

Центральноукраїнський національний технічний університет
Факультет будівництва, транспорту та енергетики
Кафедра автоматизації виробничих процесів

«Допущено до захисту»

Зав. кафедри АВП

к.т.н., доцент

_____ Дідик О.К.

« ____ » _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
за другим (магістерським) рівнем вищої освіти

на тему

**«Розробка і дослідження системи автоматичного керування
процесом екстракції при виготовленні олії»**

**«Development and research of an automatic control system for
the extraction process in oil production»**

Виконав здобувач вищої освіти II курсу групи
АК-23 М-2 (1,4)

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

_____ Прочаков М.В.

« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи

к.т.н, професор

_____ Каліч В.М.

« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент

_____ 2024 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ	
1. Призначення та область застосування виробу	
1.1 Сутність процесу екстракції.....	
1.2 Способи екстракції.....	
1.3.Типи сучасних екстракторів	
1.4 Основні задачі поставлені при розробці проекту.....	
2. Огляд існуючих рішень та обґрунтування вибору прийнятого принципу побудови виробу	
2.1. Основи теорії екстракції.....	
2.2 Кінетика екстракції.....	
2.3 Кінетичні рівняння.....	
2.4 Ефективність екстракції.....	
3. Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій	
3.1. Розробка структурної схеми системи.....	
3.2. Вибір та обґрунтування окремих елементів.....	
3.3. Опис принципової схеми системи.....	
4. Розрахунки та експериментальні матеріали, які підтверджують працездатність та надійність виробу	
4.1 Розрахунок ТАУ системи.....	
4.2 Розрахунок фізичних характеристик екстракції.....	
4.3 Розрахунок блока живлення.....	
Висновок.....	
Література.....	
Додаток А. Охорона праці.....	

1.Призначення та область застосування виробу

1.1 Сутність процесу екстракції

Метод пресування не дозволяє досягти абсолютного знежирення матеріалу, оскільки на поверхні макухи неминуче залишаються найдрібніші шари олії. Ці залишки утримуються через вплив значних сил поверхневого натягу, які перешкоджають повному видаленню жирових компонентів із матеріалу.

Сили, які утримують олію у верхніх шарах матеріалу, значно перевищують рівень тисків, які можуть створювати навіть найсучасніші преси. Єдиним ефективним методом для майже повного вилучення олії є екстракція. Цей підхід базується на тому, що сили, які сприяють розчиненню олії, значно перевищують ті, що утримують її в структурі екстрагуємого матеріалу. Завдяки цьому забезпечується максимальне видалення олії з вихідної сировини, що робить метод надзвичайно результативним.

Переваги екстракційного методу можна чітко простежити при аналізі рівня втрат олії під час виробництва на підприємствах, що використовують пресовий або екстракційний спосіб.

Втрати олії при виготовленні рослинної продукції включають кілька складових: олію, що залишається у луззі (лушпайці), яка видаляється з насіння, втрати у макусі після фінального пресування (характерні для пресового методу), або втрати у шроті (для екстракційного способу), а також незначні залишки олії, які не враховуються в основному обліку.

Обсяг неврахованих втрат зумовлений відхиленням між теоретичним показником виходу олії, який визначається на основі аналізів, проведених заводською лабораторією із середньодобових і середненасінневих проб переробленого насіння, та фактичним виходом продукту за реальних умов виробничого процесу. Це розходження може бути спричинене особливостями технологічного обладнання, впливом людського фактора або варіаціями у властивостях сировини.

Втрати олії під час виробництва з використанням лузги (лушпайки) або макухи (шроту) визначаються на основі вмісту олії в цих побічних продуктах (їхньої олійності) та відсоткового виходу цих компонентів. Розрахунок здійснюється у відсотках від загальної маси насіння, що надходить на переробку. Такий підхід дозволяє точно оцінити втрати, враховуючи технологічні особливості процесу та властивості сировини, що використовується у виробництві.

Рівень олійності лузги на заводах пресового та екстракційного типу значно відрізняється. Зазвичай на пресовому заводі цей показник вищий, оскільки технологія пресування вимагає максимально ефективного відділення лузги від ядра. Для цього застосовують жорсткіші режими обрушення насіння, що забезпечує більш ретельний поділ лузги і ядра, але водночас потребує збільшення тривалості процесу механічного впливу. Як результат, обсяги лузги, отриманої на цих двох типах заводів, також відрізнятимуться: на екстракційному підприємстві вихід лузги буде меншим через менш інтенсивні режими обробки, у порівнянні з пресовим заводом.



Рисунок 1.1 – Загальна схема екстракційного процесу

У промисловому виробництві олії з рослинної сировини широко застосовуються такі розчинники, як екстракційний бензин та гексан.

Для ефективного використання в процесі екстракції рослинних олій, розчинники повинні відповідати певним вимогам. Перш за все, вони мають демонструвати високу розчинюючу здатність щодо цільового продукту - олії. Бажано, щоб розчинник не взаємодівав із іншими компонентами олійної сировини, окрім самої олії. Це дозволить уникнути негативного впливу на виробниче обладнання, де відбувається екстракція. Необхідно також, щоб розчинник легко відділявся від отриманої олії та екстрагованого матеріалу в невеликому температурному діапазоні, притаманному хімічно індивідуальним речовинам, і при можливо нижчих температурах. Це важливо для забезпечення безпеки персоналу та зменшення ризиків займистості. Крім того, для застосування у масложировій галузі, розчинник має бути економічно доступним і не вирізнятися високою вартістю.

Для забезпечення високої ефективності процесу екстракції олії за допомогою органічних розчинників необхідно провести ретельну підготовку вихідного екстракційного матеріалу. Ключовою вимогою до такого матеріалу є максимальне порушення клітинних структур, що дозволяє полегшити доступ розчинника до внутрішніх компонентів та сприяє підвищенню виходу олії. Без відповідної підготовки досягнення оптимальних результатів у технологічному процесі є неможливим.

Вплив максимального розкриття клітинної структури на ефективність вилучення олії є беззаперечно важливим для всіх видів олійних культур. У процесі підготовки сировини, яка включає насіння та ядра, до екстракційного етапу, їхні клітини зазнають суттєвого руйнування. Це досягається не лише завдяки подрібненню під час вальцювання, але й за рахунок впливу вологотеплових умов під час смаження, а також тиску та механічних навантажень, що виникають під час форпресування і плющення макухи. Така комплексна обробка забезпечує максимально ефективне підготування матеріалу для подальшого вилучення олії.

Для успішного екстрагування речовин важливо не лише забезпечити розкриття клітинної структури, але й максимально підвищити проникність

частинок для розчинника. Однак ця проникність зазвичай обмежена: у мезги вона зменшується через утворення на поверхні денатурованих кірок внаслідок впливу вологотеплової обробки, а у макухи – через формування вторинних структур під дією значного тиску та високих температур.

Також ключовим фактором для покращення процесу екстракції є форма, діаметр і довжина пор, а також їх взаємодія з навколишнім середовищем. Оптимізація цих параметрів сприятиме підвищенню ефективності виділення цільових речовин.

Ефективність процесу екстракції значно погіршується при підвищеній вологості матеріалу, що підлягає обробці. Зростання вологості спричиняє збільшення олійності шроту, що відбувається пропорційно до збільшення вологості в сировині. Надлишкова вологість не лише знижує рівень змочуваності гідрофобним розчинником, але й обмежує проникність розчинника в матеріал, який може ущільнюватися під час екстракції. З іншого боку, надмірно пересушена сировина під час транспортування до екстракційного відділення утворює велику кількість дрібних часток. Наявність дріб'язку ускладнює процес обробки через ущільнення матеріалу, що перешкоджає проникненню розчинника вглиб його шару. Крім того, значний вміст дрібних фракцій у матеріалі викликає серйозні труднощі в подальшій переробці. Однією з ключових вимог до розміру часток є їхня висока однорідність, що забезпечує ефективність процесу. Водночас спостерігається закономірність: зі збільшенням розміру часток, що надходять на екстракцію, олійність шроту також підвищується.

Екстракція, будучи дифузійним процесом за своєю фізичною природою, здійснюється під впливом різниці концентрацій між фазами. Її рушійною силою є дисбаланс концентрації місцели, що утворюється в результаті взаємодії розчинника та олії. Усередині екстрагуємого матеріалу, де олія відсутня, концентрація місцели становить 100%, тоді як на зовнішній поверхні частинки, де знаходиться чистий розчинник, концентрація олії дорівнює нулю.

Процес екстракції полягає у проникненні розчинника вглиб екстрагуємої частинки, де він взаємодіє з олією, що міститься у її структурі. У результаті цієї

взаємодії формується міцела з підвищеною концентрацією порівняно з тією, що перебуває поза межами частинки. Такий механізм забезпечує поступову дифузію та рівномірне вилучення олії.

Під дією різниці концентрацій олії між міцелою і зовнішнім розчином відбувається її перенесення з внутрішньої частини частки у розчинник. Цей процес триває до тих пір, поки концентрації олії всередині частки та у навколишньому середовищі не стануть рівними, після чого екстракція припиняється. На інтенсивність екстракційного процесу впливають такі фактори, як площа контакту між розчинником і екстрагуємим матеріалом, температура проведення операції, а також розмір молекул розчинника і екстрагуємої речовини. Зі збільшенням площі взаємодії олії з розчинником, підвищенням температури та зменшенням радіусу молекул швидкість екстракції зростає.

У реальних умовах проведення екстракції необхідно враховувати цілу низку додаткових факторів. Зокрема, олія, яка міститься в рослинній сировині, не перебуває у вільному стані, а утримується різноманітними силами, що відрізняються за своєю інтенсивністю.

Перед надходженням форпресової макухи до екстракційного процесу її слід піддати спеціальній обробці для формування необхідної структури. Це дозволяє забезпечити максимально ефективний витяг олії за допомогою органічних розчинників у відповідному обладнанні.

Для багатьох екстракційних систем і типів олійних культур основними структурованими формами є форпресовий пелюсток, крупка або гранули, останні з яких утворюються завдяки використанню пресів-грануляторів.

Щоб отримати крупку, форпресову макуху обробляють у кілька етапів. Спершу виконують грубе дроблення черепашок одразу після їх виходу з преса. Після цього проводять додаткове подрібнення, використовуючи валкові або інші дробарки, що дозволяє досягти необхідної консистенції для подальшої екстракції.

Для отримання пелюстка з крупки її спершу піддають вологотепловій обробці у спеціальних жаровнях, де відбувається зволоження та нагрівання. Цей процес спрямований на надання крупці необхідних пластичних властивостей, які

забезпечують подальше формування пелюстка. Після проходження через жаровні крупка з вологістю 8,5–9,5% та температурою 80–85°C надходить на плющильні вальцівки. На цьому обладнанні формується пелюсток товщиною від 0,25 до 0,50 мм. Такий підхід забезпечує високу якість кінцевого продукту та стабільність параметрів процесу.

1.2 Способи екстракції

У промисловості для отримання рослинних олій застосовуються два основні способи екстракції: технологія настоювання та методика поступового знежирення. Обидва підходи дозволяють ефективно вилучати цінні олії з рослинної сировини, забезпечуючи різні рівні чистоти та виходу кінцевого продукту.

Метод настоювання передбачає заливання олійної сировини, завантаженої в апарат, спеціальним розчинником. Після певного часу утворену місцелю зливають, а залишковий матеріал піддають повторній обробці розчинником. Після зливу другої порції місцели сировина знову обробляється розчинником. Процедура повторюється стільки разів, скільки потрібно для максимально повного вилучення олії. Таким чином, цей метод базується на періодичному циклічному підході. Основними недоліками такого способу є значна тривалість усього процесу екстракції, а також низька концентрація отримуваної місцели на виході.

Метод послідовного знежирення передбачає безперервний процес екстрагування за принципом протитоку. У цьому випадку чистий розчинник контактує з максимально знежиреним матеріалом, тоді як насичена місцела спрямовується до свіжозавантаженої сировини. Використання такого підходу дозволяє значно скоротити час екстракції, забезпечує отримання більш концентрованої місцели та зменшує витрати розчинника. Цей метод широко застосовується у батарейних установках як періодичної, так і безперервної дії, що робить його універсальним для різних виробничих процесів.

Процес екстракції олій в апаратах періодичної дії, зокрема в батарейних установках, має низку суттєвих недоліків. До основних із них можна віднести:

а) відсутність безперервного переміщення матеріалу в системі, що ускладнює процес, а також значні витрати часу та зусиль на завантаження сировини в екстрактор і вивантаження шроту після завершення обробки;

б) необхідність використання значного обсягу розчинника, що підвищує витрати і призводить до його суттєвих втрат у ході технологічного процесу;

в) значну металоємність обладнання, що ускладнює конструкцію, а також високий рівень споживання електроенергії, який збільшує експлуатаційні витрати.

Використання методу послідовного знежирення в апаратах безперервної дії забезпечує такі переваги:

а) дозволяє реалізувати принцип протитечії та застосувати метод поетапного знежирення сировини без необхідності використання кількох апаратів;

б) скорочує час, необхідний для завершення екстракційного процесу, порівняно з методом періодичної екстракції;

в) гарантує безпеку експлуатації обладнання за рахунок впровадження систем автоблокування для ключових механізмів і машин, таких як завантажувальні транспортери, екстрактори, випарники розчинників зі шроту, а також транспортери для шроту;

г) сприяє повній механізації операцій у виробничому процесі олієекстракційного заводу та впровадженню автоматизації більшості з них;

д) значно знижує потребу в обіговому розчиннику, що використовується у виробничому циклі, підвищуючи економічність і екологічну безпеку технології.

Сьогодні в Україні, як і в багатьох інших країнах, експлуатація існуючих та будівництво нових олієекстракційних заводів здійснюється переважно за безперервними технологічними схемами. Водночас на окремих підприємствах, особливо невеликих, досі використовуються окремі батарейні екстракційні установки з періодичним принципом дії. Такі установки застосовуються

переважно для виконання спеціалізованих завдань, що потребують індивідуального підходу до технологічного процесу.

1.2.1.Способи безупинної екстракції

Процес безперервної екстракції олії за допомогою розчинника здійснюється здебільшого трьома основними методами:

1. Метод занурення: екстрагуємий матеріал рухається протитоком до потоку розчинника, забезпечуючи ефективний обмін речовинами.

2. Метод зрошення: матеріал обробляється шляхом поступового змочування розчинником, який рухається протитоком до транспортера, що переміщує екстрагуємий продукт.

3. Комбінований метод: спочатку свіжа сировина проходить етап замочування у концентрованій місцелі для попереднього змочування, після чого завершує процес на конвеєрі екстрактора. На цьому етапі відбувається остаточне знежирення за допомогою послідовного промивання місцелю та чистим розчинником.

Під час екстракції методом занурення відбувається безперервне вилучення олії з олійного матеріалу завдяки його поступовому проходженню через потік розчинника (як чистого, так і у вигляді місцели) в умовах абсолютного противотоку. Це означає, що розчинник і матеріал постійно рухаються один щодо одного в протилежних напрямках. У процесі такого контакту спостерігається поступове зменшення концентрації місцели, яка циркулює в апараті та поглинається олійним матеріалом. Такий режим забезпечує рівномірність і ефективність вилучення олії. Ключовим фактором у цьому процесі є довжина шляху, на якому взаємодіють розчинник і екстрагуємий матеріал, а також їх кількісне співвідношення. Це особливо важливо для забезпечення оптимального часу екстракції та досягнення бажаної жирності шроту. У безступінчастому процесі, властивому методу занурення, частина концентрованої місцели, рухаючись протитечією, потрапляє у наступний перетин екстрактора, де

витісняється потоком місцели з нижчою концентрацією. Така організація процесу сприяє максимальному вилученню олії при мінімальних втратах розчинника.

Метод екстракції шляхом занурення має як переваги, так і недоліки. До позитивних аспектів можна віднести простоту конструкції екстракційного обладнання, компактність апаратів, що займають мінімальну площу, та високий рівень ефективного використання їхнього геометричного об'єму (до 98%). Така конструкція зменшує ризик утворення вибухонебезпечних сумішей повітря і розчинника. Серед недоліків слід зазначити низькі концентрації кінцевих розчинів, що обумовлено необхідністю підтримання градієнта концентрації, а також сильне руйнування структури екстрагованого матеріалу. Крім того, цей метод може викликати помутніння кінцевих розчинів, що ускладнює процес фільтрації. Ще одним недоліком є великі розміри екстракторів, обумовлені потребою забезпечення тривалої зони контакту між розчинником і матеріалом. Також можливе спливання екстрагованого матеріалу в тих випадках, коли його густина є меншою за густину кінцевого розчину, що створює додаткові труднощі в роботі апарата.

Під час екстракції методом ступінчастого зрошення процес вилучення олії відбувається в умовах відносного протитоку, оскільки постійний рух здійснює лише розчинник. У той же час екстрагований матеріал залишається нерухомим протягом усього циклу, перебуваючи в одній і тій самій ємності (наприклад, ковші, камери) або на конвеєрній стрічці. Якщо в якості робочих елементів застосовуються рамки чи шкребки, можливе часткове перемішування матеріалу, що може впливати на рівномірність екстракційного процесу.

В екстракторах, що функціонують за цим методом, концентрація місцели на поверхні частинок змінюється різко, переходячи від однієї ступені до іншої, тоді як усередині частинок цей процес відбувається поступово, відповідно до кінетичних закономірностей екстракції.

Кількість ступенів у процесі екстракції зрошенням може варіюватися у широких межах (від 2 до 8). Вибір їхньої кількості залежить від заданого рівня вмісту олії в екстрагуємому матеріалі, концентрації кінцевої місцели, а також

олійності шроту. Ефективність вилучення олії при застосуванні методу екстракції зрошенням визначається як точністю розподілу між ступенями, так і рівнем стікання місцели на кожному етапі процесу.

Метод екстракції олії шляхом зрошення має низку переваг у порівнянні з методом занурення. Серед основних переваг можна виділити:

а) можливість отримання місцел із більш високою концентрацією, що забезпечує зменшення співвідношення між кількістю розчинника та екстрагуємого матеріалу;

б) отримання чистої місцели завдяки процесу самофільтрації через шар екстрагуємого матеріалу.

Проте цей метод має і певні недоліки. До них відноситься низький коефіцієнт використання об'єму апарата, який не перевищує 45%. Також існує ризик утворення вибухонебезпечних концентрацій повітря та розчинника всередині обладнання. Крім того, метод зрошення вимагає складнішої конструкції циркуляційної системи розчинника, яка включає до дев'яти насосів, що ускладнює кінематичну схему привода в апараті.

У змішаному методі екстракції процес виділення олії проходить у два етапи. На першому етапі, який називають стадією занурення, екстракційний матеріал ретельно змочують і перемішують у прямоточному розчиннику, що знаходиться в русі. Це сприяє швидкому переходу олії в місцелу, яка утворюється як на внутрішніх, так і на зовнішніх поверхнях екстрагованих частинок. Другий етап, відомий як стадія зрошення, передбачає завершальне видалення жиру за допомогою багатоступеневого промивання олійного матеріалу місцелою та чистим розчинником. Цей процес відбувається в умовах вільного стікання або за використанням примусового відсмоктування проміжних місцел, що забезпечує максимальне очищення матеріалу.

Поєднання двох методів екстракції — занурення та зрошення — в межах однієї екстракційної установки відкриває можливість одночасно використовувати переваги кожного з них, мінімізуючи недоліки, характерні для окремого застосування цих способів. Завдяки цьому апарати, що працюють за

комбінованим підходом, вирізняються низьким обсягом розчинника, який циркулює в системі, а також забезпечують високі концентрації місцел. Додатковою перевагою є значна чистота отриманих продуктів завдяки ефективному використанню явища самофільтрації, що позитивно впливає на якість кінцевих результатів процесу.

