

Міністерство освіти і науки України
Центральноукраїнський національний технічний університет

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра «Автоматизації виробничих процесів»

“Допущено до захисту ”

Зав. кафедрою АВП

к.т.н., доцент

_____О.К. Дідик

“ ____ ” _____ 2024 р.

ВИПУСКНА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА за ступенем вищої освіти «Бакалавр»

на тему:

«Система автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі» «System for automatic stabilisation of grain temperature during storage in a grain storage facility»

Виконав студент IV курсу групи АК-20
спеціальності 151 «Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані технології»

_____О.С. Сугак

« ____ » _____ 2024 р.

Керівник роботи

доц, канд. техн. наук

_____О.М. Сербул

« ____ » _____ 2024 р.

Рецензент _____

« ____ » _____ 2024 р.

м. Кропивницький

ЗМІСТ

Вступ.....	5
1 Призначення та область застосування системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі.....	8
1.1 Способи і режими зберігання зерна.....	8
1.2 Активне вентилування зерна.....	9
1.3 Заходи післяжнивної обробки зерна.....	11
1.4 Технологічний процес післяжнивної обробки зерна.....	17
2 Огляд рішень та обґрунтування принципу побудови виробу.....	23
2.1 Огляд методів вимірювання вологості.....	23
2.2 Засоби вимірювання температури.....	30
2.2.1 Типи напівпровідникових датчиків температури.....	30
2.2.2 Плівкові датчики температури.....	31
2.2.3 Резистивні датчики.....	31
2.3 Засоби зміни положення заслінки.....	33
2.3.1 Двигуни постійного струму.....	34
2.3.2 Електродвигун з послідовним збудженням.....	34
2.3.3 Електродвигун із змішаним збудженням.....	35
2.3.4 Синхронні електродвигуни постійного струму.....	35
2.3.5 Асинхронні електродвигуни.....	36
2.3.6 Однофазний асинхронний електродвигун.....	39
2.3.7 Електродвигун змінного струму з послідовним збудженням.....	39
3 Обґрунтування обраних проектних рішень автоматизації процесу вентилування зернової маси в зерносховищі.....	41
3.1 Розробка структури системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі.....	41

3.2 Розробка та опис схеми функціональної системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі.....	43
3.3 Розробка схем електричних принципових реалізації системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі.....	43
4 Розрахунки, що підтверджують працездатність виробу.....	47
4.1 Структурна схема системи.....	47
4.2 Визначення передаточної функції розімкнутої, замкнутої системи та характеристичного рівняння.....	50
4.3 Побудова АФЧХ, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи.....	51
4.3.1 Побудова АФЧХ розімкнутої системи.....	51
4.3.2 Побудова ЛАЧХ розімкнутої системи.....	52
4.3.3 Побудова ЛФЧХ розімкнутої системи.....	53
4.4 Визначення стійкості замкнутої системи. Побудова області стійкості.....	54
4.4.1 Дослідження на стійкість системи за допомогою критерію Гурвіца.....	54
4.4.2 Дослідження на стійкість системи та визначення області стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра.....	54
4.5 Оцінка якості регулювання замкнутої системи по ЛАЧХ розімкнутої системи.....	56
4.6 Побудова бажаної ЛАЧХ розімкнутої системи.....	57
4.7 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої системи.....	60
4.8 Визначення прямих показників якості синтезованої системи.....	62
5 Опис організації робіт, що пов'язані із застосуванням системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі.....	63

5.1 Монтаж системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі.....	63
5.2 Налагоджування системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі.....	65
5.3 Експлуатація системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі.....	65
Висновки.....	67
Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів.....	69
Список літератури.....	70

ВСТУП

На всіх етапах розвитку суспільства першочерговим завданням було всебічне розвиток зернового господарства як основи сільськогосподарського виробництва. Збільшення виробництва і заготівель високоякісного зерна твердої та сильної пшениці є одним з найважливіших завдань сільськогосподарських та заготівельних органів у основних зернових районах. Перед працівниками сільського господарства та спеціалістами різних галузей народного господарства країни стоять такі завдання у сфері зберігання продуктів:

- зберегти продукти та посівні фонди з мінімальними втратами маси і без зниження їх якості;
- підвищувати якість продуктів і посівних фондів під час зберігання, використовуючи відповідні технологічні методи та режими;
- організовувати зберігання продуктів найефективніше, з найменшими витратами часу і коштів на одиницю маси продукту, зменшувати витрати при зберіганні продуктів.

Післяжнивна обробка є одним з найтрудомісткіших процесів у виробництві зерна. Важливість сушіння зерна важко переоцінити. Залежно від погодних умов, деякі культури потребують негайного сушіння, тоді як інші можуть тимчасово зберігатися. Однак, усі культури зрештою потребують сушіння. Це необхідно не тільки для зберігання врожаю, але й для знищення більшості шкідників. Тому перед працівниками сільського господарства стоїть завдання організувати поточну обробку зернової частини врожаю так, щоб значно підвищити продуктивність праці. Для цього необхідно знати вимоги до якості зерна і насіння [1]. Незважаючи на зовнішню різноманітність партій зерна, їх властивості як об'єктів зберігання мають багато спільного.

До теплофізичних властивостей зерна належить теплостійкість — здатність зерна зберігати свої насіннєві, продовольчі та інші якості під час сушіння. Наприклад, при певних температурних режимах білки згортаються, що

призводить до втрати їх здатності набухати. При температурах вище 60 °C значно погіршується якість крохмалю.

Під час зберігання за певних умов може відбутися самонагрівання зерна – підвищення температури зернової маси через фізіологічні процеси в ній та низьку теплопровідність. Під час самонагрівання змінюються такі показники якості зерна:

- органолептичні властивості (блиск, колір, запах і смак);
- технологічні, харчові та фуражні властивості через зміни в його хімічному складі;
- спроможність зерна виростати в рослину під час посіву.

У випадку, коли самонагрівання стає значним, температура піднімається до 50 °C і вище, що призводить до зниження сипкості зернової маси. Зерно нагрівається, виділяючи виражені запахи розкладу. Процес завершується обвуглюванням зерна і повною втратою його сипкості.

Державні стандарти України встановлюють вимоги до якості насіння як посівного матеріалу, і це насіння поділяється на три класи.

У сільському господарстві виникли нові типи індустріальних підприємств, які займаються післяжнивною обробкою зерна. Ці підприємства обладнані зерноочисним, сушильним, навантажувально-розвантажувальним, транспортним та іншим обладнанням для виконання всіх процесів, пов'язаних з очищенням, сортуванням, сушінням і зберіганням зерна. Крім них, у сільському господарстві також використовуються зерноочисні агрегати та зерноочисно-сушильні комплекси з продуктивністю від 5 до 40 тонн на годину. Розробка зерноочисних машин узагальнюється за потоковим методом післяжнивної обробки зерна.

Аналіз матеріально-технічної бази післяжнивної обробки насінного зерна у господарствах Кіровоградської області показав нераціональне розподілення ресурсів. Основний акцент у господарствах був зроблений на підвищення продуктивності сушарок. Однак через недостатню продуктивність точок

прийому та попереднього очищення, а також фінального очищення насіння, загальне підвищення продуктивності пунктів не відбулося.

Крім того, ефективне використання енергоресурсів може значно знизити витрати на виробництво. Сучасна автоматизована система управління повинна не лише забезпечувати встановлений режим, але й максимально ефективно використовувати можливості виконавчих систем. Вона повинна мати можливість оперативно встановлювати критерії під час експлуатації, які чітко відображають агрономічні, економічні і технічні вимоги до системи. Таким чином, сучасна система управління повинна дозволяти не лише задати певний критерій управління, але й будь-який інший, що з'являється в процесі виробництва, надаючи широкі можливості вибору методу підтримки заданого ходу технологічного процесу.

Під час будівництва пунктів рідко використовувалися стандартні будівельні рішення, і практично не була використана необхідна серійна техніка, включаючи вентильовані бункери, які випускає промисловість.

У зв'язку з тим, що наразі головне підвищення продуктивності зерноочисно-сушильних пунктів у сільськогосподарських підприємствах має відбуватися через їх реконструкцію та модернізацію, у даній бакалаврській роботі представлено проектне рішення для окремого пункту, використання якого може сприяти вирішенню поставленої задачі.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ОБЛАСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРИ ЗЕРНА В ПРОЦЕСІ ЗБЕРІГАННЯ В ЗЕРНОСХОВИЩІ

1.1 Способи і режими зберігання зерна

Якщо всі процеси у зерні сповільнені, то воно може добре зберігатися. Головний вплив на швидкість цих процесів має вологість, температура і наявність кисню у зерновій масі.

Існують три режими зберігання зерна: в сухому стані, охолоджену стані і без доступу повітря або у газовому середовищі. Крім того, перед зберіганням зерно потрібно очистити, дезінфікувати і, якщо можливо, створити умови для наступного дозрівання після збирання (такі як теплова сушка, активне вентилування сухим повітрям і т. д.).

У режимі зберігання зерна в сухому стані інтенсивність дихання сухої зернової маси надзвичайно низька. Багато комах і всі кліщі, які є шкідниками хлібних запасів, не можуть пошкодити ціле сухе зерно і отримати достатню кількість вологи з їжею. Мікроорганізми перестають розмножуватися і поступово вмирають.

Зберігання в охолоджену стані базується на тому, що навіть при температурі 10 °C інтенсивність дихання зернової маси значно знижується, внаслідок чого багато комах стають малорухомими і припиняють своє розмноження. Подальше зниження температури призводить до того, що всі комахи і кліщі припиняють свій розвиток і з часом гинуть. Прискорення цього процесу залежить від того, наскільки низькою є температура. Хоча при знижених температурах мікроби припиняють свій розвиток, вони не вмирають. Цей режим забезпечує високу якість зберігання зерна протягом короткого періоду. Для довгострокового зберігання зерно варто сушити. Оптимальні результати можна досягти шляхом поєднання цих двох методів - зберігання сухого зерна в охолоджену стані.

Режим зберігання зерна без доступу повітря ґрунтується на тому, що у герметичному сховищі, через дихання зернової маси, кисень споживається, а вуглекислий газ накопичується. Це призводить до загибелі шкідників хлібних запасів та аеробної мікрофлори. Анаеробна мікрофлора, що становить менше 1% від усієї мікрофлори зерна, не може суттєво пошкодити зберігане зерно. Встановлено, що критична вологість зерна при анаеробному зберіганні може бути на 1-2% вищою, ніж при аеробному. Анаеробні умови можна створити, вводячи інертні гази (наприклад, вуглекислий газ, азот) у зернову масу. Цей метод відомий як застосування регульованого газового середовища. Проте зберігання зерна без доступу повітря не набуло широкого поширення через труднощі у створенні герметичних умов у сучасних сховищах.

1.2 Активне вентилявання зерна

Активне вентилявання - це процес примусового подавання повітря в зернову масу за допомогою вентилятора, без її переміщення. Повітря, що нагнітається вентилятором, вводиться в зернову масу через систему каналів або труб і пронизує її у різних напрямках. За допомогою холодного повітря можна швидко охолодити всю зернову масу за декілька годин і таким чином забезпечити її консервацію. Це особливо важливо у випадках, коли необхідно усунути ризик самозігрівання. При низькій вологості повітря різної температури можна знизити відносну вологість у міжзернових просторах і навіть підсушити зернову масу, що також знизить її фізіологічну активність. Активне вентилявання є вигідним з економічної точки зору, оскільки воно уникне витрат на перемішування зернової маси і значно скоротить потребу в робочій силі. Протягом тривалого періоду активне вентилявання використовувало лише повітря атмосфери у його природному стані. Тепер воно розширюється за рахунок застосування активного вентилявання підігрітим повітрям, що дозволяє значно підсушити зернову масу без її переміщення безпосередньо до сховища або на майданчиках. Використання вентилявання підігрітим повітрям призводить до дуже добрих результатів. Цей

метод застосовується в складах, на майданчиках, у спеціальних бункерах і силосах елеваторів. У сільськогосподарських господарствах поширені різновиди установок для вентилявання:

- стаціонарні підлогові з влаштуванням постійних каналів в підлозі складу або на майданчику;
- підлогово-переносні, які складаються з системи переносних повітророзподільних каналів, що розміщуються там, де потрібно на підлозі складу або майданчика; такі установки зазвичай використовуються на складах та майданчиках з гарними підлогами, які раніше не були обладнані каналами;
- бункерні;
- трубні.

Для проведення активного вентилявання зернових мас використовують різноманітні моделі осьових і відцентрових вентиляторів, які забезпечують необхідний тиск повітря.

Ефективність роботи установок залежить від правильного розташування та належного розрахунку всієї системи розподілу повітря, щоб у всіх її ділянках був забезпечений необхідний тиск повітря. У протилежному випадку, вентиляція буде нерівномірною, що призведе до утворення застійних і недостатньо провітрених областей у зерновому масиві, які стануть причиною зволоження та недостатнього охолодження зерна, сприяючи появі осередків його псування.

Ефективність вентилявання залежить від температури та вологості використовуваного повітря, а також від вологості та температури зернової маси. Найбільш важливими факторами є об'єм повітря, який нагнітається в зернову масу, та час, протягом якого це відбувається. Навіть в зерновій масі з високою вологістю, яка перебуває в стані самозігрівання, успішно може бути знижена температура за допомогою насиченого вологою холодного повітря. Питома подача повітря - це кількість повітря, яка потрібна на одну тонну зерна, і вона змінюється від 30 до 200 м³/год, залежно від виду культури та вологості зернової маси, при висоті насипу від 1,5 до 3,5 метра.

Чим більше відмінностей між параметрами повітря і зернової маси, тим швидше досягається технологічний ефект вентилявання.

У всіх випадках важливо захищати вентиляційну систему, всмоктуючий отвір вентилятора і зернову масу від потрапляння дощу та снігу. Також необхідно, щоб висота насипу зернової маси була достатньою та однаковою для будь-якого методу активного вентилявання.

1.3 Заходи післяжнивної обробки зерна

Однією з головних умов підвищення рівня сільськогосподарського виробництва є підвищення ефективності використання техніки для післяжнивної обробки врожаю за допомогою сучасних методів та засобів інтенсифікації технологічних процесів [2-4]. У зв'язку з цим набуває все більшої актуальності проблема вдосконалення зерноочисно-сушильних комплексів (КЗС) та потокових ліній. Аналіз показує, що використовувані в агропромисловому комплексі країни КЗС, технологічні схеми яких стали класичними з початку 60-х років минулого століття, не повністю відповідають сучасним вимогам щодо економії енергетичних і матеріальних ресурсів, зниження трудовитрат і собівартості, а також збереження якості зерна.

При обробці зерна з підвищеною або високою вологістю продуктивність значно знижується, що порушує безперервність роботи. Відсутність приймальних бункерів для комбайнового оберемка під час збирання двох одночасно дозріваючих культур змушує тимчасово складувати одну з них в бурти, що призводить до підвищення собівартості і збільшення втрат зерна. Аналіз ефективності експлуатації КЗС в Кіровоградській області показав, що через відсутність оперативних ємностей на 150–200 т в потокових лініях продуктивністю 20 т/год, продуктивність знижується на 30 % (а іноді навіть на 50 %). Також варто зазначити, що паспортна продуктивність машин для попереднього очищення зерна, які входять до складу КЗС, забезпечується лише за вологості зерна більше 16 % і засміченості 42 % (при цьому дрібне насіння бур'янів ці машини не видаляють). Наявність дрібного насіння бур'янів у зерновій масі

призводить до її самосепарації в сушильних камерах зерносушарок (особливо шахтного типу), що негативно впливає на якість зерна через нерівномірність нагріву і сушіння. Крім того, при надходженні на КЗС зерна з вологістю понад 16 %, продуктивність прийому знижується до 30 %, а споживання палива на сушіння збільшується на 8-10 %.

Впроваджені наприкінці 80-х років КЗС-25Ш і КЗС-50 значно перевершували своїх попередників за технічним рівнем, але не вирішували повністю недоліків потокової технології, що використовувалася в нашій країні. Це пов'язано, перш за все, з неефективною роботою комплексів під час обробки зерна з вологістю понад 25 %. Відсутність прямого зв'язку зі складами та зерносховищами підвищує потребу в мобільних транспортних засобах під час жнив. Типові проекти КЗС, розроблені свого часу Цитепсельхоззерно, були розраховані на обробку зерна з вологістю лише до 20 %. При вологості зерна понад 25 %, відділення прийому ОП-50, що є частиною ЗАВ-25, з загальною місткістю бункерів 200 т не забезпечує повного спорожнення і якісного тимчасового зберігання зерна при максимальному завантаженні. Технологічна схема комплексів не передбачає тимчасового зберігання зерна після циклічного сушіння в зерносушарках.

Досліджуючи і аналізуючи роботу останнього покоління КЗС при обробці зерна з вологістю понад 22 %, можна дійти висновку, що більшість виявлених недоліків можуть бути усунені шляхом встановлення у потокових лініях приймачів комбайнового зерна для мінімум двох культур та оперативних ємностей для проміжного зберігання попередньо очищеного і висушеного зерна. Такі ємності необхідно розміщувати між відділенням прийому зерна і зерносушаркою, а також між зерносушаркою і очисними відділеннями. Як оперативні ємності можна успішно використовувати вентильовані бункери ОБВ-160А, які складаються з чотирьох бункерів БВ-40А виробництва ЗАТ "ВКВ по сушарках "Брянськсельмаш". Це відділення у складі технологічних ліній може виконувати більш широкий спектр функцій, ніж вказано в інструкції по експлуатації: перед сушінням – тимчасове зберігання і накопичення зерна, стабілізація зерна за температурою і вологістю; після сушіння – відлежування, охолодження, тимчасове зберігання і накопичення

зерна перед кондиційним очищенням. Крім того, відділення ОБВ-160А можна застосовувати для основного зберігання зерна або насіння після завершення сезонної післяжнивної обробки. Виконання цих операцій у відділенні ОБВ-160А забезпечує збереження якісних показників насіння (схожості і енергії проростання) після сушіння та знижує енергоспоживання на цей процес до 19 % [5].

