$\beta = 1,1$.

Витрати відрахувань на капітальний, поточний ремонт і технічне обслуговування визначені за формулою

$$P = \frac{B \cdot \alpha}{B_2 \cdot 100\%}, \quad (6.9)$$

де α - відсоток відрахування на поточний ремонт і технічне обслуговування.

Капітальні вкладення на одиницю напрацювання визначені за формулою

$$K = \frac{B}{B_2}, \quad (6.10)$$

Термін окупності додаткових капітальних вкладень визначені за наступною формулою:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{K_n}{\mathcal{E}_2}, \quad (6.11)$$

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності нової установки для температурної обробки насіння соняшника наведено в таблиці 6.1.

Економічна ефективність від впровадження нової техніки оцінюється за допомогою річного економічного ефекту та терміну окупності додаткових капіталовкладень.

Отримані результати, а також основні техніко-економічні показники для нової установки використані в якості вихідних даних для розрахунку річного економічного ефекту і терміну окупності додаткових капіталовкладень.

Результати розрахунку річного економічного ефекту представлені в таблиці 6.2.

Таблиця 6.1.

Вихідні дані для розрахунку економічної ефективності нової установки

Найменування	Позначення	Одиниці виміру	Значення
1. Маса	m	кг	1.5
2. Оптова ціна	C	грн.	7000
3. Середньорічне навантаження	T	год.	7440
4. Продуктивність	Q	кг/год.	100
5. Споживана потужність	N	кВт	9
6. Норма відрахувань: а) на амортизацію б) на технічне обслуговування та ремонт	α	%	14,20
		%	12
7. Коефіцієнт перетворення оптової ціни в роздрібну	-	-	1,10
8. Обслуговуючий персонал	$\sum L$	чол.	1
9. Річний виробіток установки	B_z	кг/год.	2200
10. Погодинна ставка оплати оператора	τ	грн.	60

Результати розрахунку річного економічного ефекту

Найменування	Позначення	Одиниц і виміру	Значення
1	2	3	4
1. Собівартість нагрівання	$Z = (\alpha + \beta + \varepsilon) \cdot K + \mathcal{E} + T + P$	грн./кг	1,754
2. Прямі відрахування:	$I = Z + \mathcal{E} + P + A$	грн./кг	0,9504
- відрахування на амортизацію	$A = \frac{B \cdot 1,1 \cdot \alpha}{Q \cdot T_r \cdot 100\%}$	грн./кг	0,008
- відрахування на ремонт і ТО	$P = \frac{B \cdot 1,1 \cdot \alpha}{Q \cdot T_r \cdot 100\%}$	грн./кг	0,027
- вартість енергоресурсів	$\mathcal{E} = N_{\mathcal{E}} \cdot C_{\mathcal{E}} / Q + q_{\text{зсм}} \cdot C_{\text{зсм}} / Q$	грн./кг	4,5
- витрати на оплату праці оператора	$Z = \frac{\sum L \cdot \tau}{Q}$	грн./кг	0,6
3. Приведені капіталовкладення	$K = \frac{B}{Q \cdot T_r}$	грн./кг	0,28
4. Приведені витрати	$\Pi = I + E \cdot K$	грн./кг	0,469
5. Річний економічний ефект	$\mathcal{E}_2 = B_2 \cdot (\Pi_0 - \Pi_n)$	грн.	4671
6. Строк окупності капіталовкладень	$T_{\text{окуп}} = \frac{K_n}{\mathcal{E}_2}$	років	1,5

Розрахунок економічної ефективності нової системи автоматичного керування температурою корпусу для лінії переробки олійного матеріалу протягом року виявив, що отриманий прибуток використання системи за рахунок зменшення витрати енергії. При цьому термін окупності впровадження розробленої системи автоматичного керування у виробництво становить 1,5 року.

РОЗДІЛ 7

ТЕХНІКА БЕЗПЕКИ ТА ОХОРОНА ПРАЦІ

7.1. Організаційні питання з безпеки праці

Сучасне сільськогосподарське виробництво характеризується організацією висококомеханізованих підприємств з переведенням виробництв на індустріальну основу, що веде до зниження частки важкої немеханізованої праці за рахунок використання машин і механізмів та до зменшення впливу на працюючих шкідливих біологічних чинників при мінімізації часу контакту працівників з тваринами, різного роду сировиною та кормовими сумішами, продукцією тваринництва, екскрементами тварин і відходами виробництва. Поряд із цим, зростає інтенсивність праці та навантаження на кожного працюючого за рахунок збільшення кількості тварин, агрегатів і механізмів, що обслуговуються. У користуванні підприємців можуть бути різні машинно-тракторні та інші спеціальні агрегати, засоби транспорту, машини та агрегати для приготування та роздачі кормів, видалення і зберігання гною, різні електроустановки, що застосовуються для виробництва сільськогосподарської продукції, вирощування та утримання сільськогосподарських тварин та птиці, тощо.

За свідченням статистики до найбільш небезпечних виробничих чинників, що мають вплив на виникнення нещасних випадків, відносяться перекидання і наїзди, дія предметів, що рухаються, обертаються та ураження електричним струмом. В результаті дії тільки цих виробничих чинників за статистичними даними останніх 10 років трапилось близько третини нещасних випадків у тваринництві.

Це вимагає, щоб працівники з метою запобігання травматизму володіли знаннями по безпечній експлуатації та обслуговуванню машин і обладнання, чітко виконували норми і правила з питань охорони праці, по дотриманню

безпеки при експлуатації та обслуговуванню електрифікованих машин і механізмів.

"Правила охорони праці у сільськогосподарському виробництві", затверджені наказом МНС України №1353 від 26.11.2012 р., а також інші нормативні документи, встановлюють вимоги до охорони праці під час одержування продукції рослинництва і тваринництва, вирощування сільськогосподарських культур на відкритому ґрунті, в оранжереях і теплицях, є обов'язковими для роботодавців і працівників, які виконують роботи з вирощування, збирання, оброблення продукції рослинництва і тваринництва, і поширюються на всіх суб'єктів господарювання незалежно від форм власності та організаційно-правової форми, які здійснюють діяльність у сільському господарстві.

За створення належних, безпечних і здорових умов праці працівників повну відповідальність несе роботодавець, для чого зобов'язаний створити на робочому місці в кожному структурному підрозділі підприємства умови праці відповідно до нормативно-правових актів, а також забезпечити додержання вимог чинного законодавства щодо прав працівників у галузі охорони праці.

Безпека процесів, пов'язаних з виробництвом продукції тваринництва, повинна відповідати вимогам державних стандартів, технологічної та експлуатаційної документації, інструкцій з вимог безпеки до технологічних процесів.

До виконання робіт на машинах і обладнанні допускаються працівники, що пройшли навчання, склали іспити кваліфікаційній комісії та одержали відповідне посвідчення, пройшли вступний і первинний інструктажі з охорони праці, інструктаж з пожежно-технічного мінімуму та не мають медичних протипоказань.

