

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут електроенергетики
(інститут)
Електротехнічний факультет
(факультет)

Кафедра кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем
(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню магістра

студента Бойко Владислав Ігорович

(П.І.Б.)

академічної групи 151М-22-1

(шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(код і назва спеціальності)

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

(офіційна назва)

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування зволоженням зерна

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтинг.	інституційною	
кваліфікаційної роботи	доц. Соснін К.В.			
Теоретичний розділ				
Синтез системи				
Експериментальний розділ				
Економічний розділ	ст. викл. Яремчук І.О.			
Охорона праці	проф. Чеберячко Ю.І.			
Рецензент				
Нормоконтролер				

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО
завідувач кафедри
кіберфізичних та інформаційно-
вимірювальних систем
(повна назва)

_____ Бублік А.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеня бакалавр

студенту Бойко В.І. академічної групи 151М-22-1
(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

за освітньо-професійною програмою 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(офіційна назва)

на тему Дослідження та синтез системи автоматичного керування зволоженням зерна,
затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 13.11.2023 № 1372-с

Розділ	Зміст	Термін виконання
Стан питання та постановка завдання	На основі матеріалів виробничих практик, інших науково-технічних джерел сформулювати наукове завдання, конкретизувати предмет та мету досліджень	Листопад 2023
Теоретичний	Обґрунтувати теоретичну базу розв'язання наукового завдання, якому присвячено роботу	Листопад 2023
Синтез системи	Створити систему із застосуванням методів, розроблених у теоретичному розділі, за допомогою яких будуть проводитися дослідження	Листопад 2023
Експериментальний	Розробити програмне забезпечення, сформулювати завдання та обґрунтувати методику експерименту. Результати експерименту подати у вигляді таблиць та графіків.	Листопад 2023
Економічна частина	Економічне обґрунтування доцільності витрат на створення системи керування.	Грудень 2023
Охорона праці	Розробка організаційно-технічних заходів, щодо реалізації правил безпеки при експлуатації системи.	Грудень 2023

Завдання видано _____
(підпис керівника)

доц. Соснін К.В.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 02.10.2023

Дата подання до екзаменаційної комісії _____

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Бойко В.І.
(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка 93 с., 47 мал., 22 табл., 3 додатка, 18 джерел.

Об'єкт дослідження: система автоматичного керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2.

Предмет дослідження: методи, моделі та інформаційне забезпечення автоматизації процесу керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2.

Мета: підвищення якості процесу керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2, шляхом визначення межі запасу стійкості системи керування при впливі збурення на об'єкт керування.

Взявши за основу передавальну характеристику роботи машини інтенсивного зволоження зерна по каналу витрата води (Q) на вході – вологість зерна (W_k) на виході, було розроблено та досліджено модель системи керування, визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи керування згідно з висунутими критеріями, визначено допустиму межу зміни коефіцієнту підсилення «к» об'єкта керування при впливі збурення.

На основі безперервної моделі системи керування була розроблена цифрова модель системи керування. У середовищі MatlabR2013b розроблено програмні модулі, які реалізують об'єкт керування та регулятор системи керування. Використовуючи програмні модулі математичної моделі розроблено модулі прикладного програмного забезпечення системи керування машиною інтенсивного зволоження для контролера VIPA, у середовищі Zenon розроблено людино машинний інтерфейс користувача для SCADA системи, виконано симуляцію роботи розробленого прикладного програмного забезпечення.

У економічному розділі визначені капітальні та експлуатаційні витрати, а також виконано розрахунок економічної ефективності впровадження системи.

У розділі охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях розроблено інженерно-технічні заходи з охорони праці, розроблено протипожежні заходи.

СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ЗВОЛОЖЕННЯ ЗЕРНА, А1-БШУ-2, СИНТЕЗ, РЕГУЛЯТОР, ЛЮДИНО-МАШИННИЙ ІНТЕРФЕЙС.

SUMMARY

Explanatory note: 93 p., 47 figures, 22 tables, 3 annexes, 18 sources.

Research object: the automatic control system of the machine for intensive moistening of grain of the A1-BSHU-2 brand.

The subject of the study: methods, models and information support for the automation of the process of controlling the machine for the intensive moistening of grain of the A1-BSHU-2 brand.

The goal of the work: to improve the quality of the control process of the A1-BSHU-2 grain intensive moistening machine, by determining the margin of stability under the influence of a disturbance on the control object.

Taking as a basis the transmission characteristics of the intensive grain moistening machine along the channel of water flow (Q) at the input - grain moisture (W_k) at the output, a model of the control system was developed and studied, the structure and parameters of the regulator were determined, and the operation of the control system was evaluated according to the proposed criteria, the admissible limit of change in the amplification factor "k" of the control object under the influence of disturbance is determined.

Based on the continuous model of the control system, a digital model of the control system was developed. In the MatlabR2013b environment, software modules have been developed that implement the control object and the controller of the control system. Using the software modules of the mathematical model, the application software modules of the intensive humidification machine control system for the VIPA controller were developed, the human-machine user interface for the SCADA system was developed in the Zenon environment, and the simulation of the developed application software was performed.

CONTROL SYSTEM, GRAIN MOISTENING, A1-BSHU-2, SYNTHESIS,
REGULATOR, HUMAN-MACHINE INTERFACE

ЗМІСТ

Перелік умовних позначень, символів, скорочень та визначень	6
Вступ	7
1 Стан питання та постановка завдання	9
1.1 Характеристика галузі промисловості	9
1.2 Технологічний процес	10
1.3 Об'єкт керування	14
1.3.1 Загальна характеристика об'єкту керування	14
1.3.2 Принцип функціонування об'єкту керування	15
1.4 Структура системи керування	17
1.5 Формулювання задачі дослідження	31
1.6 Висновки по розділу	31
2 Теоретичний розділ	32
2.1 Модель об'єкта керування	32
2.2 Критерії якості функціонування об'єкта керування	35
2.3. Висновки по розділу	36
3 Синтез системи керування	37
3.1 Модель системи керування	37
3.2 Структура регулятора	39
3.3 Оцінка якості функціонування системи керування	47
3.4 Висновки по розділу	55
4 Експериментальний розділ	56
4.1 Цифрова модель об'єкта керування	56
4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування	60
4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса	62
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення	64
4.5 Висновки по розділу	66
5 Економічний розділ	67

5.1 Техніко-економічне обґрунтування синтезу системи автоматичного керування комплексним барабанним сепаратором	67
5.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування	67
5.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення	68
5.4 Розрахунок експлуатаційних витрат	72
5.5 Оцінка економічної ефективності проекту	77
5.6 Висновки по розділу	78
6 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	79
6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів	79
6.2 Інженерно – технічні заходи з охорони праці	80
6.3 Протипожежна профілактика	85
6.4 Висновки по розділу	89
Висновки	90
Перелік посилань	92
Додаток А	94
Додаток Б	98
Додаток В	101

**ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ ТА
ВИЗНАЧЕНЬ**

- САК – Система автоматичного керування;
- ЛМІ – Людино-машиний інтерфейс
- ПЛК – Програмований логічний контролер
- SCADA – Supervisory control and data acquisition system
Система диспетчерського керування та збору даних

ВСТУП

Актуальність теми. Процес виробництва борошна, крупи, комбікормів важливою складовою агропромислового комплексу України під час воєнного стану. Борошномельне, круп'яне виробництво забезпечує виробництво основних продуктів харчування людей – борошна, крупи, що містять у своєму складі важливі незамінні для людини поживні речовини[1,2,3,4].

Обслуговуючий персонал під час супроводження технологічного процесу стикається зі збуреннями, що мають випадковий характер, не завжди має можливість своєчасно реагувати на ці збурення. Ручне керування машинами, агрегатами, що працюють у потоці, низько ефективно, знижує її продуктивність, якість залежить від людини. Покращити показники якості керування процесами зволоження зерна можна за допомогою дослідження існуючих об'єктів керування, розробки нових автоматизованих / автоматичних систем керування.

При керуванні машинами інтенсивного зволоження зерна методи, моделі керування створюються для апаратів певного типу та конфігурації. Отже, розробка методів, моделей та інформаційного забезпечення при керуванні зволоженням зерна є **актуальною науково–технічною задачею**, розв'язання якої забезпечує підвищення якості процесу виробництва борошна в цілому.

Мета і задачі дослідження. Мета магістерської роботи полягає у підвищенні якості процесу керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2, шляхом визначення межі запасу стійкості системи керування при впливі збурення на об'єкт керування.

Для досягнення поставленої мети в роботі поставлені і розв'язані наступні задачі:

- обґрунтувати вибір комплексу технічних та програмних засобів системи керування, розробити необхідну технічну документацію;

- дослідити передавальну характеристику процесу зволоження зерна у машині інтенсивного зволоження зерна А1-БШУ-2 по каналу витрата води (Q) на вході – вологість зерна (W_k) на виході для синтезу системи керування;
- виконати дослідження моделі системи керування при впливі збурення;
- виконати розробку прикладного програмного забезпечення системи керування для SCADA системи з програмованим логічним контролером;
- виконати обґрунтування економічної ефективності при впровадженні;
- виконати розробку заходів з охорони праці та протипожежних заходів.

Об'єкт дослідження – система автоматичного керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2.

Предмет дослідження – методи, моделі та інформаційне забезпечення автоматизації процесу керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2.

Методи дослідження. Для дослідження системи керування машиною інтенсивного зволоження зерна використано методи системного аналізу. Математичне моделювання роботи системи виконано за допомогою диференціальних рівнянь. Оцінка ефективності процесів керування проведена за допомогою використання методів математичної статистики.

Наукове положення.

Дія збурення на вихідний параметр системи керування має прямопропорційний вплив, та залежить від знаку та значення збурення, а стійкість системи керування для протидії збуренню пропорційна коефіцієнту підсилення «к» об'єкта керування, та має нижнє межове значення « $k=0.01$ ».

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

Отримана модель впливу збурення на вихідний параметр системи керування машиною інтенсивного зволоження зерна по каналу витрата води (Q) на вході – вологість зерна (W_k) на виході, що дозволяє визначити межове значення коефіцієнта підсилення «к» об'єкту керування як межу стійкості розробленої системи керування.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

1.1 Характеристика галузі промисловості

Зернопереробна галузь останніми роками є одним з сегментів експортного потенціалу України, що найбільш активно розвивається. При цьому щорічно зростають не тільки обсяги виробництва продуктів зерна (борошно, крупи, висівки та ін.), але і їхні поставки на зовнішні ринки, де українська продукція стає все більш популярною і затребуваною.

Ефективність технологічних процесів виробництва й борошна й крупи визначається рівнем використання зерна й електроенергії, а так само якість виробленого борошна й крупи на ефективність переробки зерна в борошно й впливають технологічні властивості зерна, що переробляється, структура й режими технологічного процесу на борошномельному круп'яному заводах, состав технологічного й транспортного встаткування[1-6].

Борошномельний сектор – один із найбільш соціально значущих в агропромисловому комплексі України. За даними Держкомстату, щорічна потреба України в продовольчому зерні, зокрема для виробництва хліба і хлібобулочних виробів, оцінюється від 5,7 до 7 млн. тон. Не дивно, що на державних підприємствах виробляється понад 20% загального обсягу борошна.

Технологічні процеси переробки зерна в борошно й крупу супроводжуються складними структурно-механічними, фізико-хімічними й біохімічними змінами в зерні й готової продукції. Тому знання закономірностей зазначених змін не тільки становить сутність вивчення технології борошномельного й круп'яного виробництва, але і є основою подальшого вдосконалення технологічних процесів переробки зерна в борошно й крупу.

Сучасне виробництво борошна й крупи досить специфічно в технологічному змісті, дуже енергоємне, є вибухонебезпечним, має безперервний потоковий характер, відрізняється великою довжиною й багатоповерховістю технологічних ліній при відносно малій чисельності змінного персоналу. Одне перерахування цих ознак свідчить, що без автоматизації подібне виробництво не може бути ні ефективним, ні безпечним.

Проте, і на початку 21-го століття близько 80% млинів на Україні (а їх близько сотні) продовжують працювати на ручному керуванні, або мають примітивні релейно-контактні системи блокування обладнання. Пояснення просте: можливості інвестицій в автоматизацію зернопереробної промисловості незрівнянно менші, ніж в хімію, енергетику і їм подібні високоавтоматизовані галузі. У цій ситуації проблема вибору програмно-апаратних засобів автоматизації є життєве важливою.

Таким чином, для того, щоб зернопереробна галузь, як одна з стратегічних галузей промисловості України, ефективно розвивалася та розширювала свою діяльність необхідно: направляти кошти підприємств на більш економічно ефективно відтворення основних фондів, завдяки впровадженню інновацій в процес виробництва; проявлення більшої зацікавленості підприємствами харчової промисловості в практичних навиках молодих спеціалістів, для їх подальшого працевлаштування на підприємства зернопереробної галузі та підприємства інших галузей харчової промисловості України; досягнення більш раціональної взаємодії між постачальниками сировини і зернопереробними підприємствами в ціновій політиці, що дозволить зберегти собівартість хлібопродуктів на тому ж рівні або навіть скоротити її, що в свою чергу призведе до стабільної ціни на хліб та інші хлібопродукти першої необхідності для населення України.

1.2 Технологічний процес

Після збирання врожаю зерно містить різні сторонні домішки[1-6]. У зерні можуть перебувати насіння бур'янистих рослин, частки соломи, обмолочені колосся й навіть шматочки землі або дрібні каміння (галька). Під час транспортування та різних операціях із зерном до нього можуть потрапити й інші предмети, шматочки дроту, різні металеві предмети, мотузка, скло, інше. Усе це небажані домішки й усе це необхідно вилучити із зерна до його подрібнення у борошно.

Очищення зерна відбувається на машинах різного принципу дії: на сепараторах, трісрах, каменевідокремлювачах, аспіраторах і т.п.

Далі здійснюють обробку зерна для поліпшення його борошномельних властивостей, проводять “кондиціювання” зерна. У цьому процесі зерно зволожують до певної вологості й потім витримують його протягом декількох годин у засіках – отволожують.

На млині, підготовка зерна до змелювання в зерноочисному відділенні проводиться за наступною схемою (рис. 1.1):

Попередньо очищене зерно із самоскида вивантажується в бункер неочищеного зерна в днище якого вмонтований конвеєр гвинтовий, який подає зерно в дозатор порцій.

Далі зерно порцією подається на первинне очищення в аспіратор і на зерноочисний сепаратор, який служить для видалення із зернової маси великих, дрібних і легких домішок. Легені домішки віддаляються повітряним потоком в аспіраторі на вході в сепаратор, і на виході з нього. Для виділення домішок, що відрізняються по розмірах (великих і дрібних) служать пробивні сита (решета), з отворами круглої або ж довгастої форми.

Очищене зерно направляється в каменезбірник, призначений для відбору дрібних камінчиків, розміри яких мало відрізняються від розміру зерна.

Зерно із прийомного пристрою попадає спочатку на сітчасту поверхню розподільника, що продувається знизу повітрям, а потім на сітку в центрі вібростола. Тут вихідне зерно ділиться на два рівні потоки. Під дією коливань робочої поверхні й аерації повітрям, зернова суміш розпушується, при цьому коефіцієнт внутрішнього тертя знижується. Зерно переходить у стан псевдооживлення. У таких умовах відбувається інтенсивне сортування зернової маси: важкі мінеральні частки опускаються вниз, а зерно й легені домішки залишаються у верхніх шарах. Верхній шар не підданий транспортуючому впливу, тече як рідина під відведи розвантажується в нижній широкій частині, долаючи опір гумового клапана у випускному патрубку.

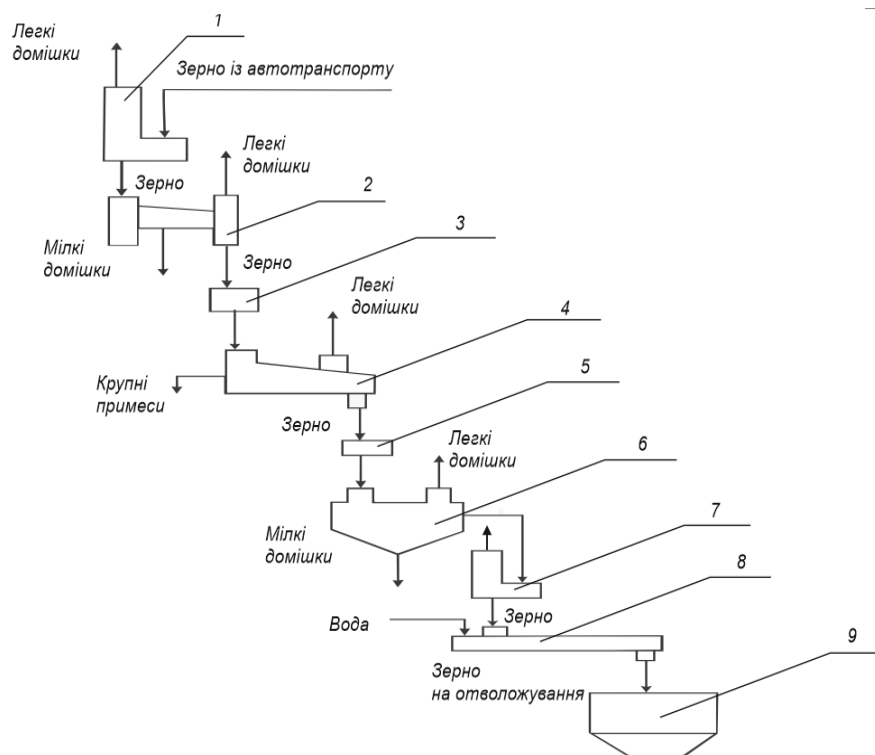


Рисунок 1.1 – Схема технологічного процесу підготовки зерна до змелювання, де 1 – аспіраційна колонка; 2 – сепаратор А1-БЛС; 3 – магнітний сепаратор; 4 – каміння відокремлююча машина РЗ-БКТ; 5- магнітний сепаратор; 6 – оббивальна машина РЗ-БГО-6; 7 – аспіраційний канал РЗ-БНА-50; 8 – зволожувальна машина А1-БШУ; 9 – силос для отволоження зерна.