1.3. Типи сучасних екстракторів

Сучасні промислові конструкції екстракторів безперервної дії можна поділити на два основні типи: перші працюють за принципом занурення олійної сировини в розчинник, а другі реалізують багатоступеневе зрошення екстрагованого матеріалу. У багатьох випадках перед проведенням зрошення сировину попередньо замочують у концентрованому розчині, що переміщується прямоточним способом. Такий підхід забезпечує більш ефективний процес екстракції завдяки підвищенню контакту між сировиною та розчинником, що сприяє поліпшенню якості кінцевого продукту.

1.3.1. Екстрактори, що працюють по способу занурення

Цей вид екстракторів представлений у двох різновидах конструкцій: вертикальні шнекові моделі та баштові варіанти.

Вертикальні шнекові екстрактори

В Україні широко застосовуються вертикальні шнекові екстрактори, які представлені двома основними моделями: стандартний екстрактор НД-1250 та його вдосконалена версія.

Функціонування вертикальних шнекових екстракторів забезпечує ефективний процес виділення компонентів, завдяки оптимальній конструкції та механізму роботи.

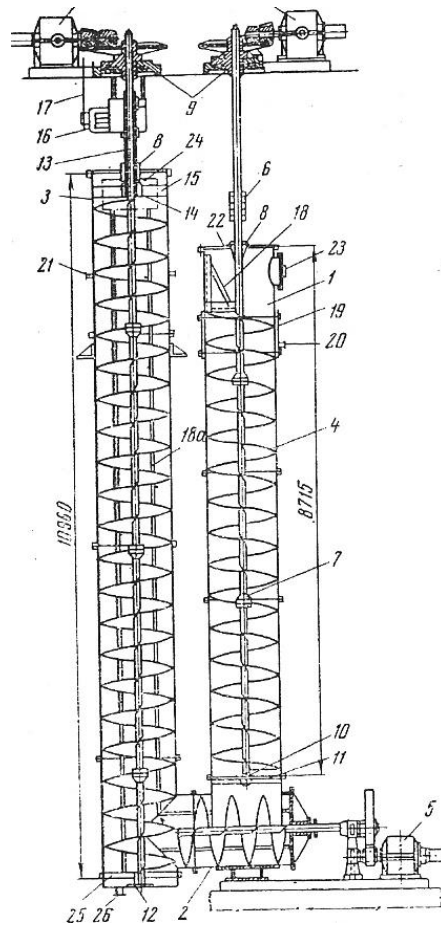


Рисунок 1.2. – Серійний екстрактор НД – 1250

Екстрагований матеріал, що подається у завантажувальну колону, за допомогою витків шнека спрямовується вниз до горизонтального шнеку. Планки, розташовані на внутрішній стороні корпусу цього шнека, запобігають обертанню матеріалу, забезпечуючи його поступове переміщення до вертикального шнека екстракційної колони. У процесі обертання шнека, завдяки гальмуючим планкам, закріпленим на внутрішніх стінках корпусу, матеріал поступово піднімається до вивантажувального отвору. Там шрот за допомогою мішалки спрямовується в жолоб, який слугує з'єднувальною ланкою між екстрактором і шнековим випарником, забезпечуючи ефективне транспортування продукту.

Розчинник, який подається насосом у екстракційну колону через чотири форсунки, рухається протитечію до екстрагованого матеріалу вздовж усієї довжини апарата. У процесі цього руху він вилучає олію, що міститься в сировині, і утворює місцелу. Далі місцела виходить з екстрактора через

цідильники або декантатор, де відбувається часткове очищення від зважених частинок шроту. Така схема забезпечує ефективний процес екстрагування та підготовки кінцевого продукту для подальшої обробки.

Щоб уникнути скручування шнекових валів екстрактора або в разі перевантаження чи блокування шнекових витків сторонніми предметами, кожен із трьох редукторів приводної системи екстрактора оснащений автоматичними сигнальними контактними пристроями. Принцип їхньої роботи полягає в наступному: кінець валу ведучої шестірні редуктора з'єднується з валом веденої шестірні за допомогою дискової муфти. Сила зчеплення між дисками муфти регулюється спіральною пружиною, яка затискається відповідно до встановленого рівня навантаження. При перевищенні допустимого навантаження шнеками диски муфти розчіплюються, внаслідок чого один із дисків приводить у рух важіль, який взаємодіє з контактами електричної мережі. Це замикання контактів активує звуковий сигнал і загоряється сигнальна лампочка на пульті управління, вказуючи на перевантаження шнека. Коли навантаження повертається до нормального рівня, диски муфти знову з'єднуються, контакт розмикається, лампочка гасне, а сирена перестає працювати. Такий механізм забезпечує надійний контроль за станом шнеків і запобігає можливим пошкодженням обладнання.

Баштові екстрактори

Баштові екстрактори Ольє, які використовуються на території України під марками Ольє-200 та Ольє-75, мають ідентичну конструкцію. Екстракційна система моделі Ольє-200 включає в себе два екстрактори, що характеризуються однаковими технічними параметрами та габаритами. Незважаючи на різницю в назвах, їх конструктивні особливості залишаються уніфікованими, що спрощує експлуатацію та технічне обслуговування обладнання.

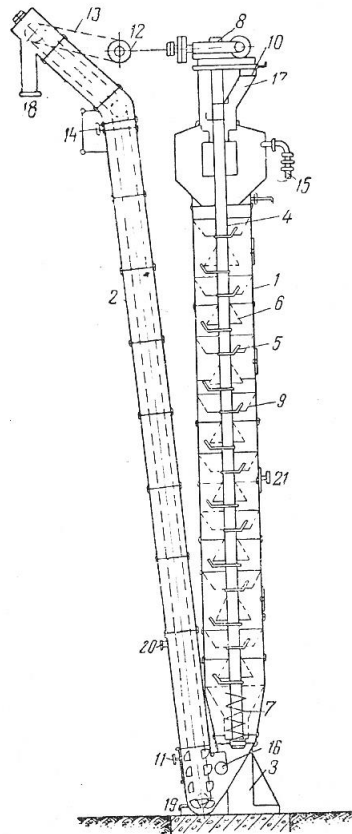


Рисунок 1.3 Екстрактор Ольс

Принцип дії

Матеріал, що потрапляє в екстрактор, спочатку проходить через самопливну трубу, яка з'єднує його з завантажувальною камерою. У нормальному режимі роботи ця труба заповнена матеріалом повністю, забезпечуючи безперервність процесу. Якщо ж самопливна труба спорожнюється, фотоелемент вловлює світловий сигнал, що сигналізує про дефіцит матеріалу в системі. Невелика частина матеріалу, яку не встигає прийняти екстрактор, автоматично скидається до резервного бункера, розташованого поруч. Цей бункер є складовою частиною екстракційної установки типу Ольс. Після завантажувальної камери матеріал рухається вниз через екстракційну колону, поступово переміщуючись по системі конусів і лійок. У процесі цього переміщення матеріал розпушується мішалками, що сприяє його рівномірному розподілу. У нижній частині колони частково знежирений матеріал переміщується за допомогою регульовального шнека до основи норії, звідки ковшами транспортується до верхнього рівня, де вивантажується через жолоб для

шроту. Розчинник, рухаючись протитечією до екстрагованого матеріалу, надходить у верхню частину норії і залишає систему через верхню частину завантажувального бункера. Кінцева місцела, проходячи через шар матеріалу, піддається частковій самофільтрації, що значно знижує навантаження на основні фільтри місцели, полегшуючи їх роботу та підвищуючи ефективність усього процесу.

Баштовий екстрактор розроблений для проведення процесу екстракції, основним об'єктом якої є макуха, попередньо підготовлена у формі крупки. Такий підхід забезпечує ефективне вилучення цінних компонентів із сировини, оптимізуючи процес переробки та підвищуючи якість кінцевого продукту.

1.3.2. Екстрактори, що працюють по способу багатоступінчастого зрошення

У таких екстракторах процес вилучення олії зазвичай здійснюється протivotочно з використанням рециркуляції місцели. У процесі рециркуляції місцела подається на кожен етап екстракції, при цьому вона відкачується зі спеціального збірника, розташованого безпосередньо під відповідною ступінню. Різниця концентрацій місцели між ступенями забезпечується шляхом її переливу зі збірника з нижчою концентрацією до резервуара з вищою концентрацією. Багатоступінчасті екстрактори зрошувального типу забезпечують одержання місцели із концентрацією в межах 20–35%, її самофільтрацію крізь шар матеріалу, що підлягає екстрагуванню, а також характеризуються значною висотою цього шару.

У багатоступеневій екстракції першим ступенем вважається той, на який подається свіжий вихідний матеріал. Серед багатоступеневих екстракторів, що функціонують за принципом зрошення, сьогодні найпоширенішими є стрічкові екстрактори, зокрема моделі МЕЗ вітчизняного виробництва, а також обладнання від компаній «Де-Смет» і «Лурги». Також активно використовуються ковшові та корзинкові екстрактори, розроблені такими фірмами, як «Френч», «Джанацца»,

«Окрим» і «Андерсон», а також ротаційно-камерні системи від «Френч», «Спейшим», «Блаункс» і «Мерц». Крім того, популярністю користуються екстрактори, що поєднують фільтрацію та екстракцію в одному технологічному процесі.

Стрічкові екстрактори

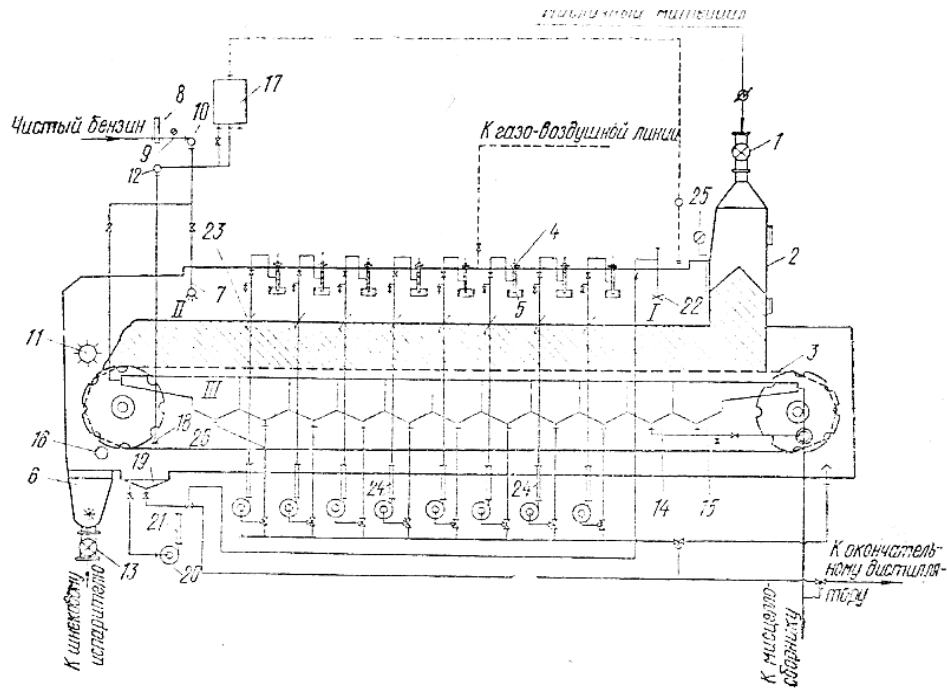


Рисунок 1.4 Стрічковий екстрактор МЕЗ

Особливості конструкції екстракторів цього типу полягають у застосуванні лише верхньої частини стрічкового транспортера, де екстрагований матеріал залишається нерухомим шаром на поверхні стрічки. Характерною ознакою є також відсутність чіткого поділу на окремі ступені під час рециркуляції місцел, що впливає на ефективність роботи. Крім того, коефіцієнт використання конструктивного об'єму для виконання основних операцій є порівняно низьким і становить приблизно 25%. Ці аспекти зумовлюють певні обмеження у функціональності та продуктивності обладнання, що потребує врахування під час його проектування або модернізації.

У подібних апаратах вилучення олії зазвичай здійснюється методом протитоку з рециркуляцією місцели в умовах відносного руху розчинника. Це означає, що в процесі переміщається переважно лише розчинник, тоді як сировина залишається нерухомою, розташовуючись на стрічці, у ковшах, секціях

ротора, кошиках або інших функціональних елементах обладнання. Такий підхід дозволяє забезпечити ефективний контакт між матеріалом і розчинником, що сприяє максимальному вилученню олії.

У подібних апаратах вилучення олії зазвичай здійснюється методом протитоку з рециркуляцією місцели в умовах відносного руху розчинника. Це означає, що в процесі переміщається переважно лише розчинник, тоді як сировина залишається нерухомою, розташовуючись на стрічці, у ковшах, секціях ротора, кошиках або інших функціональних елементах обладнання. Такий підхід дозволяє забезпечити ефективний контакт між матеріалом і розчинником, що сприяє максимальному вилученню олії.

Екстрактор являє собою конструкцію зі зварного корпусу, який складається з поздовжніх, поперечних і вертикальних балок підвищеної жорсткості, встановлених на спеціальні опорні елементи. Внутрішня частина обладнання оснащена горизонтальним сітчастим стрічковим конвеєром, що виконує основну робочу функцію пристрою. Стрічка, виконана у вигляді нескінченних ланцюгів, кріпиться на дві пари зірочок — ведучих і ведених, що забезпечують її натяг та безперервний рух під час експлуатації.

Привод ведучих зірочок функціонує за рахунок електродвигуна, з'єднаного через варіатор, редуктор, ланцюгову передачу та храповий механізм. Завдяки варіатору частоту обертання ведучої зірочки можна регулювати в широких межах, що дозволяє змінювати швидкість переміщення стрічки відповідно до вимог роботи. Переміщення стрічки має переривчастий характер, оскільки кінематична схема привода включає храповий механізм, який забезпечує цей режим роботи. Така конструкція забезпечує гнучкість у налаштуванні параметрів руху стрічки для різних умов експлуатації.

У верхній частині корпусу екстрактора розміщений завантажувальний бункер, оснащений шлюзовим затвором. Бункер обладнаний датчиками для контролю верхнього та нижнього рівнів матеріалу, що забезпечує автоматичну підтримку необхідного шару сировини всередині. Така конструкція утворює герметичний бар'єр, який запобігає виходу парів розчинника у навколишнє

середовище. У нижній зоні завантажувального бункера встановлено вертикальний регулювальний шибер, за допомогою якого на стрічці екстрактора формується шар матеріалу заданої висоти в межах від 0,8 до 1,4 метра, що гарантує стабільність процесу екстракції.

Верхній шар сировини розпушується спеціальними грабельними механізмами, які забезпечують покращення проникності шару та формують валки матеріалу. Ці валки слугують для чіткого розмежування зон зрошення, запобігаючи змішуванню місцел із різною концентрацією на поверхні екстрагованої сировини. Такий підхід сприяє рівномірному розподілу розчинника та підвищує ефективність процесу екстракції.

Над шаром матеріалу встановлено два ряди форсунок-зрошувачів 9, оснащених регулювальною арматурою, які забезпечують рівномірне розподілення рециркульованої місцели по всій ширині стрічки екстрактора. Під верхньою частиною стрічки розташовані вісім місцелозбірників, кількість яких відповідає числу ступенів екстракції.

Крім того, передбачено окремий збірник для приймання першої слабкої промивної місцели, а також резервуар для зберігання фільтрованої промивної місцели разом із місцелюю, що надходить із основного збірника. Така конструкція сприяє оптимізації процесу екстракції та підвищенню ефективності роботи обладнання.

Кожен із восьми місцелозбірників забезпечує подачу місцели до відповідної секції одного з блоків відцентрових насосів, які використовуються для рециркуляції рідини та подачі її через форсунки-зрошувачі. Конструкція кожного блоку насоса включає чотири секції, що працюють на спільному валу, з'єднаному з електродвигуном. У перегородках, що розділяють місцелозбірники, передбачені спеціальні переливні отвори, які розташовані так, щоб забезпечити послідовне каскадне переливання надлишку місцели з одного збірника до іншого. Така система сприяє рівномірному розподілу рідини та стабільній роботі насосів.

Перед виходом із екстрактора кінцева місцела накопичується у спеціальному резервуарі для збору. Для очищення стрічки екстрактора

використовується чиста концентрована місцела, яка подається через систему перфорованих труб. Промивна рідина, після контакту зі стрічкою, стікає у збірники, розташовані безпосередньо під нижньою частиною полотна стрічки. Такий підхід забезпечує ефективне промивання і оптимізує процес збору відпрацьованої місцели.

Матеріал, що підлягає екстракції, після проходження електромагнітного пристрою транспортується через шлюзовий затвор до завантажувального бункера. Звідти він поступово захоплюється стрічковим конвеєром і починає свій рух. У процесі транспортування матеріал спершу зрошується концентрованою місцелою, а далі — рідиною з поступово зменшуваною концентрацією. Така послідовність обробки забезпечує ефективність процесу екстракції.

Перед завантаженням у розвантажувальний бункер матеріал обробляється чистим розчинником, який подається через систему перфорованих труб із форсунками для рівномірного зрошення. Після цього матеріал переміщується в зону, призначену для стікання надлишків розчинника, яка має довжину близько 2 метрів.

Після видалення жирових залишків матеріал піддається розпушуванню за допомогою роторного розрихлювача, а потім скидається зі стрічки в бункер. Звідти двосторонній лопатевий шнек транспортує його через шлюзові затвори у вигляді двох потоків до наступних етапів обробки — у шнекові або чані випарники

Рециркуляція місцели, яку подають насоси до екстрактора, супроводжується її підігрівом у спеціальних теплообмінниках, що забезпечує ефективність подальших технологічних процесів.

Промивна місцела після очищення стрічки зі збірників спрямовується на хитний зрошувач, звідки вона подається для зволоження свіжого матеріалу на першому етапі екстракції. У цьому процесі забруднена рідина самофільтрується, проходячи через шар матеріалу, додатково збагачується олією та збирається у спеціальному збірнику. До цього ж збірника перетікає й концентрована місцела з іншого резервуара. Відведення кінцевої місцели з екстрактора зазвичай

здійснюється через місцелозбірники або шляхом самопливу до місцелопромивачів, забезпечуючи подальшу ефективну переробку.

З метою підвищення зручності обслуговування корпус екстрактора оснащений оглядовими вікнами зі спеціальним підсвічуванням, які розташовані у ключових місцях. Це дає можливість оператору контролювати процес зрошення матеріалу, оцінювати стан його верхнього шару, а також спостерігати за функціонуванням стрічкового транспортера, розвантажувального бункера та інших важливих компонентів. Робота екстрактора здійснюється при незначному розрідженні (в межах 10–30 Па), що дозволяє запобігти витoku парів розчинника за межі системи, забезпечуючи безпечну та екологічно чисту експлуатацію обладнання.

1.4 Основні задачі поставлені при розробці роботи

У попередні роки темпи модернізації виробничо-технічної бази масложирової промисловості залишалися порівняно низькими. Це стало причиною певного відставання рівня автоматизації у цій галузі від досягнень, які спостерігаються в інших сферах, таких як хімічна промисловість, металургія тощо. Однак, попри ці труднощі, на сьогоднішній день в автоматизації технологічних процесів олієекстракційного виробництва, особливо на базовому рівні, досягнуто значних успіхів. Впроваджено чимало автоматизованих систем регулювання для технологічних операцій, які базуються на серійних або спеціально розроблених засобах автоматизації. Крім того, ведеться активна розробка нових приладів і обладнання, адаптованих до унікальних умов експлуатації, характерних для виробництва олії та жирів.

Розроблено автоматизовані системи для стабілізації ключових технологічних параметрів, які включають локальні системи регулювання, схеми захисту, сигналізацію, а також дистанційне автоматизоване управління (ДАУ) для елеваторів насіння та шроту.

Накопичений практичний досвід у цій сфері забезпечує можливість ефективного проектування сучасних систем автоматизації для олієекстракційного виробництва. Це стосується як новозбудованих підприємств, так і тих, що проходять процес модернізації. Такий підхід сприяє підвищенню технологічної ефективності галузі та її відповідності сучасним стандартам.