Практичний досвід використання раніше випущених КЗС свідчить, що подальше їх впровадження у виробників зерна за типовими проектами, розробленими на основі "класичної" схеми післяжнивної обробки, є недоцільним для зон з підвищеною вологістю. Ці схеми потребують вдосконалення у напрямку впровадження енергозберігаючих технологій при післяжнивній обробці зерна, зниження частки зерна, що йде на фураж, і поліпшення техніко-експлуатаційних показників. Насамперед слід удосконалити технологічну схему комплексів, враховуючи:

- виділення дрібних смітних домішок із зернового матеріалу та розділення його на фракції (продовольчу, насіннєву, фуражну) до сушіння. Це дозволить знизити частку зерна на фураж і зменшити споживання теплової енергії на сушіння;
- збільшення добової продуктивності за рахунок використання в комплексах обладнання, що виконує кілька операцій одночасно або послідовно. Це підвищить експлуатаційні показники, зменшить споживання палива і електроенергії на сушіння;
- включення в лінію техніки та обладнання (особливо сушильного) відкритого виконання з установкою на рівні "нуль". Це знизить трудомісткість, матеріаломісткість та потребу в будівельних матеріалах при монтажі машин і обладнання;
- підвищення якості зерна через розділення зернового матеріалу на фракції до сушіння і обробку їх при різних температурних режимах. Одноразова обробка фракцій з мінімальною кількістю перевалок транспортними механізмами, використання каскадної установки машин у лініях сприятимуть зниженню споживання палива та електроенергії, трудовитрат при монтажі та експлуатації

комплексів, а також собівартості обробки зерна, зменшуючи потребу в великих сушарках у зонах підвищеної вологості.

Ефективність роботи поточкових ліній значною мірою залежить від розташування господарства, його спеціалізації та наявності фахівців з післяжнивної обробки. На рис. 1.1 представлена схема розміщення технологічних операцій у поточковій лінії. На стадії попередньої обробки зернового матеріалу, який одночасно надходить з двох точок прийому для однієї або двох культур, передбачається виділення використовуваних і невживаних відходів, легких і фуражних домішок, а також розділення на основну і фуражну фракції. Останні обробляються паралельно на трьох лініях: дві для обробки зерна основного призначення і одна для фуражного зерна, використовуваних відходів після попереднього очищення та відходів після первинного очищення. Лінії обробки зерна основного призначення включають наступне обладнання:

- засоби для тимчасового зберігання та консервації зерна перед сушінням, що забезпечують накопичення, дозування та рівномірне розподілення теплофізичних параметрів зерна за температурою та вологістю;
- сушарки, які дозволяють сушити зерно будь-якої вологості за один прохід;
- обладнання для накопичення зерна перед остаточним очищенням,

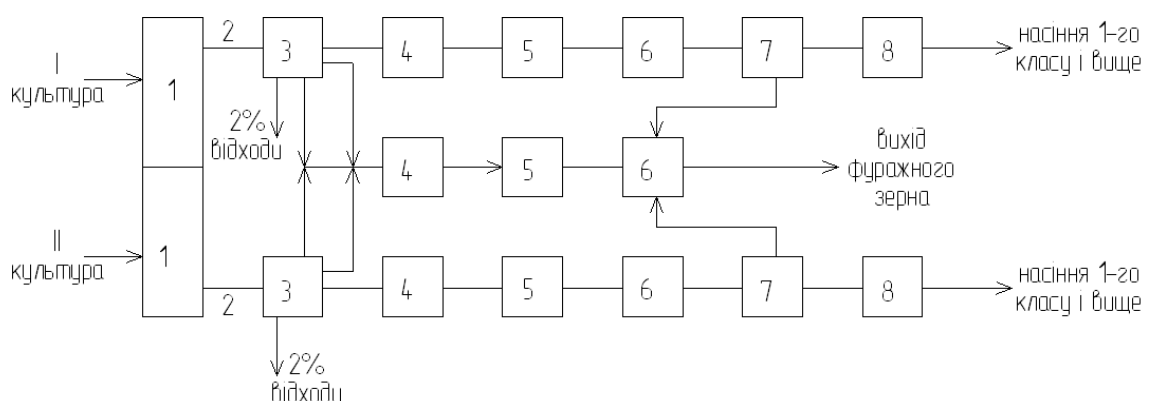


Рисунок 1.1 – Функціонально-технологічна схема поточної лінії для післяжнивної обробки зерна в насіннєвих і зернових господарствах:

1 – прийом оберемка; 2 – транспортування; 3 – попереднє очищення з розділенням на фракції; 4 – тимчасове зберігання фракцій; 5 – сушіння; 6 – первинне і вторинне очищення; 7 – тимчасове зберігання і охолодження; 8 – отримання насінного матеріалу

включаючи процеси відлежування, охолодження та рівномірне вирівнювання теплофізичних властивостей зерна за температурою та вологістю після сушіння;

- комплекс машин для остаточного очищення зерна, після чого відходи направляються до фуражної лінії;
- обладнання для отримання насіння за класом якості.

Фуражна лінія складається з таких елементів, як накопичувач фуражних відходів, сушарка і обладнання для тимчасового зберігання фуражного матеріалу з подальшим охолодженням після сушіння. У випадку наявності в господарстві вентильованих складів і сховищ, де можливе охолодження зерна під час його зберігання, фуражний матеріал рекомендується направляти туди після сушіння. У такому випадку можна не встановлювати обладнання для тимчасового накопичення матеріалів у фуражній лінії.

Для зменшення витрат енергії на післяжнивну обробку зернового матеріалу розумно передбачати обдування його відпрацьованим теплоносієм з сушарок в лініях. Обдування є найбільш раціональним під час транспортування матеріалу до сушарки, оскільки це сприяє одночасному підвищенню текучості та прогріванню його. У випадку охолодження зерна в накопичувальних ємностях, вентильованих складах і сховищах, рекомендується сушити його до вологості 15–15,5 % і охолоджувати при витраті повітря 60–100 м³/год на 1 тону. Це дозволить за рахунок відлежування зерна і нагромадження в ньому тепла під час сушіння економити 15–20 % палива і зменшити витрати енергії на охолодження в 1,5–2 рази. Можна зекономити додаткове паливо під час післяжнивної обробки зерна, використовуючи повітря, що відпрацьовується під час охолодження зерна, яке потім направляється в топковий пристрій сушарок. Однак це може бути складним у втіленні через необхідність внесення змін у конструкцію сушарок. Також це може ускладнити експлуатацію сушарок, оскільки потрібне регулярне очищення відпрацьованого повітря від зернового пилу.

Функціонально-технологічна схема ліній післяжнивної обробки зерна в господарствах багатогалузевого призначення відрізняється тим, що вона передбачає наявність додаткового устаткування для обробки зерна продовольчого

призначення [6]. На етапі попередньої підробки зернового матеріалу виділяється фракція зерна, призначеного для продовольчого використання. Цю фракцію можна відразу направити на тривале зберігання або реалізацію, або ж, при необхідності, обробити на лінії, аналогічній до лінії для зерна основного призначення, яка була описана раніше. Ця технологія післяжнивної обробки комбайнового матеріалу у виробника дозволяє при безперервній роботі лінії одночасно отримувати насіння, продовольче (товарне) зерно і фуражний матеріал. У разі наявності в комплексі двох точок прийому зернового матеріалу з'являється можливість підробляти його на п'яти лініях (по дві для насіння і продовольчого зерна і одна для фуражного). Якщо ж точка прийому одна, то кожна фракція зерна обробляється на своїй лінії. У господарствах, де наявні системи для тривалого зберігання зерна, можливо ефективно спростити функціонально-технологічну схему потокової лінії. Наприклад, в лініях, призначених для обробки продовольчого зерна, можна відмовитися від встановлення машин і устаткування для остаточного очищення. Замість цього, зерно, яке пройшло сушіння, можна направити безпосередньо в склади і зерносховища. Звідти, за потреби, його можна реалізувати або довести до необхідних стандартів за якістю.

Враховуючи фінансові можливості середньостатистичного зернопункту, було б корисно реалізувати технологічну схему (рис. 1.1) під час його будівництва та монтажу. Послідовність роботи лінії зернопункту виглядає наступним чином. Матеріал із приймача спочатку проходить через машину попереднього очищення К-527а, після чого очищене зерно потрапляє у два бункери активного вентилявання БВ-40А, а невикористані відходи – у відповідний бункер. Потім з бункерів БВ-40А зерно поступає у сушарку С-20, а після неї – в інші два бункери БВ-40А, де воно відпочиває і, залежно від режиму роботи сушарки ("класичний" або при переведенні зони охолодження в сушильну), охолоджується. Для отримання зерна, яке відповідає вимогам якості продуктів харчування та насіннєвого матеріалу, його (за необхідності) також обробляють на машині первинного очищення К-547а та, додатково, на машині вторинного очищення К-236а (трієрний блок).

Результати аналізу зернового матеріалу, що був оброблений на зернопункті, який включав пшеницю і ячмінь, проведені агролабораторією Кіровоградського інституту АВП УААН, підтвердили відповідність вимогам стандартів якості, таких як ГОСТ 10939, ГОСТ 10968 і ГОСТ 13586. Результати аналізу роботи лінії також підтвердили розрахункові показники та надійне виконання технологічних процесів і функцій машинами та устаткуванням при вологості комбайнового оберемка 19-22%. Пропускна здатність зернопункту для насіннєвого матеріалу становила 13,6-14,7 т/год, а для продовольчого – 19,6-22,1 т/год. Денний об'єм намолоченого зерна (160-200 т), який не зберігався тимчасово в бунти до 6 годин ранку, піддавався обробці до стану кондиційного за вологістю (13,6-14,2%), і потім направлявся на тривале зберігання в склади, що розташовані поруч з технологічною лінією та об'єднані в єдину систему зернопункту.

1.4 Технологічний процес післяжнивної обробки зерна

Розглянемо покращену модель зерноочисного сушильного комплексу ЗАВ-20 [7-12] (рис. 1.2). Цей комплекс виконує процес очищення і сушіння зерна в такому порядку: спочатку вологе зерно з усілякими домішками доставляється з поля на комплекс ЗАВ-20 за допомогою вантажних автомобілів. Прибувши, автомобіль з зерном заїжджає на естакаду, де відбувається процес розвантаження. Оператор на щиті управління активує підйомник, який за допомогою гідравлічних циліндрів піднімає передню частину автомобіля, дозволяючи зерну витікати самостійно з кузова до завантажувальної ями №1. У випадку, якщо автомобіль є самоскидом, оператор може не використовувати підйомник, оскільки водій може самостійно висипати зерно, заїжджаючи на естакаду. Після розвантаження зерно закривається кришкою, яка має кут нахилу 30°, щоб запобігти потраплянню дощової води всередину ями. Кришка керується за допомогою тросу, блоку, редуктора і електродвигуна.

Перед процесом сушіння зерно потребує очищення від грубих, крупних, дрібних і легких домішок. Далі, зерно подається за допомогою норії 2 до машини

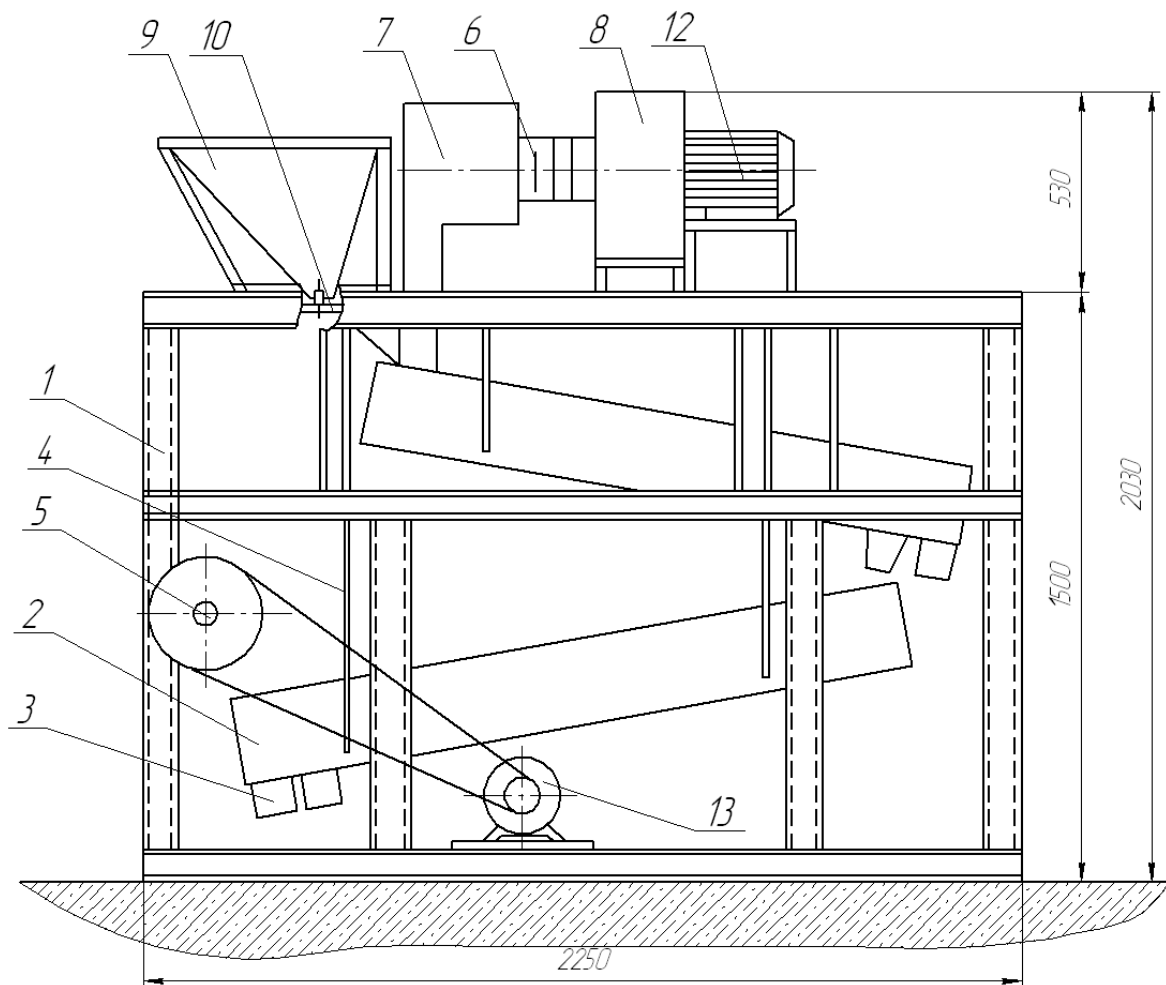


Рисунок 1.3 – Машина первинної очистки зерна

колонках здійснюється за допомогою заслінок 6. Очищення сит від забруднень здійснюється за допомогою руху гумових кульок під ситом. Продуктивність МПО-5 становить 12 тонн на годину для пшениці і кукурудзи, та 5 тонн на годину для соняшника.

Після очищення зерно направляється на норію 4 (рис. 1.2), яка завантажує його в бункер для активного вентилявання 5. Бункер активного вентилявання (рис. 1.4) виступає також у ролі накопичувача. Коли він заповнюється повністю або частково, залежно від обсягу зерна, що надійшло на приймальний пункт, можна розпочинати процес сушіння. Для цього необхідно розмістити перегородку 5 на відповідній висоті за допомогою ручної лебідки 7, щоб тепле повітря, яке нагнітається вентилятором 3, проходило через зерно 2. Якщо перегородку піднімати вище, тепле повітря 8 буде проходити через отвори, які не заповнені зерном, і сушіння зерна не відбудеться. В разі, якщо перегородку розмістити

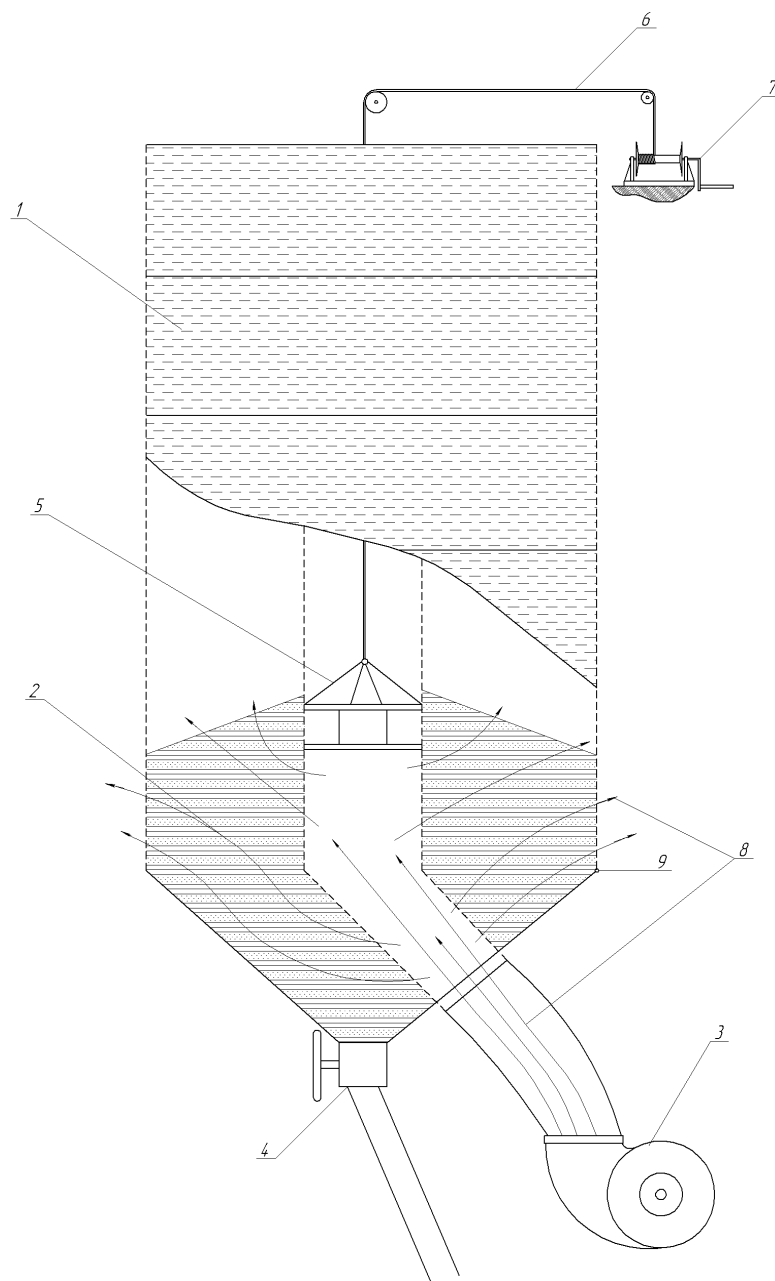


Рисунок 1.4 – Схема сушіння і охолодження зерна в бункері активного вентилявання

набагато нижче верхнього рівня зерна, то буде просушуватись лише нижній його шар (креслення 02.00).