Мінеральні домішки виводяться через верхню звужену частину. Тут товщина шару мінеральних домішок збільшується, залишки зерна спливають на поверхню й скачуються вниз.

Легкі домішки несуться повітрям і відділяються в пиловіддільнику. Вміст зерна у відходах не перевищує 0,05%, ефективність очищення зерна від мінеральних домішок не менш 99%.

Далі зерно надходить на магнітний сепаратор і оббивальну машину, що здійснює очищення поверхні зерна, обробка зерна в оббивальній машині повинна забезпечити очищення його.

Зерно надходить у кільцевий зазор між ротором і циліндром, де в результаті багаторазових ударів і інтенсивного тертя відбувається очищення поверхні й часткове відшелушення.

Прохід через сітчастий циліндр попадає в аспіраційну мережу. Після оббивальної машини зерно надходить в аспіраційний канал для очищення від легких домішок і далі направляється в черевик порції. Потім зерно порцією й конвеєром гвинтовим подається в бункери очищеного зерна для нагромадження. З бункерів очищеного зерна за допомогою гвинтового конвеєра й порції зерно надходить на машину для зволоження. У цьому процесі зерно воложать до певної вологості й потім гвинтовим конвеєром подається в бункери для отволожування, де зерно витримують у кількості декількох годин.

У результаті впливу води на речовини зерна структура його ендосперму суттєво змінюється, відбувається його розпушення, тому міцність його значно знижується, у процесі здрібнювання про руйнується з незначною витратою енергії. У той же час міцність оболонки зростає і, як наслідок, такого ефекту ендосперм легко відділяється від них у процесі здрібнювання на вальцьових верстатах. Оболонки ж при цьому виходять у вигляді великих часток і тому в процесі сортування продуктів у розсівах, частки ендосперму й частки оболонок формують самостійні фракції й надходять у різні потоки.

Величина зволоження й тривалість процесу отволожування зерна в бункерах залежить від вихідної характеристики помольної партії.

Потім, з бункерів для отволожування через віброживильники, зерно надходить на гвинтовий конвеєр і далі в пневмоприймач, потім у циклон - розвантажувач, на аспіраційний канал, у якому відбираються легкі домішки, і в розмельне відділення.

Розмельне відділення

У розмельному відділенні розмелюють підготовлене зерно й поділяють (сортують) здрібнені продукти на: борошно й висівки. Додатково можна одержувати деяку кількість манної крупи.

Фактичний вихід продуктів помелу становить:

- борошно 1 сорту 50%...53%;
- борошно вищого сорту 14%...16%;
- манна крупа 0.1%...2%;
- висівки 30%...38%.

Для одержання виходу борошна вищого й першого сортів, необхідно провести аналіз технологічної схеми й удосконалити технологічний процес.

Одним з основних процесів підготовки зерна до помелу, що якісно поліпшує його продовольче використання, є гідротермічна обробка зерна. Застосування гідротеплової обробки зерна, або, як ми часто говоримо, кондиціонування зерна, дає комплексний виробничий ефект, який включає три групи показників: технологічні, енергетичні й економічні.

У процесі зволоження й наступного отволоження зерна на млинах полегшується відділення оболонки, збільшується вихід крупок у драному процесі й зольність висівок, у результаті збільшується вихід борошна, зменшується його зольність і збільшується показник білизни, поліпшується якість клейковини. На хлібозаводах, які переробляють таке борошно, оптимізується технологічний процес, збільшується об'ємний вихід хліба, поліпшуються структура м'якушки й колір хліба.

Кондиціонування зерна викликає розхитування його структури й зменшення сили корпускулярних зв'язків, що полегшує його дроблення. У результаті цього питомі витрати електроенергії на виробництво борошна зменшуються:

- при холодному кондиціуванні - на 5-10%;
- при гарячому - до 15%.

Усе це дає можливість зменшити витрати на виробництво борошна, збільшити його вихід, поліпшити технологічні й хлібопекарські показники, підняти конкурентоспроможність виробника борошна.

1.3 Об'єкт керування

1.3.1 Загальна характеристика об'єкту керування

Машина для зволоження зерна марки А1-БШУ-2 (рис. 1.2) призначена [1-4] для інтенсивного зволоження зерна пшениці при підготовці його до помелу (молоття). Машина встановлюється в схемах зерноочисних відділень млинів перед подачею зерна на помел.

A1-БШУ-2



Рисунок 1.2 – Машина для зволоження зерна марки А1-БШУ-2

Технічні характеристики машини для зволоження зерна марки А1-БШУ-2 представлені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики машини А1-БШУ-2

Назва параметру	Значення
Продуктивність технічна по зерну пшениці із середньою щільністю 770-850 кг/м ³ і вологістю від 10,5 до 14,5%, не менш т/год	6
Збільшення вологості зерна, максимальне, %	5
Частота обертання ротора машини, об/хв	1160
Споживання електроенергії, кВт/год	3,1
Споживання води, в межах, л/год	300
Тиск води на вході в редукційний клапан, МПа	0,2
Габаритні розміри,	
Довжина циліндричної частини корпусу машини, мм	2150
Діаметр циліндричної частини корпусу машини, мм	300
Маса виробу, кг.	383

1.3.2 Принцип функціонування об'єкту керування

У зволожувальну машину А1 – БШУ (рис 1.3) подають зерно та воду, роторперемішує й транспортує зерно на подальшу стадію обробки. Для інтенсифікації процесу розпилення використовується повітряний компресор.

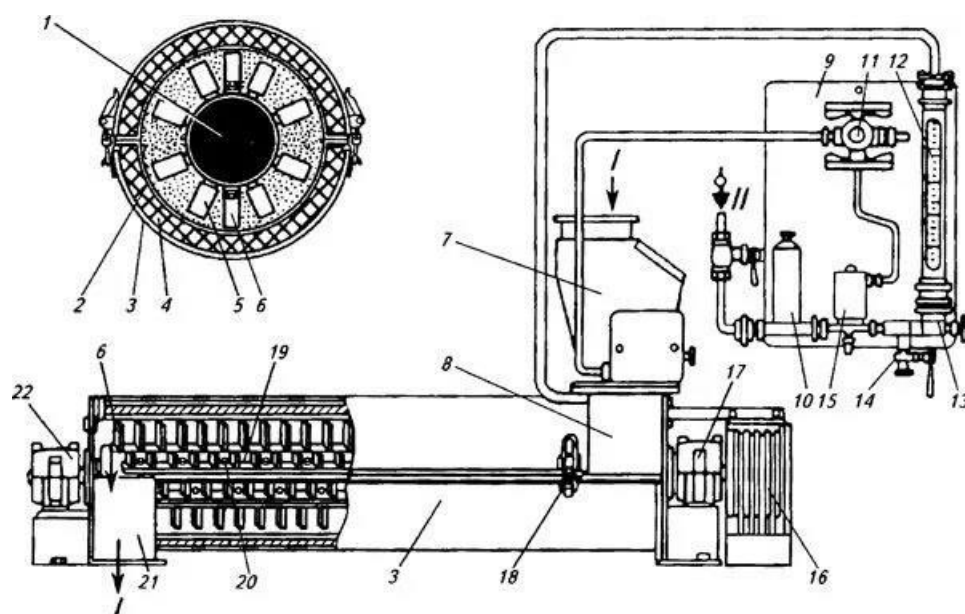


Рисунок 1.3 – Схема апарата для зволоження зерна А1 – БШУ–2, де
 1 – вал; 2 – корпус; 3 – кожух; 4 – прокладка; 5, 6 – гонки; 7 – індикатор наявності зерна; 8, 21 – приймальний патрубок, випускний патрубок виводу зволоженого зерна; 9 – панель; 10 – фільтр; 11 – електророзетка; 12 – ротаметр; 13– голкоподібний вентиль; 14 – спускний кран; 15 – електромагнітний вентиль; 16 – привід; 17, 22 – корпуси підшипників; 18 – запор; 19 – бич; 20 – шпилька; I – зерно (сухе); II – вода; III – зволожене зерно.

Ротор є основним робочим органом машини. Він складається з валу, виконаного зі сталевієї пустотілої труби, на яку приварені бичі. Бичі мають гонки, встановлені площиною до осі ротора під кутом 60° або 70° - 8 шт. Бичі і гонки виконані з легованої або нержавіючої сталі. Привід ротора здійснюється від електродвигуна через клинопасову передачу.

Керування приводом і подачею зерна здійснюється в дистанційному автоматизованому режимі з центрального пульта керування. З центрального пульта керування включається холостий хід машини. Потім через приймальний патрубок індикатора наявності зерна подається продукт. Під дією потоку зерна пластина з важелем відхиляється і спрацьовує датчик, який подає сигнал на мембранний вентиль, розташований на панелі контролю подачі води. Панель контролю подачі води являє собою розташований вертикально металевий майданчик, на якому розташовані фільтруючі, регулюючі, виконавчі та

контрольні прилади. Вентиль мембранний з електромагнітним приводом відкриває отвір для проходження води. Вода з-під крана через клапан, фільтр, вентиль мембранний і ротаметр надходить в приймальний патрубок машини, змішуючись з зерном.

Завдяки особливому пристрою ротора і його великим оборотам відбувається інтенсивне перемішування зерна, насичення його вологою і переміщення від прийому до випуску. Далі самопливом зерно подається на подальшу технологічну обробку.

Ручне керування процесом зволоження в сукупності з дискретним лабораторним відбором проб та контролем вологості не відповідає сучасним вимогам якості. Як результат похибка вологості зерна на виході апарата для зволоження зростає, що знижує якість технологічного процесу зволоження зерна.

Критерієм роботи машини для зволоження зерна А1-БШУ-2 є мінімальне відхилення від заданого значення вологості зерна на виході машини.

$$\text{відхил } W_z = | W_{z, \text{вих}} - W_{\text{зад}} | \rightarrow \min, \quad (1.1)$$

де $\text{відхил } W_z$ – відхилення значення параметру вологість зерна на виході машини для зволоження зерна; $W_{z, \text{вих}}$ – значення параметру вологість зерна на виході машини для зволоження зерна; $W_{\text{зад}}$ – задане значення параметру вологість зерна на виході машини для зволоження зерна.

1.4 Структура системи керування

Система керування зволоженням зерна пшениці, що розглядається у даній роботі виконує підтримання заданого значення вологості зерна пшениці на виході зволожувального агрегату А1-БШУ-2. Необхідна кількість води на зволоження зерна розраховується на підставі даних о значенні вологості зерна на вході та заданого значення вологості зерна на виході агрегату. Значення вхідної вологості пшениці знаходиться у діапазоні 13–14 (%), та задається попередньо. Значення вологості зерна пшениці на виході агрегату вимірюється за допомогою вологоміра зерна у потоці та повинна становити $15.5\% \pm 0.5\%$.

Необхідна витрата води задається за допомогою клапана подачі води до агрегату, в діапазоні від 0 до 100%, де 0% відповідає закритому клапану, відсутня подачі води, а 100% повністю відкритому клапану, максимальна витрата води, становить 240 л/годину.

Обираємо систему керування, що має три рівня. Перший рівень це датчики та виконавчі механізми – датчик вологості зерна пшениці на виході зволожувальної машини, клапан, що регулює кількість подачі води. Другий рівень здійснює обробку інформації, що надійшла від датчику, формування сигналу керування виконавчим пристроєм, обмін даними з верхнім рівнем. Ці функції виконуються мікропроцесорним пристроєм керування –промисловим мікроконтролером. Третій рівень це пульт або автоматизоване робоче місце оператора для людино-машинного інтерфейсу між людиною оператором та об'єктом керування. Виконується візуалізація стану технологічного обладнання у вигляді мнемосхем, графіків, трендів; керування технологічним процесом; збереження технологічних даних у базі даних. Ці функції виконуються на базі спеціалізованого персонального комп'ютеру. (рис. 1.4) .

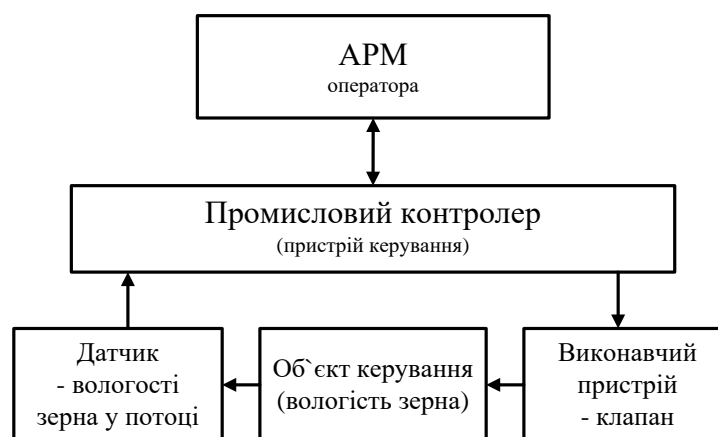


Рисунок 1.4 – Структурна схема системи автоматизованого керування процесу зволоження зерна

Основним призначенням системи керування, що розробляється, є підтримання вологості зерна пшениці, значення якої має дорівнювати $15.5\% \pm 0.5\%$. Датчик вологості зерна у потоці розташовується на виході зволожувальної машини А1-БШУ-2. Значення вологості повинно передаватися за допомогою заводостійкого інтерфейсу обміну. Для виміру вологості зерна у

потоці обираємо вологомір зерна у потоці Мікрорадар 113[7], що призначений для безперервного автоматичного виміру сипучих матеріалів безпосередньо у технологічному процесі методами мікрохвильової вологометрії (рис. 1.5). Принцип дії вологоміра ґрунтується на вимірі величини ослаблення енергії надвисокої частоти (НВЧ) вологим матеріалом та перетворення цієї величини у цифровий код.

Мікрохвильовий камерний вологомір зерна з роторним розвантажувачем призначено для вимірювання вологості цілого зерна пшениці та інших зернових у самопливах при обробці зерна. Сигнал від сенсорів, що встановлено у самопливі надходить до мікропроцесорного блоку обробки сигналів, де розраховується вологість зерна. Величина вологості відображається на індикаторному табло мікропроцесорного блоку та перетворюється для передачі за допомогою інтерфейсів струмова петля 4-20 мА, RS-485 протокол Modbus.



(a)



(б)

Рисунок 1.5 – Вологомір зерна у потоці Мікрорадар 113, де а – розміщення блоку сенсорів у самопливі, б – блоки керування та детектора.

Принцип дії вологоміру засновано на вимірюванні параметрів електромагнітної енергії надвисокої частоти, що пройшла через контролюємий шар зерна(табл. 1.2). Датчик має дві мікрохвиліпровідні антени, що утворюють потік мікрохвиль через сипучий матеріал. Величина ослаблення коливань НВЧ пропорційна вологості матеріалу. У детекторі коливання НВЧ перетворюються у низькочастотний сигнал, що надходить на вхід блоку керування вологоміру.

Точність виміру вологості зерна складає $\pm 0,5\%$ з урахуванням погрішності виміру вологості стандартним методом, наприклад, висушування у сушильній шафі.

Таблиця 1.2 – Технічні характеристики вологоміра зерна Мікрорадар 113

№	Найменування параметру	Значення
1	Живлення	220 В, 50 Гц
2	Споживана потужність	не більш 50 Вт
3	Режим роботи	безперервний
4	Час встановлення робочого режиму	не більш 20 хв
5	Інтерфейс	RS 485, струмова петля 4..20мА
6	Навантажувальна здатність струмового виходу	< 500 Ом

Прилад являє собою мікрохвильовий вологомір, побудований на основі техніки сантиметрового діапазону хвиль, що забезпечує надзвичайно низьку чутливість приладу до температури матеріалу й вмісту солей. Принцип дії вологоміра заснований на вимірі величини поглинання мікрохвильової енергії вологим матеріалом і перетворенні цієї величини в цифровий код з використанням сучасної мікропроцесорної техніки.

На підставі технічних характеристик датчика складена таблиця 1.3.

Таблиця 1.3 – Датчики

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон виміру	Точність	Значення виходу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Вологість зерна у потоці	Поглинання хвиль СВЧ	Аналог.	10 ... 20%	$\pm 0,5\%$	4...20 мА	50 мс	220В	<50 Вт

Керування вологістю зерна на виході зволожувальної машини здійснюється регулюванням подачі води за допомогою регульованого клапана[8]. Оскільки витрата води при максимальному відкритті клапана становить 240 л/год, а тиск до 0,7 атм, то був обраний двоходовий шаровий клапан з встановленим електроприводом Belimo TR24-SR (рисунок 1.6).



Рисунок 1.6 – Електропривід Belimo TR24-SR

Електроприводи Belimo TR24-SR для 2х і 3х ходових регулюючих кульових клапанів з DN10 (TRD ..), DN 15 (TR ..). Електропривод має аналогове керування з сигналом DC 0 ... 10 В ..

Технічні характеристики електроприводу Belimo TR24-SR представлені в таблиці 1.4

Таблиця 1.4 – Технічні характеристики електроприводу Belimo TR24-SR

Назва параметру	Значення параметру
Ступінь захисту	IP40
Управляючий сигнал	DC 0...10 В, вх. опір.=100 кОм
Напруга живлення	DC 24В (DC 21.6÷28.8В)
Потужність	1Вт
Час повного обертання	90 с
Крутячий момент	1,6 Нм
Рівень шуму	max 35 dB(A)
Вага (без клапана)	0.3 кг

Особливості електроприводів Belimo TR24SR, TRD24-SR

Простий монтаж. Привід легко кріпиться на клапан за допомогою одного гвинта, горизонтально в кожному із чотирьох положень.

Висока надійність. Привод захищений від перевантажень. Зупинка відбувається автоматично при досягненні крайніх положень.

Ручне керування. Можливість механічного керування за допомогою важеля. При натисканні рукоятки на корпусі редуктор приводу виводиться із зачеплення й клапаном можна управляти вручну.

На підставі обраних виконавчих пристроїв і їх технічних характеристик складена таблиця 1.5.

Таблиця 1.5 – Виконавчі пристрої системи керування

№	Назва параметру	Принцип дії	Тип	Діапазон змінення	Лінійність	Значення входу	Період оновлення	Напруга живлення	Потужність споживання
1	Витрата води	Електро-механічний	Шаровий	0÷100%	так	0-10В	1 с	24В	0,5Вт

Відповідно до вимог до системи керування вологістю зерна пшениці в якості пристрою керування слід використовувати програмований логічний контролер компанії VIPA[9]. Цикл роботи контролера повинен тривати не більше 100 мс, для забезпечення реакції на зміну вологості зерна пшениці. Крім того контролер повинен мати не менше 1 кілобайта вільної робочої пам'яті для реалізації програми керування.