До цього часу основним підходом до автоматизації технологічних процесів у сфері олієекстракційного виробництва було впровадження локальних автоматизованих систем для контролю ключових технологічних параметрів. Однак їх функціонування обов'язково передбачало участь оператора, який мав виконувати налаштування регуляторів окремих систем стабілізації, враховуючи поточний стан об'єкта управління, властивості вихідної сировини та інші впливаючі фактори. Оператор також відповідав за запуск і зупинку механізмів, а також за дії в умовах аварійних ситуацій. Таким чином, ефективність таких систем значною мірою залежала від професійного досвіду, навичок і кваліфікації персоналу. Однак залежність систем від людського чинника і обмеженість роботи на базі окремих параметрів вказали на необхідність подальшого вдосконалення. Це спричинило потребу у створенні більш розвинених автоматизованих систем регулювання (АСР), здатних забезпечувати вищу точність, надійність та автономність управління процесами в олієекстракційному виробництві.

Серед таких систем можна виділити автоматизовані комплекси оптимізації, самоналаштовувані системи, здатні виконувати окремі функції, притаманні людині-оператору, а також автоматизовані системи управління (АСУ).

Перехід від локальних систем стабілізації до впровадження механізмів оптимізації технологічних процесів висуває особливі вимоги до точності вимірювань. Висока похибка у вимірювальних даних може повністю нівелювати переваги, що їх забезпечує оптимізація, ускладнюючи досягнення бажаних результатів та знижуючи ефективність автоматизованих рішень.

Більшість практичних задач оптимізації мають значний рівень складності, що вимагає інтеграції електронної обчислювальної машини (ЕОМ) у контур

регулювання для реалізації автоматизованої оптимізації технологічних процесів. ЕОМ виконує розрахунок оптимального значення критерію на основі аналізу отриманих параметрів технологічного процесу. Крім цього, вона визначає оптимальні керуючі впливи, які сприяють покращенню ефективності та досягненню бажаних результатів у процесі автоматизації. Це дозволяє створити більш точну й адаптивну систему управління технологічними процесами.

Подальший прогрес у сфері автоматизації технологічних процесів, які застосовуються в олієекстракційному виробництві, значною мірою залежить від модернізації матеріально-технічної бази. Це включає вдосконалення існуючих технологій, оновлення апаратного забезпечення та розробку більш ефективних засобів автоматизації.

У межах даного дослідження акцент зроблено на вивченні можливостей підвищення ефективності роботи олієекстракційного комплексу шляхом впровадження сучасних інженерних рішень, що забезпечать зростання продуктивності, зменшення витрат та покращення якості кінцевого продукту

2. Огляд існуючих рішень та обґрунтування вибору прийнятого принципу побудови виробу

2.1. Основи теорії екстракції

Процес вилучення олії слід аналізувати як з точки зору статичних характеристик, так і з урахуванням кінетичних аспектів. Такий підхід дозволяє комплексно оцінити всі фактори, що впливають на ефективність і швидкість екстракції, а також оптимізувати умови для досягнення найкращих результатів.

Статика екстракційного процесу охоплює аналіз локалізації олії у матеріалі, що піддається екстракції, а також дослідження рівноважного стану системи, що складається з бензину (місцели) та макухи (сирої м'ятки). У свою чергу, кінетичні аспекти екстракції стосуються оцінки швидкості протікання цього процесу.

Для більш глибокого розуміння статики екстракції спочатку слід розібратися з питанням розташування олії в матеріалі, що екстрагується. При цьому важливо врахувати, який саме тип сировини використовується: сиру м'ятку чи форпресову черепашку. Характеристики цих матеріалів можуть суттєво впливати на ефективність екстракції та особливості взаємодії компонентів у системі.

Згідно з сучасними уявленнями, олія у насінні розташована в ультрамікроскопічних каналах, які пронизують весь внутрішній вміст клітини, відомий як елеоплазма. Під час обробки насіння у вальцовому верстаті клітинна структура, що утримує олію, руйнується. Унаслідок тиску, створеного валками, олія вивільняється з клітинної матриці. Такий процес забезпечує ефективне вилучення олії та підготовку сировини для подальшої обробки.

Унаслідок збільшення площі поверхні м'ятки, виділена олія рівномірно розподіляється тонким шаром на новоутвореній поверхні та утримується завдяки поверхневим силам. Однак при обробці ядра між валками вальців не вдається повністю зруйнувати клітинну структуру, що призводить до того, що частина

клітин залишається неушкодженою, а олія в них зберігається всередині. Таким чином, вважається, що в сирій м'ятці, яка надходить на процес екстракції, олія представлена як у вільному стані, так і у формі, замкненій у неушкоджених клітинах.

У разі екстракції форпресованої черепашки спостерігаються певні зміни в характеристиці процесу. Вміст поверхневої олії в крупці чи пелюстках, які надходять на стадію екстракції, є мінімальним. Основна частина олії знаходиться у вигляді капілярної олії, що зберігається всередині незруйнованих клітин. При цьому жодних специфічних форм зв'язку олії у вторинних структурах черепашки виявлено не було, що свідчить про загальну однорідність розподілу олії в сировині.

Цілком зрозуміло, що швидкість екстрагування олії залежить від форми її зв'язку з матеріалом. Найшвидше вилучається олія, яка перебуває у вільному (поверхневому) стані, оскільки її доступність для розчинника є максимальною. Інші форми зв'язку можуть значно сповільнювати процес екстракції, впливаючи на загальну ефективність вилучення.

Капілярна олія також належить до поверхневих олій і локалізується у тріщинах, а також у капілярах елеоплазми пошкоджених клітин. Її екстракція відбувається значно повільніше порівняно з вилученням вільної олії. Знижена швидкість вилучення капілярної олії зумовлена більшою інтенсивністю дії молекулярних сил у капілярних каналах, а також утрудненим проникненням бензину в ці структури.

Що стосується олії, яка міститься в непошкоджених клітинах, її екстракція відбувається найповільніше. Це пояснюється високим дифузійним опором клітинної оболонки, через яку бензину необхідно спочатку проникнути всередину клітини. Крім того, після утворення міцелли, вона має дифундувати назовні, що ще більше ускладнює процес екстрагування.

Розглянемо другий аспект статички екстракційного процесу, а саме проблему рівноваги в системі бензин – макуха. Дослідження показали, що існує чіткий взаємозв'язок між рівноважною концентрацією мисцели та вмістом олії у

шроті соняшникового пелюстка. Ця залежність має певний характер, який можна математично описати наступним рівнянням. Даний вираз дозволяє моделювати поведінку системи і прогнозувати ефективність процесу екстракції за різних умов.

$$C_{ш} = (0,4 - 0,066\Gamma)C_{мшц}$$

де $C_{ш}$ - концентрація олії в шроті, %; $C_{мшц}$ - концентрація олії в мисцелі, %; Γ - гідромодуль.

Варто підкреслити, що на рівноважну олійність шроту значно впливає параметр, відомий як гідромодуль. Цей показник визначається співвідношенням маси розчинника до маси екстрагуємого матеріалу, тобто кількістю розчинника, що використовується на 1 кг сировини. У промислових екстракторах гідромодуль зазвичай знаходиться в межах від 0,7 до 2,0. Примітно, що рівноважний вміст олії у шроті залишається стабільним незалежно від температурного режиму. Зміна температури зазвичай викликає зсув рівноваги в системі через зміну розчинності екстрагуємої речовини, проте це не впливає на кінцевий рівень олійності шроту.

У процесі екстрагування олії за допомогою бензину утворюється система, компоненти якої здатні змішуватися між собою за будь-якої температури та в будь-яких пропорціях. Тому зміна температури в системі бензин – макуха не спричиняє зміщення стану рівноваги. Рівноважна діаграма, що описує розподіл між розчинником і макухою, слугує основою для визначення оптимального типу екстрактора та найбільш ефективного режиму його функціонування, що забезпечує максимальну продуктивність процесу.

Крива рівноваги дозволяє визначити кількість стадій зміни концентрацій у різних типах екстракторів за будь-якого режиму їх роботи. Кожна стадія відповідає певній конструктивній довжині обладнання, яка є еквівалентною довжині однієї стадії. Таким чином, зі збільшенням кількості стадій концентрації в екстракторі зменшується еквівалентна довжина кожної з них, що сприяє прискоренню процесу масообміну в установці. Це дає можливість оптимізувати роботу екстрактора, забезпечуючи ефективніше використання його робочого об'єму.

Еквівалентна довжина ступені залежить не лише від конструктивних особливостей екстрактора, але й від параметрів його роботи. Вона водночас є характеристикою робочого режиму пристрою, що відображає ефективність процесу.

Аналіз статистики екстракційного процесу дозволяє здійснити матеріальний розрахунок обладнання. Це забезпечує можливість визначити необхідну кількість бензину для подачі в систему або ж оцінити концентрацію місцели, яка утворюється в екстракторі за умов заданої витрати бензину.

Крім того, тривалість екстракції, необхідна для досягнення бажаного рівня олійності шроту, може бути розрахована на основі кінетичних характеристик процесу. Такий підхід сприяє оптимізації тривалості операцій та забезпеченню необхідних параметрів продукції.

2.2 Кінетика екстракції

Аналіз змін вмісту олії чи концентрації місцели під час екстракційного процесу належить до вивчення кінетики цього явища у широкому розумінні. Такий підхід дає змогу отримати більш чітке уявлення про міцність зв'язків олії з матеріалом, який використовується для екстракції, а також дозволяє виявити специфічні особливості механізму цього процесу. Подібний аналіз стає особливо актуальним під час вивчення кривих екстракції. Однак, для повноцінного дослідження кінетичних закономірностей екстракції цього підходу недостатньо, оскільки кінетика у точному розумінні передбачає вивчення динаміки швидкості перенесення речовини (олії) залежно від часу або залишкового вмісту олії в матеріалі, а не просто змін олійності шроту у часі. Тому необхідно дати чітке та науково обґрунтоване визначення поняттю "швидкість екстракції", яке є одним із ключових аспектів кінетики екстракційного процесу.

Оскільки екстракція поєднує процеси молекулярної та конвективної дифузії, швидкість екстракції можна визначити як обсяг речовини (наприклад, олії), що проходить через одиницю площі (або виділяється з одиниці маси

сировини) за одну годину. Інакше кажучи, термін "швидкість екстракції" є синонімічним до поняття "дифузійний потік". Це визначення дає змогу точніше оцінити ефективність процесу та вплив різних факторів на масоперенос.

Уявлення про числове значення швидкості екстракції можна отримати таким чином.

Обсяг олії, що відповідає певній масі сухого знежиреного матеріалу на конкретний момент часу, ймовірно, буде рівним

$$G^> = MG_c \quad (2.1)$$

де M - масляність матеріалу на суху знежирену речовину; G_c - вага сухої знежиреної речовини.

Обсяг олії, який можна видобути з однакової маси матеріалу (з його сухої знежиреної частини) за той самий проміжок часу, визначається за формулою

$$G = G_0 - G^> = G_0 - MG_c \quad (2.2)$$

де G_0 - кількість олії, що приходить на визначену масу сухого знежиреного матеріалу на початку екстракції ($\tau = 0$).

Продиференціюємо рівняння (2) за часом. Тому що $\frac{dG_0}{d\tau} = 0$, одержимо

$$\frac{dG}{d\tau} = -G_c \frac{dM}{d\tau} \quad (2.3)$$

Прийнявши $G_c = 1$, остаточно будемо мати

$$\frac{dG}{d\tau} = -\frac{dM}{d\tau} \quad (2.4)$$

Швидкість екстракції є числово рівною швидкості зміни вмісту олії в матеріалі, при цьому її знак є протилежним. Розмірність цієї швидкості залежить від одиниць вимірювання олійності: наприклад, якщо олійність виражена як частка одиниці, то швидкість екстракції має відповідні одиниці, або якщо олійність виражена у відсотках, то розмірність швидкості буде іншою, відповідно до цього вимірювання. Це дозволяє точніше визначати процес екстракції в залежності від обраної шкали вимірювання олійності.

Для правильних висновків необхідно спиратися на точне розуміння процесу екстракції. Іноді між швидкістю екстракції та швидкістю зміни олійності матеріалу на суху речовину (а не на суху знежирену) ставлять знак рівності, що призводить до хибного уявлення про те, що при екстракції деяких матеріалів, таких як соняшникова мятка після обробки на п'ятивалковому верстаті, спостерігається стабільна швидкість. Це виражається в тому, що на графіку швидкості екстракції можуть бути ділянки, що паралельні осям часу або олійності. Однак, як показують дослідні дані, що наведені на рис.2.1, з урахуванням фізичного значення швидкості екстракції, неможливо досягти постійної швидкості: із збільшенням часу та зниженням олійності швидкість екстракції зменшується. Причому саме на тих етапах, коли виглядає, що швидкість стабільна, насправді спостерігається її значне зниження.

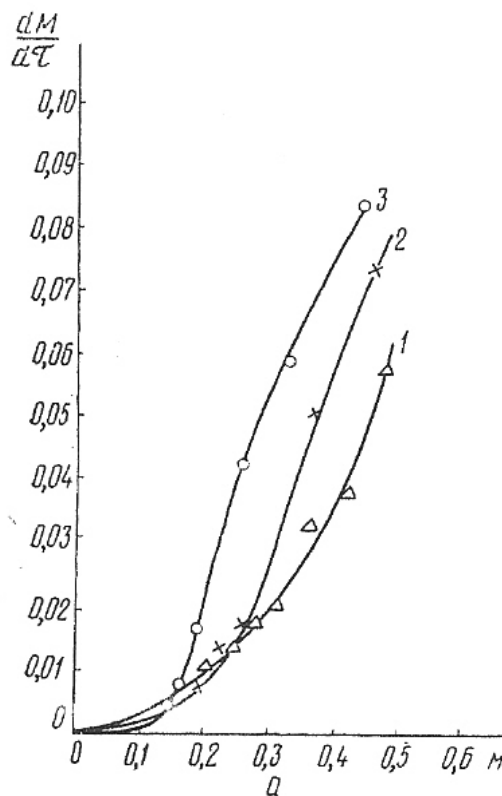


Рисунок 2.1 – Швидкість екстракції як функція олійності матеріалу і протяжності процесу

Інтегрування рівняння (2.4) дає

$$G_M = M_H - M_K \quad (2.5)$$

Коректність рівняння (2.5) є очевидною, що, у свою чергу, підтверджує правильність попереднього рівняння (2.4). Така взаємозв'язок між рівняннями забезпечує логічну послідовність і підтверджує їхню точність у контексті даної задачі.

2.2.1 Основні періоди

Очевидність коректності рівняння (2.5) безпосередньо підтверджує правильність рівняння (2.4), що в свою чергу забезпечує логічну узгодженість і послідовність між ними. Така взаємозалежність рівнянь гарантує їхню точність та обґрунтованість у межах розглянутої задачі, підтверджуючи достовірність застосованих математичних принципів. $\frac{q_i}{q_0} = f(\tau)$. Крива екстракції може бути побудована на основі експериментальних даних, отриманих в процесі екстракції певного матеріалу.

Аналіз кривих екстракції є надзвичайно важливим як з теоретичної, так і з практичної перспективи. Ці криві дають змогу вивчити особливості та кінетику процесу, а також визначити, яким закономірностям підпорядковується екстракція. Вони дозволяють точно визначити оптимальний момент для припинення процесу, враховуючи конкретний тип матеріалу та досягнуте співвідношення олійності шроту і часу, необхідного для досягнення бажаного результату.

Для пелюстка з однаковою товщиною та стабільною внутрішньою структурою, відношення між величинами буде сталим. Таким чином, рівняння дифузії набуде форми рівняння прямої. На рис.2.2 представлені прямі 1 і 2, які були побудовані на основі теоретичних рівнянь для процесів дифузії, що відбуваються в пластинці та кулі. Це дозволяє порівняти різні моделі дифузії і оцінити їх точність у конкретних умовах.

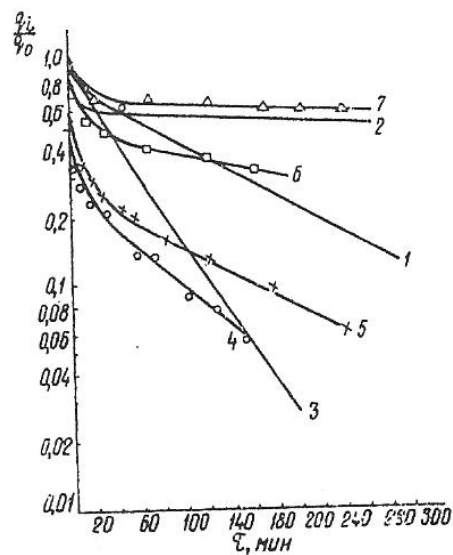


Рисунок 2.2 – Графічне зображення функції $\frac{q_i}{q_0} = f(\tau)$ для суміші часток однакової величини

У цьому ж джерелі представлені криві екстракції, отримані в результаті різних досліджень для сумішей часток однакових розмірів з того ж матеріалу. На рис.2.3 зображено криві екстракції для пелюсткової форми.

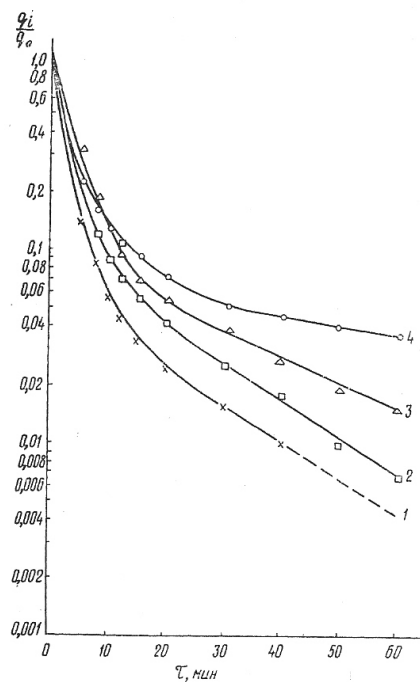


Рисунок 2.3 – Графічне зображення функції $\frac{q_i}{q_0} = f(\tau)$ для суміші часток однакової величини

Як показують дані, представлені на рис. 2.2 та рис. 2.3, криві екстракції глиняних пластинок та мікротомних зрізів пелюсток після завершення певного часу набувають вигляду прямих ліній. Це відповідає теоретичному рівнянню дифузії, що описує процес екстракції з пластинок. Така поведінка є підтвердженням точності моделювання дифузійних процесів у досліджуваних матеріалах, а також вказує на стабільність умов, що визначають цей процес.

Однак на практиці ми рідко зустрічаємо частки одного виду матеріалу, які мають не тільки однакові розміри, але й схожу внутрішню структуру. Як правило, екстрагований матеріал є сумішшю часток, що відрізняються за розмірами та мають різні внутрішні характеристики. Наприклад, товщина сирого пелюстка тісно пов'язана з кількістю розкритих клітин, рівнем деформації вмісту клітин та іншими факторами. У разі екстракції крупки з форпресових макух частки різного розміру можуть мати відмінності в пористості та вологості, оскільки умови пресування для різних шарів матеріалу, що прилягали до вала та внутрішньої поверхні зеера, можуть бути неоднаковими. Таким чином, у звичних умовах екстрагований матеріал характеризується варіативністю таких параметрів, як розміри часток, їх пористість і вологість.