Процес регулювання сушіння, якщо в бункері є певна кількість зерна і перегородка належним чином встановлена, відбувається таким чином. Вимірювання вологості зерна для визначення необхідного рівня сушіння проводиться вручну. За допомогою невеликого отвору 9 (рис. 1.4) в бункері забирається невелика кількість зерна і вимірюється вологість за допомогою вологоміра, наприклад, Grain Moisture Tester PM-410. В залежності від вологості

зерна вибирається режим сушіння. Варто зауважити, що вентилятор працює з постійною частотою. Змінною у цьому випадку є температура повітря, яке нагнітається вентилятором. У даному контексті змінною є температура повітря, яке нагнітається вентилятором. Регулювання температури здійснюється шляхом вмикання одного, двох або трьох нагрівальних елементів. Під час нагнітання теплого повітря вентилятор створює певний тиск, що змушує повітря шукати вихід. Єдиний шлях для нього - через зерно до зовнішнього середовища. Проходячи через зерно, тепле повітря нагріває його, одночасно провітрюючи. Охолодження зерна відбувається шляхом вимкнення всіх нагрівальних елементів. Вибір режиму сушіння лежить на операторові. Він визначає, скільки часу і при якій температурі відбуватиметься сушіння. Протягом процесу кілька разів відбирається проба для вимірювання вологості зерна. Бункери активного вентилявання можуть використовуватись як тимчасові сховища для зберігання зерна на певний період часу.

Після завершення процесу сушіння, який відбувається на розсуд оператора, він вручну відкриває заслінку 4, що контролює вихід зерна з бункеру активного вентилявання. Зерно далі направляється на норію 6 (рис. 1.2). Ця норія постачає зерно в малий проміжний бункер 7, звідки воно подається на машину вторинної очистки.

Після виконання вторинного очищення, зерно можна направити в проміжний бункер. Після відкриття заслінки, зерно автоматично висипається на вантажний автомобіль або причіп. Збірне зерно потім транспортується на переробку у млини. Варто відзначити, що це зерно не використовується як посівний матеріал.

Щоб отримати якісний посівний матеріал, зерно потрібно прокалібрувати, оскільки воно може містити домішки інших видів зернових культур або неповні зерна. Для цієї операції використовуються трієрні блоки, які можуть бути двох типів: циліндричні або дискові. У даному випадку використовуються два циліндричних трієрних блоки.

Зерно потрапляє до трієрного блоку, який обертається навколо своєї осі. Тільки зерна, що повністю поміщаються у комірках (короткі), потрапляють у них, а довгі зерна, які не вміщуються у комірках, відскакують від поверхні. Розміри комірок вибираються так само, як і решітки, залежно від культури та складу домішок. Проте вибір трієрів є простішим, оскільки одна й та сама комірка може підходити для очищення насіння різних сортів даної культури, у порівнянні з решітками, для яких необхідні різні розміри для кожного сорту.

Відкаліброване зерно подається в бункер дозатора за допомогою шнека. Цей дозатор оснащений спеціальними затискачами для мішків. Оператор прикріплює мішок до горловини дозатора. На панелі управління, яка розташована на дозаторі, він вказує вагу зерна, яку необхідно завантажити в мішок, натискає кнопку "Пуск", і зерно починає засипатися в мішок. Після цього мішок падає на транспортерну стрічку і пересувається до швейної машини, якою помічник оператора зашиває мішок. Потім вантажники забирають мішки з посівним матеріалом і розміщують їх на піддонах, які за допомогою підйомників перевозяться на склад.

Отже, після важкого та складного процесу на виході отримується посівний матеріал, фуражне зерно та декілька видів відходів. Один з них - сміття, що під час роботи комплексу збирається в спеціальний бункер для відходів. Інший - це частинки зерна, які можна використовувати як корм для худоби. Третій - це пил з половиною, який видувається під час процесу очищення та сушіння зерна.

Отже, навіть з урахуванням значної автоматизації в цьому процесі, кілька етапів все ще виконуються вручну, а якість зерна залежить від кваліфікації персоналу. В даній роботі пропонується автоматизувати регулювання температурного режиму зернової маси.

2 ОГЛЯД РІШЕНЬ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПУ ПОБУДОВИ ВИРОБУ

2.1 Огляд методів вимірювання вологості

Одним із ключових параметрів у сушильних установках, як зазначено вище, є вміст води у продукті після проходження через сушарку. Забезпечення сталості цього параметра в межах, передбачених технологічним процесом, є головним завданням систем автоматичного регулювання сушильних пристроїв. Для досягнення цієї мети перш за все необхідно мати засіб для вимірювання вологості висушуваного матеріалу, іншими словами, автоматичний вологомір [13-18]. Однак створення такого пристрою у більшості випадків є складним завданням. Причина полягає в тому, що прямі методи визначення вологості матеріалу шляхом розділення на суху та вологу складові не завжди підходять для використання в автоматичних вологомірах. Багато з непрямих методів, коли вимірюється показник, що функціонально залежить від вологості матеріалу, часто супроводжуються значними похибками. Зокрема, серед таких методів широко використовуються методи електрометрії, де вологість перетворюється на електричні величини. Нижче наведено коротку описову характеристику основних видів електрометричних методів і наведено огляд деяких типів вологомірів.

Методи електрометрії можна умовно розділити на дві основні категорії: електричні, де відбувається пряме вимірювання електричних параметрів матеріалу, та неелектричні, де вихідний сигнал датчика полягає у фізичній (неелектричній) величині, що перетворюється у вологомірі на електричний сигнал.

Зміна вологості суттєво впливає на ряд електричних параметрів капілярно-пористих матеріалів. У стані сухості більшість з них вважаються діелектриками, а у вологому стані вони перетворюються на провідники. Ця зміна вологості призводить до зміни процесів, що відбуваються у цих матеріалах під впливом електричного поля, зокрема, поляризації, що, в свою чергу, впливає на

діелектричні втрати. Таким чином, для вимірювання вологості можна використовувати будь-який показник, що характеризує електричні властивості матеріалів.

Вологоміри, які оцінюють вологість матеріалу за допомогою вимірювання електричної провідності або опору, відомі як кондуктометричні (рис. 2.1). Тоді як вологоміри, що визначають вологість за результатами вимірювання діелектричної проникності або тангенса кута діелектричних втрат, відомі як діелектричні. При застосуванні методів електрометрії другої групи існують вологоміри, що базуються на: а) взаємодії ядерних випромінювань з речовиною; б) ядерному магнітному резонансі; в) оптичних методах з використанням інфрачервоного випромінювання або видимого світла; г) теплофізичних характеристиках висушеного матеріалу; д) акустичних властивостях матеріалу; е) методах мас-спектрометрії.

Головними засобами автоматизації виробничих процесів є електричні вологоміри, зокрема кондуктометричні і діелектричні.

В кондуктометричних вологомірах проводяться вимірювання при застосуванні постійного або змінного струму промислової частоти.

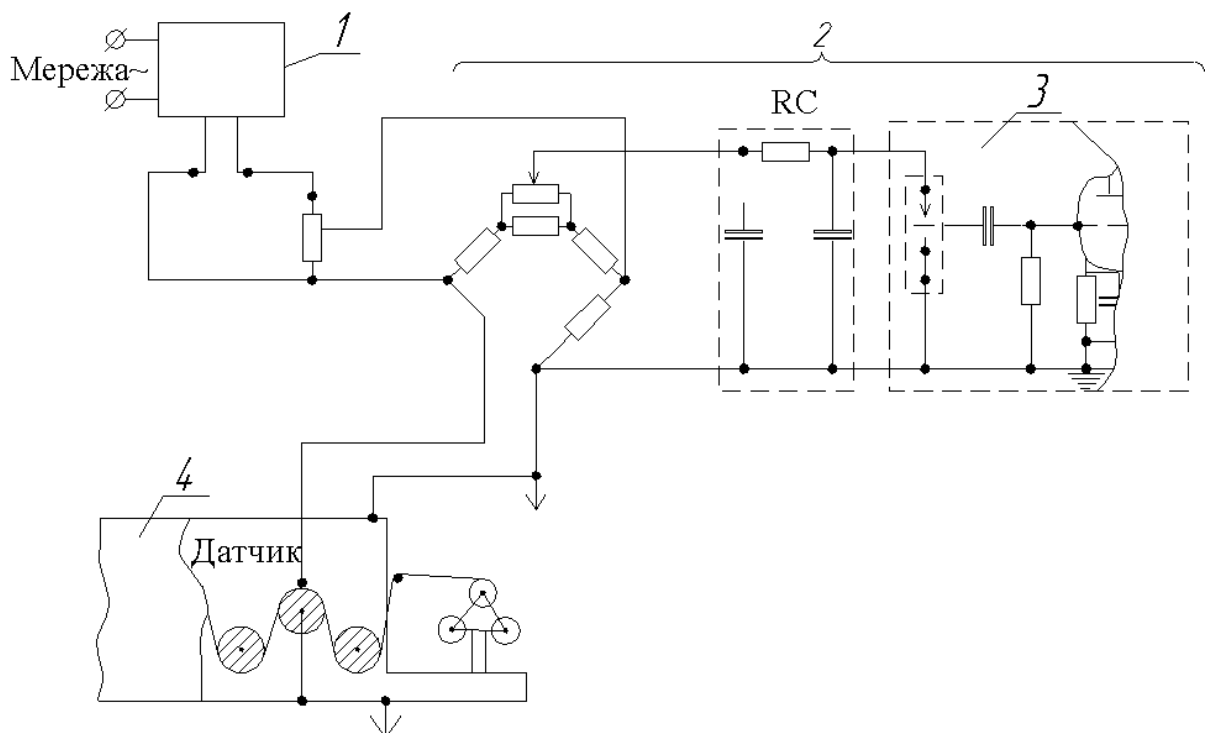


Рисунок 2.1 – Схема автоматичного кондуктометричного вологоміра:

1– джерело живлення; 2 – міст постійного струму ЕМД-112 або потенціометри ЕПД і ЕПП; 3 – електронний підсилювач; 4 – целофанова машина

Результати вимірювань в кондуктометричних електровологомірах залежать від різноманітних чинників, включаючи: 1) конфігурацію та взаємне розташування електродів; 2) стан завершення перехідного процесу в електричному ланцюзі під час вимірювання; 3) напругу джерела живлення; 4) температуру матеріалу; 5) хімічний склад матеріалу; 6) однорідність матеріалу; 7) розподіл вологи в матеріалі; 8) частоту використовуваного струму.

Отже, при використанні кондуктометричного методу вимірювання вологості важливо прийняти заходи для мінімізації впливу наведених вище факторів. У випадках, коли це неможливо, необхідно використовувати інші методи вимірювання вологості.

У діелектричних вологомірах вимірювання здійснюються в ланцюзі змінного струму, охоплюючи широкий діапазон частот, від звукових до надвисоких.

Прикладом використання надвисоких частот є пристрій, який зображений на рис. 2.2, розроблений для автоматичного вимірювання і регулювання вологовмісту. Цей пристрій базується на використанні залежності між вмістом вологи в матеріалі, що досліджується, і зміною пропускання надвисокочастотного електромагнітного випромінювання через нього.

Результати вимірювань діелектричними вологомірами, так само як і кондуктометричними, піддаються впливу різних чинників, таких як температура, густина, гранулометричний і хімічний склад матеріалу, а також деякі інші фактори.

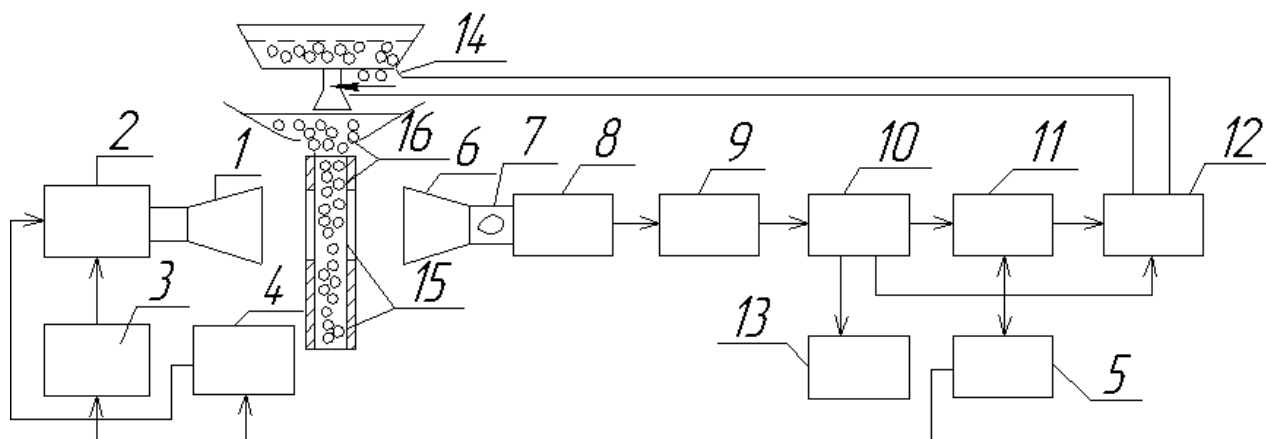


Рисунок 2.2 – Блок-схема пристрою з використанням н.в.ч.

Однак використання надвисоких частот дозволяє знизити похибки в ємнісному методі, які виникають через хімічний склад матеріалу, особливо в області низького вологовмісту. Це відрізняє діелектричний метод вимірювання від кондуктометричного і робить його менш чутливим до змін хімічних і біологічних властивостей матеріалу. Крім того, діелектричні вологоміри значно менш схильні до впливу неелектролітичних домішок, ніж кондуктометричні.

Вплив розподілу вологи в матеріалах при вимірюванні діелектричними вологомірами має аналогічний характер ефекту, що спостерігається у випадку кондуктометричних вологомірів. Іншими словами, наявність поверхневої вологи може спричинити завищення результатів вимірювань. Однак за однакових умов вплив розподілу вологи менше в методі місткості, ніж у кондуктометричному.

Отже, хоча електричні методи вимірювання широко використовуються для автоматичного контролю і регулювання вологості, в деяких випадках вони можуть бути непридатними.

Основними факторами, які ускладнюють застосування електричних методів, є:

- змінний хімічний склад матеріалу, який характеризується великою кількістю компонентів і змінною концентрацією. Це особливо стосується зміни вмісту електролітів і інших домішок, що впливають на електричні параметри матеріалу;
- значні зміни фізичних властивостей окремих компонентів і всього матеріалу в цілому, таких як густина, об'ємна вага, емульсивна стійкість, співвідношення між вільною і зв'язаною вологою і т. д.;
- нерівномірний розподіл вологи та наявність поверхневої вологи;
- потреба вимірювати дуже високі і дуже низькі значення вологості. Важко вимірювати вологість $\omega > 100 \%$ і особливо невеликий вологість $\omega < 1-1,5 \%$ через те, що значна частина вологи може бути в зв'язаному стані;
- Специфічні умови вимірювання, такі як недоступність місця для встановлення датчика, вибухонебезпека матеріалу або навколишнього середовища і т. д.

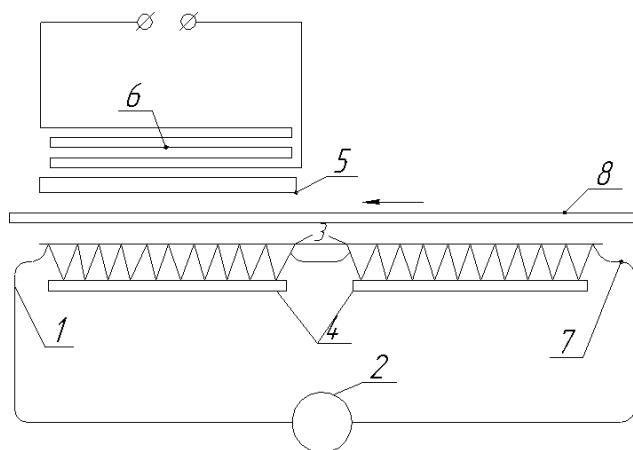


Рисунок 2.3 – Принципова електрична схема датчика радіаційного вологоміра:

1 – термоелектричний ланцюг перетворювача радіації; 2 – електронний автоматичний потенціометр; 3 – фольга, поглинаюча радіацію; 4 – алюмінієві пластини; 5 – пластина випромінювача; 6 – нагрівальна обмотка; 7 – термоелектричний ланцюг компенсатора; 8 – паперове полотно

Також у використанні є радіаційні вологоміри. Інфрачервоний метод вимірювання вологості застосовується переважно до розчинників, інших органічних рідин, таких як ацетон, бензин, ефір, діоксан, піридин, гліколю, етиленгліколю, гліцерину та інші. Також він застосовується до тонких листових матеріалів, які прозорі для інфрачервоного випромінювання. Наприклад, радіаційний вологомір може використовуватися для автоматичного контролю вологості паперового полотна.

На рисунку 2.3 зображено принципову електричну схему датчика

радіаційного вологоміра. Роль компенсатора полягає в тому, щоб усунути вплив взаємного радіаційного обміну між просвічуваним паперовим полотном і сприймаючою поверхнею перетворювача радіації. Їх термоелектричні ланцюги з'єднані послідовно одна за одною.

Принцип компенсатора полягає в тому, що в його ланцюзі виникає електрорушійна сила (е.р.с.), чіє значення та напрямок визначаються величиною і знаком температурного градієнту просвічуваного полотна (в порівнянні з температурою оточуючого середовища). Ця сила алгебраїчно додається до електрорушійної сили, що діє в ланцюзі перетворювача радіації.

У випадку, коли температура паперового полотна нижча за температуру навколишнього середовища, електрорушійна сила (е.р.с.), яка виникає в ланцюзі компенсатора, додається до е.р.с., що діє в ланцюзі перетворювача радіації. У випадку, коли температура паперового полотна вища за температуру навколишнього середовища, е.р.с., що виникає в ланцюзі компенсатора, віднімається від е.р.с., що діє в ланцюзі перетворювача радіації. Якщо

температура паперового полотна дорівнює температурі навколишнього середовища, є.р.с., яка виникає в компенсаторі, стає рівною нулю. Таким чином, зміни температури сушіння та навколишнього повітря не впливають на покази радіаційного вологоміра.

Останнім часом розробляються комбіновані вологоміри, які поєднують у собі переваги різних методів з метою усунення впливу нестабільності технологічних параметрів на результати вимірювань вологості. Наприклад, з'явився двопараметровий автоматичний вологомір, який працює на основі радіактивно-ємнісного методу. Використання такого поєданого методу дозволило уникнути впливу зміни товщини різних типів волокон на точність вимірювань їх вологості. У цьому вологомірі в якості джерел радіаційного випромінювання використовуються β -джерела, такі як суміш ізотопів стронцій-90-ітрій. Датчик ємності цього вологоміра - це плоскопаралельний конденсатор, який знаходиться в електростатичному екрані. Точність вимірювань вологості за цим методом при зміні товщини шару матеріалу від 0,2 до 0,6 г/см² становить $\pm 1,5$ %.