Виходячи з того, що контролер буде підключений до пристрою з аналоговим виходом, та до пристрою, що керується аналоговим сигналом, контролер повинен мати модульну структуру, щоб забезпечити підключення обраного обладнання.

Автоматизоване робоче місце оператора системи автоматизації процесу зволоження зерна буде реалізовано на базі персонального комп'ютера. Таким чином, контролер системи автоматизації повинен мати можливість використання Ethernet інтерфейсу для обміну даними.

Висунутим вимогам задовольняє програмований логічний контролер компанії VIPA 214-2BE03. Даний контролер має час арифметичної операції над речовим числом 40 мкс, обсяг пам'яті програм 144 кілобайта і обсяг робочої пам'яті 96 кілобайт (рис. 1.7). Технічні характеристики контролера наведені в таблиці 1.6.



Рисунок 1.7 – Програмований логічний контролер 214-2BE03

Таблиця 1.6 – Технічні характеристики логічного контролера 214-2BE03

№	Найменування параметру	Значення
1	Тип	CPU 214NET
2	Об'єм пам'яті контролеру, кБайт	144
3	Об'єм робочої пам'яті контролеру, кБайт	96
4	Кількість модулів для під'єднання, шт.	32
5	Наявність Ethernet інтерфейсу	Присутній
6	Напруга живлення контролеру, В	24
7	Значення споживаної потужності, Вт	6

Для підключення до програмованого логічного контролера датчика вологості Мікрорадар 113 необхідно використати модуль аналогового входу з діапазоном вхідного сигналу від 4 до 20 мА. Також, для підключення електроприводу Belimo TR24-SR, нам необхідно використати модуль аналогового виходу з діапазоном вихідного сигналу від 0 до 10 В. Даним вимогам задовольняє модуль VIPA 234-1BD50, що володіє двома аналоговими входами та двома аналоговими виходами та підтримує інтерфейс 4 до 20 мА. Зовнішній вигляд модулю та схема підключення зображені на рисунку 1.8.

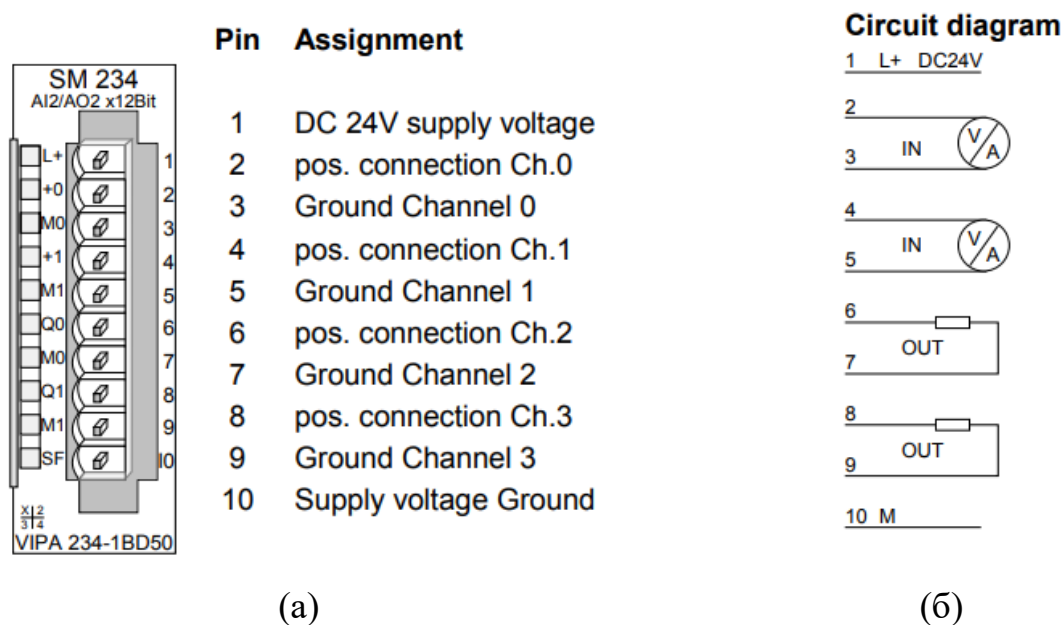


Рисунок 1.8 – Модуль аналогового вводу/виводу VIPA 234-1BD50, де а – найменування клем, б – спрощена схема підключення.

Технічні характеристики модуля аналогового вводу/виводу наведені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Технічні характеристики модуля аналогового вводу/виводу

№	Найменування параметру	Значення
1	Розрядність АЦП, біт	12
2	Кількість входів/виходів	2/2
3	Тип входу	аналоговий
4	Діапазон сигналу, мА	+/-20mA, +/-10V
5	Значення довжини екранованого проводу, м	200
6	Значення споживаної потужності, Вт	2,9

Відповідно до вимог системи керування, підсистема інформаційного забезпечення роботи оператора повинна відображати поточний стан технологічного процесу на підставі даних від програмованого логічного контролера. Підсистема інформаційного забезпечення буде реалізована на базі персонального комп'ютера, а зв'язок з програмованим логічним контролером за допомогою інтерфейсу Ethernet. Схема підключення персонального комп'ютера до програмованого логічного контролера 241-2BE03 приведена на рисунку 1.9.

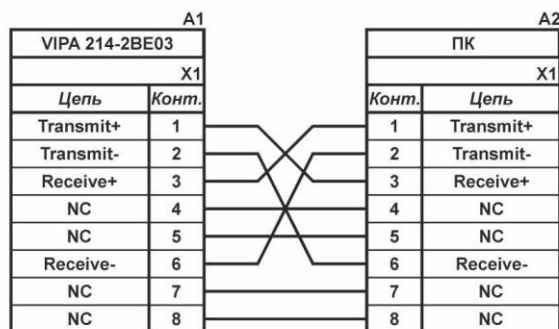


Рисунок 1.9 – Схема підключення персонального комп'ютера до програмованого логічного контролера 241-2BE03

На підставі обраного програмованого логічного контролера і його модулів складена таблиця 1.8.

Таблиця 1.8 – Потужність приладів

№	Найменування	Пристрій	Потужність
1	VIPA 214-2BE03	Центральний процесорний модуль	6,00 Вт
2	VIPA 234-1BD50	Модуль аналогового вводу/виводу	2,90 Вт
		Belimo TR24-SR	1 Вт

Вибір джерел живлення. Обраний програмований логічний контролер та модуль аналогового вводу/виводу мають напругу живлення 24 В постійного струму. Виходячи з значень споживаної потужності обраних засобів в якості джерела живлення контролера обрано джерело живлення SPD24301 зі напругою живлення змінного струму від ~ 85 до ~ 264 В, вихідною напругою постійного струму +24 В і потужністю 30 Вт (Рис. 1.10). Технічні характеристики джерела живлення наведені в таблиці 1.9.



Рисунок 1.10 – Джерело живлення SPD24301

Схема підключення програмованого логічного контролера 241-2BE03 до джерела живлення SPD24301 приведена на рисунку 1.11.

Таблиця 1.9 – Технічні характеристики джерела живлення SPD2430

№	Найменування параметру	Значення
1	Вхідна напруга змінного струму, В	~85÷~264
2	Вихідна напруга постійного струму, В	24
3	Потужність джерела живлення, Вт	30
4	Значення вихідного струму, максимальне, А	1,25

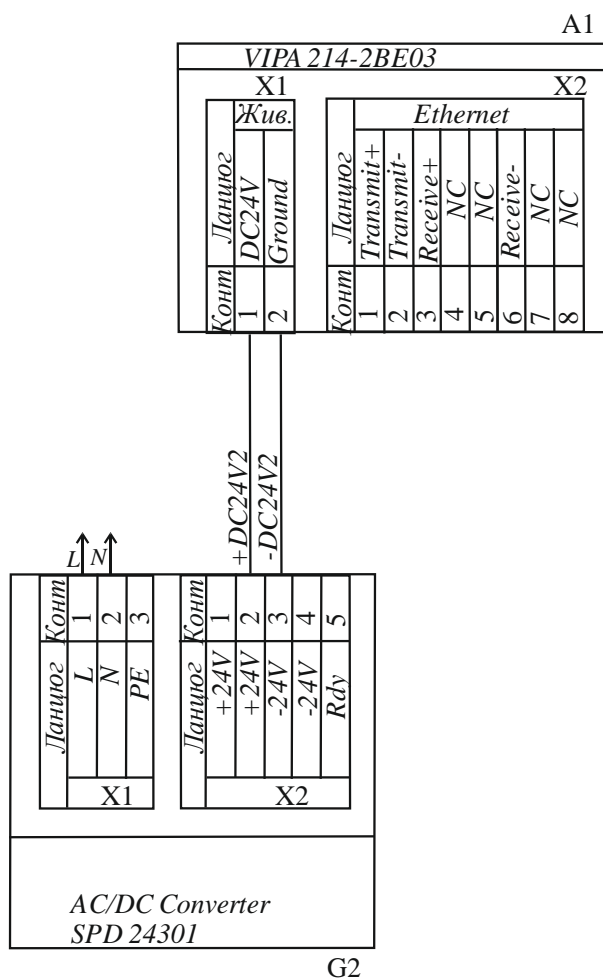


Рисунок 1.11 – Схема підключення ПЛК 214-2BE03 до джерела живлення SPD24301

Виходячи з аналізу обраного обладнання можна зробити висновок, що зовнішнє джерело живлення необхідно також для модуля аналогового вводу/виводу, потужністю 2.9 Вт, що слугує для підключення потокового вологоміра Мікрорадар 113 (живлення напругою 220В) та електроприводу Belimo TR24-SR з напругою живлення 24 В і споживаною потужністю 1 Вт. Загальна споживана потужність модуля та підключеного до нього обладнання:

$$P = 2.9 + 1 = 3 \text{ Вт}; \quad (1.1)$$

Виходячи з цього в якості джерела постійної напруги модуля та підключених до нього пристроїв обрано джерело живлення SPD24301, аналогічне вказаному вище.

Функціональна схема автоматизації є основним технічним документом, який визначає структуру і функціональні зв'язки між технологічним процесом і засобами контролю і керування. На функціональній схемі умовними позначеннями показано основне технологічне обладнання та засоби автоматизації, наведена на рисунку 1.12.

В якості пристрою керування використовується програмований логічний контролер (UY 3 - VIPA 214-2BE03). Дані програмованого логічного контролера про хід технологічного процесу відображаються на пульті оператора (UYR 4 - Персональний комп'ютер).

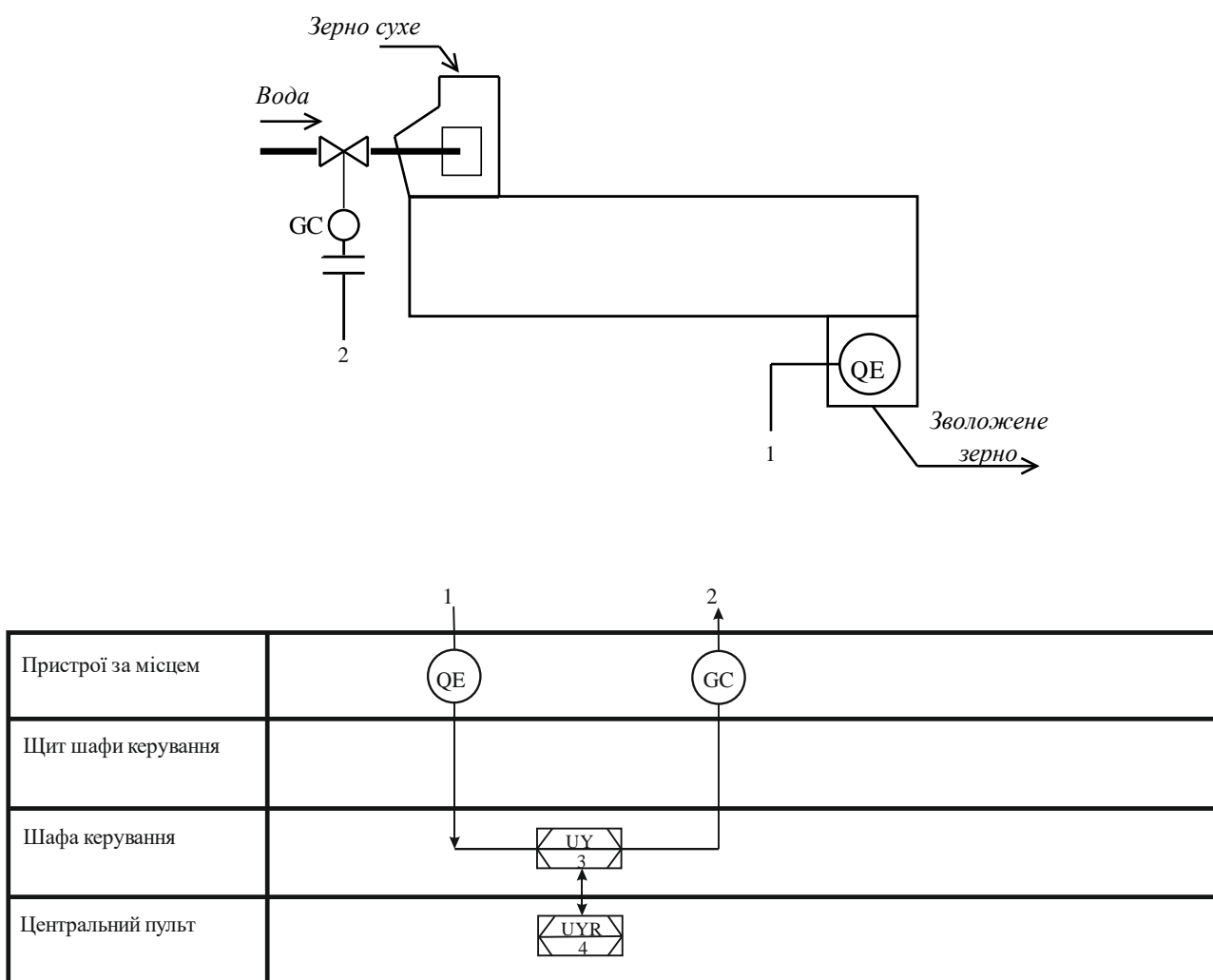


Рисунок 1.12 – Функціональна схема автоматизації технологічного процесу зволоження зерна

Вологість зерна на виході зволожувальної машини вимірюється за допомогою потокового вологоміра (QE 1-1 – Мікрорадар 113) для оцінки похибки керування процесом зволоження зерна. Мікропроцесорний контролер на підставі статичної характеристики об'єкту керування та значення вологості зерна на вході до зволожувального агрегату розраховує кількість води, яку необхідно подати до потоку зерна. Розраховане значення кількості води перетворюється у ступень (кут) відкриття клапану подачі води (GC – Velimo TR24-SR) у вигляді сигналу 0-10В, який задає положення регульованого клапана завдяки покажчику положення що міститься в електроприводі.

Розробка схеми електричної принципової. Використовуючи функціональну схему автоматизації процесу та обране апаратне забезпечення розроблено схема електрична принципова системи керування зволоженням зерна та перелік елементів (рис. 1.13).

Для підвищення надійності системи використовуються два джерела живлення SPD24301 (G1, G2). До першого джерела живлення (G1) підключений модуль аналогового вводу/виводу VIPA 234-1BD50 (A2) та електропривод шарового клапану Velimo TR24-SR (GC), а до другого джерела живлення (G2) програмований логічний контролер VIPA 214-2BE03 (A1). Зв'язок між програмованим логічним контролером (A1) і персональним комп'ютером, що виконує функцію автоматизованого робочого місця оператора реалізовано за допомогою інтерфейсу Ethernet, а найменування контактів зображено на схемі у роз'ємі (X2) програмованого логічного контролеру VIPA 214-2BE03 (A1).

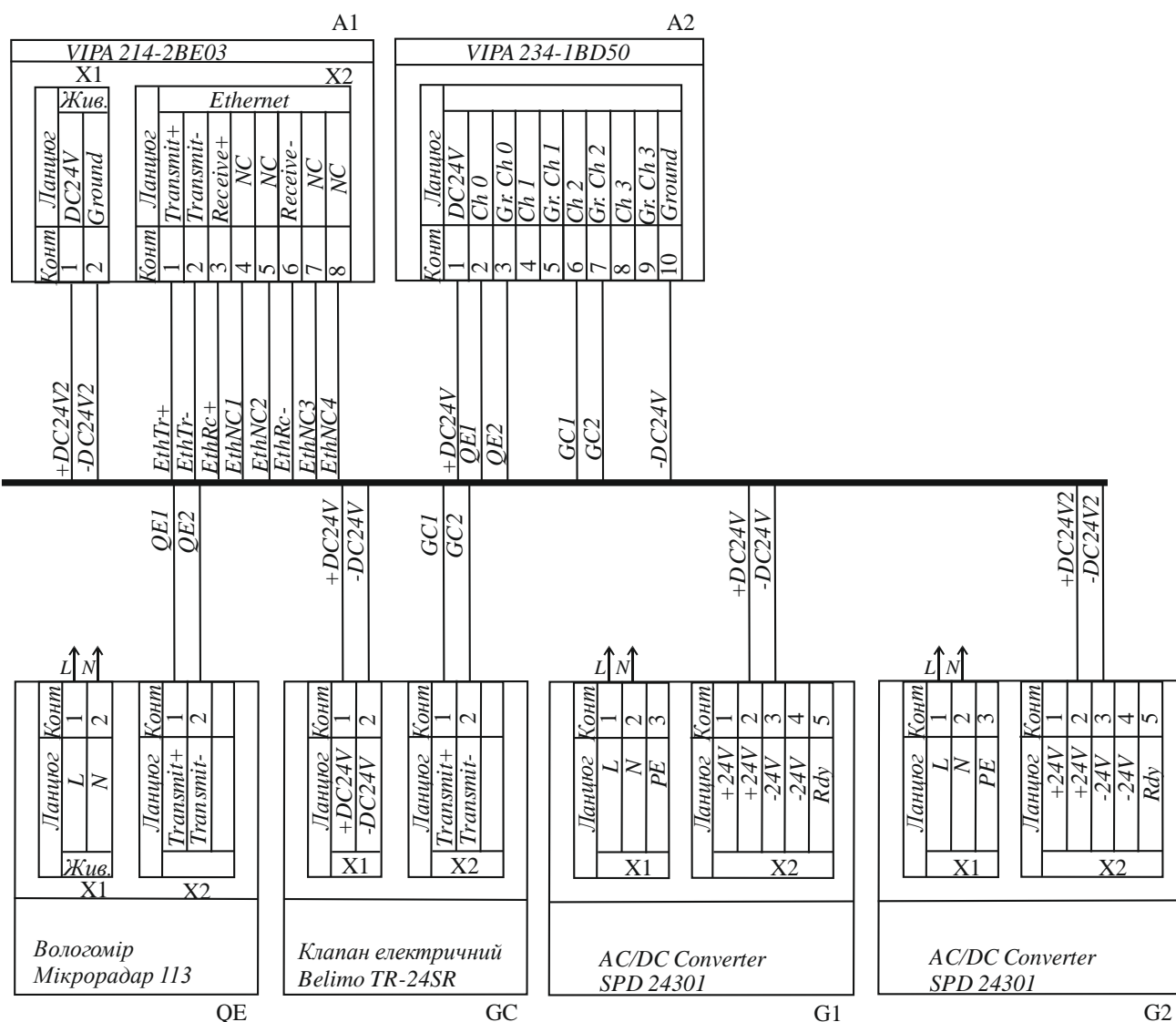


Рисунок 1.13 – Схема електрична принципова системи керування

Вологість зерна на виході зволожувальної машини вимірюється за допомогою потокового вологоміра (QE 1-1 –Мікрорадар 113). Струмивий вихід вологоміра 4-20 мА підключений до модуля аналогового вводу/виводу (A2) програмованого логічного контролера (A1).