Екстрагуємий матеріал утворюється з пелюстків двох різних товщин (i), які мають однакову внутрішню структуру (D). У загальній масі матеріалу частка пелюстка з товщиною складає , а пелюстка з товщиною займає частку . Таким чином, для пелюстка рівняння в повному вигляді можна записати

$$\frac{q_i}{q_o} = \frac{8}{\pi^2} \left[\exp\left(-\frac{\pi^2 D \tau}{l_1^2}\right) + \frac{1}{9} \exp\left(-\frac{9\pi^2 D \tau}{l_1^2}\right) \right] \quad (2.6)$$

і для пелюстка l_2

$$\frac{q_i}{q_o} = \frac{8}{\pi^2} \left[\exp\left(-\frac{\pi^2 D \tau}{l_2^2}\right) + \frac{1}{9} \exp\left(-\frac{9\pi^2 D \tau}{l_2^2}\right) \right] \quad (2.7)$$

Для даної суміші пелюстків l_1 і l_2

$$\frac{q_1}{q_o} = \frac{8}{\pi^2} \left\{ A_1 \left[\exp\left(-\frac{\pi^2 D \tau}{l_1^2}\right) + \frac{1}{9} \exp\left(-\frac{9\pi^2 D \tau}{l_1^2}\right) \right] + A_2 \left[\exp\left(-\frac{\pi^2 D \tau}{l_2^2}\right) + \frac{1}{9} \exp\left(-\frac{9\pi^2 D \tau}{l_2^2}\right) \right] \right\} \quad (2.8)$$

На рис.2.4 крива 1 побудована на підставі рівняння (2.8) при $l_1 = 0,25\text{мм}$, $l_2 = 0,45\text{мм}$, $A_1 = A_2 = 0,5$ і $D = 1,0 \cdot 10^{-8} \text{см}^2 / \text{сек}$

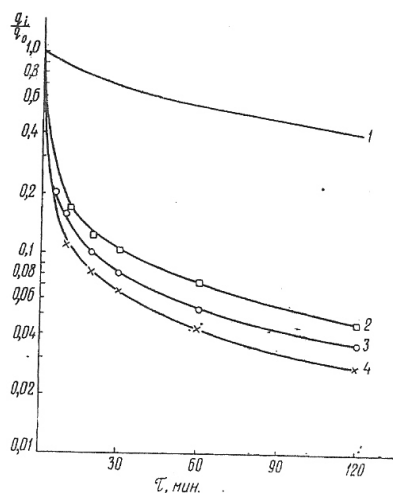


Рисунок 2.4 – Графічне зображення функції $\frac{q_i}{q_0} = f(\tau)$ для суміші часток різної величини

Можна передбачити безліч варіантів з різними параметрами та побудувати для них відповідні теоретичні криві. Усі ці криві матимуть форму, подібну до кривої 1 на рисунку 2.4. На тому ж зображенні представлені криві екстракції, отримані для суміші часток різних розмірів. Характер цих кривих екстракції є схожим на той, що спостерігається у кривій, побудованій за допомогою рівняння (2.8). Такий підхід дозволяє краще зрозуміти залежності, що виникають при різних умовах експерименту.

Отже, порівняння кривих, побудованих на основі теоретичних рівнянь дифузії для суміші часток як однакових, так і різних за розміром, з експериментально отриманими кривими екстракції, демонструє узгодженість теоретичних і експериментальних результатів. Проте, якщо для суміші часток однакової величини це можна вважати підтвердженням застосовності рівнянь дифузії при описі процесу екстракції, то для суміші часток різних розмірів така узгодженість не є достатнім доказом. В цьому випадку схожість теоретичних і експериментальних кривих для суміші часток різної величини є лише непрямим свідченням того, що процес екстракції рослинних олій можна описати рівняннями дифузії, оскільки кривизна цих кривих, як правило, має суттєві відмінності.

Усі криві екстракції (2, 3, 4), за винятком кривої для глиняної пластинки, мають два етапи: перший — на якому процес відбувається з максимальною швидкістю (до моменту перегину кривої), і другий — коли швидкість значно знижується (після перегину кривої). Крива екстракції олії тетраклоретиленом з гомогенно просочених олією глиняних пластинок однакової товщини (крива 3 на рис. 2.2) за своїм виглядом відповідає теоретичному рівнянню дифузії і є прямою лінією, без виявлених окремих етапів. Порівняння цієї лінії з кривими екстракції для пелюстків та крупки дозволяє поділити олію, що міститься всередині часток, на дві основні частини. Перша, більш значна за кількістю частина (яка є найбільш доступною для розчинника), розташована на зовнішній та внутрішній поверхні часток, що мають порівняно низький дифузійний опір. Друга частина, менш доступна для розчинника, складається з олії, що міститься у внутрішніх ділянках часток, таких як незруйновані клітки, вторинні структури, мікрокапіляри та інші подібні структури, де спостерігається більший дифузійний опір.

Два етапи, що характеризують процес екстракції рослинних олій, зумовлені різницею у фізико-хімічному стані масла, яке перебуває в частинках екстрагуемого матеріалу. Це зумовлено ступенем його зв'язку з гелевою структурою субстрату та рівнем доступності для розчинника.

Триалість першого етапу екстракції, а також ефективність вилучення олії на цьому етапі, значною мірою визначаються особливостями технологічної підготовки сировини та параметрами її обробки перед початком екстракційного процесу.

Характерною особливістю кривих для суміші частинок однакового розміру є їхня лінійність у другій фазі екстракційного процесу. Це свідчить про те, що дана фаза підпорядковується другому закону дифузії. Рівняння, яке описує дифузію з пластини, сфери чи інших геометричних форм і базується на цьому законі, має вигляд прямої лінії при побудові на напівлогарифмічній шкалі. Перша фаза екстракції також демонструє високу відповідність теоретичним розрахункам. Незначні відхилення від прямолінійної форми легко пояснюються специфічними

особливостями процесу. $\frac{q_i}{q_0} = f(\tau)$ У першій фазі процесу екстракції відбувається

переважне вилучення олії, яка розташована як на зовнішніх, так і на внутрішніх поверхнях частинок матеріалу. Ця олія слабо зв'язана з гелевою складовою екстрагованого субстрату. У цей період молекули олії всередині частинок переміщуються переважно шляхом вільної молекулярної дифузії. Водночас починається вилучення тієї частини олії, яка міститься всередині клітинних структур, вторинних капілярних утворень, мікропорожнин та інших внутрішніх елементів. Хоча на початковому етапі кількість цієї олії є порівняно невеликою, її вилучення здатне вплинути на загальні закономірності екстракційного процесу. При цьому функціонують дві форми дифузії: одна — вільна молекулярна дифузія, а друга — стиснута дифузія, яка відбувається у внутрішніх шарах частинок. Ці процеси можна порівняти з явищем, коли різні шари матеріалу мають неоднакову товщину. У результаті теоретичний графік, побудований у напівлогарифмічній системі координат, приймає вигляд кривої, зображеної на рисунку 2.4.

Значення коефіцієнта внутрішньої дифузії є змінним у загальному випадку. У деяких ситуаціях це залишається актуальним навіть за умов низького вмісту залишкової олії в матеріалі. Таким чином, перший етап процесу можна описати як фазу зі змінним коефіцієнтом внутрішньої дифузії, тоді як другий етап характеризується стабільним значенням цього коефіцієнта.

Кут нахилу кривої екстракції до осі абсцис є важливим показником, який характеризує динаміку процесу як у початковій, так і в подальшій фазі. Чим більший кут нахилу або, точніше, нахил дотичної до певної точки на кривій екстракції, тим вища швидкість перебігу процесу, що описується цією кривою. Завдяки цьому криві екстракції виступають ефективним інструментом для оцінки екстракційних властивостей різних матеріалів і умов здійснення процесу. Вони дозволяють проаналізувати вплив різних чинників на ефективність вилучення, забезпечуючи більш точну інтерпретацію експериментальних даних.

2.3 Кінетичні рівняння

Рівняння кінетики, які демонструють залежність швидкості процесу екстракції або зміни кількості залишкової речовини в твердій фазі (наприклад, вмісту олії у сировині), можна вивести з моделей нестационарної дифузії. Ці моделі описують механізм вилучення рослинних олій за умови постійного коефіцієнта внутрішньої дифузії. Зосередимося на дифузійному рівнянні для процесу вилучення з пластинчастого матеріалу, такого як пелюстки, у такій формі

$$M = \frac{8M_0}{\pi^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D \tau}{l^2}\right) \quad (2.9)$$

Диференціювання рівняння (2.9) дає

$$dM = -\frac{8M_0 D}{l^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D \tau}{l^2}\right) d\tau \quad (2.10)$$

або

$$-\frac{dM}{d\tau} = \frac{8M_0 D}{l^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D \tau}{l^2}\right) \quad (2.11)$$

Кінетичні рівняння дифузії для частинок різної геометричної форми можуть бути отримані подібним методом.

Зокрема, для циліндричних об'єктів, коли дифузійний процес відбувається через дві протилежні торцеві поверхні, розрахунок проводиться за аналогічною схемою

$$-\frac{dM}{d\tau} = \frac{8M_0 D}{L^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D \tau}{L^2}\right) \quad (2.12)$$

де L - загальна довжина циліндра;

для циліндра при дифузії через його бічну поверхню

$$-\frac{dM}{d\tau} = \frac{4M_0 D}{R^2} \exp\left(-\frac{5,76 D \tau}{R^2}\right) \quad (2.13)$$

де R - радіус циліндра;

для кулі

$$-\frac{dM}{d\tau} = \frac{6M_0 D}{r^2} \exp\left(-\frac{\pi^2 D \tau}{r^2}\right) \quad (2.14)$$

де r - радіус кулі.

На основі рівнянь (2.11)–(2.14) можна зробити висновок, що швидкість вилучення речовин із твердої фази, а також кількість залишкової речовини в ній, залежно від рівняння (2.9), описуються експоненціальною залежністю від часу.

Для подальшого аналізу розглянемо відношення рівнянь (2.11) та (2.9). Виконавши низку елементарних математичних перетворень, можна отримати вираз, який описує процес дифузії для випадку пластинки

$$\frac{dM}{d\tau} = \pi^2 \frac{D}{l^2} M \quad (2.15)$$

Аналогічно можна визначити:

- для циліндра у випадку, коли процес дифузії відбувається через обидві його торцеві поверхні

$$\frac{dM}{d\tau} = \pi^2 \frac{D}{L^2} M \quad (2.16)$$

- для циліндричної форми, коли процес дифузії відбувається через його бокову площину

$$\frac{dM}{d\tau} = 5,76 \frac{D}{R^2} M \quad (2.17)$$

для кулі

$$\frac{dM}{d\tau} = \pi^2 \frac{D}{r^2} M \quad (2.18)$$

На основі рівнянь (2.15)–(2.18) можна зробити висновок, що швидкість вилучення речовини з твердої фази змінюється лінійно залежно від кількості залишкової речовини у твердій фазі.

Рівняння (2.15)–(2.18) представляють оновлену форму опису швидкості вилучення речовин із твердої фази. Вони демонструють, як швидкість залежить від кількості залишкової речовини, що є більш інформативним і точним підходом для відображення фізичної суті процесу порівняно з залежністю від часу, яка має переважно формальний характер. Залежність швидкості від залишкової кількості

речовини, що витягається, враховує ступінь її зв'язаності з твердою матрицею частинок (тобто складність вилучення), що є суттєвим чинником у процесах, таких як екстракція рослинних олій. Рівняння (2.15)–(2.18) надають більш детальний опис фізико-хімічних характеристик процесу порівняно з рівняннями (2.11)–(2.14), адже вони враховують так звану "кінетичну нерівноцінність", яка виникає через анізотропність внутрішньої структури частинок. Залежності типу "швидкість – залишок" широко застосовуються у вивченні процесів масопереносу, особливо для аналізу сушіння твердих матеріалів, де аналогічні принципи знаходять своє використання.

На основі рівнянь (2.15)–(2.18) можна отримати спрощені формули, що дозволяють визначити коефіцієнти дифузії. Зокрема, ці рівняння описують процеси, пов'язані з дифузією з поверхні пластинки, враховуючи основні фізико-хімічні параметри системи

$$D = \frac{l^2}{\pi^2 M} \cdot \frac{dM}{d\tau} \quad (2.19)$$

дифузія з циліндра через обох його торцевих стінок

$$D = \frac{L^2}{\pi^2 M} \cdot \frac{dM}{d\tau} \quad (2.20)$$

дифузія з циліндра через його бічну поверхню

$$D = \frac{R^2}{5,76 M} \cdot \frac{dM}{d\tau} \quad (2.21)$$

дифузія з кулі

$$D = \frac{r^2}{\pi^2 M} \cdot \frac{dM}{d\tau} \quad (2.22)$$

Логарифмування рівнянь (2.15)–(2.18) дає рівняння виду

$$\lg \frac{dM}{d\tau} = \text{const} + \lg M \quad (2.23)$$

У цьому рівнянні можна помітити, що для всіх досліджуваних форм часток у логарифмічній шкалі графік зображено у вигляді прямої лінії. Ця лінія

має незмінний нахил із кутовим коефіцієнтом, значення якого дорівнює одиниці

(рис.2.5) $\frac{dM}{d\tau} = f(M)$

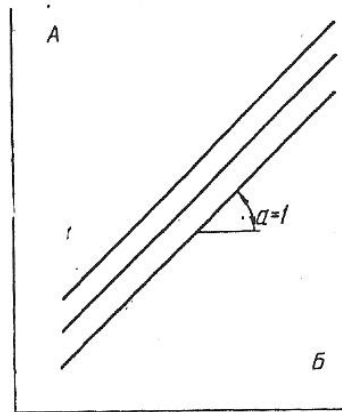


Рисунок 2.5 – Графічна інтерпретація рівняння $A - \lg \frac{dM}{d\tau}$

Значення ординати при одному й тому ж M демонструє відмінності у значеннях коефіцієнтів дифузії для різноманітних матеріалів, а також для різних параметрів, таких як l , L , R або r . У цьому контексті рівняння (2.23) можна розглядати як узагальнену математичну модель, що описує кінетику процесу екстракції з твердих речовин. Кутовий коефіцієнт у рівнянні (2.23) дорівнює одиниці, зрозуміло, при чисто графічному розгляді задачі, тобто коли Прямі лінії перетинаються під кутом 45 градусів, за умови, що осі координат мають однаковий масштаб. Фізичний зміст кутового коефіцієнта, який визначається як відношення $\lg \frac{dM}{d\tau}$ до $\lg M$, зазвичай не дорівнює одиниці. Для кута нахилу в 45 градусів співвідношення $\frac{dM}{d\tau}$ залишається сталим, що, відповідно до рівнянь (2.19)–(2.22), вказує на те, що коефіцієнт внутрішньої дифузії є змінною величиною, яка залежить від конкретних параметрів системи.

На основі даних, поданих на рис.2.6, можна зробити висновок, що процес екстракції речовин із твердих матеріалів не завжди повністю узгоджується з теоретичною моделлю, описаною рівнянням (2.23).

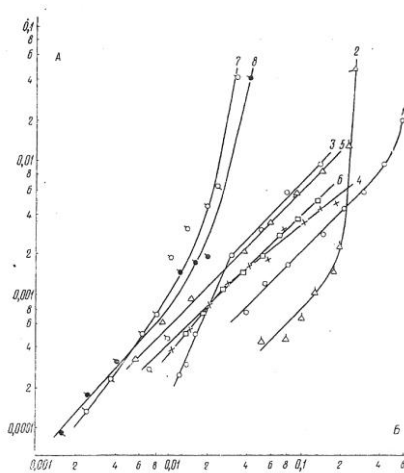


Рисунок 2.6 – Залежність швидкості екстракції від залишку витягнутої речовини по дослідним даним

У поданих рівняннях кутовий коефіцієнт для таких матеріалів, як пелюстки соняшника $l = 35\text{мм}$, які піддаються витягу екстракційним бензином за певних значень параметра M , лише наближається до одиниці. Це може свідчити про зміну коефіцієнта дифузії протягом процесу екстракції. Наприклад, для пелюсток соняшника $l = 35\text{мм}$ при застосуванні рівняння (2.9) виникають складнощі з установленням чіткої залежності $\frac{M}{M_0} = f(\tau)$, оскільки у напівлогарифмічній координатній системі, як було зазначено раніше, після закінчення певного проміжку часу ця залежність має вигляд прямої лінії.

Отримані кінетичні рівняння залишаються справедливими за умов, коли вплив зовнішньої дифузійної опору незначний і його можна ігнорувати. Такі умови зазвичай є характерними для процесу екстракції рослинних олій. Однак, у випадках, коли роль прикордонного шару (що відповідає другій стадії екстракції) не можна виключити, подібні рівняння можуть бути сформульовані з урахуванням цієї особливості. Це можливо на основі розв'язання диференціального рівняння, яке описує нестационарну дифузію в пористій пластинці, омиваній розчинником.

2.4 Ефективність екстракції

Основними критеріями оцінки результативності роботи екстрактора зазвичай вважають вміст олії в шроті, рівень концентрації місцели та продуктивність обладнання, які перебувають у взаємозв'язку. Проаналізуємо, як ключові виробничі параметри впливають на ефективність процесу екстракції.

Згідно з уявленнями про механізми та кінетику екстракційних процесів, вирішальну роль відіграють фактори, які впливають на утворення як зовнішньої, так і внутрішньої структури матеріалу, що підлягає екстракції. Важливими є ступінь розкриття клітин ядра насіння, рівень вологості, який визначає розміри частинок і їхню природу, схильність матеріалу до ущільнення, ефективність попереднього видалення олії, а також інші специфічні характеристики.

Методика і режим проведення процесу екстракції цього матеріалу дозволяють у визначених межах впливати лише на окремі параметри, які впливають на ефективність даного процесу. Серед них виділяють співвідношення між розчинником та матеріалом (що фактично еквівалентне зміні концентрації місцели), температуру, тривалість процесу (яка визначає довжину шляху розчинення), стан частинок (наприклад, у вигляді нерухомого шару, шару, що переміщується, або зваженого стану), а також висоту шару матеріалу, що піддається обробці. Для конкретної конструкції екстрактора, за умов заданих режимів його функціонування, найбільший вплив на результат мають перші два параметри. Оптимальне їх поєднання може суттєво покращити ефективність екстракції, забезпечуючи максимальне вилучення цільових речовин.

Збільшення концентрації місцели зазвичай супроводжується незначним підвищенням вмісту олії в шроті, що може відрізнятися залежно від типу екстрактора. Наприклад, у шнекових екстракторах концентрація місцели в межах 18-21% практично не впливає на підвищення олійності соняшникового шроту. У стрічкових екстракторах цей показник може досягати 50-55% без суттєвого збільшення олійності. Однак перевищення зазначених значень концентрації місцели викликає помітне зростання вмісту олії в шроті, що може впливати на

ефективність технологічного процесу.

Зі збільшенням об'єму розчинника, який подається в екстрактор, спостерігається поступове зменшення крутизни кривих, що відображають олійність шроту та концентрацію місцели. Особливо це помітно для кривих, які характеризують рівень олійності шроту. Досягнувши певного об'єму розчинника, подальше його збільшення майже не впливає на показники олійності шроту.

Підвищення температури на промислових екстракторах сприяє збільшенню рівня олійності шроту, а також покращує концентрацію місцели.

Тривалість процесу екстракції значною мірою залежить від довжини шляху екстрагування, що визначається кількістю ступенів у протиточній багатоступеневій системі. У подальшому розглянемо ці чинники окремо та у їхній взаємодії.

У процесі роботи горизонтального стрічкового екстрактора за стандартних умов спочатку спостерігається інтенсивна зміна вмісту олії в шроті та концентрації місцели. Починаючи з четвертого етапу, що відповідає приблизно 50 хвилинам, ці показники стабілізуються, і зміни стають мінімальними. Однак у випадках, коли кінцева місцела має високу концентрацію, динаміка змін залишається швидкою або стає дещо плавнішою.