Відповідно до вимог чинного законодавства працівники підприємств при прийнятті на роботу і періодично у процесі роботи повинні проходити навчання, інструктаж і перевірку знань з питань охорони праці.

Працівники, які не пройшли інструктажі, навчання й перевірку знань з питань охорони праці, до роботи не допускаються.

Відповідальними за організацію навчання та перевірку знань з охорони праці на підприємстві є роботодавець, у структурних підрозділах (комплексах, бригадах, фермах тощо) – керівники цих підрозділів.

Контроль за навчанням і періодичністю перевірки знань з питань охорони праці здійснює служба охорони праці або працівники, на яких роботодавцем покладені ці обов'язки.

Працівники, які обслуговують електроустановки, повинні знати вимоги чинних Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів відповідно до посади, яку вони займають, або до професії, та мати відповідне посвідчення та відповідну групу з електробезпеки.

Працівники, яким дозволено виконання робіт з обслуговування електроустановок, повинні мати про це запис у посвідченні про перевірку знань.

Працівники, які працюють на електрифікованих технологічних установках або з електроінструментом (працівники електротехнологічні), допускаються до роботи після проходження інструктажу з електробезпеки під час роботи на даній електроустановці з оформленням у журналі реєстрації інструктажів з питань охорони праці.

Інструктаж з електробезпеки на *I* групу має проводити працівник, відповідальний за електрогосподарство, або, за його письмовим розпорядженням, – працівник із складу електротехнічних працівників з групою *III*.

Мінімальний стаж роботи в електроустановках і видання посвідчень працівникам з групою *I* не вимагається.

Відповідно до чинного законодавства, працівники підприємства проходять спеціальне навчання, інструктажі та перевірку знань з питань пожежної безпеки.

7.2. Електробезпека

Монтаж та експлуатація електрообладнання повинні виконуватися згідно зі стандартами і нормативно-правовими актами з охорони праці та експлуатаційної документації на нього.

Безпечність електроустановок повинна забезпечуватися:

- надійністю ізоляції;
- безпечним розміщенням струмопровідних частин;
- заземленням або зануленням корпусів електрообладнання.
- попереджувальною сигналізацією, блокуванням, знаками безпеки;

Усі заново під'єднані, реконструйовані електроустановки повинні підлягати приймально-здавальним випробуванням і прийманню комісією відповідно до діючих положень.

Уведення в експлуатацію електроустановок можливе тільки за наявності відповідного електротехнічного персоналу і призначеної особи, яка відповідає за електрогосподарство.

Працівники, які обслуговують електроустановки, повинні знати вимоги нормативно-правових актів у межах своєї компетенції.

На кожну електроустановку в підприємстві, крім технічної документації з експлуатації, має бути затверджена проектна документація, акт здачі електроустановки в експлуатацію, паспорт на обладнання, апаратуру й прилади, виконавча схема електричних з'єднань, блокувань, сигналізації, розміщення, протоколи електричних випробувань, вимірів, налагодження окремих пристроїв тощо.

Струмоведучі частини електроустановок повинні мати захист від випадкового доторкання.

Усі електродвигуни повинні бути заземлені і мати відповідний захист від короткого замикання й перевантажень.

Металеві частини електроустановок 380/220 В із глухозаземленим нульовим проводом, які можуть опинитися під напругою внаслідок порушення

ізоляції, повинні заземлюватися відповідно до *Правил улаштування електроустановок*.

Забороняється влаштування заземлювачів у місцях проходження людей і тварин, на вході у приміщення, на вигульних майданчиках.

Зовнішні електропроводки в місцях, де вони можуть піддаватися дії механічних пошкоджень, повинні прокладатися у сталевих або пластмасових трубах, коробах, каналах.

Електропроводки й електрообладнання у приміщеннях з підвищеним умістом пилу (кормоцехи, цехи сушіння посіду, трав'яного борошна тощо) повинні бути пиловибухозахищеного виконання.

Електропроводки, що з'єднують машини з іншим електрообладнанням у місцях, небезпечних щодо механічних пошкоджень, повинні прокладатися в сталевих або пластмасових трубах, металорукавах, коробах, каналах тощо.

Не допускається установлення вимикачів і запобіжників у проводах, які використовуються для захисного заземлення.

Заземлений нульовий провід внутрішньої електропроводки повинен мати розпізнавальні позначення або пофарбування.

Надійність заземлення і його загальний стан повинні перевірятися шляхом заміру один раз на рік, а також після кожного капітального ремонту і тривалої перерви в роботі установки.

При виявленні відхилення опору заземлення від значень, вказаних у Правилах улаштування електроустановок, слід ужити заходів щодо приведення його до нормативних.

Зовнішній огляд стану заземлювальних провідників (шин) повинен проводитися один раз на 6 місяців, у вологих і особливо вологих приміщеннях - кожні 3 місяці.

При порушенні або несправності заземлювального пристрою установку негайно відключають до ліквідації несправності.

Штепсельні рознімання повинні бути захищені від випадкового дотику до частин під напругою і розміщені таким чином, щоб їхнє приєднання здійснювалося без ускладнень.

Штепсельні розетки для підключення опромінювальних установок до електричної мережі повинні мати третій заземлювальний контакт.

У приміщеннях підвищеної небезпеки (вологість понад 90%, запиленість понад 800 мг/м³) потрібно влаштовувати герметичні штепсельні розетки зі спеціальними гніздами для приєднання до захисного нульового проводу.

Штепсельні з'єднання (розетки, вилки), що застосовуються в мережі з напругою 12-42 В, за своїм конструктивним виконанням повинні відрізнятися від звичайних штепсельних з'єднань, щоб запобігти включенню вилок на 12-42 В у штепсельні розетки на 127-220 В.

Огляд, обслуговування й ремонт приймачів та споживачів електроенергії слід проводити тільки після відключення їх від електромережі. На засобах відключення електроенергії (вимикачі, запобіжники тощо) вивішується плакат "Не вмикати! Працюють люди!".

Роботу на машинах та обладнанні з електроприводом дозволяється доручати тільки персоналу з групою електробезпеки не нижче I.

Виробничі, допоміжні і складські будівлі й приміщення потрібно обладнати блискавкозахистом відповідно до інструкції по улаштуванню.

Для зменшення вірогідності проникнення кульових блискавок у приміщення, перед початком грози слід запобігати утворенню протягів у приміщеннях (закривати двері, вікна люки та інші прорізи й отвори).