Контроль положення клапана здійснюється програмованим логічним контролером (A1) завдяки модулю аналогового вводу/виводу (A2), що отримує сигнал 0-10В від показника положення електроприводу регульованого клапана (GC).

1.5 Формулювання задачі дослідження

Мета кваліфікаційної роботи полягає у підвищенні якості процесу керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2, шляхом визначення межі запасу стійкості системи керування при впливі збурення на об'єкт керування.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити наступні задачі:

- обґрунтувати вибір комплексу технічних та програмних засобів системи керування, розробити необхідну технічну документацію;
- дослідити передавальну характеристику процесу зволоження зерна у машині інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2 по каналу витрата води (Q) на вході – вологість зерна (W_k) на виході для синтезу системи керування;
- виконати дослідження моделі системи керування при впливі збурення;
- виконати розробку прикладного програмного забезпечення системи керування для SCADA системи з програмованим логічним контролером;
- виконати обґрунтування економічної ефективності при впровадженні;
- виконати розробку заходів з охорони праці та протипожежних заходів.

1.6 Висновки по розділу

За результатами аналізу об'єкта керування як об'єкта автоматизації та об'єкта дослідження зроблено наступні висновки:

- вхідними параметрами об'єкта керування є сигнали позиціонування клапану з електроприводом для керування параметру витрата води (Q);
- вихідними параметрами об'єкта керування є вологість зерна (W_k);
- об'єкт керування у кваліфікаційній роботі відноситься до класу безперервних об'єктів керування;
- для системи автоматичного керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2 обрано комплекс технічних засобів на базі мікропроцесорного контролеру VIPA 200, виконано розробку технічних документів.

2 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Модель об'єкта керування

Способом отримання математичної моделі фізичного об'єкту є ідентифікація об'єкта керування. Ідентифікація – це процес побудови математичної моделі об'єкта під час його функціонування у реальних умовах.

Виконання ідентифікації об'єкта під час його функціонування складається з трьох етапів: структурна ідентифікація, параметрична ідентифікація та оцінка адекватності отриманої моделі. Передавальна характеристика процесу зволоження зерна з машиною інтенсивного зволоження зерна А1-БШУ-2 по каналу витрата води (Q) на вході – вологість зерна (W_k) на виході отримана після ідентифікації машини інтенсивного зволоження зерна під час її роботи. Передаточна характеристика представлена у вигляді аперіодичної ланки першого порядку:

$$W(p) = \frac{K_{W_k Q} e^{-\tau_0 p}}{T_1 p + 1}, \quad (2.1)$$

де $T_1=72$ секунд; $K_{W_k Q}=0.0167$ %/літрів/годину, $\tau_0=45$ секунд.

Математична модель для дослідження передаточної функції машини інтенсивного зволоження у середовищі MATLAB має вигляд представлений на рисунку 2.1.

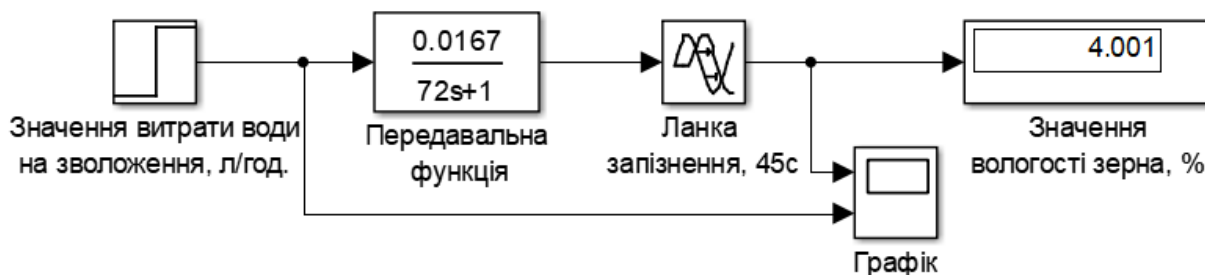


Рисунок 2.1 – Математична модель дослідження об'єкта керування

Графік результатів математичного дослідження передаточної функції об'єкту керування представлено на рисунках 2.2, 2.3.

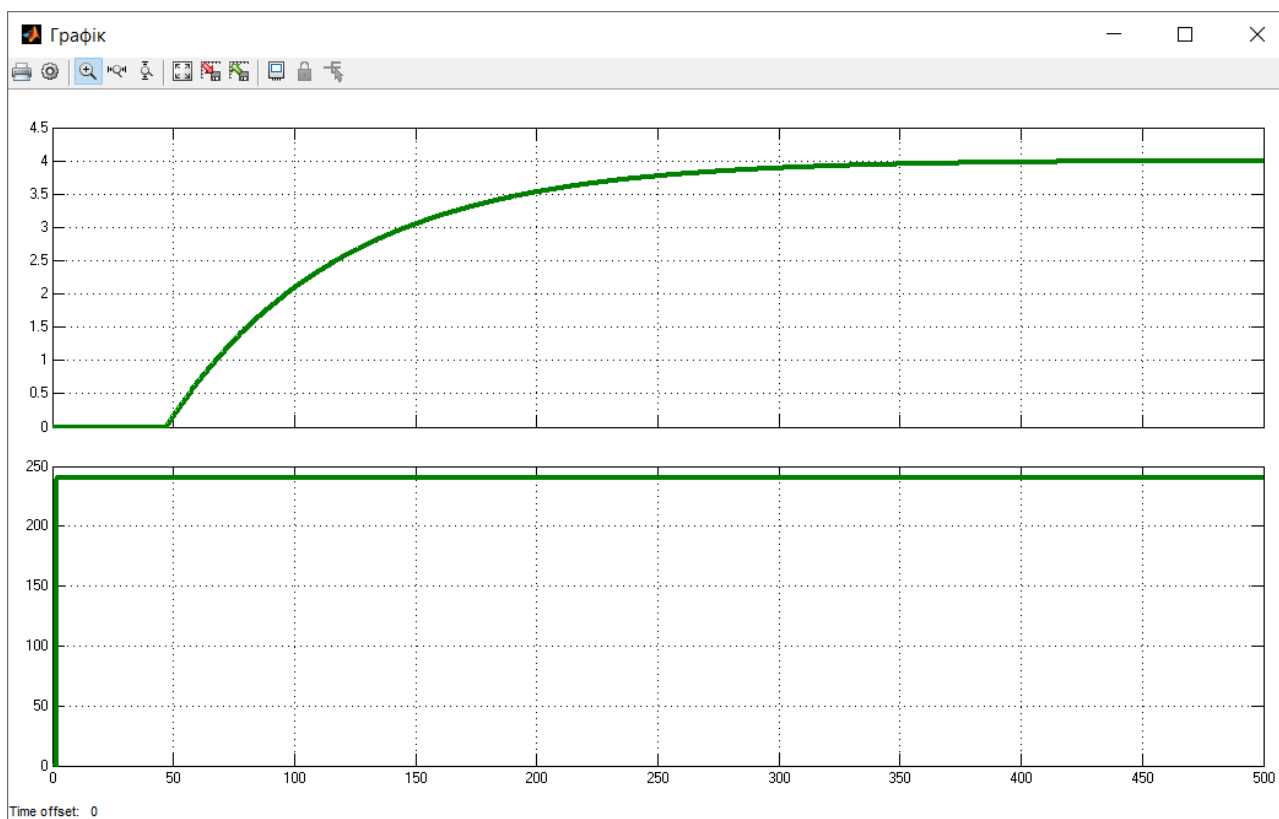


Рисунок 2.2 – Графічний результат моделі об'єкта керування по каналу витрата води (л/годину) – вологість зерна (%)

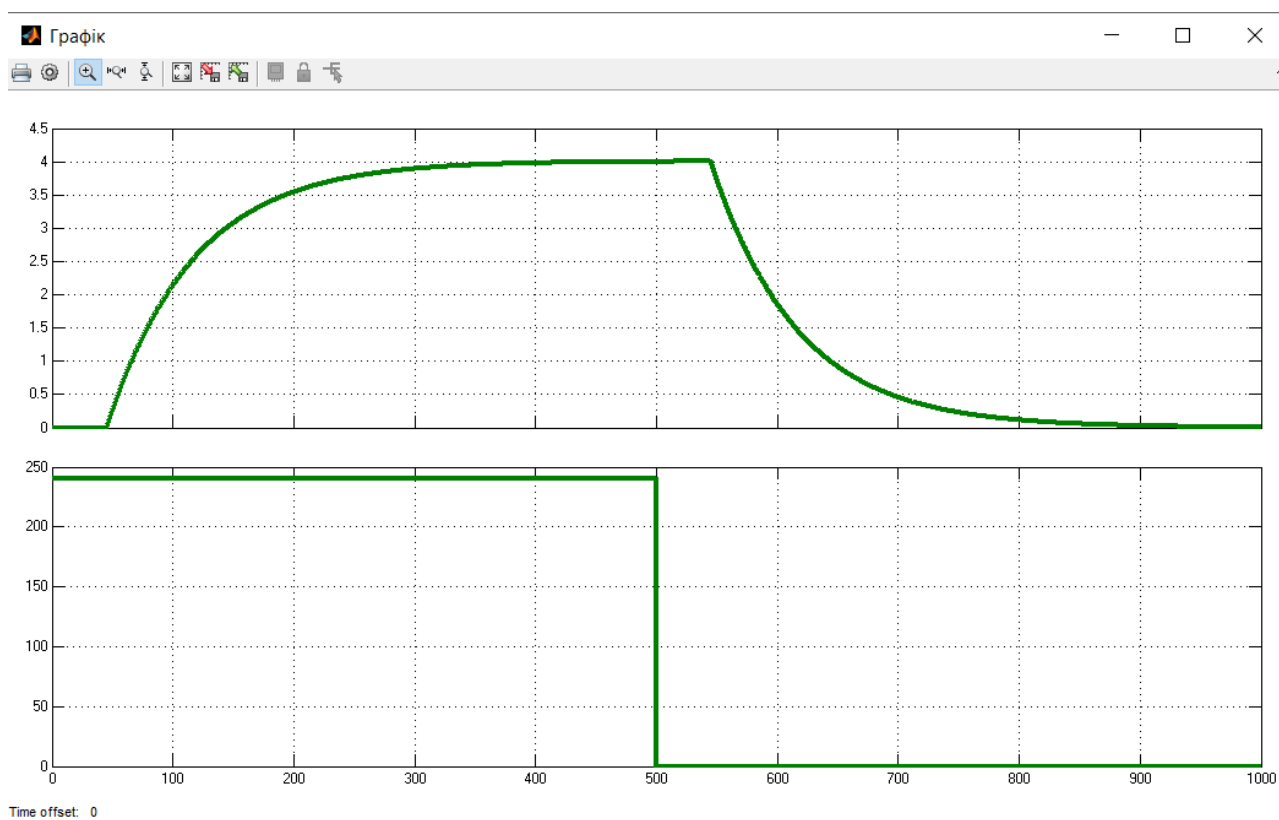


Рисунок 2.3 – Графічний результат моделі об'єкта керування під впливом П-образного впливу

Результати дослідження об'єкту керування за допомогою П-подібного впливу продемонструвало симетричність вихідного значення моделі, та відсутність інтегруючої складової (рис. 2.3). Для визначення значень динамічних параметрів об'єкту керування графічним методом до моделі додамо порогові значення на рівні 10% та 90% вихідної величини(рис. 2.4).

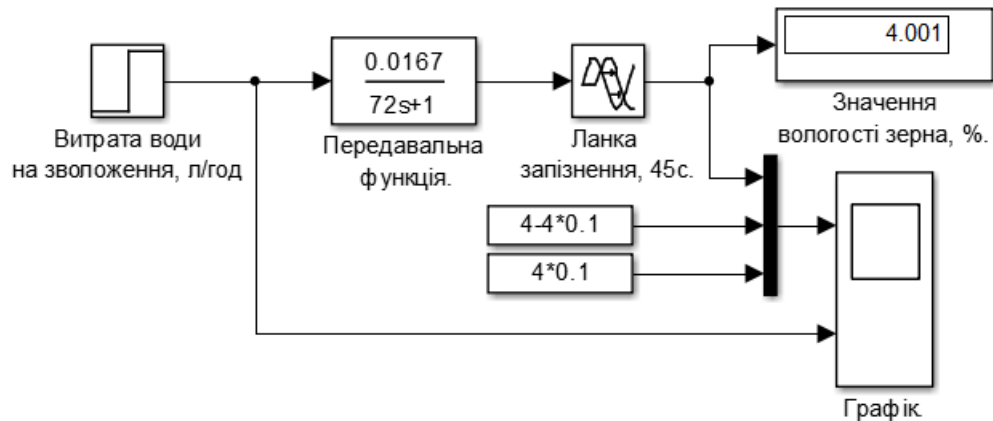


Рисунок 2.4 – Математична модель об'єкту керування для визначення значень динамічних параметрів об'єкту

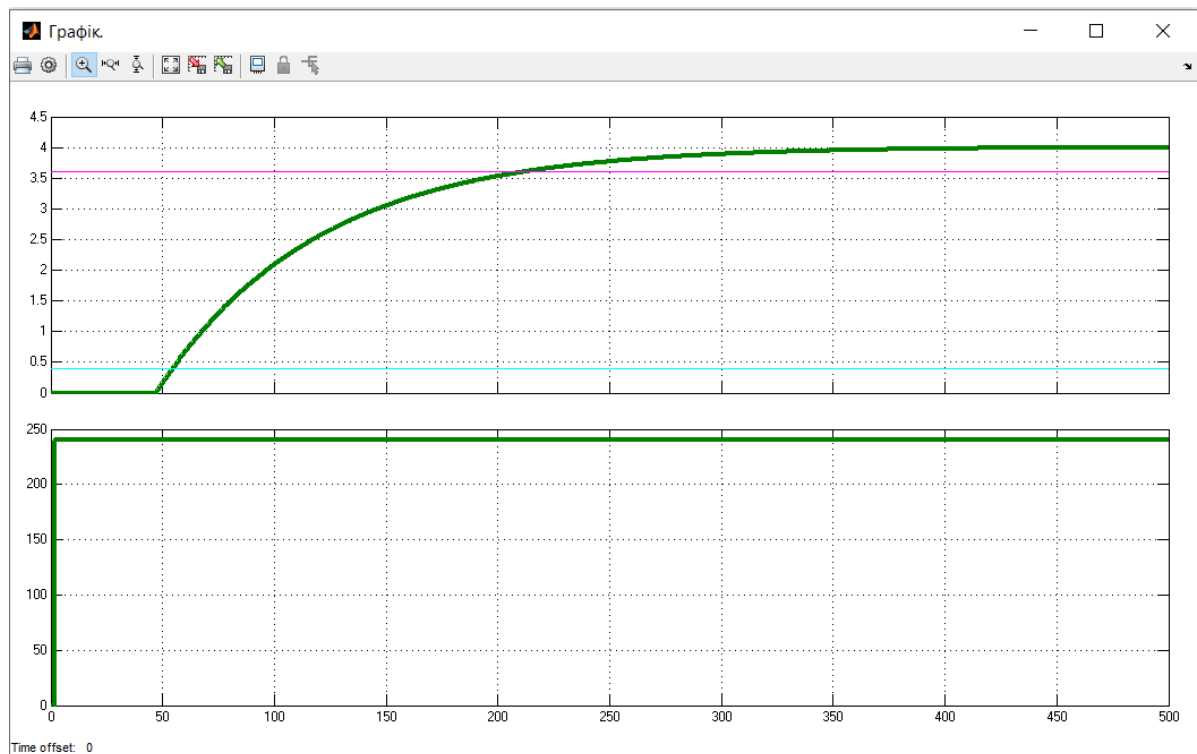


Рисунок 2.5 – Графічний результат моделі для визначення значень динамічних параметрів об'єкту

При виконанні дослідження математичної моделі об'єкту було отримано графік перехідного процесу що дозволяє визначити чисельні значення динамічної характеристики. Використовуючи графічний метод щодо рисунка 2.5 встановлюються значення параметрів об'єкта керування: час наростання, час встановлення, перерегулювання. Значення часу наростання це інтервал часу на протязі якого вихідна величина зростає від 10% до 90% встановленого значення. Використовуючи рисунок 2.5 визначено час наростання дорівнює приблизно 150 с. Значення часу встановлення с заданою помилкою це значення часу по завершенню якого помилка вихідного параметра не перевищує зазначеного значення. Для помилки (5%) відповідно до рисунка 2.5 значення часу встановлення складає приблизно 300 с. Значення перерегулювання це перевищення першого викиду вихідного параметра над сталим значенням вихідного параметра. Відповідно до рисунку 2.5. перерегулювання відсутнє.