У цій бакалаврській роботі розглядається використання потокового мікрохвильового вологоміра MICRORADAR – 113C2P. Цей вологомір призначений для вимірювання вологості цілих зернових культур, таких як пшениця, жито, ячмінь, рапс, кукурудза, гречка та інші, які знаходяться у вигляді самотіків під час їх заготівлі, суші, зберігання та переробки. Сигнал, що надходить від датчиків, розташованих у самопливі, подається до мікропроцесорного блоку обробки, де проводяться розрахунки вологості. Значення вологості відображається на індикаторному табло мікропроцесорного блоку і конвертується у аналогові виходи 4-20 мА і 0-5 В. У комплект постачання приладу включена програма для збору та відображення вологості в реальному часі, що дозволяє записувати, спостерігати, зберігати і друкувати інформацію про вологість протягом будь-якого періоду часу.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики потокового мікрохвильового вологоміра MICRORADAR – 113C2P

Діапазон вимірювання вологості зерна	10 - 30%
Абсолютна погрішність вимірювання вологості	± 0,5%
Час встановлення робочого режиму	20 хвилин
Уніфікований аналоговий вихід (по вибору)	Струм (4.20; 0-5; 0-20) мА
Канал зв'язку з ЕОМ	RS-485
Режим роботи	безперервний
Напруга живлення	220 В (+22 В.-33В)
Споживана потужність	не більше 50 В*А
Габаритні розміри СВЧ датчика з УЗР	410×220×150 мм
Маса вологоміра	не більше 12 кг

Під час операції зерно, що рухається у вільному падінні, проходить між випромінюючою та приймальною антенами сенсора. Для забезпечення безперервного потоку зерна у датчику використовується пристрій заповнення та розвантаження (ПЗР). На рис. 2.4 показано конфігурацію СВЧ датчика, який монтується на ПЗР. ПЗР закріплюється на стіні бункера або самопливу у



Рисунок 2.4 – Потоковий мікрохвильовий вологомір MICRORADAR – 113C2P

спеціальному отворі за допомогою монтажного фланця так, щоб зерно, що падає, потрапляло в спеціальний наповнювальний короб. Верхня частина короба обладнана засувкою, яка використовується для блокування доступу зерна у вимірювальний простір під час діагностики та обслуговування СВЧ датчика. Розвантаження датчика здійснюється безперервно за допомогою шнекового штовхача, який приводиться в рух електродвигуном постійного струму з напругою живлення від 5 до 12 В. Напруга живлення електродвигуна формується в блоку управління розвантаженням (БУР), який встановлюється у складі блоку сенсорів та монтується безпосередньо біля СВЧ датчика.

2.2 Засоби вимірювання температури

2.2.1 Типи напівпровідникових датчиків температури

Температурний вплив на електрофізичні характеристики напівпровідників, насамперед, виявляється в зміні концентрації носіїв заряду, що призводить до відповідних змін у рівні електричної провідності. Цей принцип використовується у напівпровідникових терморезисторах. Діоди та транзистори також використовуються як напівпровідникові датчики температури, де зміна концентрації носіїв заряду призводить до зміни струму, що протікає через напівпровідниковий прилад. Однак основним недоліком таких термодатчиків є складність отримання їх номінальної статистичної характеристики через різницю в основних параметрах транзисторів: коефіцієнта підсилення струму, опору базової області, струму витоку тощо.

Важливим фактором для широкого застосування термодатчиків на базі транзисторів та діодів є стабільність їхніх параметрів. Результати досліджень довготривалої стабільності таких термодатчиків, що базуються на температурозалежному параметрі - напрузі на р-п переході в залежності від температури та тривалості експлуатації, представлені у [13], показують, що похибка їхніх вимірів може становити від $(0,01...0,15)^\circ\text{K}$ у перший рік експлуатації до $(0,002...0,04)^\circ\text{K}$ – у другий рік.

2.2.2 Плівкові датчики температури

Покращення характеристик напівпровідникових датчиків температури та спрощення їх конструкції можливе завдяки використанню чутливих елементів, що складаються з тонких плівок напівпровідника, нанесених на напівпровідникову або діелектричну підкладку. Виготовлення таких датчиків здійснюється масовими методами планарної технології, що забезпечує отримання значень номінальних опорів з високою точністю і дозволяє застосовувати лазерні методи для налаштування номінальних опорів.

Одним з основних недоліків датчиків, що базуються на автоепітаксимальних структурах "кремній на кремнії", а також на чутливих елементах з дифузійними кремнієвими тензорезисторами, є обмеження верхньої межі робочих температур. Це пов'язано з різким погіршенням ізоляційних властивостей р-п переходу при температурах вище $(410...430)^{\circ}\text{K}$ [13].

2.2.3 Резистивні датчики температури

В більшості випадків, завдання забезпечення правильних результатів вимірювання температури можна вирішити за допомогою резистивних датчиків температури (РДТ), які доступні на ринку у великому асортименті конструкцій і точнісних характеристик. Ці датчики є одними з найбільш стабільних і точних пристроїв для вимірювання температури, що працюють у широкому діапазоні від -200 до 800°C , і використовуються в областях, де потрібна надійність результатів вимірювань при високій точності.

Принцип роботи резистивних датчиків температури (РДТ) базується на здатності металів змінювати свій електричний опір при зміні температури. Відомо, що всі метали демонструють зміну опору під впливом зміни температури, що стало основою для розвитку технології РДТ.

Теоретично, будь-який метал може бути використаний як датчик температури, проте ідеальний метал повинен відповідати певним характеристикам:

- мати високу точку плавлення;

- бути стійким до корозії;
- демонструвати лінійну залежність опору від температури;
- мати високу довговічність.

Платиновий провід хоч і дуже ніжний, але має високу стійкість до забруднень і має ледь помітну нелінійність у часовій характеристиці, що дорівнює d/dt . Тому платина була обрана для використання у радіодетекторах. Плюси включають хімічну стійкість, легкість отримання матеріалу у чистому хімічному вигляді, а також електричні властивості з високою репродуктивністю.

Радіодетектори виробляються або зі сплаву IEC/DIN (відповідно до американського стандарту), або з хімічно чистої платини (відповідно до європейського стандарту). Основна різниця між ними полягає у чистоті матеріалу. Згідно зі стандартом IEC/DIN, датчики виготовляються з платини, яка свідомо забруднена іншими металами платинової групи. У той час як платина, яка використовується у датчиках, що виготовляються за європейським стандартом, має чистоту не менше 99,99%. Якщо датчики, зроблені з цих різних матеріалів, мають опір 100 Ом при 0 °C, то при 100 °C датчик, виготовлений зі сплаву IEC/DIN, матиме опір 138,5 Ом, тоді як датчик, виготовлений за європейським стандартом, матиме опір 139,02 Ом.

Міжнародні комітети встановили стандартні криві для радіодетекторів (РДТ), де був визначений середній температурний коефіцієнт α . Цей коефіцієнт визначає нахил функції $R = F(t)$ у діапазоні температур від 0 до 100 °C.

Існують два типи датчиків: дротові і тонкоплівкові. Дротові датчики виготовляють, намотуючи дуже тонкий платиновий провід на котушку до досягнення опору в 100 Ом. Потім ця котушка вставляється в керамічне оправлення, щоб уникнути корпусних замикань і забезпечити стійкість до вібрацій. Цей процес є дуже складним і вимагає ручного виконання під мікроскопом.

Тонкоплівкові датчики виготовляються шляхом осадження тонкого шару платини або її сплаву на керамічну підставу, а потім налаштовують опір резистора до необхідного значення. Після цього елементи датчика покриваються склом або

епоксидною смолою для забезпечення стійкості до вологості. Перевагою тонкоплівкових датчиків є те, що за цією технологією можна отримати датчики з вищим опором при значно менших розмірах, порівняно з дрововими.

Використовуються дво- та чотирьохпровідні схеми підключення датчика до вимірювального пристрою. Ці схеми добре відомі і, отже, не потребують докладного опису. Проте, давайте коротко розглянемо основні аспекти їх використання. Двохпровідна схема використовується там, де проводи дуже короткі, і де можлива деяка помилка виміру. У трипровідному підключенні використовуються три провідники, що дозволяє зменшити помилки вимірювання, викликані протіканням струму через проводи. Чотирьохпровідна конфігурація може бути рекомендована для отримання найкращих результатів виміру.

У цій схемі струм, який збуджує датчик, проходить через одну пару проводів, тоді як вимір опору здійснюється через іншу пару. Це усуває можливу помилку, яка може виникнути через різний опір проводів. Хоча цей метод є вартішим, ніж трипровідні конфігурації (особливо на великих відстанях), він забезпечує вищу точність вимірювань.

2.3 Засоби зміни положення заслінки

Електромашинні генератори і електродвигуни [19-20], які належать до класу машин обертового типу, виконують перетворення енергії: вони можуть перетворювати механічну енергію в електричну (генератори) або, навпаки, електричну енергію в механічну (двигуни). Дія генераторів базується на принципі електромагнітної індукції: коли дріт рухається у магнітному полі, він породжує електрорушійну силу (е.р.с.). Дія електродвигунів полягає у тому, що струм, що протікає через дріт, що знаходиться у поперечному магнітному полі, викликає дію сили. Всі електричні машини обертового типу можна класифікувати на машини постійного та змінного струму.

2.3.1 Двигуни постійного струму

Генератори постійного струму можуть ефективно функціонувати як двигуни, не потребуючи змін у своїй конструкції при однакових номінальних параметрах. Наприклад, генератор з паралельним збудженням, який розрахований на 10 кВт та 230 В, може успішно працювати як електродвигун з потужністю 10 кВт при напрузі 230 В і тій же частоті обертання. Також генератор із змішаним збудженням може здійснювати функції електродвигуна з тим же типом збудження без необхідності модифікації. Проте для генератора з послідовним збудженням потрібно переключити напрямок з'єднання обмоток збудження, щоб вони взаємодіяли паралельно. Генератори з послідовним збудженням рідко використовуються, однак двигуни з таким типом збудження мають велике застосування, особливо як тягові в міському електричному транспорті. Двигуни з паралельним збудженням застосовуються там, де необхідна майже постійна частота обертання, такі як силові передачі зі сталою частотою обертання, металорізальні верстати та друкарські машини. Частоту обертання можна контролювати і змінювати, регулюючи струм збудження за допомогою реостата в ланцюзі збудження.

2.3.2 Електродвигун з послідовним збудженням

Проти-е.р.с. відрізняється від напруги на вихідних затискачах на 3–8%, що є результатом падіння напруги на послідовній обмотці збудження та на обмотці якоря. Послідовне збудження має магнітний потік, який пропорційний струму якоря. Тому частота обертання приблизно обернено пропорційна струму якоря. Коли цей струм збільшується, частота обертання швидко зростає, що може призвести до виходу двигуна з-під контролю. Тому двигун з послідовним збудженням потребує жорсткого зв'язку з навантаженням, наприклад, за допомогою зубчатої передачі або іншого обмежувального пристрою для контролю частоти обертання. Завдяки швидкому зростанню обертаючого моменту зі збільшенням струму, такий двигун ефективно використовується як тяговий для поїздів метро і електровозів, де потрібні великі пускові моменти, швидке прискорення і великі обертаючі моменти. Він також застосовується на підйомниках, кранах і в автомобільних стартерах.

2.3.3 Електродвигун із змішаним збудженням

У двигуні зі змішаним збудженням зі збільшенням струму магнітний потік j зростає, але частота обертання швидко зменшується. На відміну від послідовного збудження, у таких двигунів частота обертання не досягає нескінченності при відсутності навантаження. Ці двигуни використовуються у ліфтах, оскільки послідовна обмотка збудження створює значний обертаючий момент для швидкого прискорення, а паралельна забезпечує стабільну частоту обертання після розгону. Вони також необхідні у приводах, що потребують періодичного застосування великих обертаючих моментів, наприклад, для потужних ножиць, штампів, пресів і прокатних станів. При зменшенні струму сам двигун та інші обертаючі елементи, такі як маховики, передають свою кінетичну енергію навантаженню, що дозволяє значно знизити пікові навантаження енергоблоків.

2.3.4 Синхронні електродвигуни постійного струму

Трифазний синхронний генератор – це універсальна машина, яка може працювати у режимі двигуна. Якщо підключити обмотку якоря до трифазної напруги і забезпечити ротор синхронною частотою обертання, генератор почне працювати як двигун, забезпечуючи обертаючий момент на валу. Синхронний двигун майже завжди живиться багатофазною напругою статора, що створює обертаюче магнітне поле. Полюси ротора синхронізуються з полюсами статора і піддаються їх впливу. Таким чином, за сталої частоти живлення частота обертання синхронного двигуна залишається постійною і визначається формулою $S = (120f) / P$ обертів на хвилину.

Важлива перевага синхронного двигуна полягає в можливості регулювання коефіцієнта потужності шляхом зміни струму збудження. Це дозволяє встановити коефіцієнт потужності, рівний 1. У випадку недостатнього збудження (коли струм збудження менший за номінальний), двигун споживає струм, який по фазі відстає від напруги живлення, і виступає як індуктивне навантаження; у випадку перезбудження він споживає струм, що випереджає по фазі напругу, і виступає як

ємнісне навантаження. Ця особливість робить синхронний двигун цінним інструментом для регулювання енергетичних систем. Завдяки реакції якоря, струм, який відстає по фазі, посилює збудження, а який випереджає, послаблює його. Як у випадку генератора, обидва типи реакції протидіють змінам у збудженні і тим самим підвищують стійкість системи.

Пуск синхронного двигуна відбувається за такою схемою. Поки що на валу синхронного двигуна немає обертання, і момент дорівнює нулю. Щоб розпочати роботу, потрібно досягти частоти обертання, близької до синхронної. Це можна здійснити, використовуючи допоміжний двигун. Якщо синхронний двигун використовується як привід для генератора постійного струму, останній може виконувати функцію двигуна, що розганяє синхронний двигун до необхідної синхронної частоти. Пуск синхронного двигуна також може бути здійснений за допомогою асинхронного двигуна.

Під час запуску сила струму в обмотці якоря може перевищувати нормальне робоче значення в 3-8 разів. Щоб уникнути надмірного падіння напруги в джерелі живлення, використовують метод зниження напруги, що подається, через введення послідовного струмообмежувального реактора на цьому етапі.

2.3.5 Асинхронні електродвигуни

Дія багатофазних асинхронних двигунів ґрунтується на виникненні магнітного поля, що обертається, за рахунок певного зміщення по фазі між багатофазними струмами, що протікають в багатофазних обмотках. Ці обмотки, як правило, розташовані в пазах на внутрішній поверхні статора, який складається з тонких кільцевих пластин, що стиснуті вздовж осі.

При використанні трьохфазного змінного струму, синхронна частота обертання N магнітного поля, що рухається, дорівнює

$$N = (120f) / P \text{ (об/хв)},$$

де f визначає частоту змінного струму, а P позначає кількість полюсів.

Ротор багатофазного асинхронного двигуна виготовляється у формі шарованого циліндричного якоря, складеного з тонких кільцевих пластин із поздовжніми пазами. Існують два типи обмоток ротора: короткозамкнута (або типу "білячої клітки") і фазна. Короткозамкнута обмотка може бути виготовлена з мідних стрижнів, вкладених у пази і припаяних на кінцях до масивних торцевих кілець, або з алюмінієвих провідників, розміщених у пазах і почеплених кінцями до масивних кілець, відлитих безпосередньо в серцевину, розташовану в формі. Фазна обмотка складається з окремих обмоток для кожної фази, розташованих у пазах ротора з виведеннями на струмопровідні кільця. Щітки дозволяють включати опір у ланцюг ротора для збільшення пускового моменту, а також, іноді, для регулювання частоти обертання. Зазвичай статор є первинним елементом, до якого подається живлення, тоді як ротор є вторинним елементом, у якому виникають струми.

Магнітне поле, що рухається, генерується багатофазними струмами статора, які викликають струми в провідниках ротора. Напрямок цих струмів такий, що при взаємодії з індукованим полем вони породжують обертаючий момент, який працює у напрямі магнітного поля, що обертається. Таким чином, ротор рухається за рухом поля. Однак він не може обертатися з такою ж частотою, оскільки це призвело б до нульових наведених струмів і, отже, відсутності обертаючого моменту. Тому "ковзання" ротора s є неодмінним і необхідним, і його величина визначається рівнянням

$$s = (N - N_2)/N,$$

де N визначає синхронну частоту обертання, а N_2 - частоту обертання ротора.

Частота струмів, що протікають у роторі, визначається як добуток s на f , де f – частота струмів у статорі.

Двигун з послідовним збудженням, при якому збудження на максимумі під час пуску і зменшується після розгону до досягнення нормальної частоти обертання, забезпечує значний обертаючий момент.

Двигуни з фазними роторами використовуються там, де необхідні великі пускові моменти, такі як у електровозах і підйомниках, а також в ситуаціях, коли потрібне регулювання частоти обертання.

Застосування цих двигунів як генераторів варто відзначити. Якщо асинхронний двигун розганяється з частотою, що перевищує синхронну, то ковзання стає від'ємним, а напрям струмів у роторі змінюється на протилежний в порівнянні з напрямом у режимі роботи двигуна, і тоді машина працює як генератор. Збудження забезпечується виключно лінією змінного струму, при цьому струм збудження відстає по фазі від струму у режимі роботи двигуна, але випереджує струм у режимі роботи генератора. Вихідна напруга генератора приблизно пропорційна ковзанню ротора. Частота напруги не залежить від частоти обертання ротора і цілком визначається частотою в лінії, що забезпечує збудження. Тому генератор виправдовує свою назву "асинхронний". Генератор не може працювати в режимі самозбудження і, отже, для експлуатації потребує паралельного синхронного генератора для живлення ланцюга збудження.

Асинхронний генератор, як частина енергоблоку, має деякі недоліки і рідко використовується. Він здатний генерувати лише випереджуючий струм, тому синхронний генератор, який працює паралельно з ним, має не лише постачати реактивну потужність, необхідну для системи, але також забезпечувати збудження асинхронного генератора. Повітряний зазор у асинхронного генератора є малим, тому проектуючи його, потрібно приділяти значну увагу зменшенню втрат у зубцях як статора, так і ротора. Однак у асинхронних двигунах, що використовуються в приводах залізничних локомотивів, є важлива перевага: при русі під уклон вони перетворюються на генератори і повертають електроенергію в лінію за допомогою рекуперативного гальмування. У ліфтах і шахтних підйомниках також використовується ця особливість, щоб забезпечити динамічне гальмування, що забезпечує плавне уповільнення обладнання та економію на зносі механічних гальм.

2.3.6 Однофазний асинхронний електродвигун

Якщо один із дротів трифазного живлення асинхронного двигуна відключити, перейшовши до однофазного режиму, він продовжить працювати, хоча його потужність зменшиться близько до 60% в порівнянні з потужністю в трифазному режимі. Однак якщо намагатися запустити непрацюючий двигун за допомогою однофазного живлення, він самостійно не включиться. Застосувавши обертання ротора у будь-якому напрямку, можна отримати обертаючий момент, який працюватиме у тому ж напрямку. Якщо опір крутного навантаження невеликий, ротор буде набирати оберти.