Стан часток матеріалу в екстракторі відіграє важливу роль у процесі екстракції, хоча порівняльний аналіз ефективності цього процесу в нерухомому шарі, у шарі, що перемішується, та в зваженому стані досі не отримав належного вивчення. Тим не менш, можна вказати на основні переваги екстракції в умовах зваженого стану. Однією з них є усунення блокування поверхні часток, яке виникає через їхній фізичний контакт між собою. Крім того, у нерухомих шарах або навіть у тих, що перемішуються, часто спостерігається злежування часток, що погіршує ефективність процесу. Екстракція в зваженому стані вирізняється ще й тим, що повністю усуває проблему гідравлічного опору, створюваного масою часток. Це відкриває можливість використання часток із різноманітною зовнішньою структурою, тоді як у нерухомих шарах, навіть при перемішуванні, такі можливості значно обмежені. На практиці цей метод знаходить застосування

в промислових системах, які комбінують процеси фільтрації та екстракції. Загальна тривалість екстракції в таких системах є значно меншою, становлячи близько 36 хвилин, що є перевагою порівняно з іншими типами екстракційних ліній, які наразі використовуються в промисловості.

Найбільше застосування в промислових процесах має екстракція в умовах нерухомого шару з частковим перемішуванням. Висота шару матеріалу, який не схильний до ущільнення (наприклад, крупка з жмиху), практично не впливає на рівень олійності шроту. Однак у випадку зі збільшенням висоти шару матеріалів, що мають тенденцію до ущільнення (як-от сирий соєвий пелюсток), спостерігається підвищення олійності шроту.

Продуктивність екстрактора значною мірою залежить від рівня олійності шроту та концентрації місцели. Важливим аспектом є пропускна здатність екстрактора, яка розглядається як транспортна функція і кількісно визначається його продуктивністю за конкретних показників олійності шроту та концентрації місцели. На пропускну здатність впливають фактори, пов'язані зі ступенем використання внутрішнього об'єму апарата і його робочих компонентів. Цей параметр характеризується коефіцієнтом ефективності використання, який обчислюється як відношення обсягу матеріалу, що піддається екстракції фактичними робочими елементами (екстрактором чи окремою його частиною) протягом певного періоду часу, до загального об'єму робочих елементів апарата.

3. Опис та обґрунтування обраних проектних рішень та конструкцій

3.1. Розробка структурної схеми системи

Система побудована за структурною схемою, яка складається з таких основних елементів: температурних сенсорів, приладів для вимірювання тиску, датчиків контролю рівня, модулів для зняття показників, підсилювачів з нормувальними функціями, логічних вузлів, схеми для обробки сигналів від дискретних сенсорів, пристрою комутації аналогових сигналів, аналого-цифрового перетворювача, мікроконтролера, схеми для взаємодії з іншими компонентами, підсилювачів для збільшення потужності, виконавчих механізмів і блоку живлення для забезпечення енергією.

Дані про технологічні параметри, що підлягають вимірюванню, збираються за допомогою датчиків температури, тиску та рівня. Сигнали від датчиків температури спочатку передаються через вимірювальні схеми до нормуючих підсилювачів, де відбувається їх стандартизація. Нормовані сигнали спрямовуються на аналоговий комутатор, який виконує їх комутацію. Звідти сигнали надходять до аналого-цифрового перетворювача (АЦП), який забезпечує трансформацію аналогових даних у цифровий формат. Цифрові сигнали передаються на мікроконтролер, де вони зберігаються в пам'яті і відображаються на відповідних індикаторах. У подальшому мікроконтролер через потужні підсилювачі передає ці сигнали до виконавчого механізму, що забезпечує їхнє застосування у керуванні технологічним процесом.

Сигнал, отриманий від датчиків тиску, обробляється в нормуючих підсилювачах, після чого передається на аналоговий комутатор. Звідти сформований сигнал спрямовується до аналого-цифрового перетворювача (АЦП), де він перетворюється на цифровий формат. Цифрові дані потім надходять до мікроконтролера для подальшої обробки. У результаті оброблений сигнал через підсилювачі потужності передається до виконавчого механізму, забезпечуючи його функціонування.

Дискретний сигнал, що надходить із датчиків рівня, спочатку обробляється логічними елементами, після чого передається на схему обробки сигналів від дискретних сенсорів. З цієї схеми дані спрямовуються до мікроконтролера. Отримана мікроконтролером інформація записується в пам'ять та відображається на індикаторах. Після цього сигнал підсилюється у потужностних підсилювачах і передається на виконавчі механізми. Виконавчі пристрої, отримавши сигнал, виконують задані команди.

Схема з'єднання забезпечує взаємодію системи з автоматизованою системою управління технологічними процесами (АСУТП).

Для забезпечення електроживлення мікроконтролера, аналогово-цифрового перетворювача, схеми відображення даних та всієї системи в цілому застосовується спеціалізований блок живлення.

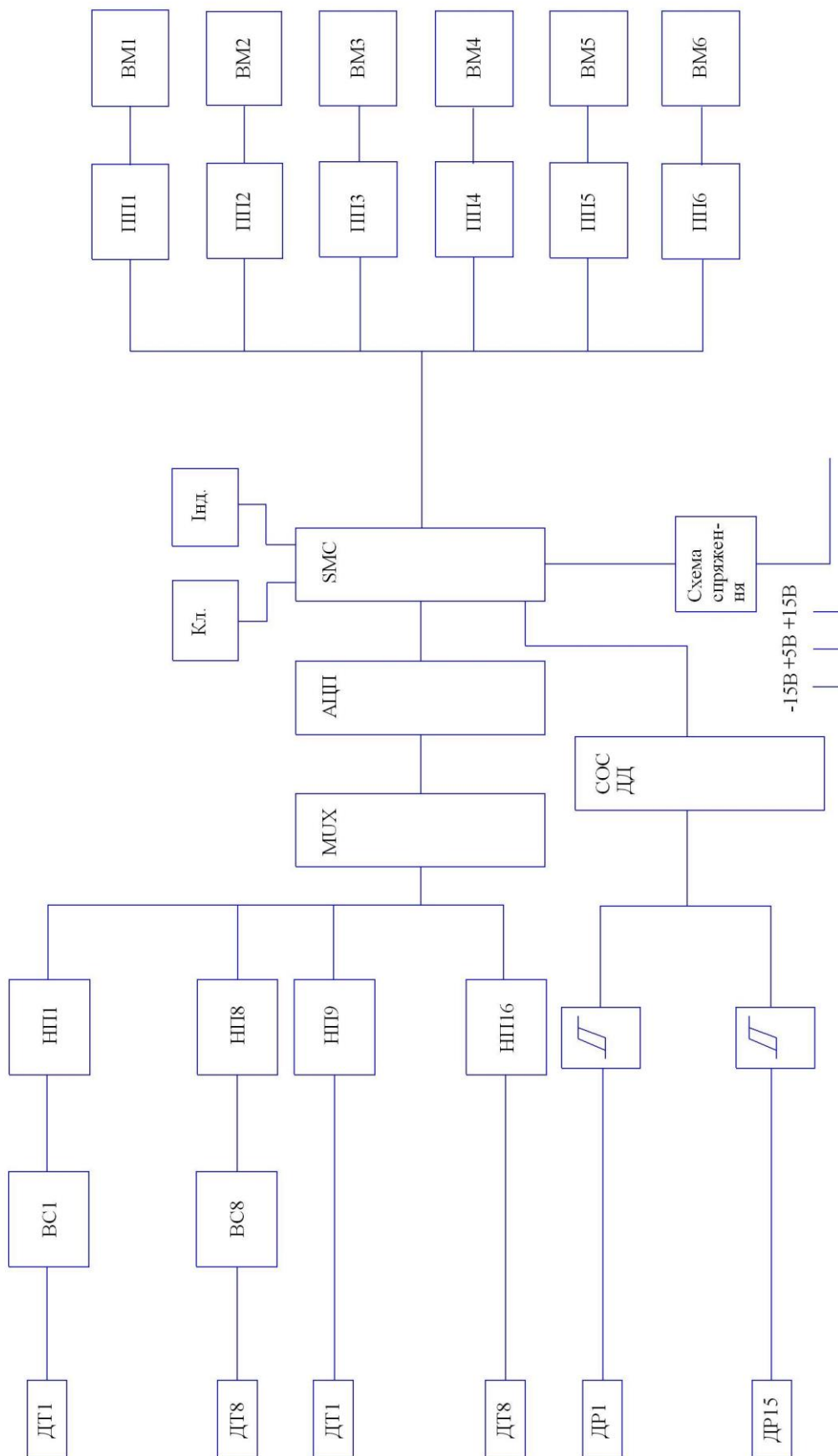


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи

3.2. Вибір та обґрунтування окремих елементів

Обґрунтування вибору засобів контролю й автоматики.

Оскільки приміщення олієекстракційного цеху належить до вибухонебезпечної категорії класу В-1а, всі системи контролю та автоматизації мають бути виконані у вибухозахищеному варіанті. Рекомендується віддавати перевагу приладам, що базуються на пневматичних системах.

Системи технологічного контролю та автоматичного регулювання, що впроваджуються, мають забезпечувати як локальне, так і віддалене управління та моніторинг роботи обладнання. При цьому необхідно досягати високих техніко-економічних показників функціонування олієекстракційної установки, гарантувати безпеку, зручність експлуатації та управління, а також зводити кількість персоналу, залученого до обслуговування, до мінімуму.

Основні показники, які потребують як локального, так і дистанційного контролю, а також автоматизованого регулювання, включають температуру, тиск, рівень розрідження, об'єм, а також ряд спеціальних параметрів. До таких параметрів належать густина місцели, температура займання готової олії та концентрація парів розчинника в повітрі.

3.2.1. Мікроконтролер

КМОП мікроконтролер AT90S4414 створений на основі AVR RISC архітектури, що представляє собою Гарвардську модель із розділеними пам'яттю та шинами для програм і даних. Він повністю сумісний за вихідними кодами та тактуванням із 8-бітними мікроконтролерами сімейства AVR (AT90SXXX). Завдяки виконанню інструкцій за один такт, мікроконтролер забезпечує продуктивність, близьку до 1 MIPS на мегагерц. Центральне ядро AVR поєднує ефективний набір команд із 32 8-бітними універсальними регістрами та використовує конвеєрну архітектуру для доступу до програмної пам'яті. Шість регістрів із цих 32 можуть працювати як три 16-бітні покажчики для непрямої

адресації в просторі пам'яті.

Реалізація відносних переходів і команд виклику здійснюється за допомогою прямої адресації в межах усього доступного 2ДО адресного простору. Адреси функціональних периферійних модулів розташовані в сегменті пам'яті, призначеному для операцій вводу/виводу. Завдяки продуманій архітектурі, система ефективно підтримує роботу як із мовами програмування високого рівня, так і з програмами, написаними на асемблері.

Ось оновлений текст:

Мікроконтролер AT90S4414 має такі ключові характеристики: 4 Кбайт програмованого ПЗУ (2Kx16), 256 байтів оперативної пам'яті (СОЗУ) і 256 байтів EEPROM, з можливістю розширення обсягу пам'яті даних до 64 Кбайт завдяки підключенню зовнішніх мікросхем СОЗУ. Пристрій також оснащений 32 універсальними лініями вводу/виводу, 32 загальними регістрами, 8-бітовим таймером/лічильником, 16-бітовим таймером/лічильником із функціями захоплення та порівняння, а також внутрішньою та зовнішньою системами переривань. Крім цього, мікроконтролер підтримує програмований послідовний інтерфейс UART, сторожовий таймер із внутрішнім генератором, а також послідовний порт із підтримкою SPI. Цей порт забезпечує можливість внутрішньосистемного завантаження та обміну даними із зовнішніми пристроями. Для підвищення енергоефективності реалізовані два програмно керовані режими економії енергії. У пасивному режимі (Idle) процесор припиняє роботу, однак оперативна пам'ять, таймери/лічильники, SPI-порт, сторожовий таймер і система переривань залишаються активними. У режимі зупинки (Power Down) вимикається тактовий генератор, що призводить до припинення роботи всіх функцій до отримання сигналу зовнішнього переривання чи апаратного скидання. При цьому зберігається стан регістрів. Цей мікроконтролер має широкий спектр можливостей, які роблять його зручним для використання в різних вбудованих системах.

Інтегрована Flash-пам'ять дозволяє виконувати перепрограмування безпосередньо в системі за допомогою інтерфейсу SPI, який працює в

послідовному низьковольтному режимі. Альтернативно, для перепрошивки можна використовувати стандартні програматори енергонезалежної пам'яті, які підтримують 12-вольтовий паралельний режим.

Активне споживання пристрою становить 3,5 мА, тоді як у пасивному режимі цей показник знижується до 1 мА (за умов $V_{CC} = 3$ В і частоти 4 МГц). У режимі зупинки, коли активним залишається лише сторожовий таймер, мікроконтролер витрачає 50 мкА.

Інтеграція вдосконаленого 8-розрядного RISC-процесора з програмованою Flash-пам'яттю на одному кристалі дозволяє використовувати цей мікроконтролер як ефективний і гнучкий інструмент для роботи у складі вбудованих систем.

Блок-схема мікроконтролера AT90S4414.

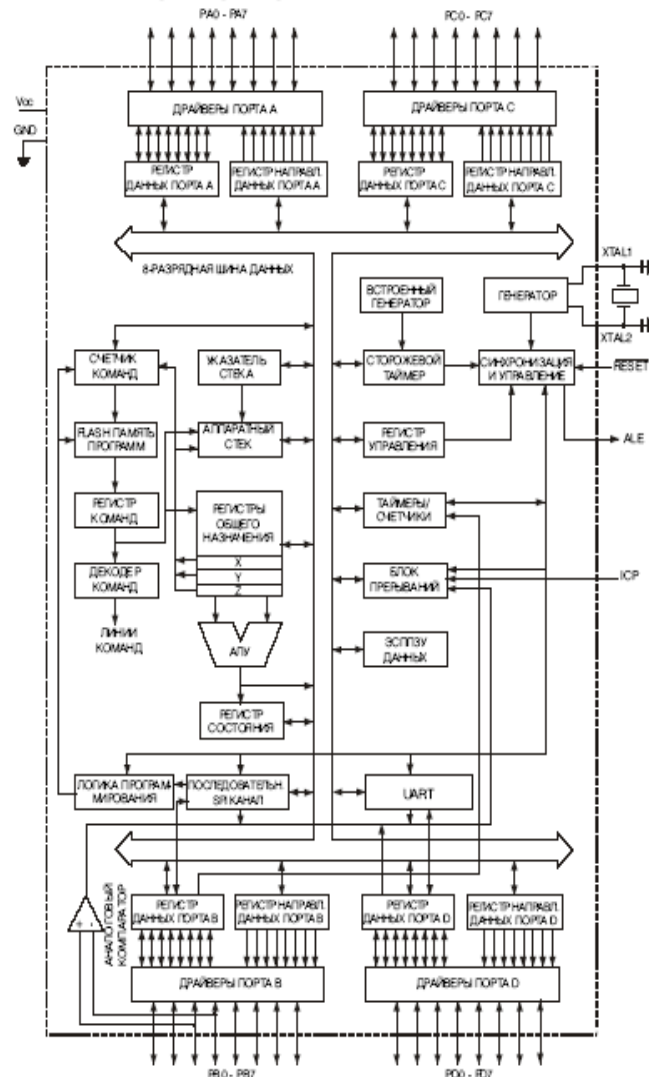


Рисунок 3.2 – Блок – схема мікроконтролера AT90S4414

3.2.2 Блок живлення

Пропонований блок живлення забезпечує отримання стабілізованої напруги на виході в діапазоні від 1 В до майже повного значення випрямленої напруги, яка подається з вторинної обмотки трансформатора (дивіться схему). Вузол порівняння реалізований на транзисторі VT1: на його базу надходить частина зразкової напруги, що формується джерелом зразкової напруги (елементи VD5, VD6, HL1, R1), а на емітер подається сигнал з виходу, отриманий через дільник напруги R14 і R15. Різницевий сигнал між цими значеннями спрямовується до підсилювача струму, побудованого на транзисторі VT2, який у свою чергу здійснює керування регулюючим транзистором VT4.

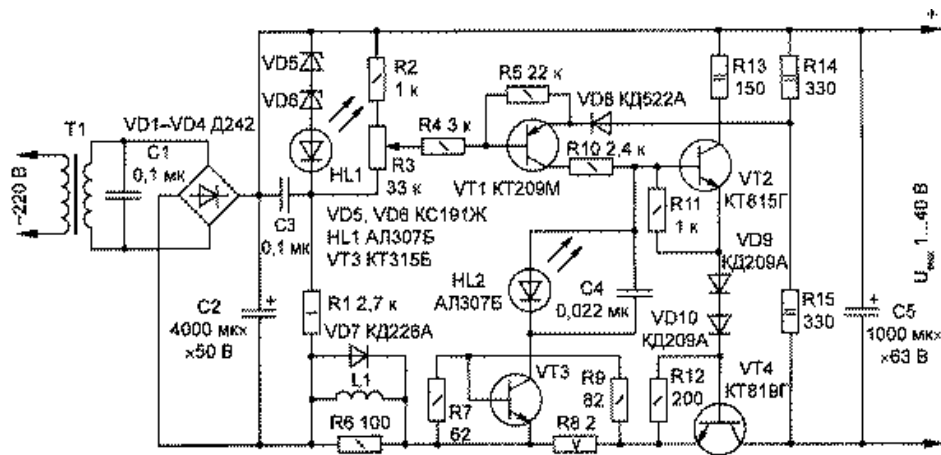


Рисунок 3.3 – Блок живлення

У разі короткого замикання на виході блоку живлення або перевищення допустимого струму навантаження, на резисторі R8 зростає падіння напруги. Це призводить до відкривання транзистора VT3, який шунтує базовий ланцюг транзистора VT2, обмежуючи таким чином струм у навантаженні. Увімкнення захисту від перевищення струму сигналізується за допомогою світлодіода HL2.

У разі короткого замикання активація режиму обмеження струму не відбувається миттєво. Це пояснюється тим, що дросель L1 уповільнює зростання струму через транзистор VT4, а діод VD7 сприяє зменшенню пікового стрибка напруги, який може виникнути при раптовому відключенні навантаження від джерела живлення.

Для налаштування струму, при якому спрацьовує захист, слід встановити змінний резистор з опором 250 Ом у розрив ланцюга між резисторами R7 і R9. Рухомий контакт цього резистора потрібно під'єднати до бази транзистора VT3. Діапазон регулювання струму становить від 400 мА до 1,9 А, що дозволяє точно налаштовувати параметри роботи пристрою залежно від потреб.

У схемі джерела живлення можна використовувати трансформатор із вторинною обмоткою, що забезпечує напругу в діапазоні від 9 до 40 В. Якщо напруга буде близькою до нижньої межі цього діапазону, рекомендується зменшити опір резисторів R1, R2, R9 та R13-R14 приблизно вдвічі. Крім того, варто правильно підібрати стабілітрони VD5 і VD6, щоб забезпечити, аби напруга на резисторі R1 становила орієнтовно половину напруги на конденсаторі C2.

Дросель L1 складається зі 120 витків дроту ПЕВЛ 0,6 мм, намотаних на оправку діаметром 8 мм. У якості транзистора VT2 можна використовувати будь-який аналогічний транзистор серій ДО_ або з іншою подібною структурою, за умови, що його допустима напруга колектор-емітер перевищує напругу живлення. Для транзистора VT4 підходять варіанти серій ДО_А, ДО_Б або інші потужні аналоги з допустимим струмом колектора від 5 А і вище, а також напругою колектор-емітер, яка перевищує напругу живлення. Транзистори VT2 і VT4 повинні бути встановлені на радіаторах для ефективного тепловідведення. Діоди VD1-VD4 можна замінити на будь-які випрямні аналоги з максимальним прямим струмом понад 5 А і зворотною напругою, що перевищує напругу на вторинній обмотці трансформатора. Для світлодіодів підходять моделі будь-якого типу.

3.2.3. Датчик температури

Для вимірювання температури за допомогою контактного методу зазвичай застосовуються манометричні термометри, які набули значної популярності в олієекстракційній галузі.