Дослідження об'єкту керування виконується для подальшого синтезу та дослідження перехідного процесу системи керування при використанні різних типів регуляторів у наступному розділі. Враховуючи характеристики об'єкту керування, буде проведено дослідження з використанням P, PI, PID регуляторів. Застосування PID регулятора, як правило, це добре рішення для об'єктів 1 або 2-го порядків з затримкою, що має здатність компенсувати статичну помилку. Для синтезу регулятора або математичної моделі пристрою керування буде використано метод Зиглера-Николса.

2.2 Критерій якості функціонування об'єкта керування

Критерієм роботи машини інтенсивного зволоження зерна А1-БШУ-2 є мінімальне відхилення від заданого значення вологості зерна на виході машини.

$$\text{відхил } W_3 = | W_{з. \text{вих}} - W_{\text{зад}} | \rightarrow \min, \quad (2.1)$$

де $\text{відхил } W_3$ – відхилення значення параметру вологість зерна на виході машини для зволоження зерна; $W_{з. \text{вих}}$ або W_k – значення параметру вологість

зерна на виході машини для зволоження зерна; $W_{зад}$ – задане значення параметру вологість зерна на виході машини для зволоження зерна.

2.3 Висновки по розділу

Для машини інтенсивного зволоження зерна А1-БШУ-2 по каналу витрата води (Q) на вході – вологість зерна (W_k) на виході передаточна характеристика моделі об'єкту являє собою аперіодичну ланку першого порядку з запізненням 45 секунд. Дослідження моделі об'єкту за допомогою П-подібного впливу показало симетричність моделі, та відсутність інтегруючої складової. Дослідження значень параметрів об'єкта керування графічним методом по вихідній характеристиці після подачі вхідного сигналу визначило наступне: значення часу наростання складає приблизно 150 с., значення часу встановлення складає приблизно 300 с., перерегулювання відсутнє.

Одного критерію керування та значень отриманих параметрів про функціонування об'єкта керування достатньо для подальшої розробки та дослідження системи керування.

3 СИНТЕЗ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ

3.1 Модель системи керування

Модель системи автоматичного керування зволоженням зерна з машиною інтенсивного зволоження зерна А1-БШУ-2 будується на основі імітаційних моделей окремих елементів системи. Складовими моделі системи є імітаційні моделі наступних вузлів: блок керування або регулятор, що реалізовано програмним способом на базі обраного контролера; клапан з електроприводом, що регулює витрату води машиною інтенсивного зволоження; датчик вологості зерна, що вимірює вологість зерна пшениці у потоці після зволоження у машині А1-БШУ-2.

Структура імітаційної моделі системи керування зволоженням зерна пшениці представлено на рис.3.1.

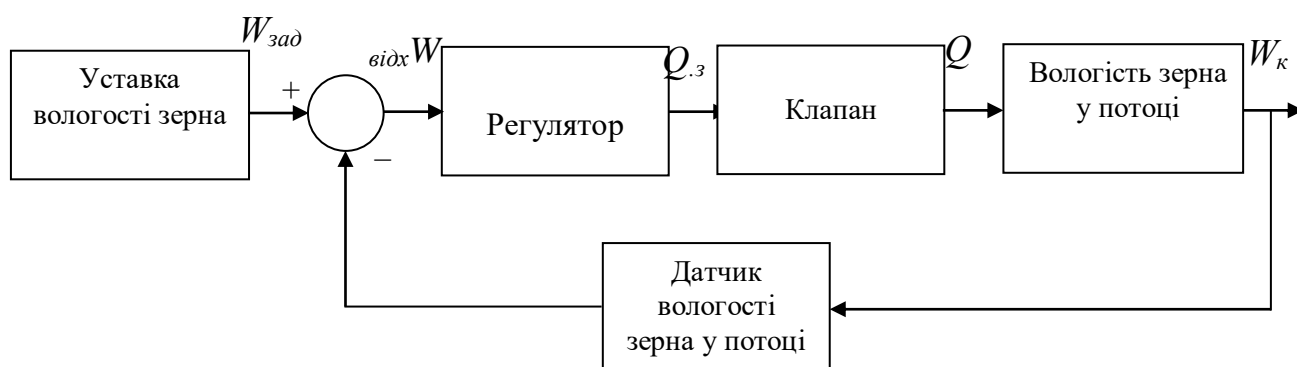


Рисунок 3.1 – Структура імітаційної моделі системи керування зволоженням зерна,

де $W_{зад}$ – задане значення (уставка) вологості зерна після зволоження, %; W_k – фактичне значення вологості зерна після зволоження, %; $відх W$ – відхилення фактичного значення вологості від заданого значення (уставка) вологості зерна після зволоження, %; Q_z – задане значення витрати води машиною інтенсивного зволоження, л/годину; Q – фактичне значення витрати води машиною інтенсивного зволоження, л/годину.

Виконуючи аналіз динамічної характеристики об'єкту керування звертає увагу наявність інерційності у процесі зволоження зерна або зміні вологості зерна як об'єкту керування – додавання води до зерна для інтенсивного

зволоження зерна або перехід вологості зерна на новий рівень займає до 500 секунд. Тим часом, зміна ступеня відкриття клапана з електроприводом із одного крайнього положення до іншого займає декілька секунд. Об'єкт керування має суттєву інерційність у порівнянні з клапаном подачі води з електроприводом, що є виконавчим елементом системи зволоження зерна. Процес зволоження зерна (об'єкт керування) у машині А1-БШУ-2 повільніше за виконавчий елемент на два порядки, або у 100 разів, тому приймемо відсутність інерційності у виконавчого елемента системи. Приймаємо відсутність інерційності у датчика вологості зерна, що розміщується на виході машини А1-БШУ-2, оскільки перетворення, розрахунок, передача значень параметру вологості зерна у потоці для керування ступенем відкриття клапана відбувається за декілька сотень мілісекунд, що є дуже малою величиною.

На основі результатів структурної та параметричної ідентифікації об'єкта керування передаточна функція об'єкта керування має наступний вигляд:

$$W(s) = \frac{0.0167e^{-45s}}{72s + 1}$$

де s – безперервний оператор Лапласа.

Машина для інтенсивного зволоження зерна А1-БШУ-2 має лінійну статичну характеристику у всьому діапазоні керуючого впливу від 0 до 240 л або 100%. При значенні вхідного параметру подача/витрата води до машини інтенсивного зволоження на рівні 240 літрів/годину на виході машини А1-БШУ-2 спостерігається вологість зерна 17 %. При значенні вхідного параметру подача/витрата води до машини інтенсивного зволоження на рівні 60 літрів/годину на виході машини спостерігається вологість зерна 14 %. При зниженні значенню параметру подача/витрата води на вході машини інтенсивного зволоження вологість зерна на виході машини А1-БШУ-2 буде нижче.

3.2 Структура регулятора

Пристрій керування системи автоматичного керування, що виконує функцію керування/регулювання вихідного параметру системи, тобто регулятора, являє собою програмований програмно-апаратний пристрій, який стежить за дійсним значенням вологості зерна після зволоження й розраховує значення керуючого впливу, яке виконується виконавчим пристроєм. Визначення значень керуючого впливу здійснюються програмованим мікропроцесорним контролером згідно алгоритму регулятора. Програмне забезпечення, що визначає роботи регулятора, розробляється відповідно до вимог висунутих до системи автоматичного керування, критеріїв якості її функціонування.

Система автоматизованого керування зволоженням зерна пшениці перед помелом для отримання борошна для макаронних виробів має підтримувати значення вологості зерна на виході машини інтенсивного зволоження на рівні 15.5 ± 0.5 %. Статична помилка системи автоматичного керування повинна бути відсутня або не перевищувати 5 % відносних одиниць від заданого значення. Зміна значень параметру вологості зерна на виході сепаратора повинна бути монотонною. Перерегулювання повинне бути меншим за 10 % відносних одиниць, що становить значення 1.5 % вологості зерна пшениці на виході машини інтенсивного зволоження.

Під час ідентифікації процесу зволоження зерна пшениці було встановлено, що вологість зерна на виході машини інтенсивного зволоження змінюється лінійно, процес зволоження зерна у машині інтенсивного зволоження А1-БШУ-2 є лінійним об'єктом керування, структурно стійким, і з самовирівнюванням. При керуванні подібними об'єктами широке поширення мають методи пропорційно-інтегрально-диференціальних регуляторів.

У результаті виконаної ідентифікації процесу зволоження зерна пшениці, визначено постійну часу (72 с) та час запізнення (45 с) об'єкта керування. Враховуючи результати у системі автоматичного керування машиною інтенсивного зволоження зерна, в якості регулятора може бути використано

пропорційно-інтегрально-диференціальний (PID) регулятор, або один з його різновидів: пропорційний (P), пропорційно-інтегруючий (PI).

Для P, PI, PID регуляторів значення параметрів буде розраховано методом Зиглера-Николса, використовуючи значення параметрів що характеризують реакцію об'єкта керування на ступеневу зміну керуючого впливу, а саме: K – коефіцієнт підсилення інтегруючої ланки, T – постійна часу об'єкта керування, tau – час чистої транспортної затримки. Одним зі способів визначення значення постійної часу об'єкту керування є графічний спосіб за допомогою побудови дотичної.

Таким чином, модель об'єкта керування відповідає аперіодичній ланці першого порядку з наступними значеннями: $K = 0.0167$, $T = 72$ с, $\tau = 45$ с.

Розрахунок значення пропорційного регулятора системи керування за методом Зиглера-Николса дає значення параметру: $K_p = 95.808$.

Розрахунок значень пропорційно-інтегруючого регулятора системи керування методом Зиглера-Николса дає значення: $K_p = 86.23$, $T_i = 0.64$

Розрахунок значень пропорційно-інтегруючого-диференціального регулятора дає значення: $K_p = 114.97$, $T_i = 1.278$, $T_d = 2586.83$, $N = 10.00$.

Сукупний результат розрахунків значень параметрів регуляторів згідно методу Зиглера-Николса представлено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 Значення параметрів регуляторів методом Зиглера-Николса

	K_p	T_i	$T_d=K_d$	T_f	N
P	95.808				
PI	86.23	0.64			
PID	114.97	1.278	2586.83	258.683	10

Математичне дослідження роботи систем керування з розрахованими значеннями регуляторів методом Зиглера-Николса буде виконуватися у середовищі Matlab, пакет Simulink. Вигляд математичної моделі системи керування з пропорційним регулятором (P-регулятором) за методом Зиглера-Николса зображено на рис. 3.2.

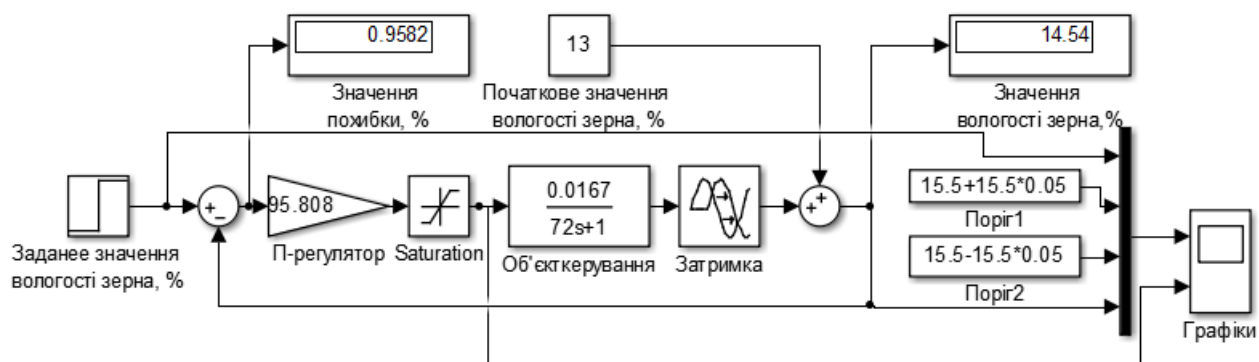


Рисунок 3.2– Вигляд математичної моделі системи керування з Р-регулятором за методом Зиглера-Николса.

Графічне зображення перехідного процесу динамічної характеристики системи керування з Р-регулятором зображено на рис. 3.3., значення чисельних даних графіку перехідного процесу зображено у таблиці 3.2.

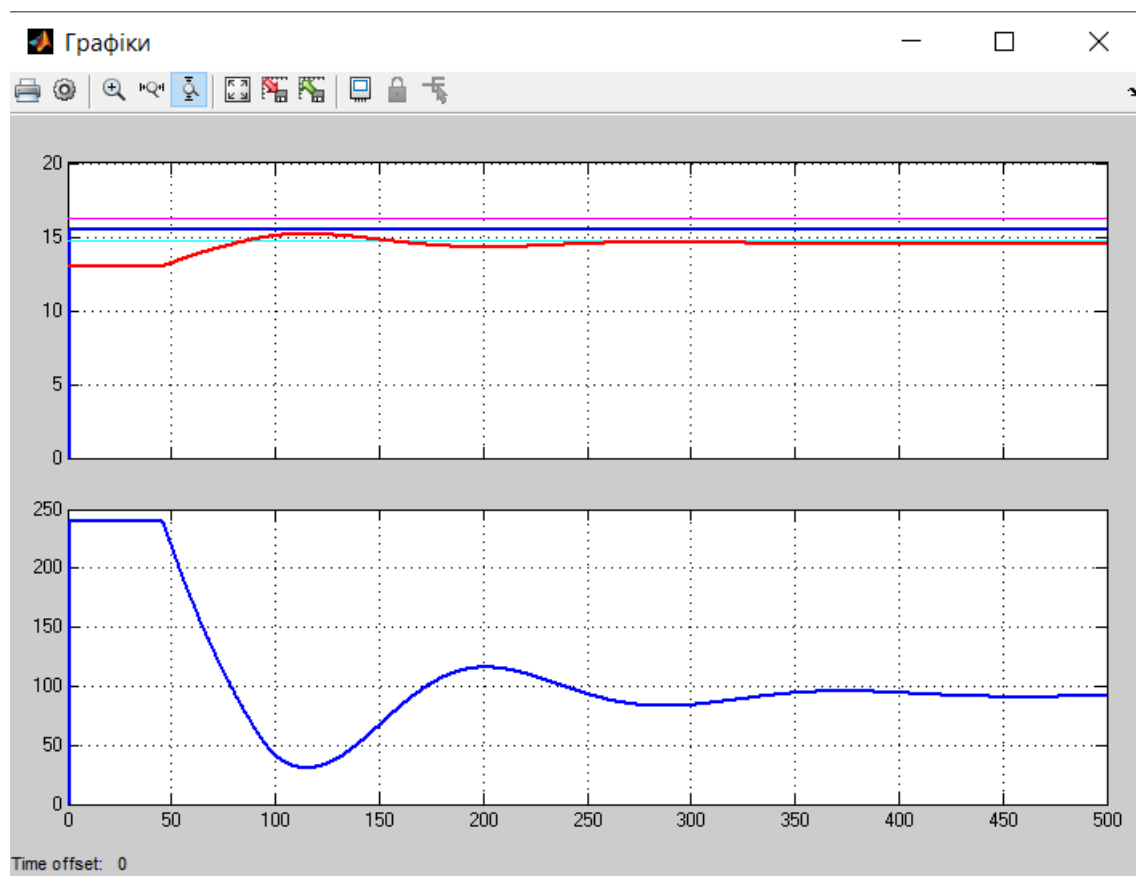


Рисунок 3.3 – Графічний результат моделювання системи керування з Р-регулятором за методом Зиглера-Николса

Аналіз результатів перехідного процесу динамічної характеристики системи керування з використанням Р-регулятора з параметрами, що розраховані методом Зиглера-Николса свідчить, що використання Р-регулятора недоцільне

для системи керування, що проектується у даній роботі. Найважна статична помилка відхилення значення вихідної величини, величиною 0.96 % вологості зерна, що знаходиться на межі заданого відхилення.

Таблиця 3.2 – Результат роботи Р-регулятора відповідно до критеріїв

№	Назва методу	Час наростання		Час встановлення $T_{0.05}$		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	вологість,%	%	
1	Зиглера-Николса	55	5	80	5	-	-	незадовільно

Наступним кроком виконаємо аналіз роботи пропорційно-інтегруючого регулятора (PI-регулятор), який за допомогою інтегруючої складової зможе компенсувати статичну помилку. Вигляд моделі автоматизованої системи з пропорційно-інтегруючим регулятором (PI-регулятором) представлено на рис.3.4.

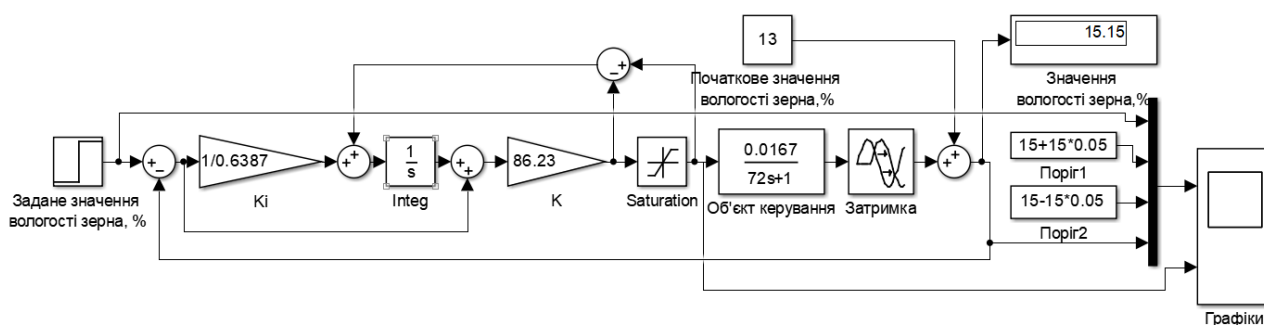


Рисунок 3.4 – Вигляд математичної моделі системи керування з PI-регулятором за методом Зиглера-Николса

Графічне зображення перехідного процесу динамічної характеристики системи керування з пропорційно-інтегруючим регулятором (PI –регулятором) представлено на рис. 3.5., значення чисельних даних перехідного процесу представлено у таблиці 3.3.