7.3. Розрахунок повторного заземлюючого пристрою

Вихідні дані для розрахунку:

Питомий опір верхнього шару ґрунту $\rho_1 = 40 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

Питомий опір нижнього шару ґрунту $\rho_2 = 30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

Товщина верхнього шару ґрунту $H = 0,60 \text{ м}$;

Довжина вертикального заземлювача $L = 2,50 \text{ м}$;

Заглиблення вертикального заземлювача $t = 1,95 \text{ м}$;

Сезонний кліматичний коефіцієнт $\psi = 1,50$;

Ширина вуголка вертикального заземлювача $d = 50,0 \text{ мм}$;

Значення опору заземлюючого пристрою при базовому питомому опорі землі, що нормується згідно з ПУЕ $R_{НОРМ} = 4,0 \text{ Ом}$;

Заглиблення з'єднувальної полоси $t_{ПОЛОСИ} = 0,70 \text{ м}$;

Ширина з'єднувальної полоси $b = 40,0 \text{ мм}$;

Відстань між електродами $P = 1,25 \text{ м}$;

Коефіцієнт використання електрода $\eta_C = 0,71$.

Еквівалентний питомий опір ґрунту з урахуванням коефіцієнта сезонності

$$\rho_{ЕКВ} = \frac{\rho_1 \cdot \psi \cdot \rho_2 \cdot L}{\rho_1 \cdot \psi \cdot (L - H + t_{ПОЛОСИ}) + \rho_2 \cdot (H - t_{ПОЛОСИ})} \quad (7.1)$$

$$\rho_{ЕКВ} = \frac{40 \cdot 1,5 \cdot 30 \cdot 2,5}{40 \cdot 1,5 \cdot (2,5 - 0,6 + 0,7) + 30 \cdot (0,6 - 0,7)} = 29,41 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Опір одного вертикального заземлювача

$$R_{ОС} = \frac{\rho_{ЕКВ}}{2 \cdot \pi \cdot L \cdot \left(L_N \frac{2 \cdot L}{b} + \frac{1}{2} \cdot L_N \left(\frac{4 \cdot t + L}{5 \cdot t - L} \right) \right)} \quad (7.2)$$

$$R_{ОС} = \frac{29,41}{2 \cdot 3,14 \cdot 2,5 \cdot \left(L_N \frac{2 \cdot 2,5}{0,05} + \frac{1}{2} \cdot L_N \left(\frac{4 \cdot 1,95 + 2,5}{5 \cdot 1,95 - 2,5} \right) \right)} = 9,05 \text{ Ом}.$$

Опір контуру

$$R_H = R_{НОРМ} \cdot \left(\frac{\rho_{ЕКВ}}{\rho_{БАЗ}} \right); \quad (7.3)$$

$\rho_{БАЗ}$ - базовий питомий опір ґрунту, $\rho_{БАЗ} = 100 \text{ Ом} \cdot \text{м}$;

$$R_H = 4,0 \cdot \left(\frac{29,41}{100} \right) = 4,0 \text{ Ом}.$$

Визначення орієнтовної кількості стержнів

$$n_{ПОП} = \frac{R_{ОС}}{R_H}$$

$$n_{ПОП} = \frac{9,05}{4,0} = 2,26.$$

Значення розрахункової приблизної кількості вертикальних електродів округлюється до більшого цілого числа

$$n_{ПОП} = 3 \text{ шт.}$$

Розраховуємо опір з'єднувальної полоси. Довжина з'єднувальної полоси

- Якщо заземлювачі розташовані в ряд

$$L_{П} = \frac{L}{2 \cdot (n_{ПОП} - 1)}; \quad (7.4)$$

- Якщо заземлювачі розташовані по контуру

$$L_{П} = \frac{L}{2 \cdot n_{ПОП}}. \quad (7.5)$$

В даному випадку

$$L_{П} = \frac{2,5}{2 \cdot 3} = 3,75 \text{ м.}$$

Опір з'єднувальної полоси

$$\rho_{ЕКВ} = \frac{\rho_1 \cdot \psi}{2 \cdot \pi \cdot L_{П} \cdot L_N \cdot \left(\frac{2 \cdot L_{П}^2}{b \cdot t_{ПОЛОСИ}} \right)}. \quad (7.6)$$

$$\rho_{ЕКВ} = \frac{40 \cdot 1,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 3,75 \cdot L_N \cdot \left(\frac{2 \cdot 3,75^2}{0,04 \cdot 0,7} \right)} = 17,61 \text{ Ом}.$$

Сумарний опір вертикальних заземлювачів разом та з'єднувальної ПОЛОСИ

$$R_{\text{ВЕРТ}} = \frac{R_{\text{ПОЛОСИ}} \cdot R_H}{R_{\text{ПОЛОСИ}} - R_H}. \quad (7.7)$$

$$R_{\text{ВЕРТ}} = \frac{17,61 \cdot 4,0}{17,61 - 4,0} = 5,18 \text{ Ом}.$$

Уточнена кількість вертикальних заземлювачів визначається за виразом

$$n = \frac{R_{\text{ОС}}}{R_{\text{ВЕРТ}} \cdot \eta_C};$$

$$n = \frac{9,05}{5,18 \cdot 0,71} = 2,48.$$

Розрахована кількість вертикальних електродів округлюється в бік збільшення до цілого числа:

$$n = 3.$$

При використанні 3-х вертикальних заземлювачів опір контуру $R_3 < 4 \text{ Ом}$, що дозволяє використовувати даний контур заземлення у відповідності з РД 34.21.122 – 87 також і для блискавкозахисту 3 категорії.

ВИСНОВКИ

У магістерській кваліфікаційній роботі досліджений процес виробництва олії з насіння соняшнику за допомогою двошнекового гвинтового прес-екструдера УЕП-100.

В результаті дослідження отримані наступні результати.

1. Для підвищення ефективності роботи прес-екструдера УЕП-100 та забезпечення більш ефективного використання електроенергії необхідно замінити дровий електронагрівач першої (основної) зони нагріву корпусу преса на індукційний нагрівач (індуктор). Дровий електронагрівач другої зони нагріву (допоміжний) залишається від базової конструкції.

2. В результаті математичного моделювання виявлено можливості підвищення ефективності роботи прес-екструдера шляхом використання диференційованих режимів нагріву корпусу, що досягається зміною кількості одночасно підключених обмоток індукційного нагрівача до мережі живлення в залежності від температури олійної сировини, що надходить на переробку. Споживана потужність індукційного нагрівача зменшується відповідно від 9,9 кВт при температурі олійної сировини (насіння соняшника) 0°C до значення 3,1 кВт при 30°C.

3. Обґрунтований вибір комплексу промислових технічних засобів автоматизації для реалізації САК температурою корпусу прес-екструдера з використанням датчиків температури ТСМ-1088 та мікроконтролера PIC16F877, що реалізує ПІ-закон керування, розроблені принципові схеми системи керування та відповідне програмне забезпечення.

4. В результаті дослідження системи автоматизації встановлено, що система є стійкою з наступними показниками якості регулювання: коливальність $n = 1$; час регулювання $t_p = 326$ с; перерегулювання $\sigma = 17\%$.

5. За результатами техніко-економічних розрахунків встановлено, що термін окупності при впровадженні розробленої САК складе 1,5 року, що вказує на доцільність її використання у виробництві.