Основною частиною манометричних термометрів виступає герметична термосистема, яка складається з декількох ключових компонентів. Першим з них

є термобалон, що виконує функцію сприйняття температури середовища, яке підлягає вимірюванню. До нього приєднаний дистанційний капіляр, що забезпечує передачу змін, та пружний чутливий елемент, який реагує на ці зміни. Вся система заповнена робочою речовиною, що змінює свої фізичні характеристики, такі як обсяг або тиск, у відповідь на зміну температурних умов.

Манометричні пристрої, у порівнянні з іншими приладами, що працюють на основі різних принципів, мають низку переваг:

- здатність проводити дистанційне вимірювання температури без необхідності додаткового джерела енергії;
- проста конструкція, що забезпечує високу надійність під час використання;
- виконання, яке гарантує безпеку навіть у вибухонебезпечних умовах.

Манометричні термометри класифікують за типом заповнювача термосистеми, розподіляючи їх на газові, рідинні та парові. У ролі заповнювальних речовин у таких приладах використовують різні матеріали, зокрема азот, пропанол, толуол, ксилол, ртуть, поліметилоксанові рідини, метилхлорид, фреон та ацетон.

Термометри з термосистемою, в якій використовується азот, належать до газових приладів і здатні вимірювати температури в межах від -120 до $+160^{\circ}\text{C}$.

Пристрої, заповнені такими рідинами, як пропанол, толуол, ксилол або поліметилсилоксан, класифікуються як рідинні термометри. Вони забезпечують точне вимірювання температур у діапазоні від -120 до $+300^{\circ}\text{C}$. Термометри, наповнені ртуттю, належать до категорії ртутних і можуть використовуватися для фіксації температур у межах від -40 до $+600^{\circ}\text{C}$.

Термометри з термосистемою, заповненою рідинами з низькою температурою кипіння, такими як метилхлорид, фреон або ацетон, належать до парових. Вони забезпечують вимірювання температур у межах від -60 до $+250^{\circ}\text{C}$.

Газові, рідинні та ртутні манометричні термометри характеризуються рівномірним розташуванням шкали, тоді як парові мають шкалу з нерівномірним розподілом поділок.

Переваги газових термометрів включають простоту заповнення термосистеми, низький рівень температурної похибки та найбільшу можливу довжину сполучного капіляра. Рідинні термометри вирізняються невеликою інерційністю (близько 40 секунд) і компактними розмірами термобаллона, що забезпечує їхню універсальність для монтажу в трубопроводах різного діаметра. Парові термометри, у свою чергу, характеризуються мінімальною похибкою вимірювання при змінах температури навколишнього середовища, а також відносно компактними габаритами термобаллона.

Також виготовляють манометричні термометри з індикацією, оснащені пневматичним вихідним сигналом. Вони використовуються для постійного контролю температури газоподібних, парових і рідких середовищ, а також для перетворення отриманих даних температури в пропорційний пневматичний вихідний сигнал.

Якщо температура розчинника під впливом зовнішнього збурення перевищує встановлене значення, термобалон, розташований на трубопроводі після теплообмінника, реагує на цю зміну. Вбудований у термоелектричний термометр пневматичний перетворювач трансформує отриману інформацію в пневматичний сигнал, який передається на вторинний пристрій та регулятор. У регуляторі сигнал порівнюється із заданим значенням, отриманим від програматора. У разі виявлення розбіжності регулятор змінює положення регулювального клапана, поступово закриваючи його. Це призводить до зменшення подачі теплоносія в теплообмінник, поки температура розчинника після теплообмінника не стабілізується на рівні заданого значення.

3.2.4. Датчик тиску

Двопозиційні електроконтактні пристрої розроблені для контролю, сигналізації та позиційного регулювання тиску чи вакууму у середовищах, які не агресивні до латуні та сталі. Вони також підходять для роботи з некристалізуючими рідинами, парами та газами. Датчики тиску виготовляються у вибухозахищеному виконанні, що дозволяє їх використовувати в умовах, де

можливе утворення вибухонебезпечних середовищ третьої категорії та групи І за займистістю. Прилади функціонують за робочої напруги до 380 В змінного струму або до 220 В постійного. Максимальна розривна потужність контактів становить 10 В·А, а сила струму не перевищує 1 А. Основна похибка вимірювань залежить від верхньої межі діапазону, в якому проводиться вимірювання. Такі пристрої забезпечують надійність і безпеку експлуатації у різноманітних промислових та технічних умовах.

Основним чутливим компонентом приладу є герметична мембранна коробка, яка забезпечує точність і стабільність вимірювань. Надлишковий тиск, що вимірюється, подається через штуцер, з'єднаний трубкою 1 із внутрішньою порожниною мембранної коробки. Зміна тиску викликає переміщення центра верхньої мембрани, яке передається через механізм, що складається з повідця 8 і важелів 6 та 7, на тягу 2. Це, у свою чергу, впливає на вісь 3, яка приводить у рух стрілку 4, вказуючи потрібне значення. Для коригування початкового положення стрілки використовується регулятор 9, що дозволяє точно налаштувати її на нульове значення. Прилад характеризується мінімальною похибкою, яка не перевищує встановленої верхньої межі вимірювання. Час реакції приладу на зміну параметрів не перевищує 4 секунд. Максимально допустимий статичний тиск становить не більше 25 кПа. Імпульсні трубопроводи, через які передаються дані, виконуються з матеріалів з внутрішнім діаметром не менше 6 мм для забезпечення стабільної передачі показань.

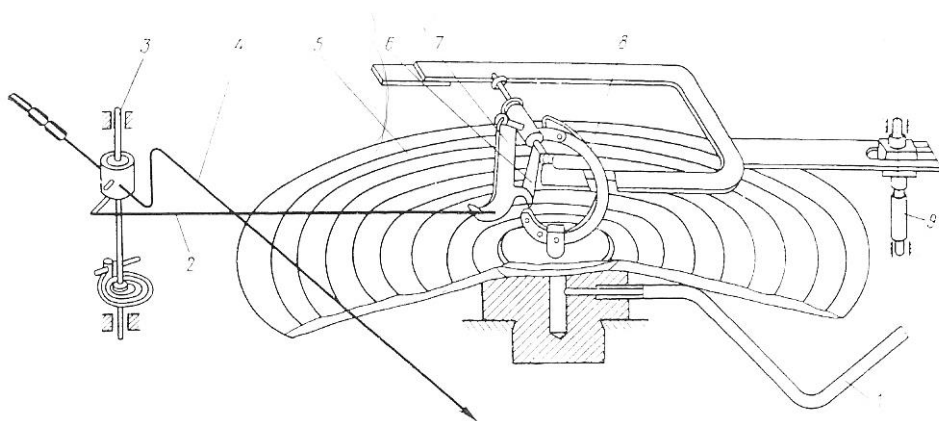


Рисунок 3.4 – Датчик тиску

3.2.5. Датчик рівня

Пристрій використовується для моніторингу максимального рівня наповнення бункера, призначеного для зберігання дрібних сипучих матеріалів.

Розглянемо принцип дії показчика рівня.

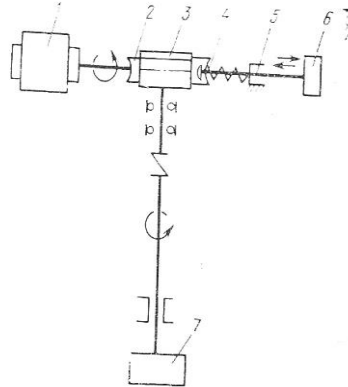


Рисунок 3.5 – Показчик рівня

Синхронний електродвигун (поз. 1) приводить у рух крильчатку (поз. 7) за допомогою черв'ячної передачі. Коли рівень матеріалу досягає заданого значення, створений ним гальмівний момент зупиняє обертання крильчатки, а разом із нею і пов'язаного черв'ячного колеса (поз. 2). При цьому черв'як (поз. 3), що встановлений на валу двигуна, продовжує обертатися, викликаючи поступальне переміщення по валу. В процесі руху він стискає пружину (поз. 4) і через штовхач (поз. 5) впливає на штифт мікроперемикача (поз. 6). У результаті цього ланцюг живлення двигуна розмикається, зупиняючи його роботу.

При зменшенні об'єму матеріалу в бункері пружина повертає черв'як у початкове положення, що призводить до спрацювання мікроперемикача, який активує електродвигун індикатора.

Сигнальні контакти мікроперемикача можна застосовувати для організації світлового або звукового оповіщення. У випадку автоматизації технологічного процесу така сигналізація може використовуватися для активації котушок контакторів чи магнітних пускачів, що відповідають за запуск електродвигунів живильників або інших пристроїв.

Для контролю рівня рідини в апаратах, незалежно від того, чи вони відкриті, чи працюють під тиском, можуть використовуватися регульовальні

пристрої. Зокрема, такі пристрої можуть бути оснащені датчиками перепаду тиску, відомими як дифманометри (рис. 3.6), які забезпечують сигналізацію та автоматичне регулювання.

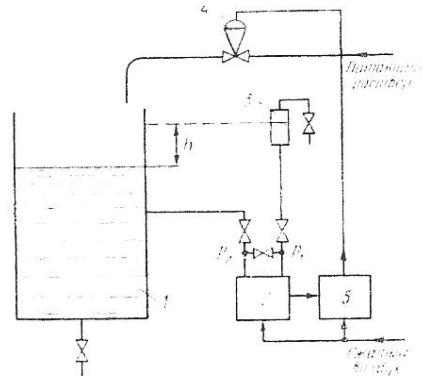


Рисунок 3.6 –Дифманометр

Різниця тиску на вході датчика 2 складає

$$\Delta p = p_1 - p_2 = h\rho g$$

Тиск, який створюється стовпом рідини в зрівняльному резервуарі (сосуді) 3, а також тиск, зумовлений стовпом рідини в апараті 1.

Вихідний сигнал датчика, пропорційний різниці тисків, передається до регулятора (поз. 5), який управляє роботою регулювального клапана (поз. 4). Рівень рідини у зрівняльному резервуарі (поз. 3) встановлюється на позначці, яка відповідає максимально допустимому рівню рідини в технологічному апараті (поз. 1).

Зміни рівня жмиха фіксуються первинним вимірювальним пристроєм, що передає електричний сигнал, пропорційний поточному рівню жмиха, до електронного регулятора. У регуляторі цей сигнал порівнюється із заданим значенням, яке задається через відповідний вимірювальний пристрій.

У разі виникнення дисбалансу в роботі регулятора формується сигнал, який через магнітний пускач передається на електропривод. Цей привід забезпечує коригування продуктивності екстрактора для досягнення необхідних параметрів роботи.

Коли спостерігається розбалансування продуктивності системи, регулятор генерує сигнал, який через магнітний пускач впливає на роботу електричного варіатора екстрактора. Це дозволяє змінити робоче навантаження екстрактора і

привести його у відповідність із заданими параметрами, визначеними на основі даних, отриманих від датчика.

3.2.6 Аналогово – цифровий перетворювач

Сигнали, що надходять від датчиків і відображають стан об'єкта керування в аналоговій формі як електричну напругу, перед подачею на мікро-ЕОМ перетворюються за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) у цифрову форму. Запуск процесу перетворення відбувається під час зміни сигналу "гасіння/перетворення" (Г/П) з високого на низький рівень. Тривалість цього процесу не перевищує 30 мікросекунд. Завершення операції перетворення позначається появою низького рівня сигналу на виході "готовність даних" (ГД). У цей момент цифрові виходи АЦП (Q) переходять із стану високого імпедансу до режиму передачі цифрових даних.

Перетворення "аналог-код" в АЦП починається в момент, коли сигнал гасіння/перетворення (Г/П) змінює свій стан із високого рівня на низький. Час, необхідний для завершення цього процесу, не перевищує 30 мікросекунд. Закінчення перетворення сигналізується появою низького рівня на виході сигналу готовності даних (ГД). Після цього цифрові виходи АЦП (Q) переходять із режиму високого імпедансу в активний стан, забезпечуючи видачу сформованого цифрового коду.

На виході аналого-цифрового перетворювача (АЦП) формується десятирозрядний цифровий код. У випадку, коли потрібна менша кількість розрядів, для зменшення розрядності необхідно відкинути молодші біти. При цьому найстарший розряд вихідного коду, позначений як Q9, залишається незмінним незалежно від загальної розрядності коду.

Для початку нового циклу перетворення аналого-цифровий перетворювач (АЦП) потребує попередньої подачі імпульсу високого рівня на вхід Г/П. Тривалість цього сигналу має бути не меншою за 10 мікросекунд. У цей час цифрові виходи Q переходять у режим високого імпедансу, де залишаються до моменту фіксації сигналу низького рівня на виході генератора даних (ГД).

3.2.7 Вимірювальна схема

Автоматичні мости врівноваження є оптимальним вибором для перетворення змінної напруги, отриманої з температурних датчиків.

Ці пристрої використовуються для моніторингу та реєстрації температури або інших фізичних величин, значення яких можуть змінюватися залежно від активного опору. В олісекстракційному виробництві найбільш популярними є мости серії КСМЗ (модифікації КСМЗ-ПИ). Вони є стаціонарними точковими приладами, які забезпечують як візуальне відображення виміряних значень, так і їхню фіксацію на діаграмному диску. Такі мости відзначаються точністю та зручністю використання, що робить їх незамінними для автоматизації виробничих процесів, пов'язаних із контролем температури та інших параметрів.

Мости КСМЗ-ПП з іскробезпечною вимірювальною схемою розроблені таким чином, щоб унеможливити виникнення іскри в первинному контурі датчика під час аварійних ситуацій. Це стосується таких умов, як коротке замикання, обрив провідника чи вихід з ладу окремих елементів пристрою. Завдяки цьому конструкція виключає ризик займання вибухонебезпечної газової або парової суміші, в якій працюють термометри опору, що виступають датчиками системи. Використовувані датчики серійного виробництва не мають власного джерела живлення, не характеризуються індуктивністю чи значною ємністю та забезпечують безпечну роботу у складі приладів КСМЗ-ПИ. Це дозволяє їх застосування у середовищах будь-якого класу, де можливе утворення вибухонебезпечних концентрацій сумішей категорій від першої до четвертої, згідно з групами температурної класифікації T1–T5. Однак важливо дотримуватися вимоги щодо розміщення самих приладів КСМЗ-ПИ поза межами вибухонебезпечних зон. Збалансовані мости функціонують у парі з термометрами опору, забезпечуючи високу точність вимірювань і надійність системи. Додатково, конструкція мостів дозволяє легко інтегрувати різноманітні регулюючі пристрої, що суттєво розширює можливості їх використання в автоматизованих системах регулювання (АСР). Ця конструктивна гнучкість та

забезпечення безпеки роблять мости КСМЗ-ПП оптимальним вибором для складних умов експлуатації, пов'язаних із ризиком виникнення вибухів.

Розглянемо функціональну схему урівноваженого моста (рис.3.7).

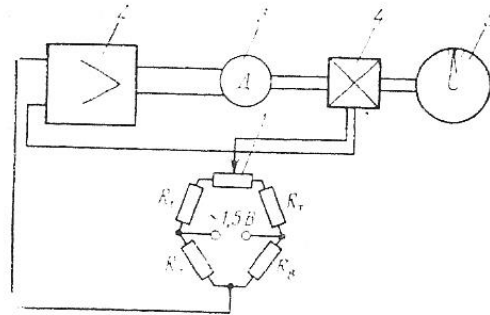


Рисунок 3.7 – Автоматичний врівноважений міст

Постійні резистори, разом із опором реохорда та опором термометра, формують урівноважену мостову схему. До однієї з її діагоналей підключено джерело живлення з напругою 1,5 В і частотою 50 Гц, тоді як інша діагональ під'єднана до вхідного сигналу системи автоматичного зрівноважування. Ця система складається з електронного підсилювача (позначеного як елемент 2) та електродвигуна (позначення – 3). Останній, через редуктор (елемент 7), механічно взаємодіє із повзунком реохорда, покажчиком (елемент 5) і пером записуючого пристрою (перо не відображено на схемі). Коли температура змінюється, опір термометра також змінюється, що спричиняє порушення балансу в мостовій схемі. Унаслідок цього виникає сигнал неузгодженості, який передається на вхід підсилювача, де він підсилюється і направляється до електродвигуна. Обертання вала двигуна призводить до переміщення повзунка реохорда, поки баланс мостової схеми не буде відновлений. Таким чином, положення повзунка, а також зв'язані з ним покажчик і перо приладу, точно відображають зміну опору термометра, що дає змогу визначити контрольовану температуру. У мостових схемах типу КСМЗ-П використовується напівпровідниковий підсилювач моделі УПД-2-03, тоді як для мостів модифікації КСМЗ-ПИ застосовуються підсилювачі УПД-2-03И, які мають вдосконалені характеристики.

Підсилювачі в комплексі з реверсивним двигуном Д-32П1 функціонують як нульові індикатори в балансних мостах. Вони призначені для підсилення

напруги постійного струму з подальшим перетворенням її в змінний струм частотою 50 Гц, а також для роботи із змінним струмом такої ж частоти.

В обладнанні, оснащеному напівпровідниковим підсилювачем, використовується реверсивний асинхронний електродвигун моделі Д-32П1, який має керуючу обмотку з напругою 12 В. Для обмотки збудження передбачено напругу 127 В. Цей електродвигун виконує функцію переміщення повзунка реохорда, стрілки індикатора, пера, а також забезпечує роботу інших механічних вузлів пристрою. Мотор типу Д-32П1 є асинхронним конденсаторним двигуном і виготовлений у поєднанні з редуктором, який знижує швидкість обертання ротора. На вихідному валу редуктора забезпечується частота обертання 24 або 72 об/хв залежно від режиму роботи, за умови подачі номінальної напруги на обидві обмотки двигуна та номінального навантаження на вал.

3.2.8 Нормуючий підсилювач

Для посилення постійного електричного струму доцільно використовувати операційний підсилювач моделі А741. На рис.3.8 зображено схему одного з найпоширеніших варіантів такого підсилювача, розробленого компанією Fairchild. Завдяки простій конструкції, що включає відносно невелику кількість транзисторів, цей підсилювач демонструє значний коефіцієнт посилення та характеризується високим вхідним опором.

Опис роботи схеми. Транзистори VT1 і VT3 виконують функцію емітерних повторювачів. Вони працюють у тандемі з емітерами транзисторів VT2 і VT4, що увімкнені за схемою з загальним провідником. Бази VT2 і VT4 з'єднані між собою та підключені до позитивного полюса верхнього джерела живлення через низькоомний вихідний опір, що формується емітером транзистора VT9. Загальний базовий струм транзисторів VT2 і VT4, що становить приблизно 10 мкА, встановлюється за допомогою струмових дзеркал, побудованих на транзисторах VT3, VT9, VT18 і VT19. Цей струм визначається як різниця між колекторним струмом VT18 і емітерним струмом VT9. Схема має властивість саморегулювання. Якщо загальний колекторний струм транзисторів VT1 і VT3

зростає, напруга база-емітер транзистора VT3 також збільшується. Це підвищує емітерний струм VT9, що, у свою чергу, зменшує сумарний базовий струм транзисторів VT2 і VT4. Зменшення базового струму відбувається через те, що струм емітера VT9 вираховується зі стабільного колекторного струму VT18.

Для транзисторів VT2 і VT4 навантаженням виступає активний елемент, сформований транзисторами VT15-VT17.

Колекторні струми транзисторів VT2 і VT4, підсумовуючись, передаються з колектора VT4 на базу транзистора VT5. Цей транзистор разом із VT6 утворює Дарлінгтонівський каскад, який забезпечує високий коефіцієнт підсилення струму. Для цього каскаду колекторне навантаження реалізоване у вигляді стабільного струмового генератора, зібраного на транзисторах VT10 і VT11. Стабільну напругу між базами і емітерами вихідних транзисторів VT14 і VT7 формує ланцюг, який включає транзистор VT12 та резистори R6 і R7. Цей ланцюг забезпечує зсув рівня напруги, необхідний для коректної роботи вихідного каскаду.

$$u_{B912}(1 + R_6 / R_7) = 0,7(1 + 4,5 / 7,5) = 1,12B$$

Таким чином, напруга між базою та емітером транзисторів VT14 і VT7 дорівнює 0,56 В, що свідчить про їх функціонування у режимі В.