2.3.7 Електродвигун змінного струму з послідовним збудженням

Напрямок обертового моменту, який створюється двигуном постійного струму з послідовним збудженням, однаковий незалежно від полярності проводів живлення. Це означає, що такий двигун може функціонувати при змінному струмі. Проте для ефективної роботи постійного струму на змінному струмі потрібно внести кілька змін у його конструкцію. Наприклад, магнітний ланцюг обмотки збудження повинен бути шихтованим для мінімізації вихрових струмів. Щоб зменшити реактивне падіння напруги на послідовній обмотці збудження, потрібно збільшити кількість витків. Однак це може викликати збільшення реакції якоря, що може спотворювати магнітний потік і ускладнювати комутацію, призводячи до зниження коефіцієнта потужності. Тому додатково потрібна обмотка для компенсації ампер-витків перехресного намагнічення.

Безперечно, потрібні додаткові полюси, їх обмотки послідовно з'єднуються з якорем і підключаються до резистора, щоб магнітний потік, який генерують ці полюси, мав потрібну фазу для компенсації трансформаторної електрорушійної сили в замкнутих на короткий замикання комутаційних витках. Щоб уникнути перевищення допустимого рівня реактивного падіння напруги на послідовних обмотках збудження та інших, необхідно мінімізувати частоту. Для великих залізничних двигунів змінного струму з послідовним збудженням, зазвичай

використовують частоту навколо 25 Гц. Ці двигуни часто зустрічаються на масивних електровозах.

З легкістю можна використовувати малопотужні двигуни змінного струму (із послідовним збудженням) на живленні, якщо їх магнітні ланцюги обмоток збудження виготовлені з шарованого заліза. Такі двигуни можуть ефективно працювати навіть на постійному струмі. Їх широко використовують у пиłosосах, кухонних міксерах, електродвигунах, кінопроекторах, медичній апаратурі та інших пристроях, де потрібні значний обертаючий момент і можливість регулювання частоти обертання.

У цій бакалаврській роботі мікропроцесорна система для автоматичної стабілізації має включати силову частину для прямого керування електричним двигуном. Оскільки опірний момент рухомого елемента регулюючого пристрою вважається невеликим, ми обираємо двофазний асинхронний двигун змінного струму для виконавчого механізму.

Для управління двофазним асинхронним двигуном цифровим шляхом застосовують різні методи, кожен з яких має свою складність. З урахуванням цього, доцільно реалізувати релейний цифровий регулятор, який використовує безконтактний реверсивний пускач, такий як ПБР-2.

Регулювальний механізм активується за допомогою виконавчого пристрою, що включає асинхронний електродвигун із змінним струмом та редуктор. Умови роботи відповідають типу виконавчого механізму МЕО–16. Між вихідним валом виконавчого пристрою та регулювальним органом встановлений перетворювальний механізм, статична характеристика якого лінійна. Цей механізм забезпечує відповідність у характері руху між вихідною ланкою виконавчого пристрою та вхідною частиною регулювального органу.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ОБРАНИХ ПРОЕКТНИХ РІШЕНЬ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ВЕНТИЛЮВАННЯ ЗЕРНОВОЇ МАСИ В ЗЕРНОСХОВИЩІ

3.1 Розробка структури системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі

Система автоматичного керування вентиляцією зерна інтегрується в систему сушіння зерна. Основна мета цієї системи - управління електродвигуном, який регулює положення заслінки, тим самим контролюючи швидкість викидання зерна з бункера активної вентиляції. Для ефективної роботи, система має бути обладнана чутливим елементом, що точно реагує на вологість і температуру зерна. Для цього сигнал, що надходить від чутливого елемента, слід посилити до необхідного рівня для обробки мікроконтролером. Мікроконтролер відповідає за зчитування сигналу від блоку сенсорів (включаючи датчики наявності матеріалу, вологості та температури) та генерацію відповідного сигналу для керування пускатчем електродвигуна, який відповідає за регулювання положення заслінки.

При цьому важливо враховувати, що швидкість переміщення зерна залежить від положення заслінки, а час наповнення бункера активної вентиляції обмежується пропускною здатністю завантажувальних норій. Об'єм бункера активної вентиляції становить до 50 тонн насіння, тому можна одночасно завантажувати зерно в бункер і розпочати процес сушіння. Це практичніше, ніж очікувати повного заповнення бункера перед початком сушіння. Таким чином, використовуючи це обладнання, можна здійснювати сушіння зерна у потоковому режимі. Звісно, важливо встановити блок сенсорів безпосередньо в нижній частині бункера, де буде проводитися сушіння. Виконавчий механізм (двигун) розташовується безпосередньо на гвинті для регулювання положення заслінки.

В даній роботі пропонується використовувати МЕО-16 (рис. 3.1) як виконавчий механізм для приводу регулятора заслінки. Вал двигуна з'єднується з

валом регулятора положення заслінки через редуктор. Для запуску цього двигуна необхідно використовувати безконтактний реверсивний пускач ПБР-2. Інтегральні мікросхеми, призначені для керування електродвигунами постійного струму, асинхронними двофазними та асинхронними трифазними двигунами змінного струму, зазвичай призначені для застосування лише в системах з невеликою потужністю. Тому система автоматичної стабілізації, яку ми розглядаємо, повинна включати силову частину для безпосереднього управління електричним двигуном. Оскільки опір при переміщенні рухомого елемента регулятора є порівняно невеликим, для виконавчого механізму вибираємо двофазний асинхронний двигун змінного струму. Такий вибір обґрунтований для нашої роботи.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд двигуна МЕО-16

Крім цього, потрібно забезпечити неперервне вимірювання рівня вологості, щоб у випадку її збільшення виконавчий механізм, отримуючи сигнал від мікроконтролера, автоматично змінював положення заслінки, розпочинаючи сушіння поточної партії зерна. Коли досягається необхідний рівень вологості, двигун повинен відкривати заслінку, щоб запобігти пересушуванню зерна.

Мікроконтролер має виконувати не лише функцію збереження даних про температуру і вологість, але й автоматично вимикати обладнання та відтворювати звуковий сигнал у випадку відсутності сигналу від датчика наявності матеріалу. Таймер повинен стартувати на 10 хвилин, після чого контролер активує звуковий сигнал, попереджаючи оператора. Оператор повинен дотримуватися технологічної інструкції та вимкнути нагрівальні елементи та вентилятор, а також визначити причину недостачі зерна до бункеру та вирішити, чи доцільно

продовжувати експлуатацію обладнання. Обрано час 10 хвилин, оскільки згідно з технологічною інструкцією завантаження бункеру займає близько десяти хвилин.

Зауважимо, що кожен раз, коли таймер запускається, система автоматично продовжує моніторити сигнал від датчика наявності матеріалу. Якщо зерно надходить до моменту, коли пройшло менше 10 хвилин, мікроконтролер скидає таймер, очікуючи наступного виявлення сигналу від датчика.

3.2 Розробка та опис схеми функціональної системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі

Зважаючи на вищевикладене, можна створити функціональну схему розроблюваної системи. На кресленні 03.01 ця схема включає такі компоненти: датчик наявності матеріалу в бункері активного вентилявання; блок погодження (масштабний підсилювач), який приводить сигнал з блоку сенсорів до необхідного рівня для введення в мікроконтролер; мікроконтролер, який обробляє вхідні дані і генерує керуючий сигнал для ввімкнення двигуна (закриття, відкриття заслонки); силові ланцюги, що підсилюють керуючі сигнали з виходу мікроконтролера та передають їх на пускач регулятора положення заслонки.

На кресленні 05.02 зображено загальний алгоритм функціонування системи автоматичного керування вентиляцією зерна.

3.3 Розробка схем електричних принципових реалізації системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі

Завдяки появі та швидкому вдосконаленню мікропроцесорних технологій, вони широко використовуються у різних галузях господарства. Функціональна гнучкість, висока надійність, компактність та доступність цих засобів обумовлюють доцільність їх використання в системах автоматизованого управління.

Сучасна елементна база цифрової техніки відкриває широкі можливості для створення цифрових регуляторів з програмною реалізацією операцій у

реальному часі на основі мікропроцесорів. Особливо, однокристальні мікроконтролери представляють собою пристрої, які містять у собі всі складові частини мікроЕОМ: мікропроцесор, пам'ять програм, пам'ять даних, а також програмовані інтерфейси для зв'язку з зовнішнім середовищем. Використання мікроконтролерів у системах керування дозволяє досягти високої ефективності за низької вартості, компактних розмірів, малої ваги, економії енергії та високої обчислювальної потужності [18-20].

Структурна організація, набір команд та засоби введення/виведення інформації мікроконтролерів оптимально підходять для розв'язання завдань керування та регулювання у пристроях, приладах і системах автоматики. Під час проектування мікропроцесорних систем автоматичного керування важливо враховувати кілька факторів, таких як забезпечення встановлених стандартів керування, ефективний розподіл функцій між апаратними та програмними складовими САК, і зв'язок між цифровою та аналоговою частинами системи.

Показники якості керування, такі як динаміка, точність та надійність виконання керуючих функцій, залежать від особливостей цифрової реалізації алгоритму керування в мікроконтролері. При цифровому поданні інформації відбувається дискретизація процесів у часі та квантування за рівнем. Дискретизація в часі, яка проводиться згідно з певним критерієм якості функціонування САК, ставить вимоги до швидкодії мікроконтролера, а квантування за рівнем може призвести до появи шумів квантування.

Планування розподілу функцій між апаратною та програмною реалізацією САК пов'язане з аналізом кількох ключових факторів. Серед них, разом із забезпеченням необхідної продуктивності мікроконтролера, важливо враховувати структуру системи, форму подання вхідної та вихідної інформації, а також особливості цифрових алгоритмів обробки даних.

Для інтеграції аналогової частини САК з мікроконтролером використовують аналого-цифрові та цифроаналогові перетворювачі, які повинні відповідати високим вимогам щодо швидкодії, точності та лінійності перетворення [20]. Виникає потреба у схемотехнічному та програмному

забезпеченні взаємодії між АЦП різних розрядностей та мікроконтролером. Однак за останній час мікроконтролери з вбудованими АЦП достатньо високої роздільної здатності стали досить поширеними, що дозволяє уникнути використання додаткових мікросхем і спрощує проектування схем.

Враховуючи вищевикладене, однокристальний мікроконтролер типу AT90S4433 відповідає вимогам для побудови мікропроцесорної САК.

У порівнянні з апаратурно реалізованими цифровими регуляторами, програмно реалізовані регулятори можуть бути менш швидкодіючими, але зазвичай вони є більш універсальними, легко налаштовуваними та мають кращі масо-габаритні характеристики. На відміну від інших елементних баз, мікропроцесорні системи автоматичного керування зазвичай відзначаються більшою надійністю.

Цифроаналоговий перетворювач перетворює цифрові кодові комбінації в аналоговий сигнал, забезпечуючи однозначну конвертацію. Натомість, аналого-цифровий перетворювач виконує зворотну операцію, забезпечуючи однозначну відповідність аналогового сигналу цифровому коду. Вимоги до цифроаналогових та аналого-цифрових перетворювачів включають сумісність з мікропроцесором, що передбачає співпадіння логічних рівнів сигналів, формату даних та програмну сумісність. Вибраний мікроконтролер, типу AT90S4433, включає вбудовані ЦАП і АЦП, що спрощує їх інтеграцію з системою.

У виконанні схеми автоматизації для включення двигуна регулятора заслінки можна розглядати дві основні складові: слабкострумову (керуючу) та силову (енергетичну). Здійснення слабкострумової частини на одному мікропроцесорі підвищує надійність і універсальність САК, спрощує впровадження необхідних регулятивних алгоритмів. Оскільки інформація про процес регулювання закодована в цифровому сигналі і не пов'язана з його потужністю, вона менш схильна до впливу перешкод або спотворень.

Слабкострумова складова мікропроцесорної САК має за завдання програмно реалізувати цифровий регулятор та генерувати відповідні кодові

послідовності для управління силовою частиною. Це необхідно для формування сигналу, який контролює роботу двигуна заслінки.

На кресленні 05.01 намалюковано основну структуру системи. Вона складається з мікроконтролера AT90S4433, який виконує алгоритм керування. Також у системі є вхідний роз'єм для отримання сигналів від датчика вологості та установки, масштабуючі підсилювачі для приведення цих сигналів до стандартного рівня, який сприймається мікроконтролером. Є також вихідний роз'єм, через який сигнали подаються на безконтактний реверсивний пускач двигуна для регулювання положення заслінки в бункері, і рідкокристалічний індикатор.

На елементі DD3 (мікросхема AT90S4433) розташований мікроконтролер, який має внутрішній тактовий генератор G1. Частота цього генератора встановлюється за допомогою зовнішнього кварцового резонатора на частоті 12 МГц. Вхідні масштабуючі підсилювачі, що адаптують вхідні сигнали від датчика та установки до рівня, зрозумілого для мікропроцесорної системи, здійснені за допомогою елементів DA3 та DA4 (мікросхеми K140УД17). Ці операційні підсилювачі використовуються для підсилення сигналів з датчиків без спотворень, пригнічують синфазний сигнал, мають низьку напругу зміщення нуля, малий дрейф, маленький рівень шуму та великий вхідний опір. Зміна масштабу здійснюється шляхом зміни коефіцієнта підсилення операційного підсилювача [21]. Сигнали від підсилювачів переходять через мультиплексор DD1 (мікросхема AD7890) до входів мікроконтролера. Керуючі сигнали з портів PB1 та PB2 мікроконтролера подаються на демультимплексор DD2 (мікросхема K530 ИД7), звідки вони через роз'єм направляються на пускач. Призначення електричних принципів мультиплексора і демультимплексора в схемі обґрунтоване можливістю розширення функцій, що використовуються мікроконтролером, оскільки його технічні характеристики це допускають. Також на цьому кресленні представлена принципова електрична схема стабілізатора живлення блока, що використовується у розроблюваній системі. Роз'єм XP3 дозволяє використовувати SPI INTERFACE для програмування та перепрограмування мікроконтролера у випадку розширення його функціональних можливостей.

4 РОЗРАХУНКИ, ЩО ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ВИРОБУ

4.1 Структурна схема системи

На рис. 4.1 подано узагальнену схему системи автоматичного регулювання температури зерна. Робота системи виглядає наступним чином: у стабільному режимі, коли температура зерна в бункері досягає заданого значення, різниця напруг, яка отримується від терморезистора та заданого резистора, стає нульовою. У такому випадку напруга на виході підсилювача також стає нульовою (точніше кажучи, рівень цієї напруги недостатній для активації двигуна), і виконавчий двигун не змінює положення заслінки.

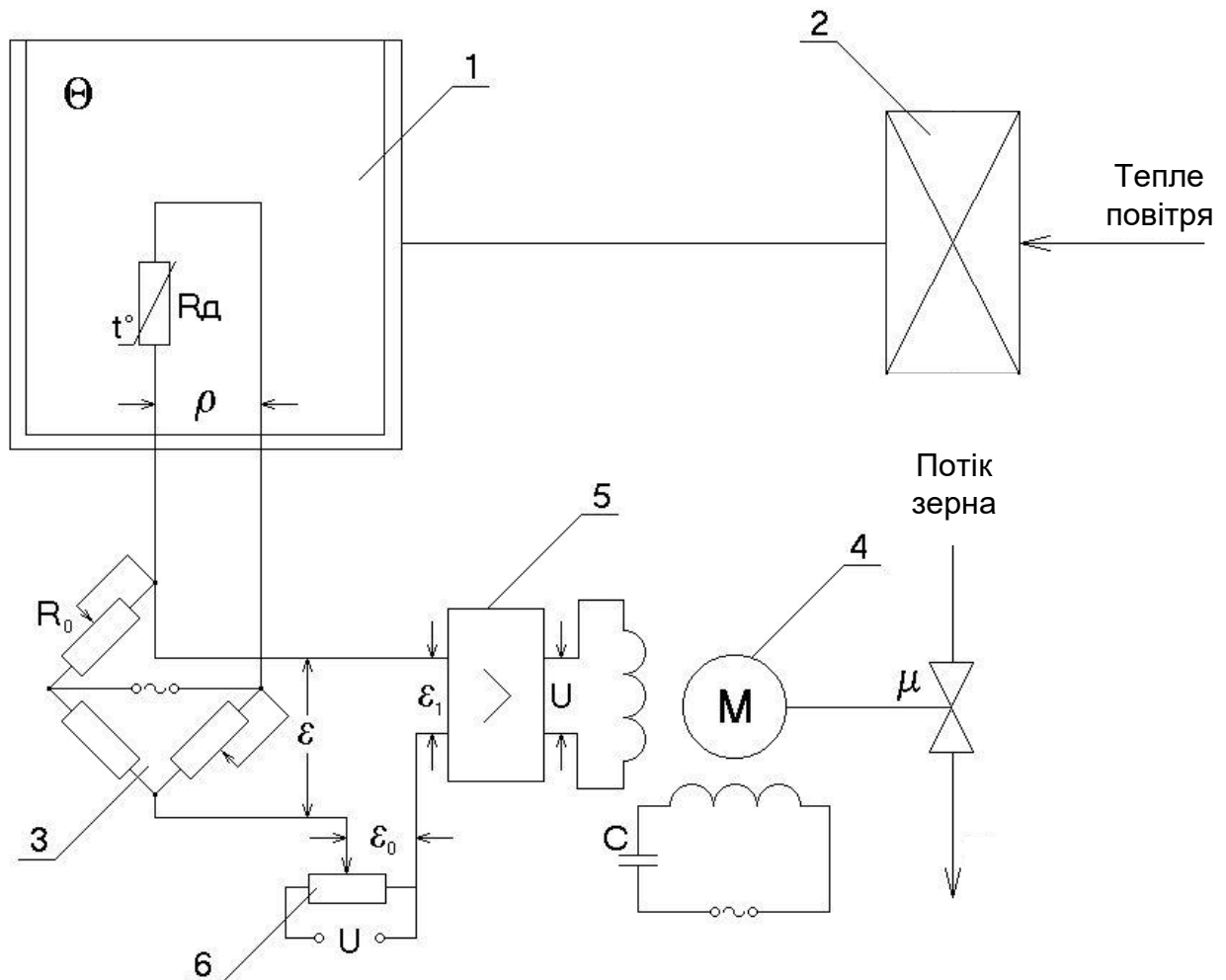


Рисунок 4.1 – Принципова схема системи автоматичного регулювання температури зерна:

- 1 – бункер; 2 – теплообмінник (калорифер); 3 – вимірювальна мостова схема;
4 – виконавчий двигун; 5 – фазочутливий підсилювач; 6 – задаючий резистор

У випадку зміни температури зерна у бункері з будь-яких причин, на виході мостової схеми з'явиться відмінність у напрузі з відповідною фазою. Ця відмінність потім підсилюється фазочутливим підсилювачем з потрібним коефіцієнтом, необхідним для управління виконавчим двигуном. Після цього виконавчий двигун, залежно від фази відмінності напруги на вході підсилювача, рухає заслінку вгору або вниз, щоб змінити потік зерна на виході з бункера.