ЛІТЕРАТУРА

1. Автоматизовані системи контролю та керування процесами зернопереробки на млинах / В.М. Горбенко, В. М. Денисенко, М. О. Рюмшин, В. Ю. Соболевський. – Київ : Техніка, 2005. – 188 с.
2. Войтюк Д.Г, Гаврилюк Г.Р. Сільськогосподарські машини. – К.: Каравела, 2004.
3. В.П. Лисенко, І.М. Болбот, В.А. Наливайко, К.В. Наконечна, Т.І. Лендел, Д.Є. Жук. Проектування систем автоматизації для АПК: Підручник. – Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2022. – 626 с.
4. В.П. Лисенко, І.М. Болбот, С.А. Шворов, В.В. Коваль, Н.А. Заєць, Т.І. Лендел, К.В. Наконечна, А.І. Болбот. Основні методи та методики підготовки кваліфікаційної роботи магістрів: Навчальний посібник. – Київ: ФОП Ямчинський О.В., 2023. – 462 с.
5. Гондар О.О. Енергозбереження в агропромисловому комплексі // Енергозберігаючі технології та автоматизація.–2002.–№ 1.–С. 26–27.
6. Гудзенко М.М. Вплив деяких технологічних параметрів олійного пресу на його якісні та технічні показники / М.М. Гудзенко // Motrol. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Lublin – Rzeszow, 2013. Vol. 15 No 3. 142-149.
7. Дацишин О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв / О. В. Дацишин, А. І. Ткачук, О. В. Гвоздев, Ф. Ю. Ялпачик, В. О. Гвоздев. – Вінниця.: «Нова Книга». – 2008. – 488с.
8. Довідник сільського електрика / В.С. Олійник, В.М. Гайдук, В.Ф. Гончар та ін.; за ред. В.С. Олійника. – 3-є вид., перероб. і доп. – К.: Урожай, 1989. – 264 с.
9. Драганов Б.Х., Міщенко А.В., Борхаленко Ю.О. Основи теплотехніки і гідравліки: Навчальний посібник / За ред. Б.Х. Драганова. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 495с.
10. Електропривід сільськогосподарських машин, агрегатів та потокових ліній: Підручник / Є.Л. Жулай, Б.В. Зайцев, Ю.М. Лавріненко, О.С. Марченко, Д.Г. Войтюк; За ред. Є.Л. Жулая. – К.: Вища освіта, 2001. – 288 с.: іл. ISBN 966-95995-2-0.
11. Колчунов В. І. Теоретична та прикладна гідромеханіка: Навч. Посібник. – К.:НАУ. – 2004. – 336 с.

12. Комарчук Д.С. Режими роботи електротехнічного комплексу з системою автоматичного управління для теплової обробки зерна ріпака : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спеціальність 05.09.03 «Електротехнічні комплекси та системи» / Д. С. Комарчук. – Київ, 2014. – 35 с.
13. Кондратенко І.П. Енергетичні характеристики і електричні параметри індукторів для нагрівання пучка феромагнітних труб / І. П. Кондратенко, А.П. Ращепкін, А.О. Березюк // Вісник КДУ ім. Михайла Остроградського – 2010. – №3, ч. 2. – С. 62.
14. Кондратенко І.П. Індукційна установка для термообробки зерна ріпаку / І.П. Кондратенко, В.П. Лисенко, А.О. Березюк, Д.С. Комарчук // Вісник аграрної науки. – К.:Аграрна наука, 2012. – № 12, С. 55 – 58.
15. Корольов М.І. Теплотехнічний розрахунок робочого органу прес-екструдера // Глеваха.: МЕСГ, 2004. – №66. – С. 46–49.
16. Котов Б.І., Математичне моделювання електричного нагріву насіння при видавлюванні олії гвинтовим пресом // Б.І. Котов, Б.В. Хілініч. – Глеваха.: МЕСГ, 2005. – №89. – С. 56-62.
17. Лисенко В.П. Дослідження технологічних параметрів екстрагування олії при переробці ріпаку з використанням методів планування експерименту / В.П. Лисенко, В.О. Мірошник, Д.С. Комарчук // Науковий вісник. – К. : НУБіП, 2011. – № 166, ч3. – С. 98–104.
18. Лисенко В.П. Запровадження енергоефективних комплексів в виробництві олії (стан питання) / В.П. Лисенко, Д.С. Комарчук // Біоресурси і природокористування. – К. : НУБіП, 2011. – т. 3 № 1-2 – С. 153–157.
19. Лисенко В.П., Інтенсифікація температурної обробки олійного насіння / В.П. Лисенко, Д.С. Комарчук // Науковий вісник. – К. : НУБіП, 2011. – № 161. – с. 171–175.
20. Мерко І.Т. Наукові основи і технологія переробки зерна: підручник / І.Т. Мерко, О.В. Моргун. – Одеса: Друк, 2001. – 348 с.
21. Монтаж, обслуговування та ремонт електротехнічних установок в АПК. Курсове і дипломне проектування: навчальний посібник / [Кашенко П.С., Біленко О.І., Устименко О.А та ін.]. – Київ: Аграрна освіта, 2008. – 502 с.
22. Немков В.С. Теорія та розрахунок пристроїв індукційного нагріву / В.С. Немков, В.Б. Демидович. – Вінниця ВНТУ 2005, – 280 с.

23. Остапчук Н.В. Співвідношення різних способів підведення теплоти при зневодненні зерна / Н.В. Остапчук. – Харків: Технології сушіння, 2008, №1(103). – С. 18 – 23.
24. Технічні засоби автоматизації (Частина 2) / М.В. Лукінюк, В.П. Лисенко, В.Є. Лукін, А.М. Гладкий, С.А. Шворов, А.А. Руденський, А.А. Заверткін. – Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2018. – 455 с.
25. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв: навчальний посібник / О.В. Дацишин, А.І. Ткачук, О.В. Гвоздев та ін.; ред. О.В. Дацишин. – Вінниця: Нова Книга, 2009. – 488 с.
26. Хомик Н.І. Механізація переробки та зберігання сільськогосподарської продукції: курс лекцій / Н.І. Хомик, В.П. Олексюк, О.П. Цьонь – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2016. – 288с.
27. Обробка і передача інформації. Сучасні комп'ютерні технології. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://subject.com.ua/article/article2018/152.html>
28. Вибір електротехнічного обладнання. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://elektroservice.com.ua/>
29. Lacaze-Dufaure, C, Z. Mouloungui, and J. Leyris, Method and Apparatus for Making Fatty Acid Esters from Oil-Containing Seeds, PCT WO 97/38069 (FR 96/4502) (1997).
30. Здійснення розрахунків у середовищі MatLAB. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://matlab.exponenta.ua/simulink/default.php>
31. Електронні компоненти [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://microchip.ua>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А1