Транзистор VT13 разом із резистором R10 виконує функцію захисту транзистора VT14 від надмірного навантаження. Коли емітерний струм VT14 перевищує допустимий рівень, наприклад, у випадку короткого замикання на землю, на резисторі R10 виникає напруга, достатня для відмикання транзистора VT13. Увімкнення транзистора VT13 призводить до зменшення струму бази транзистора VT14, запобігаючи його перевантаженню.

Враховуючи, що транзистор VT13 відмикається при визначеній напрузі, можна зробити висновок, що максимальна амплітуда емітерного струму для транзистора VT14 становить 20 мА.

Подібну функцію виконують транзистор VT20 і резистор R9, які захищають схему Дарлінгтона від можливих перевантажень. Наприклад, якщо в результаті замикання виходу підсилювача на позитивний потенціал верхнього

джерела живлення відбудеться підвищення напруги на емітері транзистора VT7, тоді напруга на базі не може відрізнятись від емітерної більше ніж на 0,7—0,8 В. Це призводить до збільшення напруги на базі транзистора VT7 та на колекторі транзистора VT6. Як результат, зростання емітерного струму транзистора VT6 відкриває транзистор VT20, тим самим захищаючи схему від непередбачених режимів роботи.

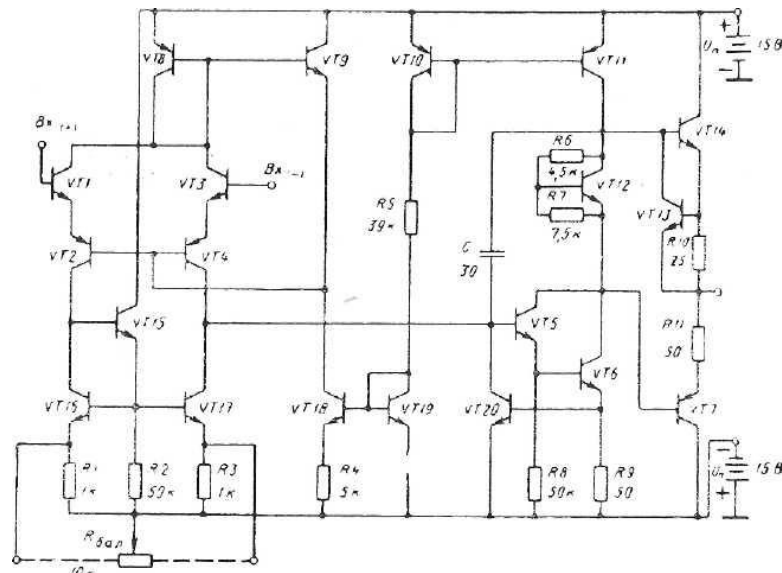


Рисунок 3.8 – Операційний підсилювач $\mu A741$

3.3. Опис принципової схеми системи

3.3.1 Модуль вводу даних

Аналоговий сигнал, що надходить від датчиків температури через роз'єм XS1, потрапляє до вимірювальних схем, які реалізовані у вигляді врівноважених мостових схем. У результаті роботи цих схем формується напруга, пропорційна вимірюваній температурі. Ця напруга передається на входи нормуючих підсилювачів, де вона підсилюється та направляється на вихідний роз'єм XS4.

Що стосується аналогового сигналу від датчиків тиску, він через роз'єм XS2 потрапляє до нормуючих підсилювачів, і від них вихідна напруга передається на вихідний роз'єм.

Сигнал від датчиків рівня, що надходить через роз'єм XS3, спрямовується до компараторів, після чого оброблений сигнал передається на вихідний роз'єм.

3.3.2 Блок центрального процесора

Основою цієї системи є мікроконтролер AT90S4414, який для взаємодії з навколишнім середовищем оснащений чотирма 8-розрядними портами вводу/виводу. Для ініціалізації АЦП та отримання сигналу готовності і оцифрованих результатів використовується дев'ять розрядів цих портів: один – для запуску АЦП, ще один – для перевірки готовності до зчитування, а решта сім – для прийому даних з АЦП. Щоб працювати з кількома аналоговими датчиками при обмеженій кількості портів, застосовується метод мультиплексування сигналів. Економічним та ефективним рішенням у такому випадку є використання мультиплексора для аналогових сигналів. Сигнали від датчиків, підключених до вхідного роз'єму XS1, подаються на входи мультиплексора (елемент DD1). Після цього комутовані сигнали передаються на АЦП, яке в даній системі є 10-розрядним. Цифрові дані з виходів АЦП (1-10) передаються на входи мікроконтролера. Для зберігання отриманої інформації мікроконтролер з'єднаний з блоком пам'яті через виводи 21-28. З огляду на те, що дані про технологічні параметри повинні зберігатися протягом тривалого часу, доцільно використовувати зовнішню пам'ять. Визначимо необхідний обсяг пам'яті: для мінімального періоду опитування в 1 секунду, протягом 8-годинного робочого дня, потрібно записати 28,800 байт (3600 секунд x 8 годин). Оскільки цей обсяг пам'яті не підходить для вбудованої пам'яті мікроконтролера, зовнішня пам'ять зазвичай реалізується через кілька ВІС-пам'яті. Дискретні датчики також підключаються до елемента DD2, з виходів якого сигнали передаються для подальшої обробки.

Шини D0-D7 підключаються до шини даних, а шини A0-A1 – до шини адреси.

Для відображення інформації на дисплеї використовується стандартний семисегментний індикатор, а також перетворювач, який конвертує двійковий код у десятковий для відображення на цьому індикаторі. Процес ініціалізації

електронно-обчислювальної машини (ЕОМ) розпочинається після подачі живлення через роз'єм XS2.

3.3.3 Модуль виводу інформації

Сигнали з блоку центрального процесора потрапляють до оптронів через вхідний роз'єм. Тут вхідна електрична величина за допомогою джерела світла конвертується у світлову енергію, яка через оптичне середовище передається на вихідний ланцюг, що складається з фотоприймача. Він здійснює перетворення світлової енергії в електричну. Далі сигнал, що пройшов через опторозв'язку, надходить до підсилювачів потужності, де його інтенсивність підвищується, і після цього посилений сигнал потрапляє до вихідного роз'єму.

3.4 Розрахунок блока живлення

3.4.1 Розрахунок трансформатора

Знаючи потрібну напругу на вторинній обмотці (U_2) та максимальний струм навантаження (I_n), можемо здійснити розрахунок трансформатора за такою схемою.

1. Спочатку визначаємо величину струму, який протікає через вторинну обмотку трансформатора:

$$I_2 = 1,5 \cdot I_n = 1,5 \cdot 1,9 = 2,85$$

де I_2 – це струм, що проходить через обмотку II трансформатора, вимірюваний в амперах (А); I_n – максимальний струм навантаження, який дорівнює 1,9 А.

2. Розраховуємо кількість енергії, яку випрямляч споживає від вторинної обмотки трансформатора:

$$P_2 = U_2 I_2 = 9 \cdot 2,85 = 25,65$$

де P_2 – найбільша потужність, що споживається від вторинної обмотки трансформатора, вимірюється в ватах (Вт); U_2 – напруга, що виникає на вторинній обмотці, вимірюється в вольтах (В); I_2 – максимальний струм, який

протікає через вторинну обмотку трансформатора, його величина становить 2,82А.

3. Підраховуємо потужність трансформатора:

$$P_{mp} = 1,25 \cdot P_2 = 1,25 \cdot 25,6 = 32$$

де P_{mp} – потужність трансформатора в одиницях ват, Вт; P_2 – максимальна потужність, яку трансформатор споживає від вторинної обмотки, рівна 25,6 Вт.

Якщо трансформатор має кілька вторинних обмоток, спочатку визначають загальну потужність усіх обмоток, а вже після цього розраховують потужність самого трансформатора, яка повинна забезпечити необхідну підтримку для всіх підключених навантажень.

4. Обчислюємо величину струму, який протікає через первинну обмотку:

$$I_1 = P_{mp} / U_1 = 32 / 11 = 2,9$$

де I_1 – значення струму, що протікає через обмотку I, вимірюється в амперах (А); P_{mp} – це обчислена потужність трансформатора, що виражена в ватах (Вт); U_1 – напруга, яка надається на первинну обмотку трансформатора, також відома як сіткова напруга.

Визначаємо потрібну площу поперечного перерізу сердечника магнітного кола:

$$S = 1,3 \cdot P_{mp} = 1,3 \cdot 32 = 41,6$$

де S - площа поперечного перерізу сердечника магнітного ядра; P_{mp} -32 – потужність трансформатора в ватах.

6. Розраховуємо кількість витків первинної обмотки (мережної):

$$w_1 = 50 \cdot U_1 / S = 50 \cdot 11 / 41,6 = 13,2$$

Число витків обмотки позначається як w_1 , а U_1 - це напруга, що подається на первинну обмотку, вимірюється в вольтах. Перетин сердечника магнітопроводу має значення 41,6 мм² (S).

7. Обчислюємо кількість витків вторинної обмотки:

$$w_2 = 55 \cdot U_2 / S = 55 \cdot 9 / 41,6 = 11,8$$

де w_2 – кількість витків у вторинній обмотці; U_2 – значення напруги на вторинній обмотці; S – площа поперечного перерізу магнітопровідного сердечника.

8. Оцінюємо розміри проводів обмоток трансформатора, визначаючи їх діаметри

$$d = 0,02 \cdot I = 0,02 \cdot 60 = 1,2$$

де d – діаметр проводу, мм; I – 60 – струм через обмотку, ма.

3.4.2 Розрахунок стабілізатора

Для забезпечення стабільної напруги на навантаженні при зміні величини споживаного струму, між виходом випрямляча та блоком живлення підключається спеціальний стабілізатор. У такому обладнанні використовуються стабілітрон V5 та регулюючий транзистор V6. Процес розрахунку дає змогу підібрати всі компоненти стабілізатора відповідно до заданих параметрів, таких як вихідна напруга U_H і максимальний струм навантаження I_H . Розрахунок елементів стабілізатора проводиться за певною послідовністю для досягнення необхідної стабільності в роботі системи.

1. Для визначення вхідної напруги ($U_{вип}$), що необхідна для роботи стабілізатора, при заданому значенні вихідної напруги (U_H), проводиться розрахунок з урахуванням технічних характеристик пристрою.

$$U_{вип} = U_H + 3 = 1 + 3 = 4$$

Цифра 3, що вказує на мінімальну напругу між колектором і емітером транзистора, враховує як кремнієві, так і германієві транзистори. Якщо стабілізатор підключається до вже існуючого або попередньо розрахованого випрямляча, в наступних розрахунках слід використовувати фактичне значення випрямленої напруги $U_{вип}$, яке може відрізнятися від теоретичного через вплив реальних умов роботи.

2. Обчислюємо максимальну потужність, яку може розсіювати транзистор.

$$P_{\max} = 1,3(U_{\text{вип}} - U_H)I_H = 1,3 \cdot (4 - 1) \cdot 1,9 = 7,41$$

3. При виборі регулюючого транзистора важливо враховувати кілька основних параметрів. Потужність, що розсіюється, не повинна перевищувати гранично припустимий рівень, який має бути більшим за значення $P_{\max}$. Напруга між емітером і колектором повинна бути більшою за значення $U_{\text{вип}}$, а максимально допустимий струм колектора – перевищувати I_H . Ці умови забезпечують стабільну та ефективну роботу транзистора в системі, що дозволяє уникнути його перегріву або пошкодження.

4. Визначаємо максимальний струм бази регулюючого транзистора:

$$I_{\beta, \max} = I_H / h_{21E \min} = 1,9 / 1 = 1,9$$

де $h_{21E \min}$ - мінімальний коефіцієнт передачі струму обраного (по довіднику) транзистора.

5. Вибір стабілітрона має ґрунтуватися на тому, що його стабілізаційна напруга повинна відповідати вихідному значенню напруги стабілізатора. Крім того, значення максимального струму стабілізації повинно бути вищим за максимальний струм бази $I_{\beta \max}$, щоб забезпечити надійну роботу схеми.

6. Підраховуємо опір резистора $R1$

$$R1 = (U_{\text{вип}} - U) / (I_{\beta \max} + I_{cm \min}) = (4 - 1) / (1,9 + 3,1) = 0,6$$

де $R1$ – опір резистора $R1$, Ω ; U_{cm} – напруга стабілізації стабілітрона, V ; $I_{\beta, \max}$ – обчислене значення максимального струму бази транзистора, mA ; $I_{cm, \min}$ – мінімальний струм стабілізації для даного стабілітрона, зазначений у довіднику (звичайно $3 \dots 5 \text{ mA}$).

7. Визначаємо потужність розсіювання резистора $R1$

$$P_{R1} = (U_{\text{вип}} - U_{cm})^2 R1 = (4 - 1)^2 / 0,6 = 15$$

4. Розрахунки та експериментальні матеріали, які підтверджують працездатність та надійність виробу

4.1 Розрахунок ТАУ системи

Об'єкт регулювання є ключовим елементом системи автоматичного регулювання, тому важливо вивчити його статичні та динамічні властивості. Для визначення характеристик об'єкта можна використовувати як аналітичні методи, так і експериментальні підходи. Це дозволяє отримати точну інформацію про поведінку об'єкта в різних умовах, що є необхідним для ефективного налаштування та управління системою.

Для правильного визначення параметрів налаштування регулятора важливо враховувати динамічні характеристики об'єкта, які можна отримати за допомогою аналізу розгінної або імпульсної характеристики. На підприємствах ці характеристики зазвичай визначають експериментальним шляхом на реальному обладнанні. Для побудови кривої розгону застосовують сходинку збуджуючого впливу, який подається на вхід об'єкта шляхом переміщення регулюючого механізму, звичайно, на 10% від максимального діапазону зміни вхідної величини. Під час цього процесу реєструється зміна вихідної величини до досягнення стабільного значення.

Основними об'єктами регулювання на олієекстракційних підприємствах є складні технічні системи з численними вхідними та вихідними параметрами. Якщо взяти, наприклад, екстрактор як об'єкт регулювання, то основними вхідними характеристиками будуть витрата, олійність, структура, температура та вологість макухи, а також витрата та температура розчинника. Вихідними параметрами є олійність, бензиноємність, температура та вологість шроту, а також концентрація, витрата та температура місцели. Для створення ефективної автоматизованої системи регулювання (АСР) необхідно визначити і контролювати ці ключові параметри.

На рис.4.1 показано імпульсні характеристики екстрактора для основного каналу, де відображено залежність між витратою бензину та концентрацією місцели на виході екстрактора (крива а), а також для проміжного каналу, що демонструє зв'язок між витратою бензину та концентрацією місцели в нижній частині завантажувального бункера (крива б). Це було зафіксовано під час впливу, що дорівнює $G = 5$ м/ч.

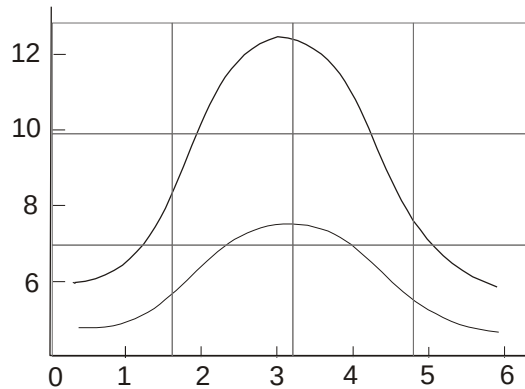


Рисунок 4.1 – Імпульсні властивості екстрактора через основний канал.

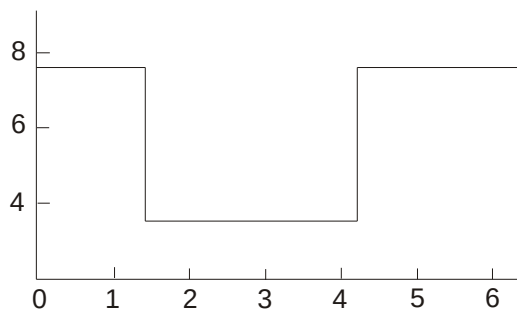


Рисунок 4.2 – Характеристики імпульсної роботи екстрактора через проміжний канал.

Для вказаних каналів було визначено криві розгону, апроксимація яких за допомогою методу площ дозволила отримати такі диференціальні рівняння:

По основному каналу

$$734,9 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 50,58 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = 0,8x(t - 18)$$

де $\tau = 18$ хв – час чистого запізнювання об'єкта регулювання.

Передаточна функція екстрактора може бути представлена наступним чином:

- для основного каналу

$$K(p) = \frac{0,8}{734,9p^2 + 50,58p + 1} e^{-18p}$$

- по допоміжному каналу

$$K_p = \frac{0,4}{53,46p^2 + 18p + 1} e^{-8p}$$

Диференційні рівняння, які моделюють процеси в системах регулювання олієекстракційного виробництва, а також їхні передаточні функції, є ключовими елементами для розуміння та оптимізації таких технологічних процесів.

Об'єктом регулювання в даному випадку є підігрівач бензину в екстракторі. Одним з важливих каналів взаємодії є параметр "витрата пари", що впливає на температуру бензину на виході. Ці зв'язки, що зумовлюють стабільність роботи екстракційної системи, визначають ефективність виробництва та енергетичну витратність процесу

$$1,75 \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + 2,64 \frac{dy(t)}{dt} + y(t) = 0,106 x(t - 0,57)$$

$$\text{Тут } K = 0,106 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{кг/ч}}, \quad T = 255\text{с}, \quad \tau = 46\text{с}$$

$$\Delta y = y_{\text{уст}} - y_0 = 65,3 - 62 = 3,3^{\circ}\text{C} \quad (4.1)$$

Передаточна функція підігрівача бензина екстрактора має вид

$$K(p) = \frac{0,106}{1,75p^2 + 2,64p + 1} e^{-0,57p}$$

Основні компоненти системи автоматичного регулювання (АСР). Розглянемо структуру АСР, припускаючи, що вимірювальний пристрій відключений від об'єкта, що регулюється. У цьому випадку система виявляється розімкнутою. Як можна побачити, на вхід регулятора надходить сигнал помилки, а на виході регулятора формується регулюючий вплив, який передається виконавчим елементом до регульованого об'єкта.

Для визначення регульованої величини можна використовувати передаточні функції як для розімкнутої системи, так і для системи, що реагує на збурювання

$$y = W(p)\varepsilon + W_f(p)f \quad (4.2)$$

Замкнемо систему. Рівняння замикання має вид

$$\varepsilon(t) = x(t) - y(t) \quad (4.3)$$

Вирішуючи рівняння (4.2) і (4.3) спільно, одержимо:

- для регульованої величини

$$y = \frac{W(p)}{1+W(p)} x + \frac{W_f(p)}{1+W(p)} f \quad (4.4)$$

- для помилки

$$\varepsilon = \frac{x}{1+W(p)} - \frac{W_f(p)}{1+W(p)} f \quad (4.5)$$

З рівнянь (4.4) та (4.5) можна зробити висновок, що наявність інформації про передатну функцію розімкненої системи дає змогу отримати вирази для регульованої величини, а також для похибки, що залежить від функцій заданого та збурюючих впливів. Це дозволяє більш точно аналізувати поведінку системи та її реакцію на різні види впливів.

Вибір регулятора і розрахунок його налаштувань.

Для правильного вибору типу регулятора та встановлення його параметрів у системі автоматичного регулювання температури бензину, де основним об'єктом управління є підігрівач бензину екстрактора, використаємо такі вихідні дані:

Маємо $\tau = 30 \text{ з}$, $T_0 = 270 \text{ с}$. Відношення

$$\tau / T_0 = 0,112 \quad (4.6)$$

Згідно з наведеним вище, при такому значенні співвідношення (4.6) можна обрати як регулятор безупинної, так і релейної дії. Проведемо розрахунки для регулятора безупинної дії.