Отже, у цій схемі використовується принцип регулювання за відхиленням реального значення вихідної величини об'єкта від його заданого значення. Щоб реалізувати цей принцип керування за відхиленням, САК повинна бути замкненою. Основною особливістю і перевагою такої схеми є те, що система реагує на відхилення реального значення регульованої величини від заданого значення, незалежно від причин, які призвели до цього відхилення.

Побудуємо структурну схему системи, використовуючи диференціальні рівняння компонентів системи (креслення 03.02).

Рівняння об'єкта:

$$T_0 \left(\frac{d\Theta}{dt} \right) + \Theta = k_0 \mu - k_1 f ;$$

вимірювальної схеми:

$$\varepsilon = k_3 \rho ;$$

чутливого елемента:

$$\rho = k_2 \Theta ;$$

підсилювача:

$$U = k_4 \varepsilon_1 ;$$

виконавчого двигуна з регулюючим органом:

$$T_1 \left(\frac{d^2 \mu}{dt^2} \right) + \frac{d\mu}{dt} = k_5 U ;$$

сигнал неузгодження:

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_0 - \varepsilon .$$

У вищезазначених формулах використовуються такі параметри:

Θ – поточне значення температури зерна в бункері;

μ – переміщення регулюючого елемента;

ε_0 – вхідний параметр;

ε_0 – вихідний сигнал вимірювальної схеми;

ρ – сигнал чутливого елемента;

f – еквівалентне збурююче діяння;

ε_0, U – відповідно вхідний і вихідний сигнали підсилювача;

У даній роботі використовані такі значення коефіцієнтів підсилення та сталих часу елементів:

$$\begin{aligned} T_0 &= 400 \text{ с}; & T_1 &= 0,065 \text{ с}; & f &= 1,4 \text{ см}; \\ k_0 &= 13,0 \text{ град/см}; & k_1 &= 1,15 \text{ град/см}; & k_2 &= 15 \text{ Ом/град}; \\ k_3 &= 0,003 \text{ В/Ом}; & k_4 &= 250; & k_5 &= 0,20 \text{ см/В}. \end{aligned}$$

Перейдемо від диференціальних рівнянь компонентів системи до їх передаточних функцій. Передаточна функція компонента визначається як відношення зображення вихідної величини за Лапласом до зображення вхідної величини за Лапласом за умови нульових початкових умов.

Щоб отримати передаточну функцію об'єкта, прирівняємо збурюючі впливи до нуля, оскільки наша мета – визначити передаточну функцію за керуючим впливом. Таким чином, диференціальне рівняння об'єкта набуде наступного вигляду:

$$T_0 \left(\frac{d\omega}{dt} \right) + \omega = k_0 \mu$$

Для визначення передаточної функції елементів схеми використано пряме перетворення Лапласа:

$$T_0 \bar{\omega} p + \bar{\omega} = k_0 \bar{\mu} \text{ де } p \text{ – оператор Лапласа.}$$

$$W_o(p) = \frac{\bar{\omega}}{\bar{\mu}} = \frac{k_o}{T_o p + 1} \text{ – аперіодична динамічна ланка.}$$

Аналогічним чином визначаємо передаточні функції інших компонентів системи:

- датчика:

- вимірювальної схеми:

$$W_{BC}(p) = \frac{\bar{\varepsilon}}{\bar{\rho}} = k_3 - \text{підсилювальна динамічна ланка};$$

$$W_{\bar{A}}(p) = \frac{\bar{\rho}}{\bar{\omega}} = k_2 - \text{підсилювальна динамічна ланка};$$

- підсилювача:

$$W_{II}(p) = \frac{\bar{U}_1}{\bar{\varepsilon}_1} = k_4 - \text{підсилювальна динамічна ланка};$$

- двигун з регулюючим органом:

$$W_{\text{ДЗРО}}(p) = \frac{\bar{\mu}}{\bar{U}} = \frac{k_5}{T_1 p^2 + p} - \text{реальна інтегруюча ланка}.$$

З'єднавши стандартні динамічні ланки згідно з передачею впливів, отримаємо структурну схему системи автоматичного управління вентиляванням зерна в зерносушильному комплексі ЗАВ-20 (креслення 03.03).

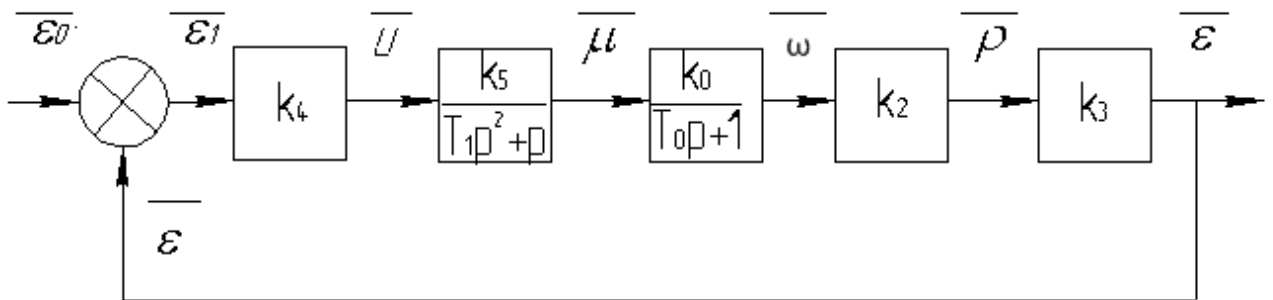


Рисунок 4.1 – Структурна схема САР

4.2 Визначення передаточної функції розімкнутої, замкнутої системи та характеристичного рівняння

Елементи структурної схеми САР розташовані послідовно, тому для визначення передаточної функції розімкнутої системи необхідно перемножити передаточні функції всіх елементів.

$$W(p) = W_O(p) \cdot W_D(p) \cdot W_{BC}(p) \cdot W_{II}(p) \cdot W_{ДЗРО}(p);$$

$$W(p) = \frac{k_0 k_2 k_3 k_4 k_5}{(T_0 p + 1) \cdot (T_1 p + 1) \cdot p};$$

Для спрощення запису введемо наступні позначення:

$$k = k_0 k_2 k_3 k_4 k_5$$

Тоді передаточна функція набуде такого вигляду:

$$W_p(p) = \frac{k}{(T_0 p + 1)(T_1 p + 1) \cdot p}$$

Передаточна функція системи в замкнутому вигляді.

$$W_3(p) = \frac{W_p(p)}{1 + W_p(p)} = \frac{k}{(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) \cdot p + k}$$

Вираз для характеристичного рівняння представлений таким чином:

$$T_0 T_1 p^3 + (T_0 + T_1) p^2 + p + k = 0$$

4.3 Побудова АФЧХ, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнутої системи

4.3.1 Побудова АФЧХ розімкнутої системи

Для створення амплітудно-фазової частотної характеристики розімкнутої системи потрібно у відповідній передаточній функції здійснити заміну $p = j\omega$ ($j = \sqrt{-1}$, ω – частота), відокремити дійсну частину $P(\omega)$ та уявну частину $Q(\omega)$ і, змінюючи частоту від 0 до ∞ , записати відповідні значення:

$$W_p(j\omega) = \frac{k}{j\omega(T_0 j\omega + 1)(T_1 j\omega + 1)} = \frac{-jk(T_0 + T_1)\omega^2 - k(\omega - T_0 T_1 \omega^3)}{-(T_0 + T_1)^2 \omega^4 + (\omega - T_0 T_1 \omega^3)^2}$$

Таким чином, підставивши значення коефіцієнтів і сталих часу, отримаємо:

$$P(\omega) = \frac{k(-(T_1 + T_0)\omega^2)}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} = \frac{29,25(-400,065\omega^2)}{(-400,065\omega^2)^2 + (\omega - 26\omega^3)^2};$$

$$Q(\omega) = \frac{k(-(\omega - T_1 T_0 \omega^3))}{(-(T_1 + T_0)\omega^2)^2 + (\omega - T_1 T_0 \omega^3)^2} = \frac{29,25(-(\omega - 26\omega^3))}{(-400,065\omega^2)^2 + (\omega - 26\omega^3)^2}$$

Потім, вводючи значення ω від 0 до (теоретично) ∞ , побудуємо графік АФЧХ (рис. 4.2).

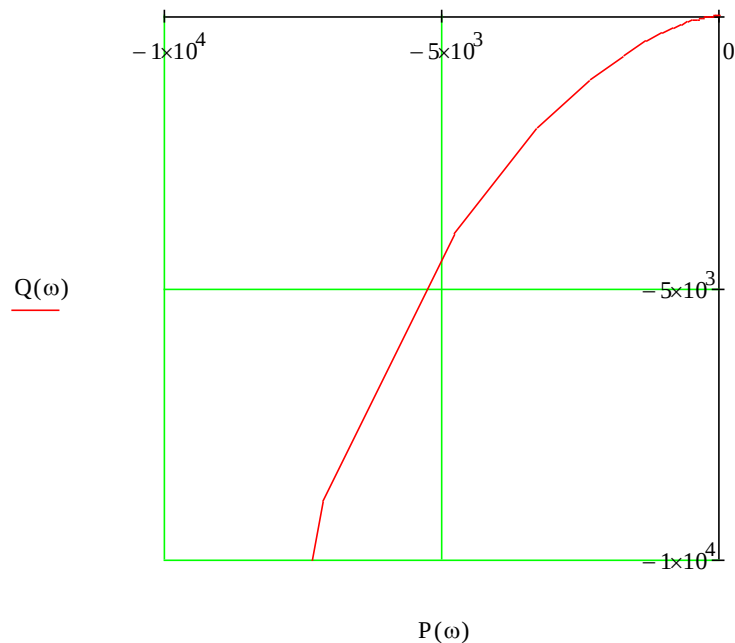


Рисунок 4.2 – АФЧХ розімкнутої системи

4.3.2 Побудова ЛАЧХ розімкнутої системи

Для створення ЛАЧХ за допомогою асимптотичного методу важливо перш за все знайти спряжені частоти на основі сталих часу динамічних ланок:

$$\omega_0 = \frac{1}{T_0} = \frac{1}{400} = 0,0025 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці першого порядку;}$$

$$\omega_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{1}{0,065} = 15,4 \text{ с}^{-1}, \text{ належить аперіодичній ланці першого порядку.}$$

Позначаємо знайдені спрягаючі частоти на осі частот в логарифмічному масштабі (рис. 4.3). Низькочастотна асимптота ЛАЧХ при $\omega < \omega_0$ представляє собою пряму лінію з нахилом -20 дБ/дек, оскільки система має інтегруючу динамічну ланку. Ця пряма або її продовження при $\omega=1$ повинна мати ординату, яка дорівнює $20 \lg k = 45,7$ дБ (де $k = 192$ – коефіцієнт підсилення розімкнутої системи). Після спрягаючих частот ω_0 , ω_1 нахил характеристики $L(\omega)$ змінюється порівняно з попереднім значенням на -20 дБ/дек, оскільки обидві частоти належать аперіодичним динамічним ланкам першого порядку. Високочастотна асимптота ЛАЧХ, тобто її частина при частотах, більших ω_1 , має нахил -60 дБ/дек.

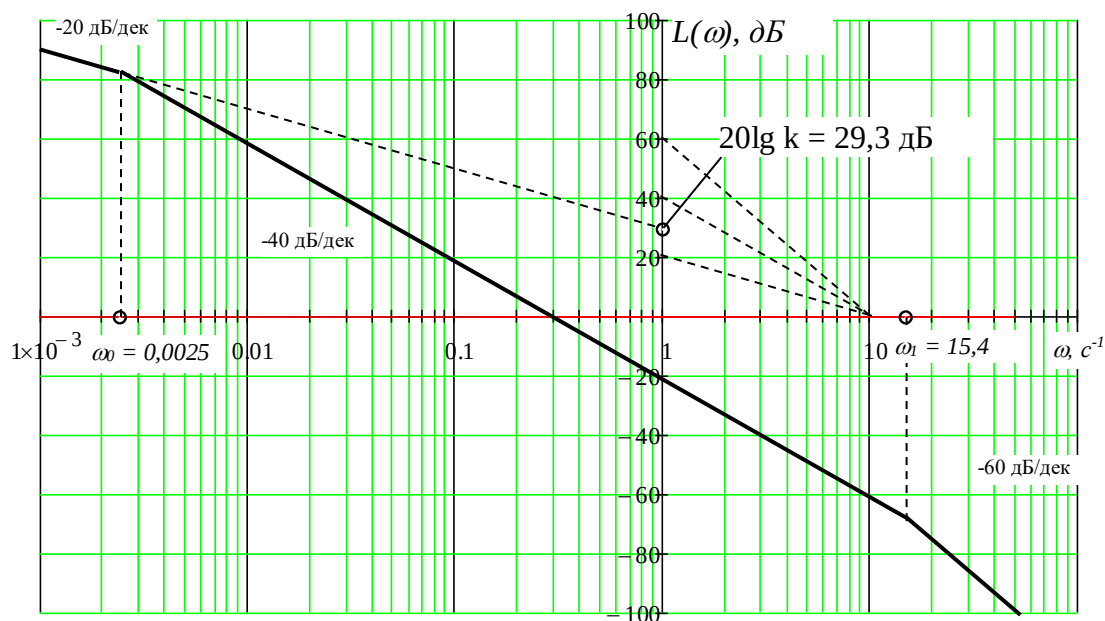


Рисунок 4.3 – ЛАЧХ розімкнутої системи $L(\omega)$

4.3.3 Побудова ЛФЧХ розімкнутої системи

ЛФЧХ одноконтурної розімкнутої системи формується шляхом простого сумування ординат фазових характеристик стандартних ланок, що утворюють цю систему:

$$\phi(\omega) = \left(-\arctg(\omega T_0) - \arctg(\omega T_1) - \frac{\pi}{2} \right) \cdot \frac{180}{\pi}. \quad (15)$$

Замінивши відповідні значення сталих часу і змінюючи частоту від значень, що наближаються до нуля до значень, що досягають сотень, за допомогою математичного редактора Mathcad, отримаємо графік ЛФЧХ (рис. 4.4).

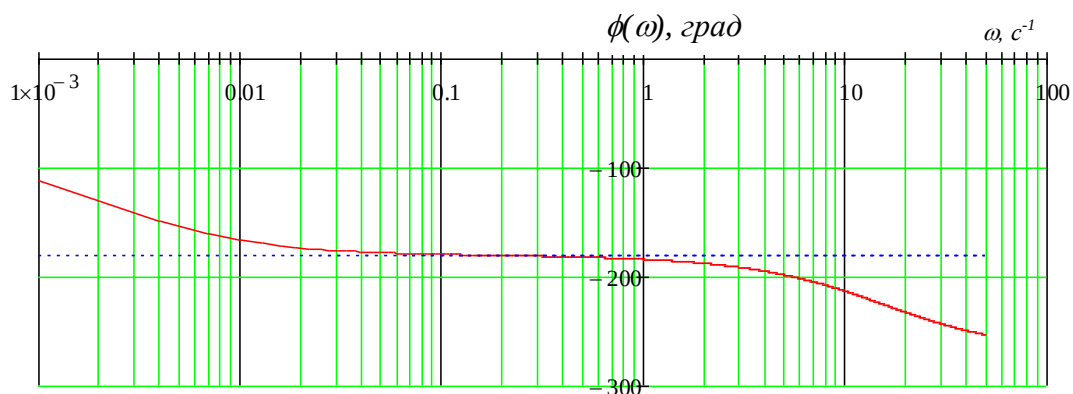


Рисунок 4.4 – ЛФЧХ розімкнутої системи $\phi(\omega)$.

4.4 Визначення стійкості замкнутої системи. Побудова області стійкості

4.4.1 Дослідження на стійкість системи за допомогою критерію Гурвіца

Критерій стійкості Гурвіца сформульовано наступним чином:

Щоб система з характеристичним рівнянням $D(p) =$ була стійкою, необхідно і достатньо, щоб при всіх додатних значеннях його коефіцієнтів, головний визначник і всі діагональні мінори були додатними.

Характеристичне рівняння даної системи у замкнутому вигляді виражається наступним чином:

$$T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p + k = 0$$

Після підстановки відповідних значень сталих часу та коефіцієнтів підсилення, отримаємо:

$$26p^3 + 400,065p^2 + p + 29,25 = 0$$

Складемо головний визначник Гурвіца:

$$\Delta_2 := \begin{vmatrix} 400.065 & 29.25 \\ 26 & 1 \end{vmatrix}$$

$$\Delta_2 = -360.435$$

На основі того, що визначник $\Delta_2 = -360,435$, отриманий за правилом Гурвіца, має від'ємне значення, можемо зробити висновок, що система нестійка.

4.4.2 Дослідження на стійкість системи та визначення області стійкості за методом D-розбиття в площині одного параметра

Розглянуті вище критерії дозволяють визначити, чи є система автоматичного регулювання стійкою при певних параметрах її елементів. Проте практично ці критерії не надають відповіді на питання про границі зміни параметрів системи з урахуванням її стійкості. Для виявлення границь або діапазону зміни одного або кількох параметрів системи з можливістю забезпечення або досягнення стійкості можна скористатися методом *D*-розбиття.

Плануємо побудувати область стійкості системи в площині параметра k_4 , оскільки є можливість його зміни:

Виразимо характеристичне рівняння відносно параметра k_4 :

$$K(p) = -\frac{T_1 T_0 p^3 + (T_1 + T_0) p^2 + p}{k_0 k_2 k_3 k_5}$$

Після підстановки значень та виділення дійсної і уявної частини цього виразу, отримаємо:

$$P(\omega) = -\frac{(T_1 + T_0)\omega^2}{k_0 k_2 k_3 k_5}; \quad Q(\omega) = -\frac{\omega - T_1 T_0 \omega^3}{k_0 k_2 k_3 k_5}.$$

Плануємо побудувати криву D-розбиття в площині параметра k_4 при зміні частоти від $-\infty$ до $+\infty$ (рис. 4.5).

З побудованої області стійкості можна визначити критичне значення коефіцієнта k_4 , яке в даному випадку складає $k_{4кр} = 130$. Оскільки у стійкій системі всі корені знаходяться ліворуч від уявної вісі, при обході її від $-\infty$ до $+\infty$ ділянка стійкості також буде знаходитись ліворуч від добутої кривої. Для зручності визначення ділянки стійкості можна нарисувати на криву (рис. 4.5) штриховку зліва при русі від $-\infty$ до $+\infty$. Як видно, задане значення коефіцієнта підсилення підсилювача $k_4 = 250$ не потрапляє в зону стійкості, тому для подальших розрахунків ми приймаємо зменшене значення вказаного коефіцієнта – $k_4 = 100$, при цьому коефіцієнт підсилення системи $k = 11,7$ ($20 \lg k = 21,4$ дБ)..