Основні тепло-фізичні характеристики насіння соняшнику

Густина в $\text{кг}/\text{м}^3$ нерафінованої соняшникової олії

при $293 < T < 458 \text{ К}$

$$\rho = 1098 - 0,605 \cdot T;$$

при $253 < T < 413 \text{ К}$

$$\rho = 1115,7 - 0,680 \cdot T$$

Густина (в $\text{кг}/\text{м}^3$) рафінованої олії визначається формулами:

при $293 < T < 458 \text{ К}$

$$\rho = 1107 - 0,6175 \cdot T$$

при $293 < T < 393 \text{ К}$

$$\rho = 1127,4 - 0,688 \cdot T$$

Теплоємність в $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ нерафінованої соняшникової олії :

при $273 < T < 413 \text{ К}$

$$c = 951 + 3,35 T$$

при $273 < T < 323 \text{ К}$

$$c = 119 + 2,5 T$$

при $298 < T < 343 \text{ К}$

$$c = 354 + 5,20 T$$

при $273 < T < 323 \text{ К}$

$$c = 1629 + 1,05 T$$

Теплоємність в $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot \text{К})$ рафінованої соняшникової олії

при $313 < T < 413 \text{ К}$

$$c = 551 + 4,19 T$$

Формули дозволяють виразити об'ємну теплоємність в

$\text{кДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$ нерафінованої соняшникової олії

при $273 < T < 413 \text{ К}$

$$c\rho = 927 + 2,867 T$$

Теплопровідність в Вт/(м·К) нерафінованої соняшникової олії:
при $298 < T < 343$ К

$$\lambda = 0,3397 - 0,00057 T$$

при $298 < T < 343$ К

$$\lambda = 0,359 - 0,00064 T$$

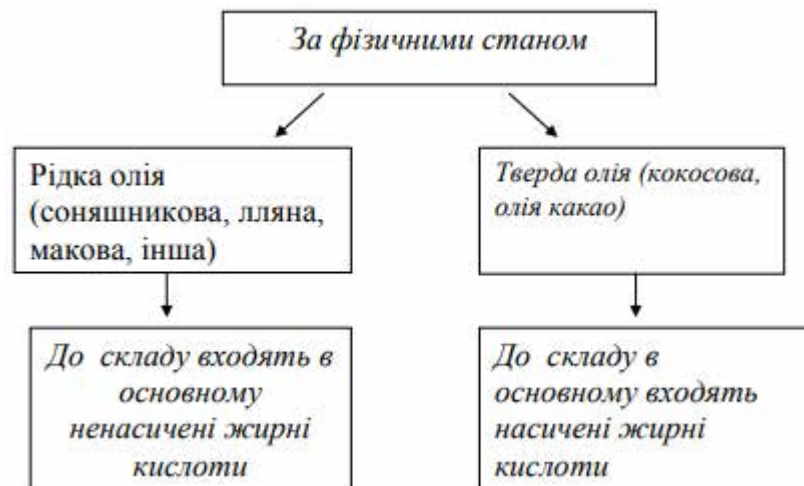
Температуропровідність в м²/с нерафінованої соняшникової олії:
при $298 < T < 343$ К

$$a \cdot 10^8 = 23,74 - 0,048 T$$

Температура застигання соняшникової олії 16–18⁰С,
енергетична цінність рафінованої олії – 376 кДж/кг, насіння 241,8;
ядра насіння та халви – 236,0 кДж/кг.

ДОДАТОК А2

Види олії за фізичними властивостями і за хімічною структурою



ДОДАТОК Б

**Математична модель динаміки температурних режимів у прес-екструдері
при переробці зерна ріпаку з використанням індукційного нагрівача**

Початкові дані:

$$x := 0,0,1..10 \quad \tau := 0,1..3000 \quad i := 0,1..2$$

Довжина нагрівача, м $H := 0.8$
 Діаметр зерна ріпаку, м $dr := 0.002$
 Діаметр корпусу установки, м $Du := 0.144$
 Діаметр феромагнітних стержнів, м $dst := 0.006$

Коефіцієнти конвективної теплопередачі $\alpha k' := 5$
 $\alpha k := 5$

Коефіцієнт ефективної теплопередачі $\alpha_{ef} := 150$

Площа поверхні зернового матеріалу, м² $fz := 8.5$

Площа поверхні корпусу преса, м² $fc := 2.3$

Площа поверхні кожуху преса, м² $fk := 5.4$

$$fk0 := 2\pi \cdot \left(\frac{Du}{2}\right) \cdot H \cdot 1.3 = 0.47$$

Критерій Ребіндера $Rb := 0.34$

Початкова температура, С° $t0 := 6$
 $\alpha_{ef} := 5$

Потужність нагрівача, Вт $P := 8500$

ККД установки нагріву $\eta := 0.91$

Питома теплоємність зернового матеріалу, Дж/кг °С $cz := 1790$

Продуктивність преса, кг/год $Gz := \frac{100}{3600} \quad Gz = 0.028$

Маса корпусу преса, кг	$m_c := 40$
Теплоємність стержнів, Дж/кг °С	$c_c := 470$
Маса зерна, кг	$m_z := 700 \cdot \pi \cdot \left(\frac{D_u}{2}\right)^2 \cdot H \quad m_z = 9.12$
Теплопровідність повітря, Вт/м °С	$c_v := 1050$
Маса повітря, кг	$m_v := 0.0002$
Початкова температура зерна, °С	$\Theta_{z0} := 6$
Час перебування в пресі сек	$\tau_n := \frac{m_z \cdot 3600}{100} = 328.326$
Поправочний коефіцієнт	$\lambda := 0.043$

$$1 := \frac{\frac{\alpha_k \cdot f_z}{\alpha_k \cdot f_z + \alpha_k \cdot f_c - \alpha_k' \cdot f_k} - \frac{\alpha_k' \cdot f_k}{\alpha_k \cdot f_z + \alpha_k \cdot f_c - \alpha_k' \cdot f_k} \cdot \frac{\alpha_{ef} \cdot f_k}{\alpha_{ef} \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_{k0}}}{H + \frac{\alpha_k' \cdot f_k}{\alpha_k \cdot f_z + \alpha_k \cdot f_c - \alpha_k' \cdot f_k} \cdot \frac{\alpha_k \cdot f_k}{\alpha_{ef} \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_{k0}}}$$

$$2 := \frac{\frac{\alpha_k \cdot f_c}{\alpha_k \cdot f_z + \alpha_k \cdot f_c - \alpha_k' \cdot f_k}}{1 + \frac{\alpha_k' \cdot f_k}{\alpha_k \cdot f_z + \alpha_k \cdot f_c - \alpha_k' \cdot f_k} \cdot \frac{\alpha_k \cdot f_k}{\alpha_{ef} \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_{k0}}}$$