Враховуючи умови технологічного процесу, максимальне відхилення регульованого параметра (температури) від встановленого значення не повинно перевищувати задану величину $\pm 2^\circ \text{C}$ тобто $\Delta \leq \pm 2^\circ \text{C}$.

Як типовий перехідний процес для аналізу в системі оберемо аперіодичний процес з мінімальним часом встановлення. Оцінемо, чи відповідає П-регулятор вимогам до точності роботи даної системи. Також проведемо

розрахунок коефіцієнта підсилення замкнутої системи, щоб визначити її ефективність і стабільність

$$K_p = \frac{0,3T_0}{K_0\tau},$$

звідки

$$K = K_0 K_p = \frac{0,3}{\tau/T_0} = 2,7 \quad (4.7)$$

Для визначення залишкової (статичної) помилки регулювання скористаємося формулою $\varepsilon_{зал}(t) = \frac{x(t)}{1+K} + \frac{\varepsilon_{foc}(t)}{1+K}$, вважаючи, що $f(t)=0$, тобто

складова $\frac{\varepsilon_{fco}(t)}{1+K} = 0$, і, полагаючи вхідний вплив $x_0 = x(t) = \Delta l(t) = \Delta y = 3,4^\circ C$,

одержимо

$$\varepsilon_{зал} = \frac{x_0}{1+K} = \frac{3,4}{1+2,7} = 0,92^\circ C \quad (4.8)$$

З рівняння (4.8) видно, що при застосуванні П – регулятора виконується умова $\Delta > \varepsilon_{зал} (2 > 0,92)$, отже, у даній системі П – регулятор застосувати можна.

Знайдемо коефіцієнт підсилення П-регулятора, який є параметром налаштування регулятора, використовуючи рівняння (4.7)

$$K_p = \frac{2,7}{K_0} = \frac{2,7}{0,17} = 16$$

Витрати бензину на екстрактор за допомогою АСР включають кілька основних складових: об'єкт управління (ділянка бензопроводу), регулювальний пристрій, механізм виконання (пневмоклапан), а також елемент, що здійснює вимірювання

$$\tau = 1,22 \quad c, T_0 3,23, K_0 = 1,17, \tau/T_0 = 0,382.$$

Співвідношення $\frac{\tau}{T_0} < 1,0$, отже, потрібно вибрати регулятор безупинної дії.

За умовами технологічного процесу допускається:

1. час регулювання $t_p \leq 203$;

2. перерегулювання $\sigma \leq 20\%$;
3. стала (статична) помилка $\varepsilon_{ост} = 0$

Обираємо ПІ – регулятор, який характеризується типовим перехідним процесом з перерегулюванням на рівні 20%. Цей параметр дозволяє забезпечити ефективне налаштування системи, забезпечуючи баланс між швидкістю реакції та стабільністю.

Коефіцієнт підсилення регулятора

$$K_p = \frac{0,7}{K_0 \tau / T_0} = \frac{0,7}{1,17 \cdot 0,382} = 1,4$$

і час изодрома

$$T_H = \tau + 0,3T_0 = 1,22 + 0,3 \cdot 3,2 = 2,18 \text{ с.}$$

Перевіримо, чи задовольняє ПІ – регулятор умові $t_p \leq 20 \text{ с.}$

$t_p = 12\tau = 12 \cdot 1,22 = 14,65 \text{ с}$, отже, ПІ – регулятор вимогам технологічного режиму задовольняє.

При запуску і вимиканні нагнітальних насосів у систему вводяться різкі коливання, які викликають обурення (до 20% від ходу регулюючого механізму), що вважаються типовими для цього процесу. Параметри налаштування регулятора включають величини, що відповідають специфікаціям та умовам роботи системи.

4.2 Розрахунок фізичних характеристик екстракції

Визначимо тривалість екстракції жмикового пелюстка олійністю $C_2 = 19,5\%$, товщиною 0,45 мм для одержання шроту олійністю $C_1 = 0,9\%$ за умови, що концентрація кінцевої місцели $C_2 = 16\%$ і вихід шроту стосовно пелюстка $III = 79\%$. На екстракцію подається бензин олійністю $C_1^> = 0\%$. Коефіцієнт масопередачі (ДО) для пелюстка зазначеної товщини визначимо на основі наведених даних $K = 2,4 \cdot 10^{-5} \text{ см/сек}$.

По формулі $M = C_2 - \frac{C_1 III}{100}$ *кг.олії* знаходимо кількість олії, що перейде в місцелу при екстракції

$$M = C_2 - \frac{C_1 III}{100} = 19,5 - \frac{0,9 \cdot 79,0}{100} = 18,79\%$$

Розраховуємо питому поверхню пелюстка згідно з вказаною методикою. Встановлено, що один метр має площу. На основі цього можна визначити, що пелюсток вагою 100 кг матиме площу.

$$C_2 - \frac{C_1 III}{100} = 4K \frac{F}{l} \cdot \frac{C_2 - C_2^> - C_1}{2,302 \lg \frac{C_2 - C_2^>}{C_1}}$$

Підставляючи у формулу відомі значення, одержимо

$$C_2 - \frac{C_1 III}{100} = 4K \frac{F}{l} \cdot \frac{C_2 - C_2^> - C_1}{2,302 \lg \frac{C_2 - C_2^>}{C_1}} \tau$$

чи

$$18,79 = 4 \cdot 2,4 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{652}{0,45} \cdot \frac{19,5 - 16 - 0,9}{2,302 \lg \frac{19,5 - 16}{0,9}} \tau$$

звідки

$$\tau = \frac{18,79}{0,47} = 40 \text{ хв.}$$

Складемо матеріальний баланс екстракції при переробці 350 т соняшникового насіння у виді форпресового жмикового пелюстка олійністю $M_2 = 14,5\%$ і вологістю $B_4 = 7,5\%$.

Вихід форпресового жмикового пелюстка стосовно насіння - 39,33 %. Олійність шроту $M_3 = 1,0\%$, вологість $B_5 = 8,3\%$. Кількість бензину, подаваного на екстракцію, у 1,01 рази більше кількості жмикового пелюстка, що надходить в екстрактор. Бензиноємність шроту $B_{ш} = 28\%$ на абсолютно суху знежирену речовину.

Визначивши обсяг жмикового пелюстка відносно насіння, можна обчислити кількість пелюстків, які потрапили в екстрактор

$$G_p = 350 \cdot \frac{39,33}{100} = 137,66 \text{ т / добу}$$

Обсяг бензину, який поступає в екстрактор протягом доби, згідно з умовами, буде

$$G_{Б·Ж} = 137,66 \cdot 1,01 = 139,04 \text{ т}$$

Використовуючи початкові дані та отримані результати, ми сформуємо добовий матеріальний баланс процесу екстракції.

Добовий матеріальний баланс екстракції

Надійшло в екстрактор

1. Сухой знежиреної речовини зі жмиковим пелюстком

$$G_{C·B} = G_p \cdot \frac{100 - (M_2 + B_4)}{100} = 137,66 \cdot \frac{100 - (14,5 + 7,5)}{100} = 107,36 \text{ т}$$

2. Вологи зі жмиковим пелюстком

$$G_B = G_p \cdot \frac{B_4}{100} = 137,66 \cdot \frac{7,5}{100} = 10,30 \text{ т}$$

3. Олії з макухою пелюстка

$$G_{M·Ж} = \frac{G_p M_2}{100} = \frac{137,66 \cdot 14,5}{100} = 19,96 \text{ т}$$

4. Бензину на прокачування жмикового пелюстка

$$G_{Б·Ж} = 139,04 \text{ т}$$

Разом 276,66 т

Вийшло з екстрактора

1. Сухий залишок без жирових компонентів. У ході екстракції рівень сухого знежиреного залишку залишається стабільним і не змінюється.

$$G_{C·B} = 107,36 \text{ т}$$

2. Вологість. При проведенні екстракції передбачається, що рівень вологості у жмиковому пелюстку залишається постійним і не змінюється протягом усього процесу.

$$G_B = 10,30 \text{ т}$$

3. Олії зі шротом

$$G_{M \cdot III} = \frac{(G_{C \cdot B} + G_B)M_3}{100 - M_3} = \frac{(107,36 + 10,3) \cdot 1}{100 - 1} = 1,19m$$

4. Олії з місцелюю

$$G_{M \cdot MII} = G_{M \cdot Ж} - G_{M \cdot III} = 19,96 - 1,19 = 18,77m$$

5. Бензину зі шротом, що відходить на дистиляцію

$$G_{B \cdot III} = \frac{G_{C \cdot B} B_{III}}{100 - B_{III}} = \frac{107,36 \cdot 28}{100 - 28} = 41,80m$$

6. Бензину з місцелюю, що відходить на дистиляцію

$$G_{B \cdot M} = G_{B \cdot Ж} - G_{B \cdot III} = 139,04 - 41,8 = 97,24m$$

Разом 276,66m

Розглянемо процес екстракції та складемо тепловий баланс для добового циклу, щоб визначити температурні показники шроту і місцели, які виходять із екстрактора. При цьому врахуємо умови, що були використані у попередніх розрахунках. Відомо, що температура жмикового пелюстка, який подається в екстрактор, становить $t_1 = 55^\circ C$, а температура бензину дорівнює $t_B = 60^\circ C$.

Добовий тепловий баланс екстракції

Прихід

1. Теплова енергія, передана екстрактору шляхом використання сухої знежиреної маси пелюсток жмиху

$$Q_1 = G_{C \cdot B} c_{C \cdot B} t = 107360 \cdot 0,5 \cdot 55 = 2960000 \text{ ккал} \quad \text{чи} \quad 12,4 \cdot 10^9 \text{ Дж} \quad c_{C \cdot B} \text{ ккал} / (\text{кг} \cdot \text{град}) \quad \text{чи}$$

де $2,1 \cdot 10^3 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{град})$ - теплоємність сухої знежиреної речовини при температурі $55^\circ C$.

2. Тепло, яке переносить олія, що знаходиться у структурі жмикового пелюстка.

$$Q_2 = G_{M \cdot Ж} c_M t_1 = 19960 \cdot 0,45 \cdot 55 = 494500 \text{ ккал} \quad \text{чи} \quad 2,03 \cdot 10^9 \text{ Дж},$$

$c_M = 0,45 \text{ ккал} / (\text{кг} \cdot \text{град})$ чи де $1,88 \cdot 10^3 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{град})$ - теплоємність олії при температурі t_1 .

3. Тепло, внесені вологою макухи

$$Q_3 = G_B t_1 = 10300 \cdot 55 = 566500 \text{ ккал} \quad \text{чи} \quad 2,37 \cdot 10^9 \text{ Дж}, \quad c_B = 0,625 \text{ ккал} / (\text{кг} \cdot \text{град}) \quad \text{чи де}$$

$2,62 \cdot 10^3 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{град})$ - теплоємність бензину при температурі $60^\circ C$.

Витрата

Теплова енергія, яка відводиться за рахунок сухої знежиреної маси

$$Q_5 = G_{C-B} c_{C-B} t_{шп} = 107360 \cdot 0,5 \left(\frac{t_B + t_{мц}}{2} \right) = 107360 \cdot 0,5 \cdot \frac{60}{2} + 107360 \cdot 0,5 \cdot \frac{t_{мц}}{2} = 1610400 + 26840 t_{мц} \text{ ккал} \text{ чи } 6,75 \cdot 10^9 + 11,28 \cdot 10^7 t_{мц} \text{ Дж, де } t_{шп} - \text{температура шроту. Приймається як середня між температурою мисцеллы } t_{мц} \text{ і температурою бензину, що } t_B \text{ надходить, тобто } t_{шп} = \frac{t_B + t_{мц}}{2}.$$

2. Тепло що уноситься олією в шроті

$$Q_6 = G_{M-ш} c_M t_{шп} = 1190 \cdot 0,45 \frac{t_B + t_{мц}}{2} = 1190 \cdot 0,45 \cdot \frac{60}{2} + 1190 \cdot 0,45 \cdot \frac{t_{мц}}{2} = 16065 + 267,6 t_{мц} \text{ ккал} \text{ чи } 6,075 \cdot 10^7 + 11,3 \cdot 10^5 t_{мц} \text{ Дж}.$$

3. Тепло, що уноситься вологою в шроті

$$Q_7 = G_B t_{шп} = G_B \frac{t_B + t_{мц}}{2} = G_B \frac{t_B}{2} + G_B \frac{t_{мц}}{2} = 10300 \cdot 30 + 5150 t_{мц} = 309000 + 5150 t_{мц} = 309000 + 5150 t_{мц} \text{ ккал} \text{ чи } 12,9 \cdot 10^8 + 21,5 \cdot 10^6 t_{мц} \text{ Дж}$$

4. Тепло, що уноситься бензином в шроті,

$$Q_8 = G_{B-ш} c_B^> t_{шп} = G_{B-ш} c_B^> \frac{t_B + t_{мц}}{2} = G_{B-ш} c_B^> \cdot \frac{t_B}{2} + G_{B-ш} c_B^> \cdot \frac{t_{мц}}{2} = 41800 \cdot 0,62 \cdot \frac{60}{2} + 41800 \cdot 0,62 \cdot \frac{t_{мц}}{2} = 777480 + 12958 t_{мц} \text{ ккал} \text{ чи } 3,26 \cdot 10^9 + 5,45 \cdot 10^7 t_{мц} \text{ Дж, де}$$

$c_B^> = 0,62 \text{ ккал} / (\text{кг} \cdot \text{град}) \left[2,6 \cdot 10^3 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{град}) \right]$ - теплоємність бензину при температурі $57,5^\circ \text{C}$.

5. Тепло, що уноситься місцелюю

$$Q_9 = (G_{M-мц} + G_{B-M}) c_{мц} t_{мц} = (18770 + 97240) \cdot 0,598 t_{мц} = 69373 t_{мц} \text{ ккал} \text{ чи}$$

$$2,9 \cdot 10^8 t_{мц} \text{ Дж, } c_{мц} = 0,598 \text{ ккал} / (\text{кг} \cdot \text{град}) \text{ чи де } 2,5 \cdot 10^3 (\text{кг} \cdot \text{град}) - \text{теплоємність}$$

міцели, визначена на основі принципу адитивності, була розрахована з урахуванням відповідних компонентів.

Тепловтрати враховуються на рівні 1% від загальної кількості теплової енергії, яка передається через суху речовину макухи.

$$Q_{10} = 0,01 \cdot Q_1 = 0,01 \cdot 2960000 = 29600 \text{ ккал чи } 1,24 \cdot 10^8 \text{ Дж}.$$

Баланс тепла: 923500 ккал чи $38,6 \cdot 10^9$ Дж

$$2742545 + 114588 t_{\text{мц}} \text{ ккал чи } 11,5 \cdot 10^9 + 4,8 \cdot 10^8 t_{\text{мц}} \text{ Дж}.$$

З даних балансу знаходимо

$$t_{\text{мц}} = \frac{9235000 - 2742545}{114588} = 56,4^\circ \text{C} \quad \text{чи виходячи з результатів, виражених в}$$

одиинцях системи СІ

$$t_{\text{мц}} = \frac{(38,6 - 11,5)10^9}{4,8 \cdot 10^8} = 56,4^\circ \text{C}.$$

Потім визначимо температуру шроту

$$t_{\text{шр}} = \frac{t_{\text{б}} + t_{\text{мц}}}{2} = \frac{60 + 56,4}{2} = 58,2^\circ \text{C}.$$

4.3. Розрахунок надійності системи

Надійність – це характеристика пристрою, яка визначає його здатність виконувати задані функції. Ця властивість охоплює такі аспекти, як стійкість до відмов під час роботи та придатність до ремонту.

Під стійкістю до відмов (безвідмовністю) розуміють здатність пристрою зберігати свою функціональність у встановлених умовах експлуатації протягом заданого періоду або обсягу напрацювання.

Довговічність пристрою визначається його спроможністю підтримувати працездатність до настання стану, що є критичним або граничним для його подальшого використання.

Працездатний стан характеризується відповідністю всіх параметрів об'єкта, які впливають на його функціонування, нормативним або технічним вимогам, що встановлені для виконання завдань.

Граничний стан – це такий рівень зношення чи ушкодження об'єкта, при якому його подальше використання стає недопустимим через порушення безпеки або втрату функціональності.

Головними показниками надійності є:

а) ймовірність безвідмовної роботи у протіканні часу t

$$N_t - N_0$$

де N_t - Кількість виробів, що зберігають працездатність з плином часу t . N_0 - число виробів які поставлені на випробування.

ймовірність відмов - $Q(t) = 1 - P(t)$

б) інтенсивність відмов

$$\lambda_1 = \frac{\Delta N(\Delta t)}{N(t)\Delta t}$$

де $\Delta N(\Delta t)$ - число виробів, що відмовили за час Δt ; $N(t)$ - Кількість функціонуючих елементів на старті певного проміжку часу. Δt ; Δt - інтервал часу спостереження.

Інтенсивність відмов допомагає оцінити середню тривалість роботи системи чи обладнання до першого збою.

$$T_{CP} = \frac{1}{\lambda}$$

та ймовірності безвідмовної роботи

$$P(t) = e^{-\lambda t}$$

Надійність всієї системи можна оцінити, базуючись на показниках надійності її окремих компонентів, які входять до складу цієї системи.

Найпростіший випадок розрахунку – це коли резервування відсутнє, і відмова хоча б одного з елементів тягне за собою вихід з ладу всієї системи.

Подібні системи, за аналогією з електричними колами, прийнято називати послідовними.

При цьому можна застосувати теорему множення ймовірностей

$$P_c(t) = \prod_{i=1}^n P_i(t)$$

де $P_i(t)$ - ймовірність безвідмовної роботи i - го елемента; N - кількість комплектуючих елементів.

$$\text{Тоді } P_c(t) = e^{-\sum_{i=1}^N \lambda_i t}$$

Ймовірність надійного функціонування системи протягом одного року (що відповідає 8736 годинам) обчислюємо за допомогою відповідної формули, беручи до уваги параметри, наведені у таблиці.

$$P_c(t) = e - \sum_{i=1}^N \lambda_i t_i . \text{ Підставляємо дані отримаємо}$$

$$P_c(t) = e^{-14,758873610^{-6}} = 0,9$$

Найменування	Кількість	Інтенсивність відмови, $\lambda \cdot 10^{-6}, 1/\text{год}$
Датчик температури	8	90
Датчик тиску	8	100
Датчик рівня	15	75
Нормуючі підсилювачі	16	45
Вимірювальні схеми	8	105
Мікросхеми	12	350
Підсилювачі потужності	6	55
Оптрони	6	0,5

Висновок

Одним із пріоритетів цієї роботи було системне розширення виробничих потужностей діючих підприємств, інтенсифікація ключових технологічних операцій, поліпшення стандартів якості готової продукції, комплексне та збалансоване використання вихідної сировини, зменшення енергоспоживання на кожну одиницю виготовленого виробу, а також підвищення рівня санітарно-гігієнічних умов праці. Досягнення цих цілей цілком можливе, якщо активно впроваджувати комплексні підходи до автоматизації та механізації всіх етапів виробничого процесу.

Застосування сучасних систем автоматизації у виробництві не лише дало змогу прискорити технологічні цикли та підвищити продуктивність праці, але й забезпечило стабільність якісних характеристик кінцевої продукції. Водночас комплексне оснащення апаратури захисними системами та високоточними контрольно-вимірювальними приладами істотно знизило ризики аварій, у тому числі на вибухонебезпечних і пожежонебезпечних ділянках. Такий підхід уможливив оперативну сигналізацію, миттєве автоматичне відключення обладнання у позаштатних ситуаціях, а також гарантував необхідний рівень безпеки та комфорту під час виконання професійних завдань.

Перелік використаної літератури

Додаток А. Охорона праці