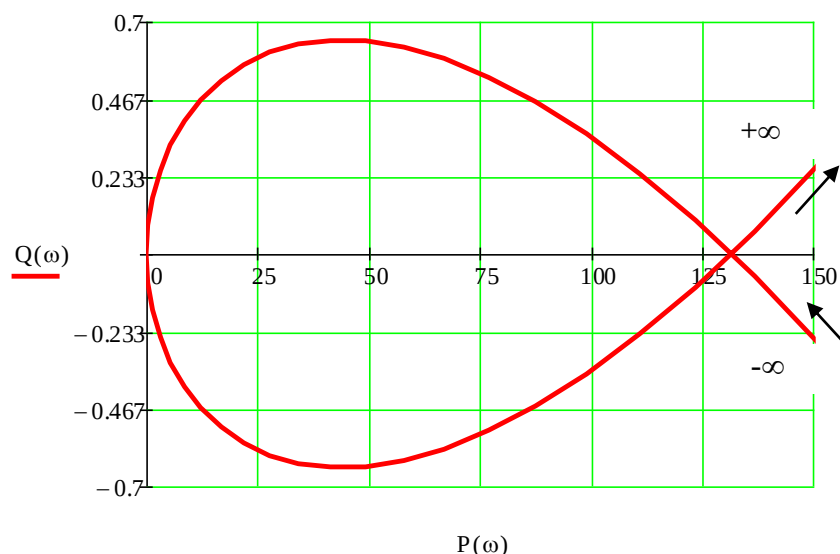


Рисунок 4.5 – D-розбиття в площині параметру k_4 .

4.5 Оцінка якості регулювання замкнутої системи по ЛАЧХ розімкнутої системи

У цьому пункті визначимо запас стійкості за модулем і фазою, а також частоту зрізу. Для цього побудуємо ЛАЧХ і ЛФЧХ розімкненої системи, забезпечуючи їх взаємне розташування (рис. 4.6).

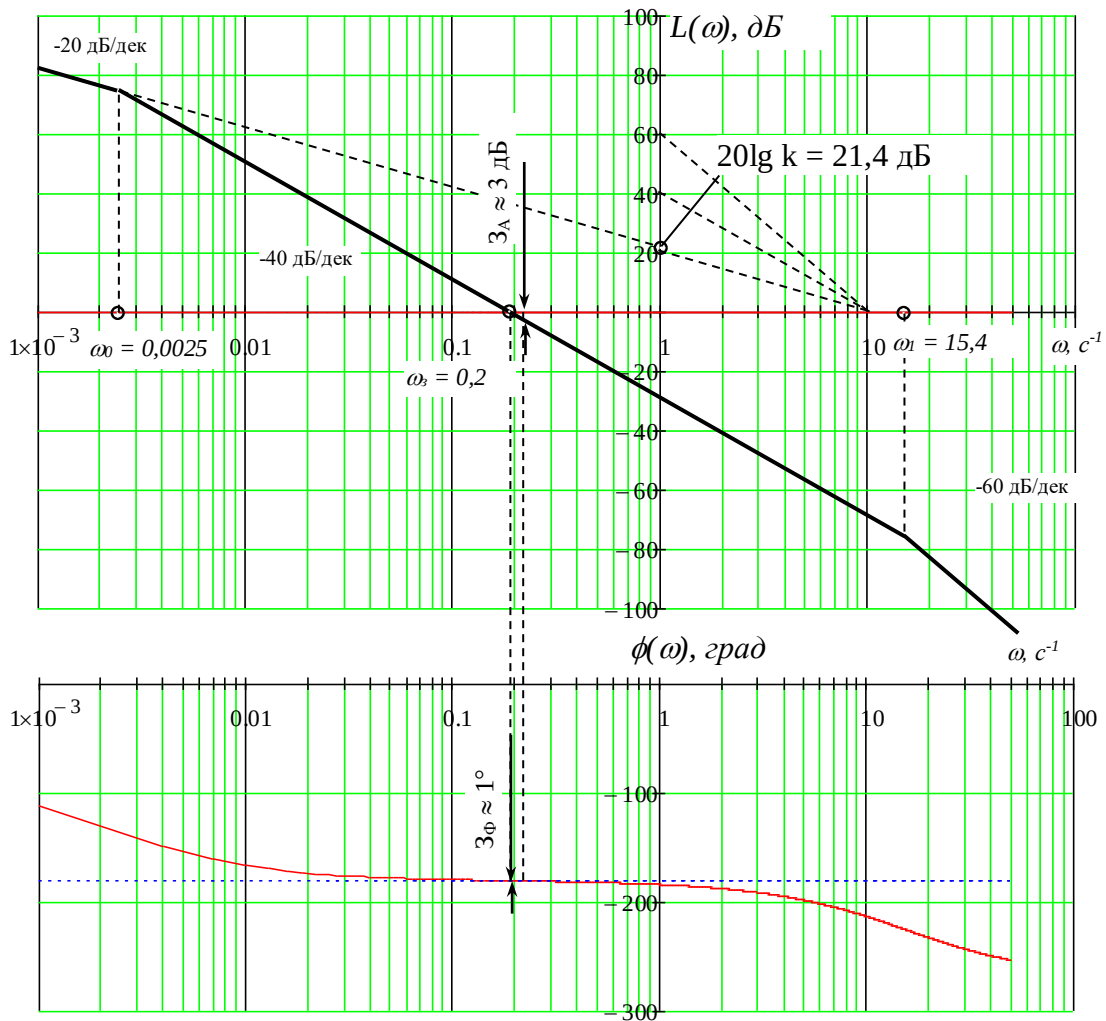


Рисунок 4.6 – Оцінка якості регулювання замкнутої САР по ЛАЧХ розімкнутої системи

З даної побудови можна визначити: частота зрізу $\omega_z = 0,2 \text{ c}^{-1}$, звідки можна визначити час регулювання, поставивши систему в жорсткі умови, $t_p = \frac{2\pi}{\omega_z} = 31,4 \text{ c}$; запас стійкості по амплітуді $z_A \approx 3 \text{ дБ}$, запас стійкості по фазі $z_\phi \approx 1^\circ$.

4.6 Побудова бажаної ЛАЧХ розімкнутої системи

Перед розробкою САР ставляться такі вимоги: час налаштування $t_p = 22$ с, максимальне перевищення $\delta = 25\%$, запас стійкості за модулем не менше 15 дБ і за фазою не менше 30° . Для створення САР необхідно побудувати початкову ЛАЧХ розімкнутої системи, бажану ЛАЧХ і ЛАЧХ коректуючого пристрою.

Створення бажаної ЛАЧХ зазвичай виконується у кілька етапів.

Створення в області низьких частот аналогічне створенню ЛАЧХ незмінної системи. Це означає, що проводиться асимптота з нахилом -20 дБ/дек через точку з координатами $20 \lg k = 21,4$ дБ (креслення 04.01).

Створення асимптоти в області середніх частот є ключовим етапом. У цьому діапазоні ЛАЧХ визначається зазначеними значеннями перерегулювання та часу реакції системи. Для наближення реального процесу до оптимального (за швидкодією) вибирається нахил асимптоти середньочастотної ЛАЧХ на рівні -20 дБ/дек. Вибір частоти зрізу ω_z (частоти, де ЛАЧХ перетинає вісь частот) здійснюється, керуючись умовою $\omega_{z\min} \leq \omega_z \leq \omega_{z\text{onm}}$. Щоб відповідати вимогам якості системи, ω_z повинна бути менше за $\omega_{z\text{onm}}$, що визначається максимальним прискоренням координати та величиною керуючого сигналу. Крім того, вибрана частота ω_z має бути більше $\omega_{z\min}$, яка обирається відповідно до заданих значень максимального перерегулювання δ_m та часу реакції t_p . За визначеним значенням перерегулювання δ_m з використанням кривої $\delta = f(P_{z\max})$ на номограмі [20] визначаємо відповідне значення $P_{z\max}$. Потім, використовуючи криву $t_p = f(P_{z\max})$, за значенням $P_{z\max}$ визначаємо величину $\frac{3\pi}{t_p}$. Цю величину порівнюємо з заданим значенням тривалості реакції $t_p = 22$ с, і з отриманого рівняння визначаємо частоту зрізу $\omega_{z\min} = 0,43$ с⁻¹. Обираємо частоту зрізу $\omega_z = 0,5$ с⁻¹ (незначно більшу), і наносимо її на графік. Потім проводимо середньочастотну асимптоту, проходячи через точку ω_z на вісі абсцис з нахилом -20 дБ/дек.

За відомим значенням $P_{\text{зmax}} = 1,2$ дійсної частотної характеристики визначаємо мінімальне значення $P_{\text{зmin}}$, використовуючи наближене співвідношення для типової дійсної частотної характеристики: $P_{\text{зmin}} = 1 - P_{\text{зmax}} = -0,2$.

Для забезпечення необхідного запасу стійкості системи по амплітуді і фазі необхідно розширити середньочастотну асимптоту в обидва напрямки на певну величину. Запаси стійкості визначаються за допомогою номограм $L(\omega) = f(\varphi)$, де P_z залишається постійною - це колові діаграми, P_z відповідає значенню дійсної частотної характеристики замкнutoї системи. Таким чином, за допомогою номограм ми знаходимо криві, які відповідають $P_{\text{зmax}} = 1,2$ і $P_{\text{зmin}} = -0,2$. Ці криві симетричні відносно осі абсцис. Запас стійкості по амплітуді визначається, проводячи горизонтальні дотичні до цих кривих і читаючи значення на осі ординат, $L_1 = 15$ дБ, $L_2 = -15$ дБ. Отже, середньочастотну асимптоту необхідно

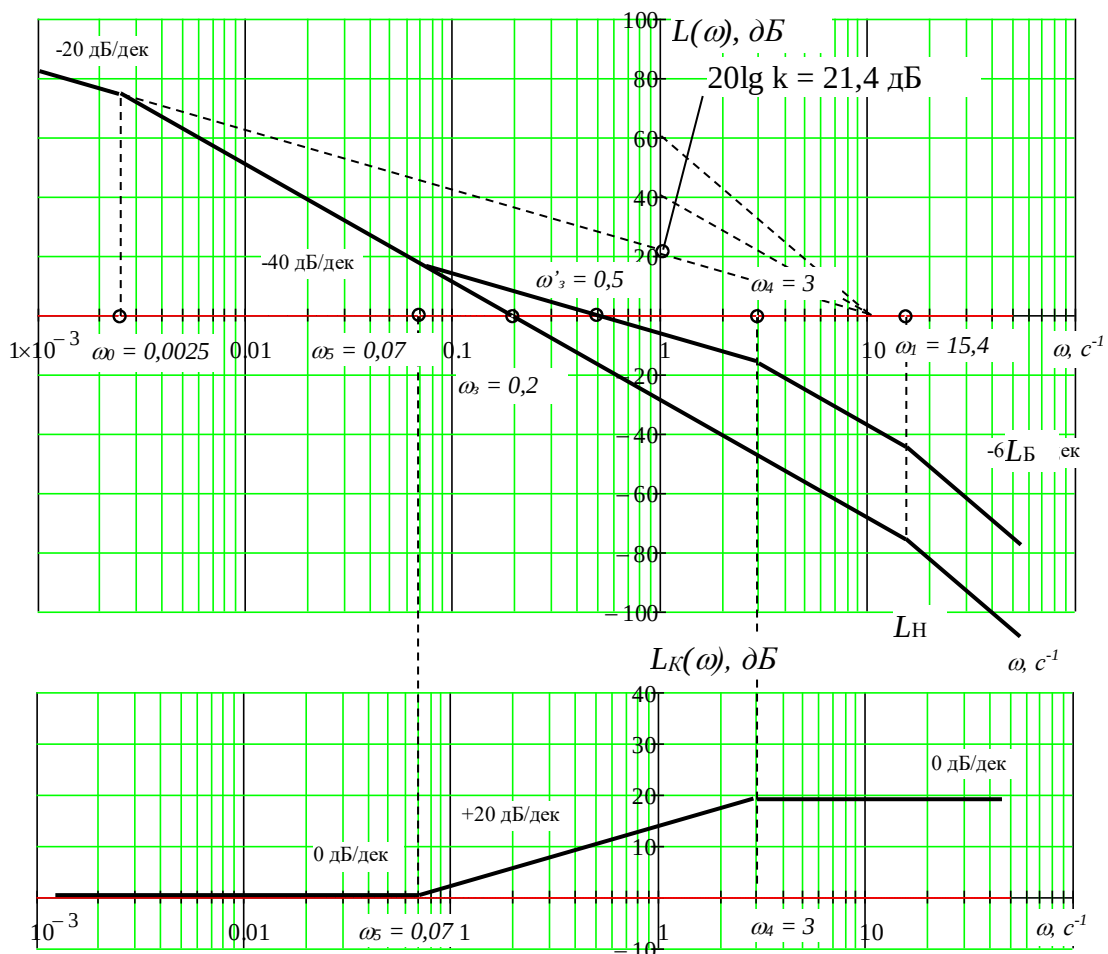


Рисунок 4.7 – Побудова бажаної ЛАЧХ та визначення ЛАЧХ коректуючого пристрою

продовжити в обидва напрямки до значень $L1$ та $L2$ і лише після цього спрягати з сусідніми ділянками [20].

Запас стійкості по фазі γ визначимо, проводячи вертикальні дотичні до кривих $P_{\text{max}} = 1,2$ і $P_{\text{min}} = -0,2$ і вимірявши значення кута у градусах від вертикальної дотичної до лінії -180° . У цьому конкретному випадку $\gamma = 45^\circ$ [18, 20].

ЛАЧХ коректуючого пристрою визначається як різниця між бажаною та незмінною ЛАЧХ, представлена як $L_k(\omega) = L_o(\omega) - L_n(\omega)$ (рис. 4.7). Залежно від форми ЛАЧХ коректуючого пристрою обирається схема коректуючої ланки (рис. 4.8), і його передаточна функція записується [22]:

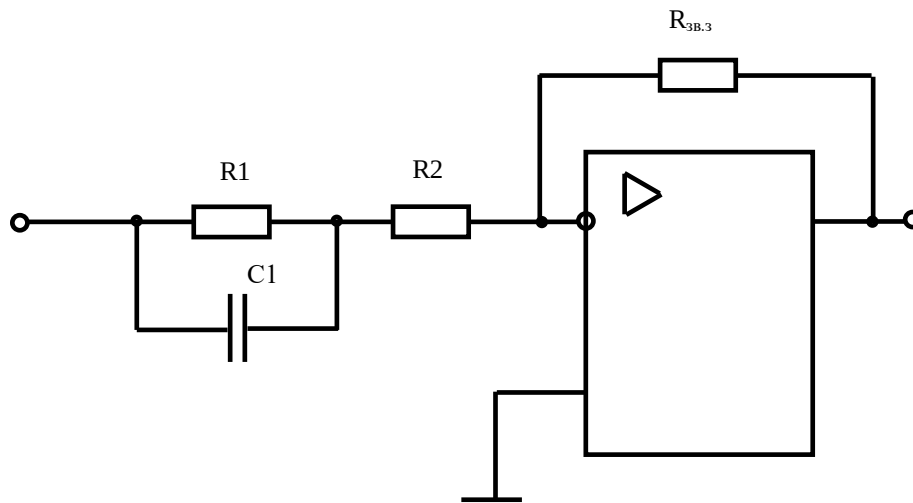


Рисунок 4.8 – Схема коректуючого пристрою

У загальному вигляді передаточна функція такого чотирьохполюсника визначається як:

$$W_{kn}(p) = \frac{k(T_5 p + 1)}{(T_4 p + 1)}$$

$$\text{де } T_4 = 1/\omega_4 = 1/3 = 0,33 \text{ с}; \quad T_5 = 1/\omega_5 = 1/0,07 = 14,3 \text{ с}$$

Після підстановки в рівняння загального вигляду сталі часу, отримаємо передаточну функцію коректуючого пристрою:

$$W_{kn}(p) = \frac{1 \cdot (71,4 p + 1)}{(2 p + 1)}$$

За допомогою формул [21] розраховуємо значення параметрів R_1 , R_2 , C схеми коректуючої ланки:

$$k = \frac{R_2}{R_2 + R_1}; T_5 = R_1 C; T_4 = k \cdot T_5 = \frac{R_1 R_2 C}{R_1 + R_2}$$

Для визначення номіналів елементів коректуючого пристрою при умові, що $C1 = 2 \times 10^{-6} = 2$ мкФ, отримали наступні значення опорів:

$$R_1 = T_5 / C = 14,3 / 2 \times 10^{-6} = 7,15 \times 10^6 = 7,15 \text{ МОм.}$$

$$\text{Далі, через те, що } k = T_4 / T_5 = 0,33 / 14,3 = 0,023 \text{ і } k = \frac{R_2}{R_2 + R_1},$$

$$R_2 = \frac{k R_1}{1 - k} = \frac{0,023 \cdot 7,15 \times 10^6}{1 - 0,023} = 176,6 \times 10^3 \approx 180 \text{ кОм.}$$

Номінали резисторів обираємо із стандартного ряду опорів: $R_1 = 7,15 \text{ МОм}$, $R_2 = 180 \text{ кОм}$.

Обрана коректуюча ланка є активним чотирьохполюсником. Для досягнення значення $k = 1$ необхідно встановити $R_{зв.з} = R_1 + R_2$, приблизно рівне $7,33 \text{ МОм}$. За допомогою стандартного ряду опорів обираємо $R_{зв.з}$ з номіналом $7,15 \text{ МОм}$.

4.7 Побудова кривої перехідного процесу синтезованої системи

Напишемо вираз для передаточної функції замкнутої скорегованої системи

$$W_{зк}(p) = \frac{k(T_5 p + 1)}{p(T_1 p + 1)(T_0 p + 1) \cdot (T_4 p + 1) + k \cdot (T_5 p + 1)}$$

Після заміни $p = j\omega$, виділимо дійсну частину передаточної функції замкнутої скорегованої системи для подальшої побудови дійсної частотної характеристики. Цю операцію можна виконати за допомогою математичного редактора, наприклад, Matcad. Для цього потрібно записати значення коефіцієнтів підсилення, сталих часу динамічних ланок та вираз передаточної функції у робочій області екрана і ввести наступний вираз: $P(\omega) := \text{Re}(W(\omega))$.

Це дозволить побудувати дійсну частотну характеристику скоректованої системи (рис. 4.9).