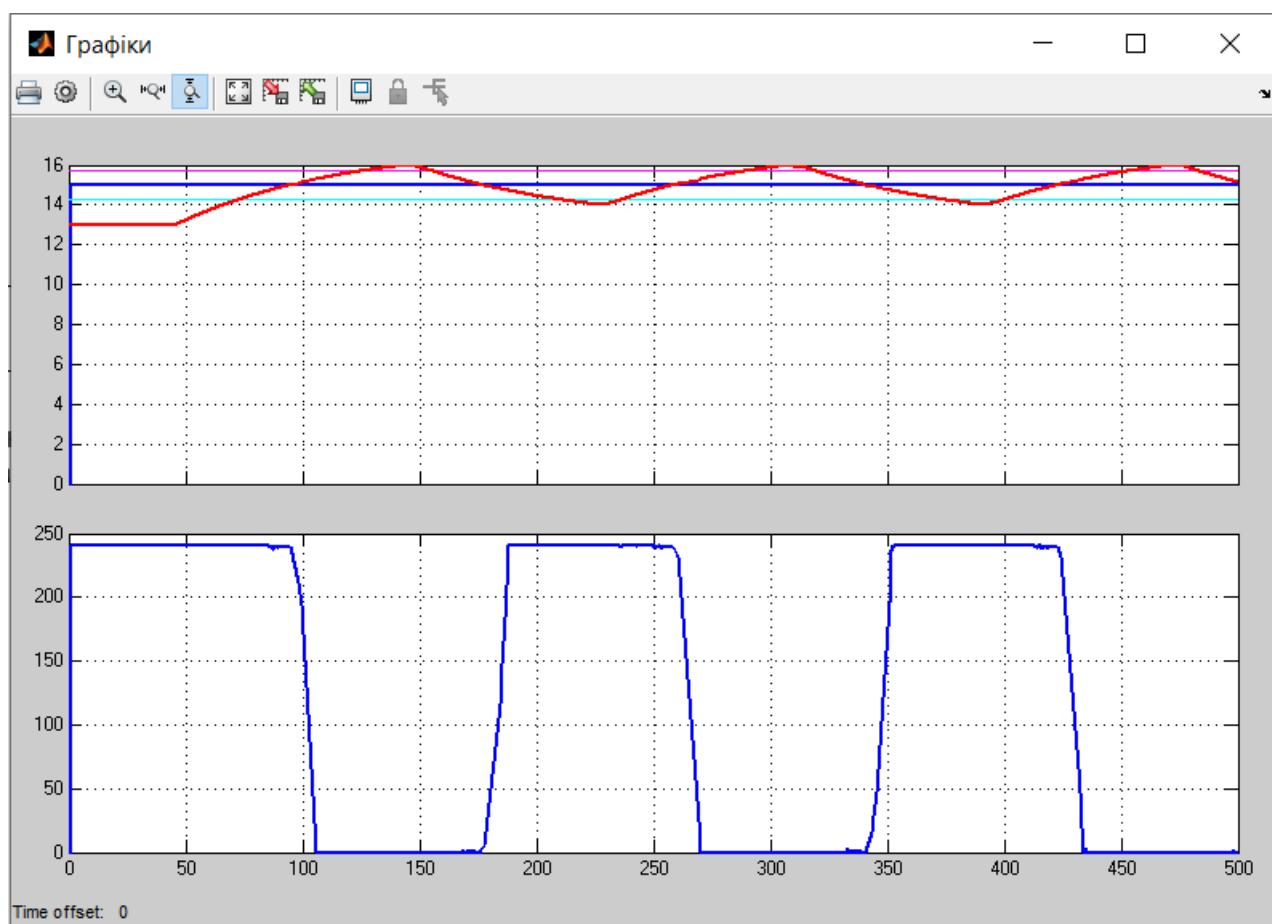


Рисунок 3.5 – Графічний результат моделювання системи керування з ПІ-регулятором за методом Зиглера-Николса

Графічний аналіз результатів перехідного процесу динамічної характеристики системи з використанням пропорційно-інтегруючого регулятора (ПІ-регулятора), з параметрами, що розраховані методом Зиглера-Николса, показує, що використання ПІ-регулятора, не відповідає вимогам.

Таблиця 3.3 – Результат роботи ПІ-регулятора відповідно до критеріїв

№	Назва методу	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	вологість,%	%	
1	Зиглера-Николса	40	5	75	5	0.9	7	незадовільно

Присутні наступні недоліки: похибка керування перевищує 5% від заданого значення, присутні періодичні відхилення значення вихідної величини, присутнє періодичне двох позиційне переключення керованої величини від 0% до 100%, відсутнє стале значення керованої величини.

Виконаємо дослідження роботи системи керування з пропорційно-інтегруючим-диференціальним регулятором (PID-регулятор), що містить диференційну складову у регуляторі. Вигляд математичної моделі системи з пропорційно-інтегруючим-диференціальним регулятором (PID-регулятор) зображено на рис.3.6.

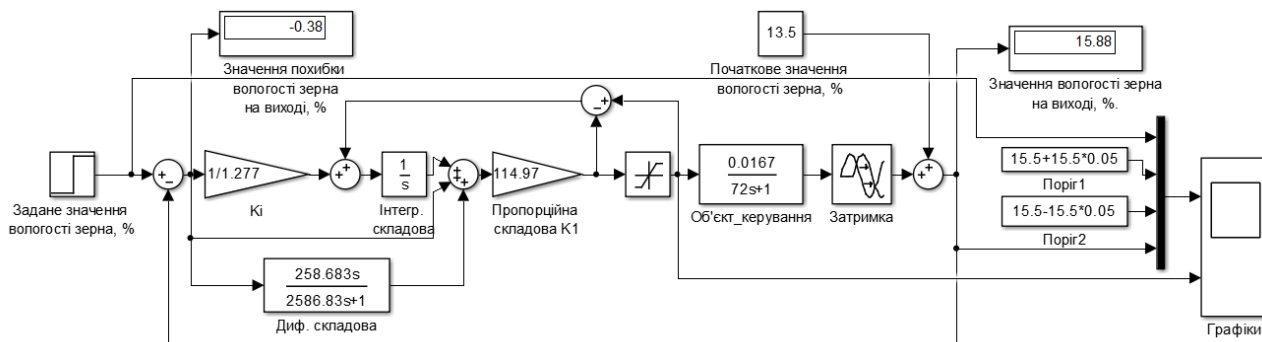


Рисунок 3.6 – Вигляд математичної моделі системи керування з PID-регулятором за методом Зиглера-Николса

Графічний результат моделювання системи керування з PID - регулятором представлено на рис. 3.7., чисельні значення динамічної характеристики перехідного процесу представлено у таблиці 3.4.

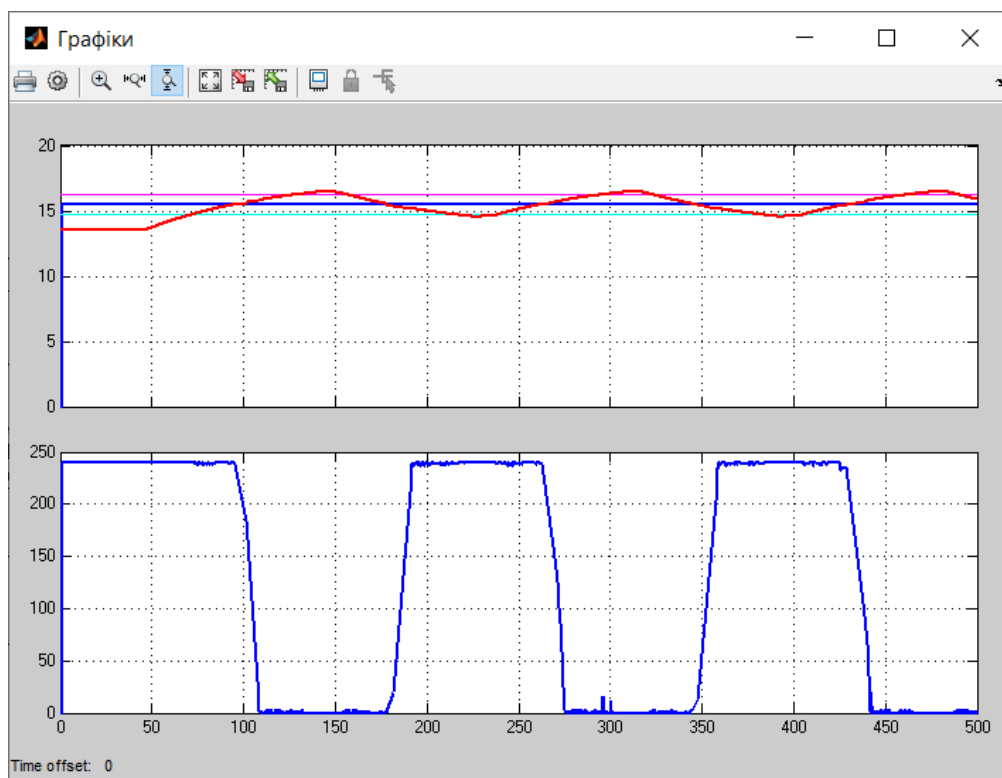


Рисунок 3.7 – Графічний результат моделювання моделювання системи керування з PID-регулятором за методом Зиглера-Николса

Таблиця 3.4 – Результат роботи PID-регулятора відповідно до критеріїв

№	Назва методу	Час наростання		Час встановлення		Перерегулювання		Інтегральна оцінка
		с	%	с	%	Вологість, %	%	
1	Зиглера-Николса	30	5	80	5	0.93	7	незадовільно

Графічний аналіз результатів перехідного процесу динамічної характеристики системи з використанням пропорційно-інтегруючого-диференціального регулятора (PID-регулятора), з параметрами, що розраховані методом Зиглера-Николса, показує, що використання даного PID-регулятора, не відповідає вимогам. Присутні наступні недоліки: похибка керування перевищує 5% від заданого значення, присутні періодичні відхилення значення вихідної величини, присутнє періодичне двох позиційне переключення керованої величини від 0% до 100%, відсутнє стале значення керованої величини.

Результати моделювання системи керування з використанням P, PI, PID – регуляторів, зі значенням параметрів, що розраховані методом Зиглера-Николса, можна зробити висновок, що використання методу розрахунку регуляторів не відповідає вимогам, присутні не допустимі відхилення значення вихідної величини, безперервний коливальний процес. Для досягнення кращих результатів керування спробуємо використати розрахунок значень параметрів регулятора за допомогою середовища MatlabR2013b. Математична модель зі значеннями параметрів пропорційно-інтегруючого регулятора (PI-регулятор), що розраховані за допомогою середовища MatlabR2013b представлено на рис. 3.8.

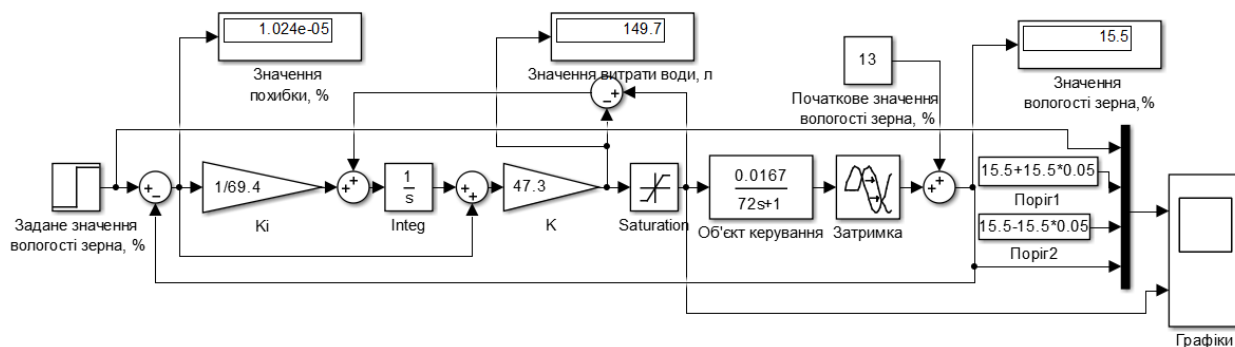


Рисунок 3.8 – Скорегована математична модель системи с неперервним регулятором у стандартному вигляді

Графічне зображення перехідного процесу динамічної характеристики скорегованої системи керування з PI -регулятором показано на рис. 3.9., данні у таблиці 3.5.

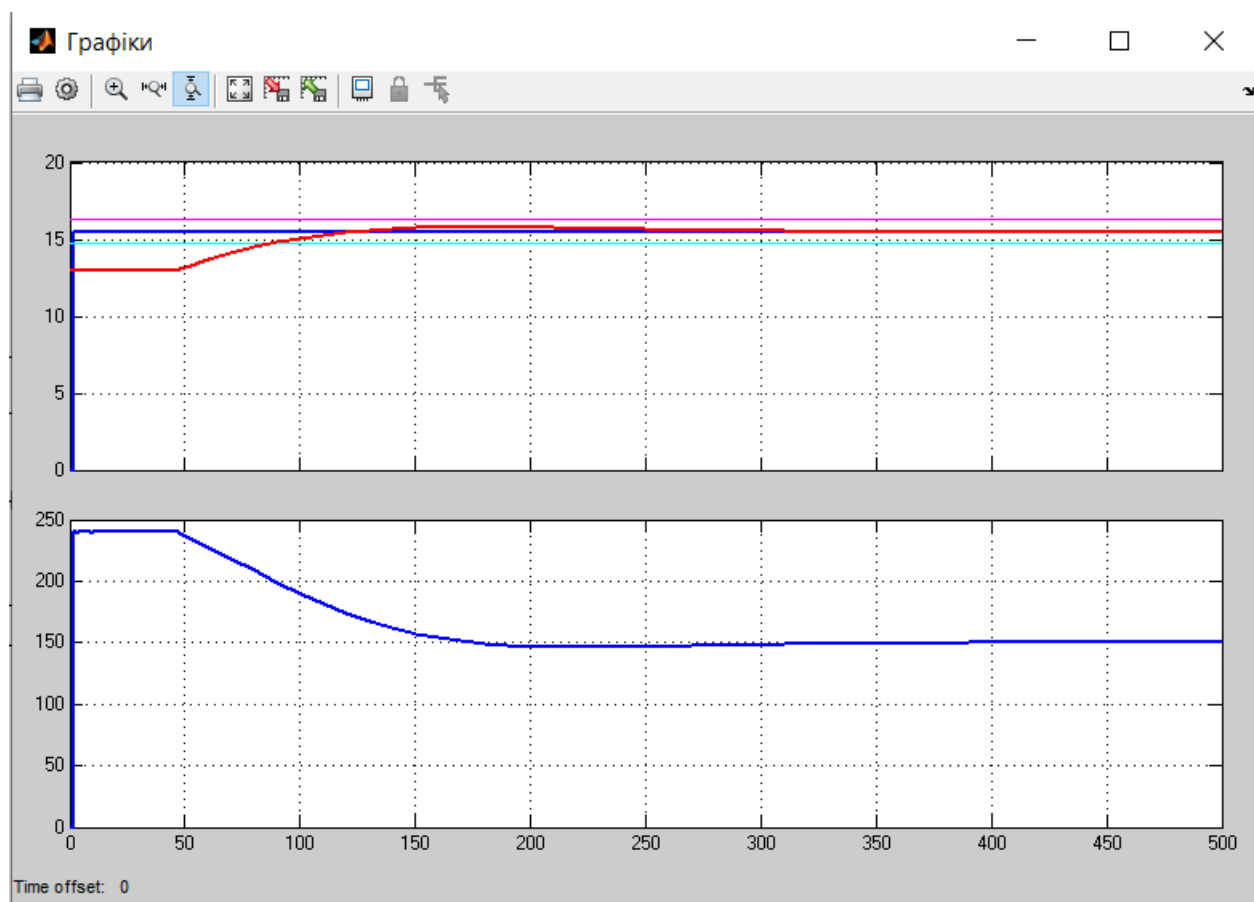


Рисунок 3.9– Графічні результати моделювання скорегованої моделі системи с неперервним регулятором у стандартному вигляді

Таблиця 3.5 – Результат роботи PI-регулятора відповідно до критеріїв

Час наростання		Час встановлення $T_{0.05}$		Перерегулювання, значення вологості зерна		Інтегральна оцінка відмінно
с	%	с	%	вологість,%	%	
55	5	85	5	0.3	<2	

Графічний аналіз результатів перехідного процесу динамічної характеристики системи з використанням пропорційно-інтегруючого регулятора (PI-регулятора), з параметрами, що розраховані за допомогою середовища Matlab, показує, що використання PI-регулятора, відповідає вимогам. Надалі буде використано PI-регулятор з параметрами:

$$K_p = 47.3, T_i = 69.4.$$

3.3 Оцінка якості функціонування системи керування

Модель системи керування машиною інтенсивного зволоження зерна з пропорційно-інтегруючим регулятором представлено на рис. 3.10.