$$3 := \frac{\frac{\alpha_k' \cdot f_k \cdot \alpha_k \cdot f_{k0}}{(\alpha_k \cdot f_z + \alpha_k \cdot f_c - \alpha_k' \cdot f_k) \cdot (\alpha_{ef} \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_{k0})}}{1 + \frac{\alpha_k' \cdot f_k \cdot \alpha_k \cdot f_k}{(\alpha_k \cdot f_z + \alpha_k \cdot f_c - \alpha_k' \cdot f_k) \cdot (\alpha_{ef} \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_{k0})}}$$

$$4 := \frac{\alpha_{ef} \cdot f_k}{\alpha_{ef} \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_{k0}} + \frac{\alpha_k \cdot f_k \cdot e1}{\alpha_{ef} \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_{k0}}$$

$$e5 := \frac{\alpha_k \cdot f_{k0}}{\alpha_{ef} \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_{k0}} + \frac{\alpha_k \cdot f_k \cdot e3}{\alpha_{ef} \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_{k0}}$$

$$e6 := \frac{\alpha_k \cdot f_k \cdot e3}{\alpha_{ef} \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_{k0}}$$

$$c1 := \alpha_k \cdot f_z \cdot e3 \cdot t0$$

$$c2 := \alpha_k \cdot f_z \cdot e3 + \alpha_{ef} \cdot f_k \cdot e5$$

$$a1 := \alpha_{ef} + \alpha_k \cdot f_z - \alpha_k \cdot f_z \cdot e2$$

$$a2 := \alpha_{ef} \cdot f_c - \lambda + \alpha_k \cdot f_z \cdot e2 + \alpha_{ef} \cdot f_k \cdot e6$$

$$b1 := \alpha_{ef} \cdot f_c + \alpha_k \cdot f_z \cdot e1$$

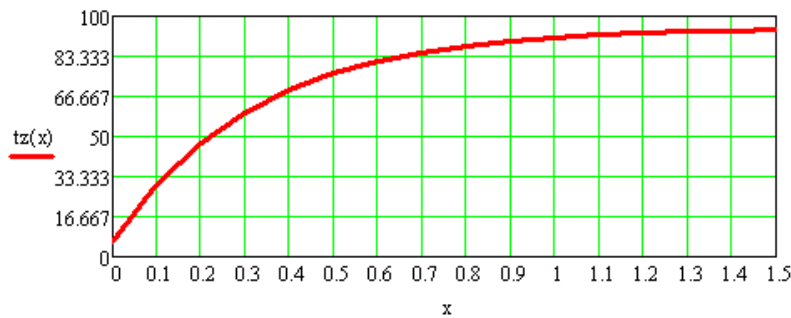
$$b2 := \alpha_{ef} \cdot f_c + \alpha_k \cdot f_z + \alpha_{ef} \cdot f_k + \alpha_k \cdot f_z \cdot e1 + \alpha_{ef} \cdot f_k \cdot e4$$

$$A := \frac{c2}{a2} + \frac{c1}{a1} + \frac{b1}{a1} \cdot P \cdot \eta$$

$$B := \frac{b2}{a2} - \frac{b1}{a1}$$

$$T_x := \frac{c_z \cdot G_z \cdot H \cdot (R_b + 1)}{R_b \cdot a_2}$$

$$tz(x) := \frac{A}{B} - \left[\left(\frac{A}{B} \right) - t0 \right] \cdot e^{-\frac{B}{T}x}$$



$$a2 := \text{coef} \cdot fc + \text{ck} \cdot fz \cdot e2 + \text{coef} \cdot fk \cdot e6$$

$$T1 := \frac{mc \cdot cc}{b1}$$

$$T2 := \frac{(cz \cdot mz + cv \cdot mv) \cdot (Rb + 1)}{Rb \cdot a2}$$

$$\frac{A}{a2} = T1 \cdot T2$$

$$\frac{B}{a2} = T1 \cdot \frac{b2}{a2} + \frac{a1}{b1} \cdot T2$$

$$\frac{C}{b1} = \frac{a1}{b1} \cdot \frac{b2}{a2} - 1$$

$$r1 := \frac{-B + \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$$

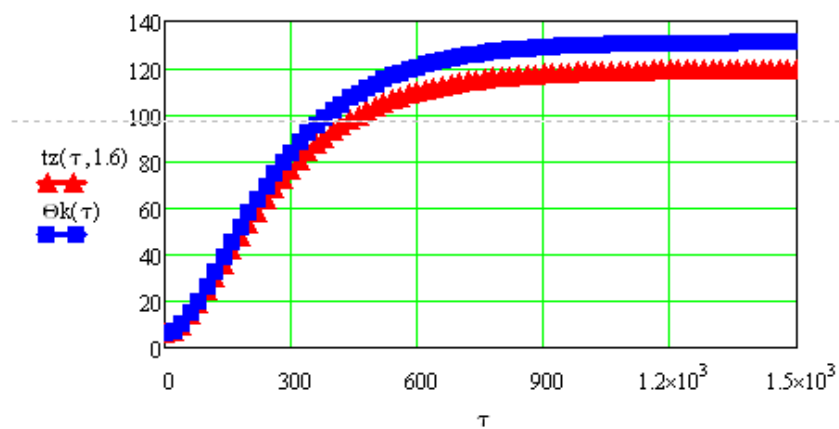
$$r2 := \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4 \cdot A \cdot C}}{2 \cdot A}$$

$$D1(x) := \frac{c2}{a2} \cdot \frac{a1}{b1} + \frac{a1}{b1} \cdot tz(x) \cdot \lambda \quad D1(1) = 834.756$$

$$D2 := \frac{c2}{a2} + \frac{b2}{a2} \cdot c3 \quad c3 := P \cdot \eta \cdot \frac{c1}{b1}$$

$$tz(\tau, x) := \frac{t0 \cdot C - D1(x)}{C \cdot (r1 - r2)} \cdot (r1 \cdot e^{r2 \cdot \tau} - r2 \cdot e^{r1 \cdot \tau}) + \frac{D1(x)}{C}$$

$$\Theta k(\tau) := \frac{\Theta z0 \cdot C - D2}{C \cdot (r1 - r2)} \cdot (r1 \cdot e^{r2 \cdot \tau} - r2 \cdot e^{r1 \cdot \tau}) + \frac{D2}{C}$$