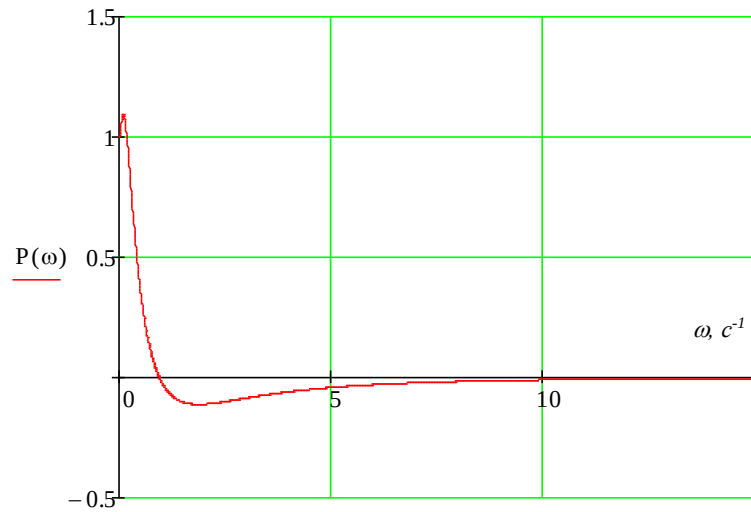


Рисунок 4.9 – Дійсна частотна характеристика замкнутої скорегованої системи

Побудуємо криву перехідного процесу синтезованої САР (рис. 4.10).

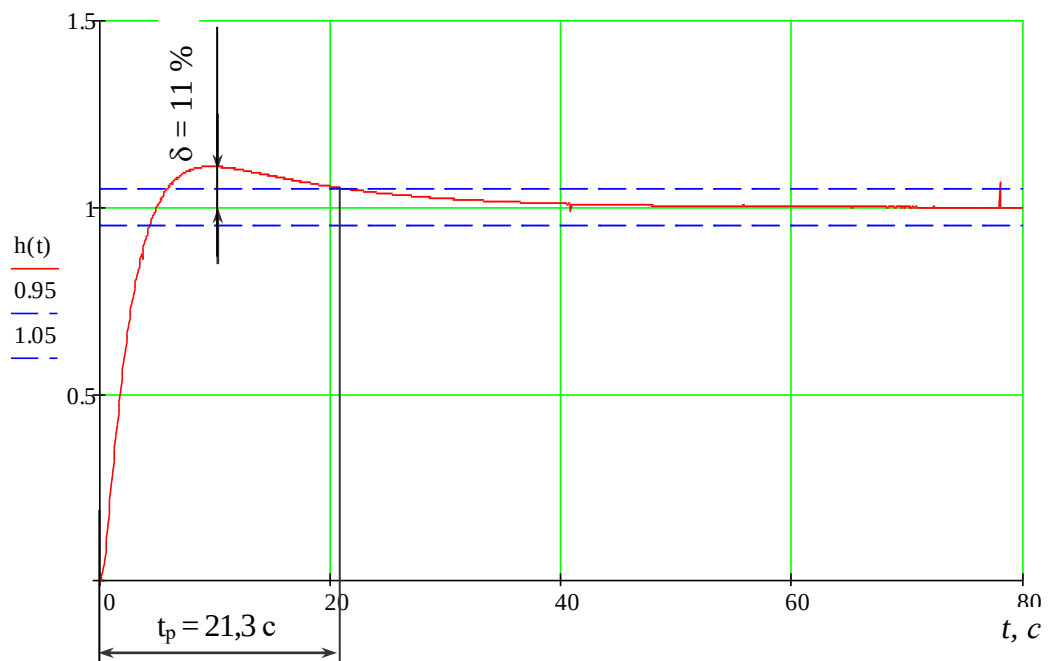


Рисунок 4.10 – Графік перехідного процесу системи, розробленої шляхом синтезу

4.8 Визначення прямих показників якості синтезованої системи

З отриманого графіка перехідного процесу можна визначити такі основні показники якості:

- час регулювання $t_p = 21,3$ с;
- перерегулювання $\delta = 111$ %;
- час досягнення першого максимуму $t_{\max} = 9,7$ с;
- час наростання перехідного процесу $t_n = 4,8$ с;
- перехідний процес аперіодичний з перерегулюванням (на відміну від перехідного процесу вихідної системи).

Отже, реалізація виразу передаточної функції коректуючого пристрою відповідає заданим критеріям якості системи. Це підтверджується порівнянням графіків перехідних процесів вихідної та скорегованої систем, які представлені на кресленні 04.02.

5 ОПИС ОРГАНІЗАЦІЇ РОБІТ, ЩО ПОВ'ЯЗАНІ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТЕМПЕРАТУРИ ЗЕРНА В ПРОЦЕСІ ЗБЕРІГАННЯ В ЗЕРНОСХОВИЩІ

5.1 Монтаж системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносховищі

Монтаж мікропроцесорного блока та інших компонентів враховує зручність обслуговування під час налагодження та ремонту системи, а також можливість розміщення додаткових блоків у шафі для подальшого розширення функціональних можливостей системи.

При нормальних умовах експлуатації прилади в шафі можуть працювати без перерви протягом тривалого періоду. Проте, через те, що шафа розташована неподалік від бункеру активного вентилявання, для запобігання різноманітним вібраціям, які можуть призвести до пошкодження електричних контактів та зміни налаштувань елементів і вузлів системи, її необхідно встановити на амортизаторах. Вологе повітря, пил та бруд можуть знизити опір ізоляції, порушуючи нормальний режим роботи приладів. Присутність агресивних газів у повітрі може призвести до окислення контактів реохордів задавачів та реле. Наявність сильних магнітних полів в місцях розташування датчиків та вторинних пристроїв, а також у місцях прокладки з'єднувальних ліній від датчика до вторинного пристрою, може стати причиною неполадок в роботі приладів [23].

Якщо у приміщенні є висока вологість та велика кількість пилу, необхідно належним чином ущільнити прокладки та заблокувати непотрібні отвори у корпусі шафи. При підвищеній вологості повітря всередині корпусу шафи розміщують ємність з хімічним осушувачем, який потрібно періодично герметично обробляти для збереження його ефективності.

Також слід приділити увагу заземленню приладів, оскільки неналежне заземлення може призвести до додаткових помилок в показах вторинних пристроїв. Не рекомендується використовувати водопровідну або опалювальну систему в

якості заземлення. Розрахунок захисного заземлення можна знайти у розділі охорони праці [23]. Загальна лінія живлення, яка живить силові електричні пристрої, піддається значним коливанням напруги через зміни у навантаженні. Крім того, у такій лінії можуть виникати перешкоди через струми високої частоти, що виникають при дугових розрядах у силових агрегатах. Тому рекомендується подавати напругу живлення до пристроїв через спеціальні КВП-лінії. При підключенні пристроїв до мережі у багатьох випадках використовують розподільчі трансформатори. Один з кінців вторинної обмотки розподільчого трансформатора має бути заземленим, щоб уникнути наводок промислової частоти на вихідні ланцюги електронних пристроїв. Ця особливість має велике значення для пристроїв з високоомним входом та для пристроїв, вимірювальні схеми яких живляться від мережних стабілізованих джерел. Розподільний трансформатор має мати достатню резервну потужність. Перевантаження трансформатора може призвести до падіння напруги на вторинній обмотці та спотворення форми кривої струму. Підключення розподільного трансформатора до мережі повинно здійснюватися через двополюсний вимикач та плавкі запобіжники. Не рекомендується підключати прилади до мережі через автотрансформатор, оскільки він не забезпечує захист від перешкод. У випадку використання понижуючого автотрансформатора обривання його обмотки може призвести до подачі повної напруги мережі на прилад [22].

Шляхом забезпечення безпечного підведення напруги до шафи слугує використання дроту з водонепроникною прорезиненою ізоляцією, з діаметром не менше 1 мм. Для захисту дротів від механічних ушкоджень рекомендується їх укладати в гнучкі металеві шланги або труби, які мають бути надійно заземлені. Вводи дротів до шафи герметизуються за допомогою спеціальних ущільнюючих втулок. Для уникнення непотрібного розраховування дротів рекомендується пропаяти місця їх з'єднання у разі, якщо воно необхідне. Після завершення монтажу дротів проводиться перевірка опору ізоляції відносно землі, який має становити не менше 10 МОм. Вимоги до дротів, що з'єднують датчики з вторинним приладом, залежать від типу датчиків та приладу. Зазвичай, дроти мають бути прокладені в сталевих захисних трубках відокремлено від дротів мережі.

5.2 Налагоджування системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносклаві

Перевірку на відсутність пошкоджень блоків варто проводити перед їх монтажем, під час планового технічного обслуговування та у разі виявлення будь-яких пошкоджень під час експлуатації приладу. У перелік перевірок включаються: перевірка основної похибки роботи вторинного приладу, перевірка основної похибки запису, оцінка варіації та порогу чутливості приладу, перевірка роботи механізму регулювання робочого струму, виявлення сигналу "переривання в ланцюзі приладу", оцінка рівня вхідних перешкод для електронного підсилювача, а також вимірювання ступеня нагріву деталей при тривалій роботі приладу. Перевірка приладів повинна здійснюватись при таких умовах: температура навколишнього повітря $20 \pm 5^{\circ}\text{C}$, напруга живлення не повинна відрізнятись від номінальної на більше ніж $\pm 3\%$, частота живлення - $50 \pm 0,5$ Гц, при відсутності зовнішніх магнітних полів.

5.3 Експлуатація системи автоматичної стабілізації температури зерна в процесі зберігання в зерносклаві

При правильній експлуатації, автоматичні електронні прилади можуть працювати надійно та безперервно впродовж тривалого періоду. Важливо, щоб під час роботи приладів умови, які є оптимальними для їхнього функціонування, зберігалися протягом усього терміну служби. Також слід уникати змін напруги живлення мережі, які перевищують допустимі межі.

При підвищенні температури понад 40°C , потрібно забезпечити додаткову вентиляцію приміщення. В холодний період необхідно враховувати питання опалення приміщення. У приміщеннях з підвищеною вологістю та запиленних, важливо регулярно перевіряти стан ущільнювачів. У випадку використання хімічних сушників, слід контролювати їх ефективність [23].

Необхідно регулярно змащувати ті частини вузлів, які піддаються тертю. У

заводських інструкціях вказані строки та методи змащування. Під час експлуатації важливо систематично проводити огляд та запланований ремонт приладів. Під час огляду блоки виймаються зі шафи та направляються в майстерню, де їх очищують від пилу та бруду за допомогою ганчірки та повітря. Здійснюється перевірка всієї електропроводки та надійності затискувачів. Після виправлення усіх виявлених несправностей та перевірки роботи блоків, вони повертаються в шафу.

ВИСНОВКИ

Метою цієї бакалаврської роботи було вдосконалення процесу сушіння зерна за допомогою автоматизації вентиляції у зерноочисному сушильному комплексі ЗАВ-20. Ця автоматична система управління регулює положення заслінки бункера активного вентиляції, спрямовуючи процес сушіння зерна на потоковий режим. Це дозволяє точно контролювати вологість і температуру зернового матеріалу, а також покращує умови праці персоналу. У ході дослідження розглянута загальна сутність процесу зберігання зернової продукції. Виявлено, що перед зберіганням або реалізацією необхідно очищати та сушити кожен вид зернових до встановленого рівня.

У зв'язку з важливістю та необхідністю включення процесу очищення і сушіння зернових у технологічний процес виробництва продукції, було проведено аналіз сушіння, визначено значення і рівень вологості для кожного типу зернових, розглянуто процеси очищення перед сушінням, методи вимірювання вологості та оглянуто наявні виконавчі механізми, визначено їхні основні переваги та недоліки. Крім того, надано загальний огляд процесу очищення та сушіння на зерноочисному сушильному комплексі ЗАВ-20. Виявлено, що значна кількість операцій виконується вручну оператором, включаючи вимірювання вологості, управління двигуном та нагрівачами, відкриття заслінки, що регулює потік зерна на виході з бункеру.

Для можливості автоматизації даної операції було проведено аналіз наявних засобів вимірювання вологості. Розглянуті і проаналізовані різні типи вологомірів з точки зору їхньої придатності для застосування як чутливих елементів у кондуктометричних, діелектричних, оптичних, радіаційних, електротермічних та комбінованих системах. Після аналізу було встановлено, що для вимірювання вологості методом потоку в умовах бункеру з активним вентиляванням найбільш ефективним є датчик, що базується на зміні параметрів НВЧ.

На підставі аналізу наявних рішень і їхнього огляду було виправдано принцип побудови системи автоматичного управління вентиляцією зерна. Ця

система автоматично відкриває або закриває заслінку на виході бункера активної вентиляції. Основною метою цієї системи є включення електродвигуна регулятора положення заслінки у випадку невідповідності температурно-вологісних параметрів зернового матеріалу. У системі присутній чутливий елемент, який реагує на зміни вологості та температури матеріалу. Сигнал цього чутливого елемента підсилюється до необхідного рівня для введення в мікроконтролер, оскільки саме через мікроконтролер здійснюється зчитування сигналу з блоку сенсорів. Також мікроконтролер запам'ятовує момент часу появи сигналу в блоку сенсорів та формує керуючий вплив на пускач електродвигуна регулятора положення заслінки.

Розроблено структуру даної системи, визначено принцип її регулювання, спроектовано функціональні та електричні принципові схеми слабкострумової частини системи. Для підтвердження працездатності продукту були визначені передаточні функції замкнутої та розімкнутої систем, а також характеристичне рівняння. Важливо відзначити, що систему розглянуто як неперервну, оскільки зміни температури і вологості зернового матеріалу не відбуваються дуже швидко, і швидкодія мікропроцесорного блоку дозволяє своєчасно реагувати на зміни цих параметрів. Під час розробки було проведено дослідження стійкості системи, в результаті чого встановлено, що система з вихідними параметрами є нестійкою.

Для забезпечення стійкості системи було побудовано область стійкості в площині одного з параметрів - коефіцієнта підсилення підсилювача. Після цього проведено подальші розрахунки, враховуючи нове значення цього параметра. Однак отримана система мала незадовільні показники якості. Шляхом синтезу було визначено передаточну функцію послідовного коректуючого пристрою, введення якого у склад системи забезпечить відповідні показники якості. Крім того, у проекті розглянуті заходи щодо монтажу, налагодження і експлуатації розробленої системи.

Перелік скорочень, символів та спеціальних термінів

САК – система автоматичного керування;
САР – система автоматичного регулювання;
КВП – контрольно-вимірювальні прилади;
КОК – контрольно-обчислювальний блок;
ЛСА – локальна система автоматики;
АЦП – аналого-цифровий перетворювач;
ВБ – вимірювальний блок;
ЦАП – цифро-аналоговий перетворювач;
МК – мікроконтролер;
ПП – підсилювач потужності;
ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-частотна характеристика;
ОР – об’єкт регулювання;
АФЧХ – амплітудно-фазова частотна характеристика;
ТУ – технічні умови;
ЛФЧХ – логарифмічна фазова-частотна характеристика;
ІМС – інтегральна мікросхема;
РЕА – радіоелектронна апаратура;
ДНАОП – державні нормативні акти про охорону праці;
САННіП – санітарні норми і права;
БНіП – будівельні норми і правила;
ПУЕ – правила улаштування електроустановок.

Список літератури

1. В.Ф. Ялпачик, Н.П. Загорко, О.Г. Скляр, Кюрчев С.В., С.Ф. Буденко, В.О. Верхованцева, Н.О. Паляничка, Кюрчева Л.М., В.Г. Циб. Обладнання складів. Зберігання зерна і зернопродуктів. Навчальний посібник - Мелітополь: Видавничий будинок Мелітопольської міської друкарні, 2018. - 293 с.
2. Подпряттов Г.І. Технологія обробки, переробки зерна та виготовлення хлібопекарської продукції. – К.: НАУ, 2000.
3. Зберігання і переробка продукції рослинництва: навч. посіб. для студ. вузів / Г.І. Подпряттов, Л.Ф. Скалецька, А.М. Сеньков, В.С. Хилевич. – К.: Мета, 2002. – 495 с.
4. Лесик Б.В., Трисвятський Л.О., Сніжко В.Л. Зберігання і технологія сільськогосподарських продуктів. – К. : Вища шк.,1980.
5. Скалецька Л.Ф., Духовська Т.М., Сенькова А.М. Технологія зберігання і переробки продукції рослинництва. – Практикум. – К., Вища школа, 1994.
6. Подпряттов Г.І., Рожко В.І., Скалецька Л.Ф. Технологія зберігання та переробки продукції рослинництва: підручник. – К. : Аграрна освіта, 2014. – 393 с.
7. Богомолів О. В., Верешко Н. В., Сафронова О. С. та ін. Зберігання та переробка сільськогосподарської продукції. – Х. : Еспада, 2008. – 544 с.
8. Зберігання і технологія сільськогосподарських продуктів / Б.В. Лесик, Л.О. Трисвятський, В.Л. Снежко та ін. – К. : Головне вид-во ВО “Вища школа”, 1980. – 338 с.
9. Трісвятській Л.А., Лесин Б.В., Курдіна В.І. Зберігання і переробка сільськогосподарських продуктів. – М: Агропромиздат, 1991р. – 415с.
10. Богдан Сусь, Антоніна Лад. Вимірювання фізичних величин. Навчальний посібник. – Київ: ВІТІ, 2019. – 92 с.
11. В.М. Дзюба, В.Д. Жеребило, Г.Д. Радзівілов, Р.О. Беляков. Електрорадіовимірювання. Навчальний посібник. Київ – 2017. – 176 с.
12. Поджаренко В.О., Кулаков П.І., Ігнатенко О.Г., Войтович О.П. Основи метрології та вимірювальної техніки. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2006. – 151 с.

13. Володарський Є.Т., Кухарчук В.В., Поджаренко В.О., Сердюк Г.Б. Метрологічне забезпечення вимірювань і контролю. Навчальний посібник. – Вінниця: Велес, 2001. – 219 с.
14. Основи метрології та електричних вимірювань : підручник / В.В. Кухарчук, В.Ю. Кучерук, Є.Т. Володарський, В.В. Грабко. – Вінниця: ВНТУ, 2012. – 522 с.
15. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник /Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є., Ковальов В.О. – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
16. Гончар В.Ф., Тищенко Л.П. Электрообладнання і автоматизація с.-г. агрегатів і установок. – К.: Вища школа, 1989. – 343 с.
17. Хісматулін В. Ш. Теорія оптимальних систем автоматичного керування: навч. посібник / В.Ш. Хісматулін, О.О. Сосунов, В.О. Сотник. – Харків: УкрДУЗТ, 2022. – 230 с.
18. Холмов О.С., Долганов М.А. Электрические измерения неэлектрических величин. – Киев: “Техника”, 1981. – 185 с.
19. Гостев В.И., Стеклов В.К. Системы автоматического управления с цифровыми регуляторами. – К.: “Радиоаматор” 1998. – 704 с.
20. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування: Підручник. – К.: Либідь, 1997. – 544 с.
21. Шпак Ю. А. Программирование на языке С для микроконтроллеров AVR и PIC. Практикум для начинающих / Шпак Ю. А. – К. : «МК-Пресс», 2006. – 400 с.
22. Технологія електромонтажних робіт : підручник / В.В. Чорна, С.В. Чорний. — Х. : Компанія СМІТ, 2014. — 288 с.
23. Справочник по наладке автоматических устройств контроля и регулирования. – Киев: “Наукова думка”, 1981. – 940 с.