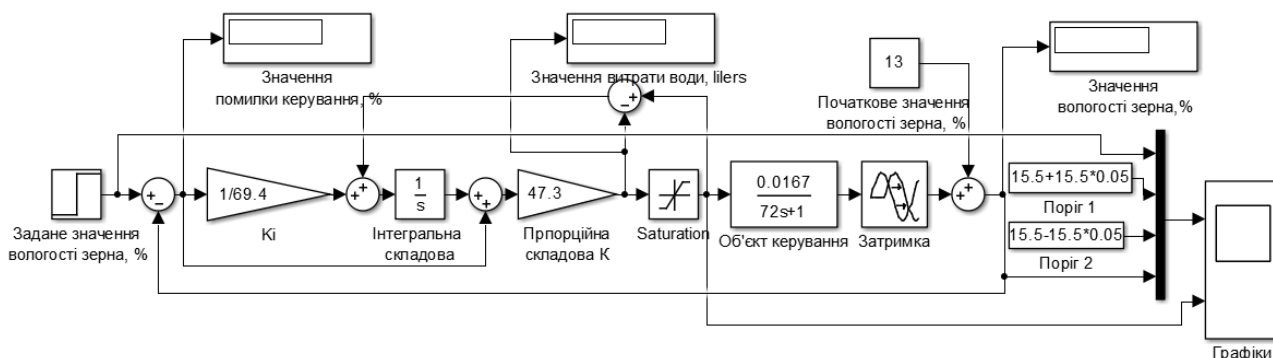


Рисунок 3.10 – Обрана математична модель системи керування машиною інтенсивного зволоження зерна А1-БШУ-2

Проведемо математичне дослідження моделі системи керування в умовах близьких до технологічного процесу, а саме, перевіримо роботу системи на робастність та реакцію системи під час впливу збурення. Під час математичного моделювання до моделі системи керування додано джерело збурення у вигляді блоку сигналу ступінчатого типу (рис.3.11) значення якого буде змінюватися, та із позитивним або негативним знаком буде додаватися до вихідного сигналу об'єкту керування. Сигнал збурення буде додаватися через 500 с після початку роботи системи керування. При цьому ми будемо стежити за значенням вихідної величини, а точніше за її відхиленням від заданого значення. Критичним буде значення відхилення, що перевищує 5 % відносних одиниць від заданого значення вологості зерна, що становить 0.75 % вологості зерна це значення – поріг перевищення якого призведе до зниження якості технологічного процесу змелювання при виготовленні партії борошна з зерна пшениці (табл.3.6).

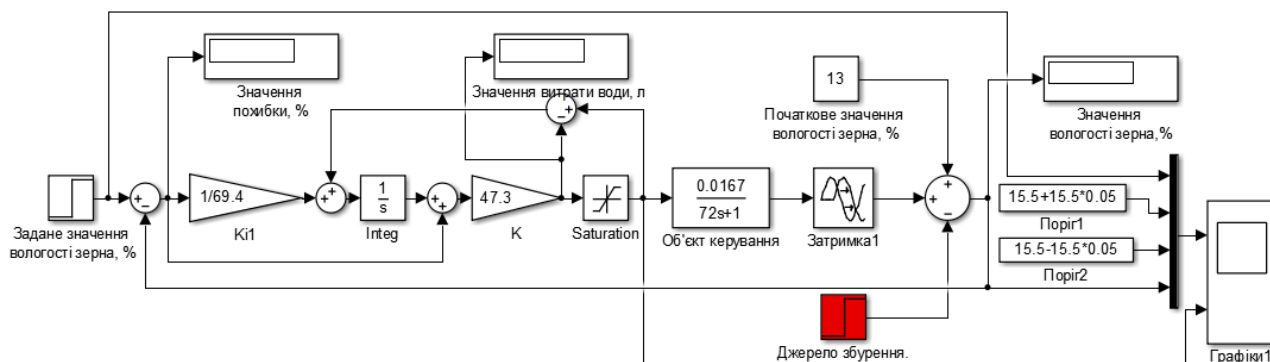


Рисунок 3.11– Математична модель перевірки системи керування на збурення

Таблиця 3.6 – Результати впливу збурення на систему керування, $k=0.0167$

Значення вологості зерна, як вплив збурення, %	Значення вологості зерна на виході системи керування, %	Значення вологості зерна, як вплив збурення, %	Значення вологості зерна на виході системи керування, %
-0.1	15.5	+0.1	15.5
-0.2	15.5	+0.2	15.5
-0.3	15.5	+0.3	15.5
-0.4	15.5	+0.4	15.5
-0.5	15.5	+0.5	15.5
-0.75	15.5	+0.75	15.5
-1.0	15.5	+1.0	15.5
-1.25	15.5	+1.25	15.5
-1.5	15.5	+1.5	15.5
-1.75	15.21	+1.75	15.5
-2.0	14.99	+2.0	15.5
-2.25	14.74		
-2.5	14.49		
-2.75	14.24		
-3.0	14.0		
-3.25	13.75		
-3.5	13.5		
-3.75	13.25		
-4.0	13.0		

Чисельні данні таблиці 3.6 представленні у графічному вигляді на рис. 3.12.

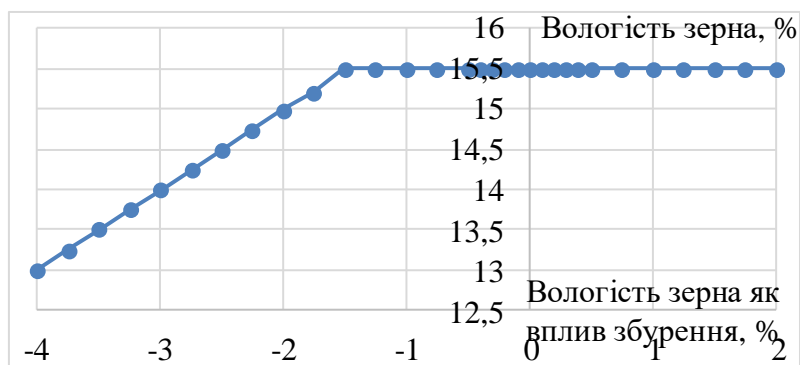


Рисунок 3.12– Графічне відображення перевірки системи керування на збурення, $k=0.0167$

Графічне зображення впливу збурення вологості зерна на роботу автоматичної системи керування з негативним та позитивним значенням збурення зображено на рисунку 3.13 та рисунку 3.14.

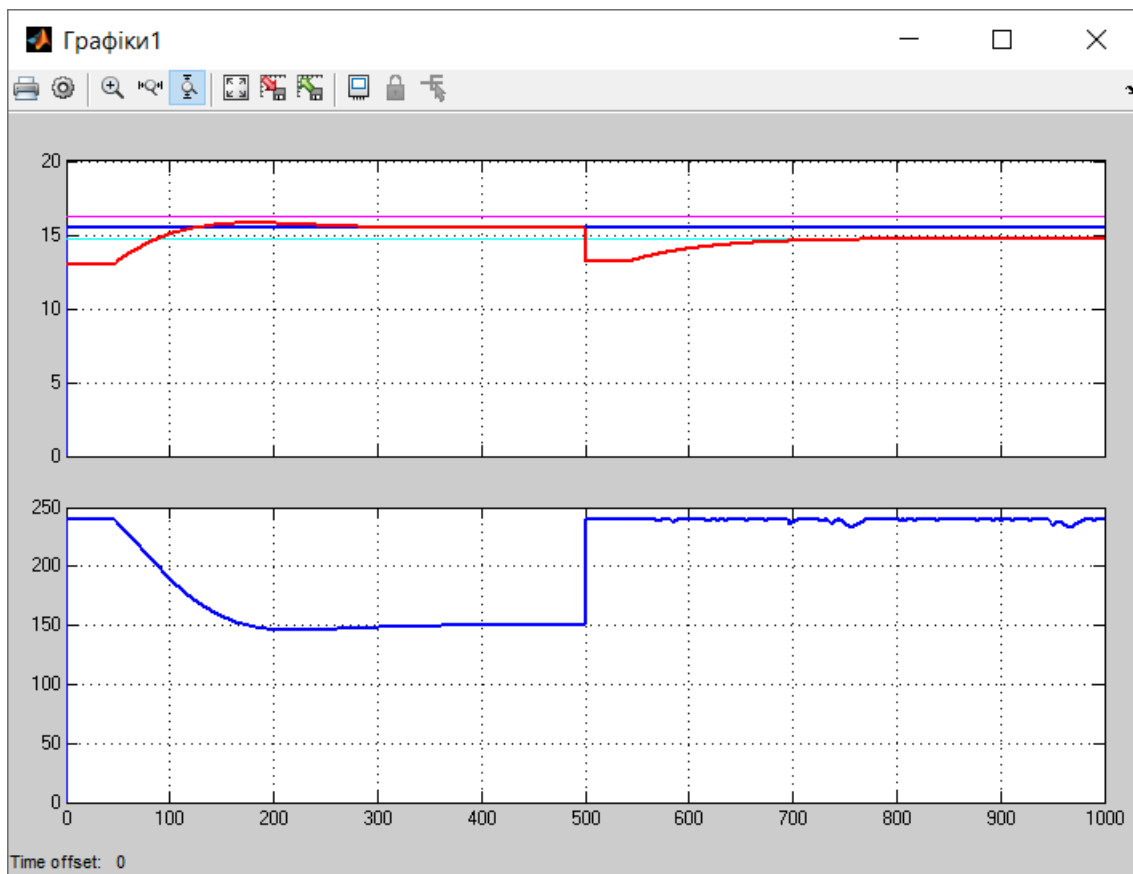


Рисунок 3.13– Результати моделювання при впливі збурення вологості зерна меншої на 2.25 %, вологість зерна на виході системи складає 14.74 %.

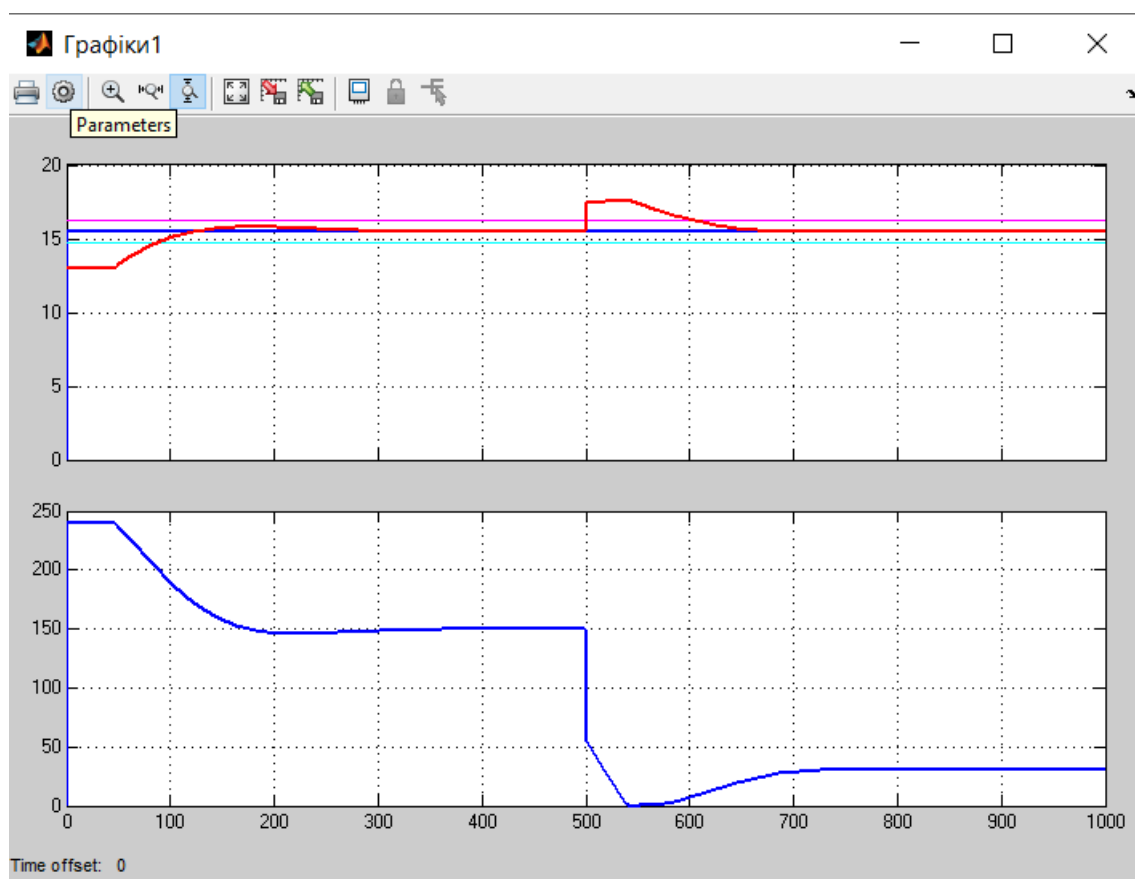


Рисунок 3.14 – Результати моделювання при впливі збурення вологості зерна більше на 2.0 %, чистота зерна на виході системи складає 15.5 %.

Аналіз результатів моделювання системи керування показує що при негативному впливі збурення (рис. 3.13) вологість зерна на виході системи зменшується на величину пропорційну збуренню. Критично впливає на вихідний параметр системи негативне значення збурення зі значенням 2.25 % вологості зерна та більше. Аналіз позитивного впливу збурення у діапазоні від нуля до плюс 2.0 %, не впливає на вихідне значення системи керування, тобто система керування компенсує позитивне збурення на вихідний параметр системи вологість зерна (рис. 3.14). Результати моделювання дають певні результати, але неможна достовірно вважати, що ми отримали повністю гідну систему керування. Машина інтенсивного зволоження зерна це складний об'єкт, а ми враховуємо тільки параметр вологість зерна та не приймаємо до уваги інші показники технологічного процесу зволоження зерна. Інакше можна припустити що ми досліджуємо складний процес зволоження зерна тільки по одну з багатьох параметрів.

Числове значення коефіцієнта підсилення об'єкту керування процесу зволоження зерна у машині інтенсивного зволоження зерна залежить від конструктивних особливостей (рівномірності розподілу потоку води у середині машини, рівномірності подачі та проходження зерна через машину), параметрів якості зерна на вході машини інтенсивного зволоження, наприклад вологості, скловидності, зольності зерна. При такому розумінні виглядає доцільним провести дослідження відхилення вихідної величини від заданого значення при зміні коефіцієнту підсилення об'єкта керування. Оскільки $k=0.0167$ це було найбільше значення коефіцієнту підсилення об'єкта керування, то будемо знижувати його значення з шагом у 5% звертаючи увагу до значення вихідного параметру системи керування. Метою експерименту буде знайти межове значення коефіцієнта підсилення при якому вихідний параметр системи відхилиться більше 0.75 % вологості зерна.

Таблиця 3.7 – Результати впливу зміни коефіцієнту підсилення на вихідний параметр системи керування

Значення коефіцієнту підсилення об'єкта керування	Значення вологості зерна на виході системи керування, %
0.0167	15.5
(-5%) 0.0159	15.5
(-10%) 0.015	15.5
(-15%) 0.014	15.5
(-20%) 0.0134	15.5
(-25%) 0.0125	15.5
(-30%) 0.0117	15.5
(-35%) 0.0109	15.5
(-40%) 0.01	15.39

Згідно даних таблиці 3.7 побудовано графік зміни параметру.

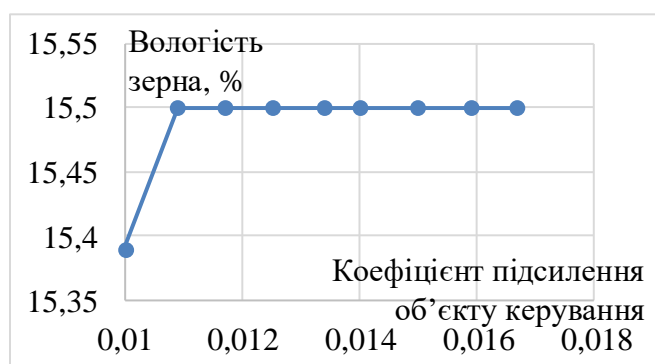


Рисунок 3.15 – Графічне зображення зміни коефіцієнту підсилення систему керування

Математичне дослідження впливу збурення на вихідний параметр системи при зниженні коефіцієнту підсилення «к» об'єкта керування виконано на моделі системи керування у середовищі MatlabR2013b. Результати представлено у таблицях 3.8., 3.9.

Таблиця 3.8 – Результати впливу збурення на систему керування $k=0.015$

Значення вологості зерна, як вплив збурення, %	Значення вологості зерна на виході системи керування, %	Значення вологості зерна, як вплив збурення, %	Значення вологості зерна на виході системи керування, %
-0.5	15.5	+0.5	15.5
-0.75	15.5	+0.75	15.5
-1.0	15.5	+1.0	15.5
-1.25	15.32	+1.25	15.5
-1.5	15.09	+1.5	15.5
-1.75	14.84	+1.75	15.5
-2.0	14.59	+2.0	15.5
-2.25	14.34		
-2.5	14.09		

Таблиця 3.9 – Результати впливу збурення на систему керування $k=0.0134$

Значення вологості зерна, як вплив збурення, %	Значення вологості зерна на виході системи керування, %	Значення вологості зерна, як вплив збурення, %	Значення вологості зерна на виході системи керування, %
1	2	3	4
-0.5	15.5	+0.5	15.5
-0.75	15.46	+0.75	15.5
-1.0	15.2	+1.0	15.5

1	2	3	4
-1.25	14.94	+1.25	15.5
-1.5	14.71	+1.5	15.5
-1.75	14.45	+1.75	15.5
-2.0	14.21	+2.0	15.5
-2.25	13.96		
-2.5	13.71		

Згідно чисельних даних у таблицях представлено графік зміни значень параметрів рис. 3.16.