ДОДАТОК В

Фрагмент програми керування температурою корпусу
прес-екструдера УЕП-100

```

LIST P=16F877
#include "P16F877.INC"
__config b'0011110100110001'; WDT ON, PWRT OFF, OSC XT
__idlocs h'ABCD'
HI EQU h'20';
LO EQU h'21';
W_SAVE EQU h'22';
S_SAVE EQU h'23';
PL_SAVE EQU h'24';
FLAG_REG EQU h'25'; Регістр Флагів
KATHOD_NUMBER EQU h'26'
K_I EQU h'27'
K_II EQU h'28'
K_III EQU h'29'
K_IV EQU h'2A'
BUFD EQU h'2B'
FLAG_SEC EQU h'2C'; 2-й Регістр Флагів
CLOCK16 EQU h'2D'
SEC EQU h'2E'
SEC_D EQU h'2F'
MIN EQU h'30'
MIN_D EQU h'31'
HOU EQU h'32'
HOU_D EQU h'33'
CHIS EQU h'34'
CHIS_D EQU h'35'
TEMPR_I EQU h'36'
TEMPR_II EQU h'37'
TEMPR_III EQU h'38'
TEMPR_IV EQU h'39'
T_C EQU h'3A'
SEC_BACK EQU h'3B'
BUFF EQU h'3C'
P_i EQU h'3D'
P_i_1 EQU h'3E'
U_i_HI EQU h'3F'
U_i_LO EQU h'40'
U_i_1_HI EQU h'41'
U_i_1_LO EQU h'42'
U_i_2_HI EQU h'43'
U_i_2_LO EQU h'44'
BUFF_II EQU h'45'
BUFF_III EQU h'46'
SEC_KVANT EQU h'47'
U_Buff_LO EQU h'48'
i EQU h'49'
j EQU h'4A'

```

```

org 0x000
clrwdt
clrf  INTCON
call  POWER_ON
goto  main
org  0x004
bcf   INTCON, GIE ;підпрограма переривання
movwf W_SAVE
swapf STATUS, w
clrf  STATUS
movwf S_SAVE
movf  PCLATH, w
movwf PL_SAVE
clrf  PCLATH
btfss INTCON, 6
goto  END_INT
; Переривання від TMR1
btfsc PIR1, 0
goto  Timer
goto  END_INT
END_INT:
clrf  STATUS
clrf  PIR2
movf  PL_SAVE, w
movwf PCLATH
swapf S_SAVE, w
movwf STATUS
swapf W_SAVE, f
swapf W_SAVE, w
retfie
Timer:
bcf   PIR1, 0 ;Очистка признаку переривання
movlw d'11' ;
movwf TMR1H
movlw d'222' ;
movwf TMR1L
incf  SEC_BACK, f
clrf  STATUS
btfss ADCON0, GO ;Дочекатися коли кінчиться перетворення
bsf   ADCON0, GO ;запустити АЦП
btfsc PORTB, 0
goto  j_m_p
movlw b'00000001'
xorwf FLAG_REG, f
j_m_p:
btfss SEC_BACK, 4
goto  NE_NACHALO
clrf  SEC_BACK
rlf   FLAG_SEC, f ;
btfss FLAG_SEC, 3
goto  NE_NACHALO
clrf  FLAG_SEC

```

```

    bsf    FLAG_SEC, 0
NE_NACHALO:
    incf   CLOCK16,f
    btfss  CLOCK16, 1
    goto   END_TIME
    clrf   CLOCK16
    incf   SEC,f
    incf   SEC_KVANT,f
    movlw  d'6' ;
    subwf  SEC_KVANT, w
    btfss  STATUS, C
    goto   NO_KVANT
    clrf   SEC_KVANT
    movfw  U_i_LO
    movwf  U_i_HI
    movwf  U_Buff_L0
    bcf    STATUS, C
    rrf    U_i_HI,f
    btfsc  U_Buff_L0, 0
    bsf    U_Buff_L0, 7
    btfss  U_Buff_L0, 0
    bcf    U_Buff_L0, 7
    andlw  b'10000000'
    movwf  U_Buff_L0
    movlw  d'68'
    movwf  BUFF_II
    movfw  U_Buff_L0
    movwf  BUFF_III
DOD_NEXT:
    movwf  U_i_LO
    addwf  BUFF_III, f
    btfsc  STATUS, C
    incf   U_i_HI, f
    decfsz BUFF_II, f
    goto   DOD_NEXT
    nop
    movfw  BUFF_III
    movwf  U_i_LO
NO_KVANT:
    movlw  d'10' ;
    xorwf  SEC,w
    btfss  STATUS, S
    goto   END_TIME
    clrf   SEC
    incf   SEC_D,f
    movlw  d'6' ;Якщо пройшло 6 десятків, то наростити хв.
    xorwf  SEC_D, w
    btfss  STATUS, Z
    goto   END_TIME
    clrf   SEC_D
    incf   MIN, f
    movlw  d'10' ;Якщо пройшло 10 хв., то наростити десяток.

```

```

xorwf MIN, w
btfss STATUS, Z
goto END_TIME
clrf MIN
incf MIN_D, f
movlw d'6' ; Якщо 6 десятків, то наростити годину.
xorwf MIN_D, w
btfss STATUS, Z
goto END_TIME
clrf MIN_D
incf HOU, f
movlw d'2' ; xorwf HOU_D, w
btfss STATUS, Z
goto NO_24
movlw d'4' ; xorwf HOU, w
btfss STATUS, Z
goto NO_24
goto YES_24
NO_24:
movlw d'10' ; Якщо 10 годин, то наростити десяток.
xorwf HOU, w
btfss STATUS, Z
goto END_TIME
clrf HOU
incf HOU_D, f
goto END_TIME
YES_24:
clrf HOU_D
clrf HOU
incf CHIS, f
movlw d'10' ; Якщо 10 днів, то наростити десяток.
xorwf CHIS, w
btfss STATUS, Z
goto END_TIME
clrf CHIS
incf CHIS_D, f
END_TIME:
goto END_INT
; *** Ініціалізація ***
org 0x200
main ; clwrdt
bcf STATUS, RP0
bcf STATUS, RP1 ; Вибрати 0-й банк
movlw h'20' ; * Очистити RAM от 2 0 до 7F
movw FSR ; * (Нульова сторінка ОЗУ)
NEXT: clrf INDF ; *
incf FSR, f ; *
; clwrdt
btfss FSR, 7 ; *
goto NEXT ; *
Kitten: ; Точка "м'якої" ініціалізації
clrf PORTA

```

```

clrf PORTB
clrf PORTC
movlw b'00000000'
;USART - вимкнено
movwfSSPCON
movlw b'10100001' ;Fosc/8, АЦП ввімкнено, 0-й канал movwf ADCON0
bsf STATUS, RP0 ;Вибрати банк 1
; RAO, RA1 - входи АЦП, RA3 - Vref+, Vss - Vref-,
; RA2,RA5,RE0,RE1,RE2 - цифрові входи
movlw b'00000101'
movwfADCON1
movlw b'00000111' ; Переддільник на TMRO 1:256 та
; movwf OPTION_REG
; синхронізація від внутрішніх тактів
;налагоджувальні резистори ввімкнено
movlw b'00000001' ;TMR1 - переривання ввімкнено movwf PIE1
movlw b'00000000' ;Все вимкнути movwf PIE2
movlw 0XFF ;Період таймера TMR2 movwf PR2
clrf STATUS ;Вибрати банк 0
movlw b'01111111' ;ТМК2-ввімкнено, переддільник - 1:16,
movwfT2CON ;Післядільник 1:16-задає частоту
movlw b'00000000' ;CCP1 - вимкнено movwf CCP1CON
movlw b'00000000' ;CCP2 - вимкнено movwf CCP2CON
movlw b'00110101' ;Tmr1 - ввімкнено, переддільник - 1:16,
movwfT1CON ;післядільник 1:4-Таймер
clrf TMR1L
clrf TMR1H
bsf STATUS, RP0 ; Вибрати банк I
movlw b'00001011' ;RA0,RA1,RA3-На ввід, RA2,RA4,RA5-На вивід
movwfPORTA
movlw b'00000001' ;RB7-RB1 на вивід
movwfPORTB
movlw b'00000000' ;PortC на вивід
movwfPORTC
bsf STATUS, RP0 ; Вибрати банк 1
clrf PORTA
clrf PORTB
clrf PORTC
movlw b'11000000'
movwfINTCON
clrf KATHOD_NUMBER
bsf KATHOD_NUMBER, 0
;***** Передумовки *****
clrf FLAG_REG
clrf FLAG_SEC
bsf FLAG_SEC, 0
movlw d'10'
movwfTEMPR_I
movlw d'6'
movwfTEMPR_II
movlw d'7'
movwfTEMPR_III

```

```

movlw d'3'
movwf TEMPR_IV
movlw d'50'
movwf P_i_1
movlw d'0'
movwf U_i_1_HI
movwf U_i_1_LO
movwf U_i_2_HI
movwf U_i_2_LO
;***** кінець передустановок *****
END_INI: ;Кінець ініціалізації
; *** Основний цикл ***
Cykl
;Процедура АЦП
btfsc ADCON0, GO ;Зачекати кінця перетворення
goto Wait
movf ADRESH, W ;Зберегти результати перетворення
movwf T_C ;у T_C
comf T_C, f
movfw T_C
movwf U_i_LO
movwf BUFF
clrf TEMPR_II
clrf TEMPR_III
clrf TEMPR_IV
n_ext_I:
incf TEMPR_IV, f
movlw d'100'
subwf T_C, f
btfsc STATUS, C
goto n_ext_I
movlw d'100'
addwf T_C, f
n_ext_II:
incf TEMPR_III, f
movlw d'10'
subwf T_C, f
btfsc STATUS, C
goto n_ext_II
movlw d'10'
addwf T_C, f
movfw T_C
movwf TEMPR_II
decf TEMPR_III, f
incf TEMPR_IV, f
movfw BUFF
movwf T_C
Wait:
;Кінець процедури АЦП
bsf PORTB,
;movlw d'182'
;subwf T_C,w

```

```

;btffs STATUS, C
btffs FLAG_REG, 0
bsf PORTB, 2
btfsc FLAG_REG, 0
bcf PORTB, 2
;btffs FLAG_REG, 0
bcf PORTB, 2
;btfsc FLAG_REG, 0
;bsf PORTB, 2
bcf PORTB, 2
bsf PORTB, 2
btfsc CLOCK16, 0
bcf PORTB, 2
bcf STATUS, C
rlf KATHOD_NUMBER, f
btffs KATHOD_NUMBER, 4
bsf PORTB, 2
call TIMER
bcf PORTB, 2
goto JP
clrf KATHOD_NUMBER
bsf KATHOD_NUMBER, 0
JP: movlw h'FF'
;Кінець вибору анодів
;Вибірка катодів
btfsc KATHOD_NUMBER, 0
movfw K_I
btfsc KATHOD_NUMBER, 1
movfw K_II
btfsc KATHOD_NUMBER, 2
movfw K_III
btfsc KATHOD_NUMBER, 3
movfw K_IV
;Перевірка того, що 7-й біт не буде змінено
movwf BUFD
bsf BUFD, 7
btfsc KATHOD_NUMBER, 3
bcf BUFD, 7
movfw BUFD
;Кінець вибірки катодів
call N_OP
btfsc FLAG_SEC, 0
movfw SEC
btfsc FLAG_SEC, 1
movfw TEMPR_I
btfsc FLAG_SEC, 2
movfw TEMPR_I
call S_SEG
movwf BUFF
;Кількість півсекунд перед вимкненням індикаторів
movlw d'15'
xorwf SEC_BACK, w

```

```

btfsc STATUS, Z
movlw h'FF'
btfss STATUS, Z
movfw BUFF
movwf K_I
btfsc FLAG_SEC, 0
movfw SEC_D
btfsc FLAG_SEC, 1
movfw TEMPR_II
btfsc FLAG_SEC, 2
movfw TEMPR_II
call S_SEG
movwf BUFF
;Кількість півсекунд перед вимкненням індикаторів
movlw d'15'
xorwf SEC_BACK, w
btfsc STATUS, Z
movlw h'FF'
btfss STATUS, Z
movfw BUFF
movwf K_II
btfsc FLAG_SEC, 0
movfw MIN
btfsc FLAG_SEC, 1
movfw TEMPR_III
btfsc FLAG_SEC, 2
movfw TEMPR_III
call S_SEG
movwf BUFF
;Кількість півсекунд перед вимкненням індикаторів
movlw d'15'
xorwf SEC_BACK, w
btfsc STATUS, Z
movlw h'FF'
btfss STATUS, Z
movfw BUFF
movwf K_III
btfsc FLAG_SEC, 0
movfw MIN_D
btfsc FLAG_SEC, 1
movfw TEMPR_IV
btfsc FLAG_SEC, 2
movfw TEMPR_IV
call S_SEG
movwf BUFF
;Кількість півсекунд перед вимкненням індикаторів
movlw d'15'
xorwf SEC_BACK, w
btfsc STATUS, Z
movlw h'FF'
btfss STATUS, Z
movfw BUFF

```

```

movwfK_IV
goto Cykl
; *** Кінець основного циклу ***
; *** Підпрограми ***
org 0x300
POWER_ON: ;Затримка 0,5 секунди при вмиканні
clrwdt
nop
nop
nop
nop
decfsz LO, f
goto POWER_ON
decfsz HI, f
goto POWER_ON
return
; *** Базова Підпрограма ЗАТРИМКИ ***
N_OP: nop
nop
nop
return
; *** кінець базової Підпрограми ЗАТРИМКИ * * *
;Процедура дешифрації в 8-ми сегментний код
org 0x400
retlw b'01000000' ;0
retlw b'01111001' ;1
retlw b'00100100' ;2
retlw b'00110000' ;3
retlw b'00011001' ;4
retlw b'00010010' ;5
retlw b'00000010' ;6
retlw b'01111000' ;7
retlw b'00000000' ;8
retlw b'00010000' ;9
retlw b'00011100' ; Grad nop
goto main ;
S_SEG:
movwfBUFF
movlw d'11' ;Кількість символів в наборі
subwf BUFF, w
btfsc STATUS, C
retlw b'00000110'
movfw BUFF
bcf PCLATH, 0;
bcf PCLATH, 1;
bsf PCLATH, 2;
movwfPCL ;
nop
goto main ;
end

```