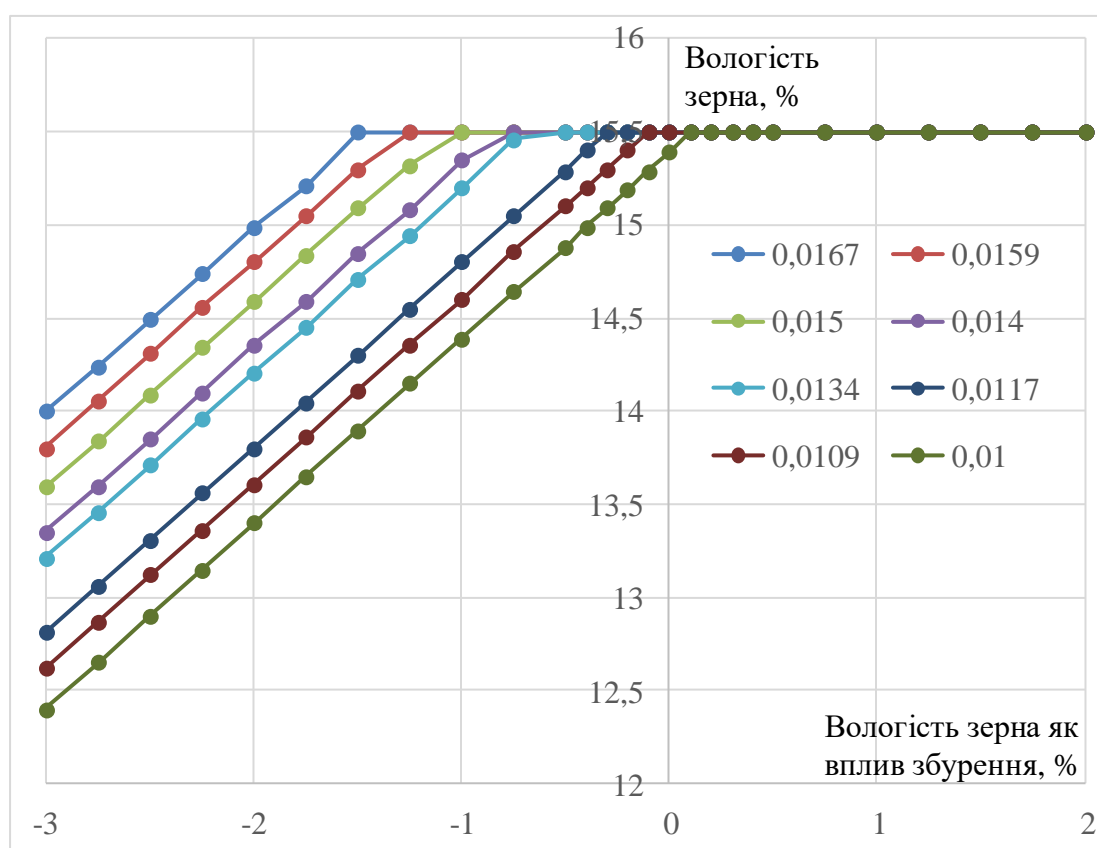


Рисунок 3.16– Графічний результат перевірки системи керування на збурення при різних коефіцієнтах підсилення «к» об'єкта керування

Результати математичного моделювання демонструють, що зниження коефіцієнту підсилення «к» знижує запас стійкості об'єкта керування при впливі збурення негативного значення. Математичне дослідження дозволило сформулювати наукове положення: дія збурення на вихідний параметр системи керування має прямопропорційний вплив, та залежить від знаку та значення збурення, а стійкість системи керування для протидії збуренню пропорційна

коефіцієнту підсилення «к» об'єкта керування, та має нижнє межеве значення « $k=0.01$ ».

Перевірка моделі системи керування на робастність була проведена шляхом зміни значень параметрів об'єкта (рис. 3.17): коефіцієнт підсилення зменшено на 10% від початкового значення ($k-10\%$), постійна часу об'єкту керування збільшена на 10% від початкового значення ($T+10\%$).

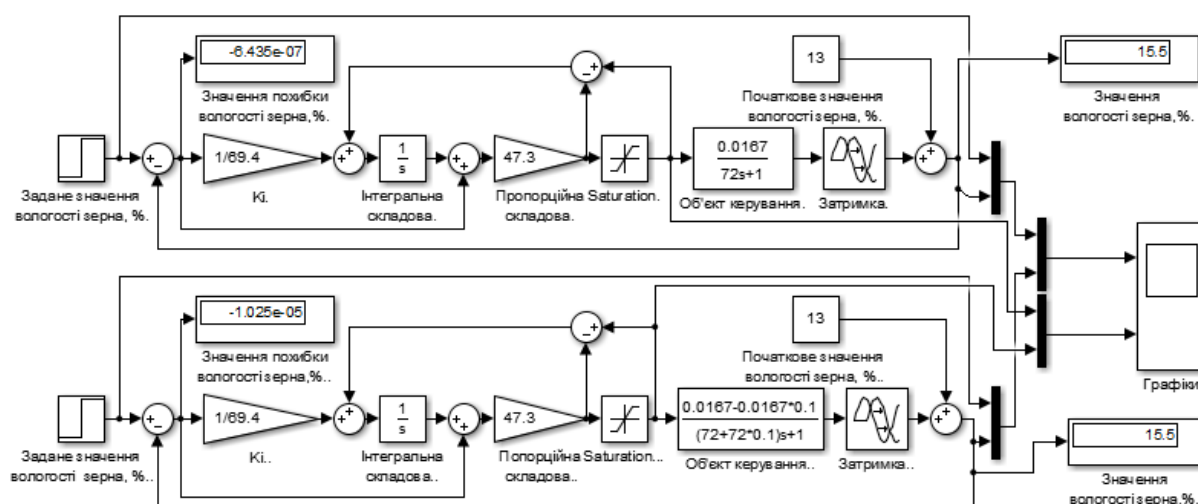


Рисунок 3.17 – Математична модель перевірки системи на робастність

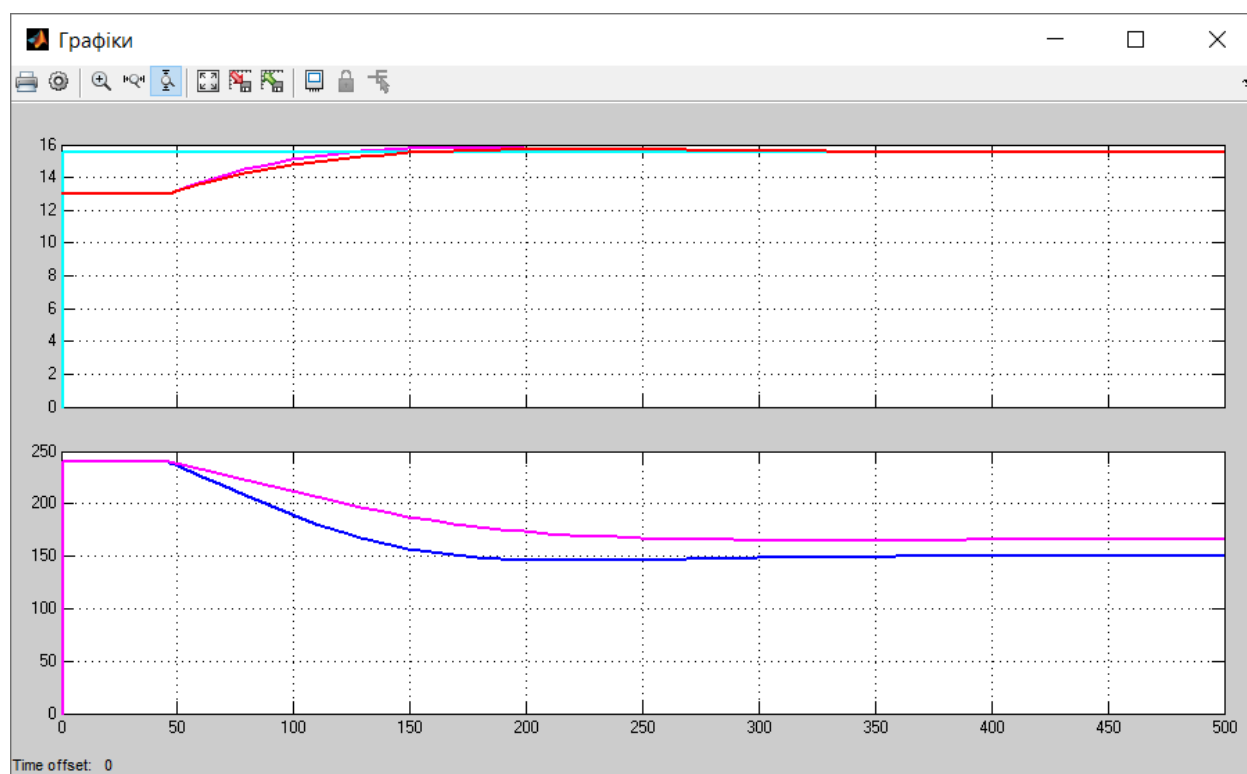


Рисунок 3.18 – Графічний результат моделювання системи керування при перевірці на робастність

Аналіз результатів моделювання перехідного процесу системи керування (рис. 3.18) свідчить, що зміна коефіцієнту підсилення та постійної часу об'єкта керування не впливає на результат роботи системи керування.

3.4 Висновки по розділу

Для автоматичної системи керування машиною інтенсивного зволоження зерна по каналу витрата води (Q) на вході – вологість зерна (W_k) на виході було визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи керування згідно з висунутим критерієм, визначено допустиму межу зміни коефіцієнту підсилення «к» при впливі збурення на вихідний параметр системи керування.

Дія збурення на об'єкт керування впливає на вихідний параметр системи керування, та залежить від знаку та значення збурення. Для об'єкта керування з коефіцієнтом підсилення « $k=0.0167$ » збурення критично впливає на вихідний параметр системи керування при негативному знаку зі значенням 2.25 % та більше. Позитивне значення збурення від нуля до значення 2.0 % вологості зерна не впливає на вихідний параметр системи керування.

Дія збурення на об'єкт керування має вплив, ще більше при зниженні коефіцієнту підсилення «к» об'єкта керування. Критичне найменше значення коефіцієнту підсилення «к» сягає $k=0.01$. Вже при цьому значенні коефіцієнту підсилення «к» система керування не має запасу стійкості при відсутності впливу негативного збурення на об'єкт керування. Хоча відхилення значення вологості зерна на виході системи не перевищує порогового значення, но зобов'язує виконати заново розрахунок регулятора системи керування.

Результати, що отримані у цьому розділі дозволяють перейти до виконання експериментального розділу та розробки людино-машинного інтерфейсу системи керування.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Цифрова модель об'єкта керування

Розробку програмного забезпечення пристрою керування та людино-машинний інтерфейс SCADA системи керування [10, 11, 12] виконаємо на базі середовища Zenon Supervisor 7.10. Код програмного забезпечення пристрою керування використовує модель, що було розроблено у середовищі Matlab. Модель системи керування представлена у вигляді двох програмних модулів: модуля пристрою керування (регулятора) та модуля об'єкта керування.

Використаємо математичну модель системи керування, що було розроблено у Matlab для програмного забезпечення мікропроцесорного контролеру. Для цього представимо усі елементи моделі у цифровому вигляді, тобто, виконаємо заміну усіх неперервних елементів моделі системи керування на цифрові елементи. Умовно поділимо модель системи на модель регулятора та модель об'єкта керування, перетворимо цифрові моделі пристрою керування (регулятора) та об'єкту керування у програмний код.

Результат синтезу системи керування є неперервна модель системи керування, яка задовольняє сформульованим критеріям якості, виконано у попередньому розділі, ця модель зображена на рисунку 4.1.

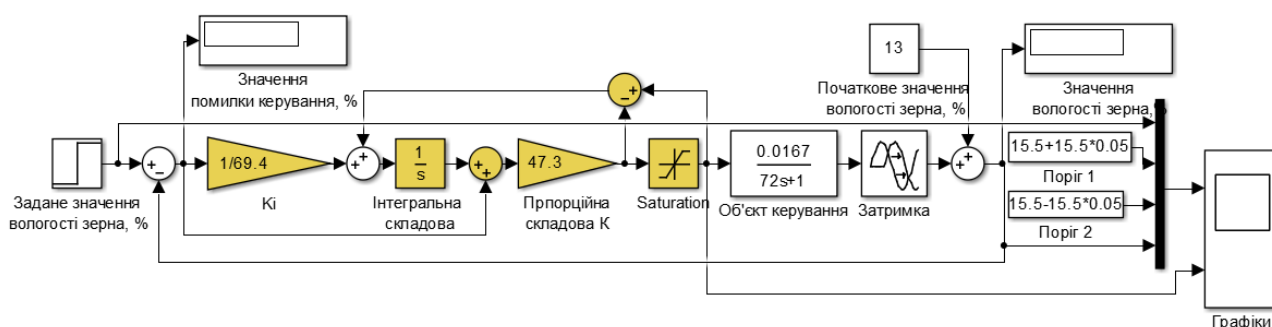


Рисунок 4.1 – Неперервна математична модель системи керування машиною інтенсивного зволоження зерна А1-БШУ-2

Перетворення елементів моделі системи керування у цифрову форму починається з визначення часу дискретизації при роботі системи керування.

Значення часу дискретизації потрібно для реалізації пристрою керування або регулятора. Значення часу повинно бути як мінімум в 10 разів менше найбільшої постійної часу об'єкта керування

$$cycle = T_{max}/10,$$

де T_{max} - найбільша постійна часу об'єкта керування.

Також, значення часу дискретизації повинно бути більше ніж значення

$$cycle = T_{max}/2000$$

Враховуючи, що стандартний цикл мікропроцесорного програмованого логічного контролера становить 100 мс, значення часу дискретизації вибирається рівне 100 мс, що у середовищі MATLAB відповідає значенню "Sample time" 0.1 с. Зробимо перетворення елементи моделі системи керування на цифрові у середовищі MatlabR2013b за допомогою наступних перетворень.

Для перетворення передавальної функції об'єкта керування у цифрову форму використаємо наступний вираз

```
>> tfz = c2d(tf([0.0167], [72 1]), 0.1);
b = [tfz.num{1}(2)];
a = [1, tfz.den{1}(2)];
fprintf('b0 = %0.14f, a0 = %0.14f\n\n', b(1), a(2));
b0 = 2.317834464583110e-05, a0 = -0.998612075170908
```

Для перетворення передавальної функції ланка чистого запізнення

```
>> tfz = c2d(tf([1], 'ioDelay', 45), 0.1);
delayLength = tfz.ioDelay;
fprintf('Delay length = %0.3f\n\n', delayLength);
Delay length = 450.0
```

Після заміни безперервних елементів моделі на цифрові з відповідним чином розрахованими значеннями параметрами отримуємо цифрову модель системи керування, представлено на рис.4.2. Багата кількість знаків після коми у числах моделі об'єкту керування призначено для підвищення точності моделі при порівнянні з безперервною моделлю.

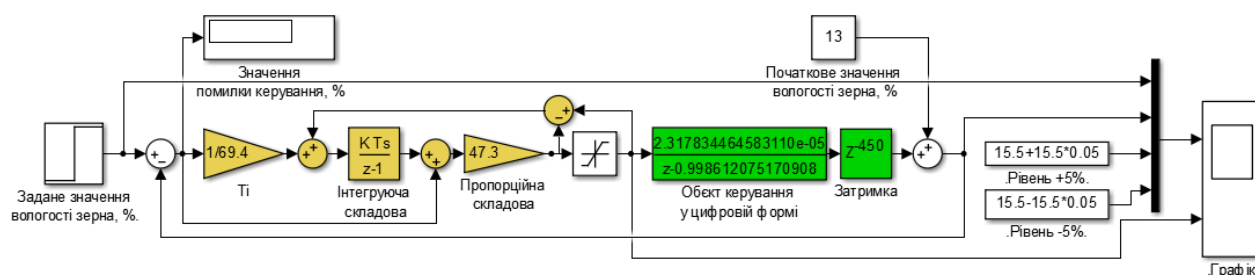


Рисунок 4.2 – Цифрова математична модель системи керування машиною інтенсивного зволоження зерна А1-БШУ-2

Чисельна оцінка відповідності цифрової моделі до безперервної моделі розраховується за нормованим середньоквадратичним відхиленням. Для чисельного порівняння та оцінки моделей на входи безперервної і цифрової моделей подається однакова уставка та реєструються їх дійсні вихідні значення. Виконуючи порівняння безперервної та цифрової моделей різниця у значеннях вихідних величин повинна бути не більше 20%. Порівняння моделей виконується за допомогою розробленої моделі (рис.4.3) для порівняння. Графічне зображення результату порівняння моделей показує впевнений збіг вихідних значень обох моделей (рис. 4.4) у часі.

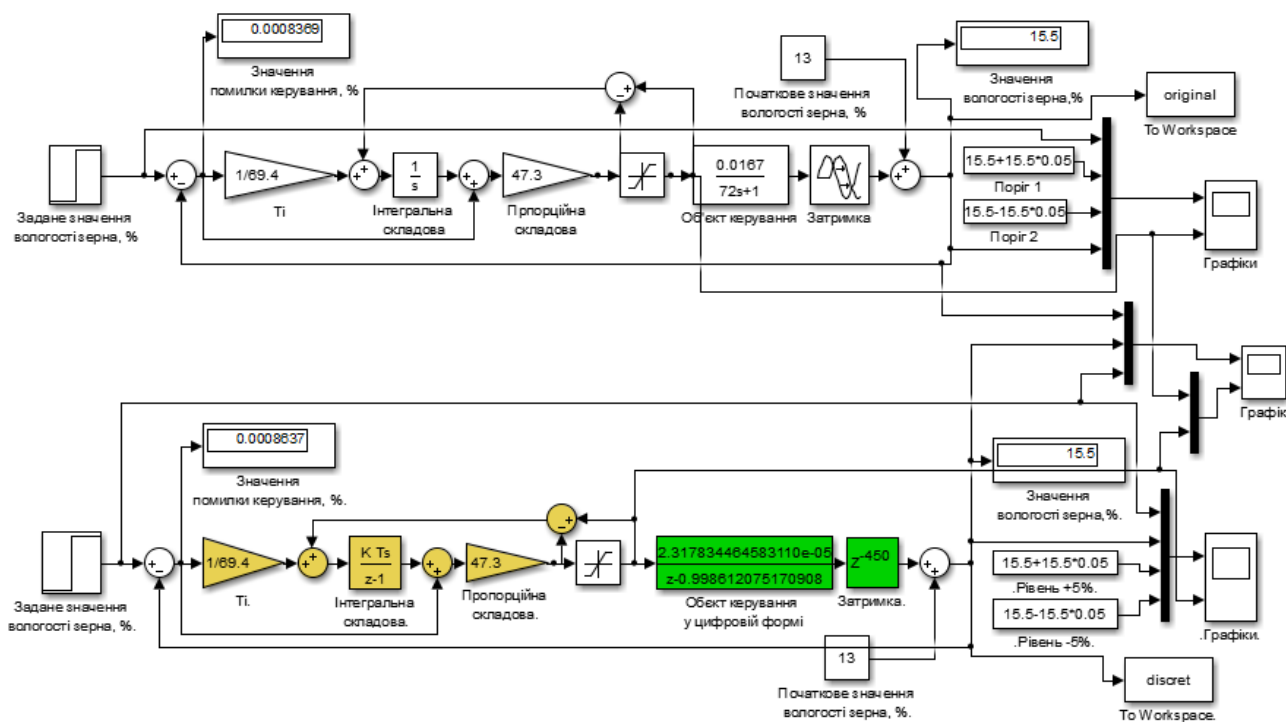


Рисунок 4.3 – Модель порівняння неперервної та цифрової систем керування

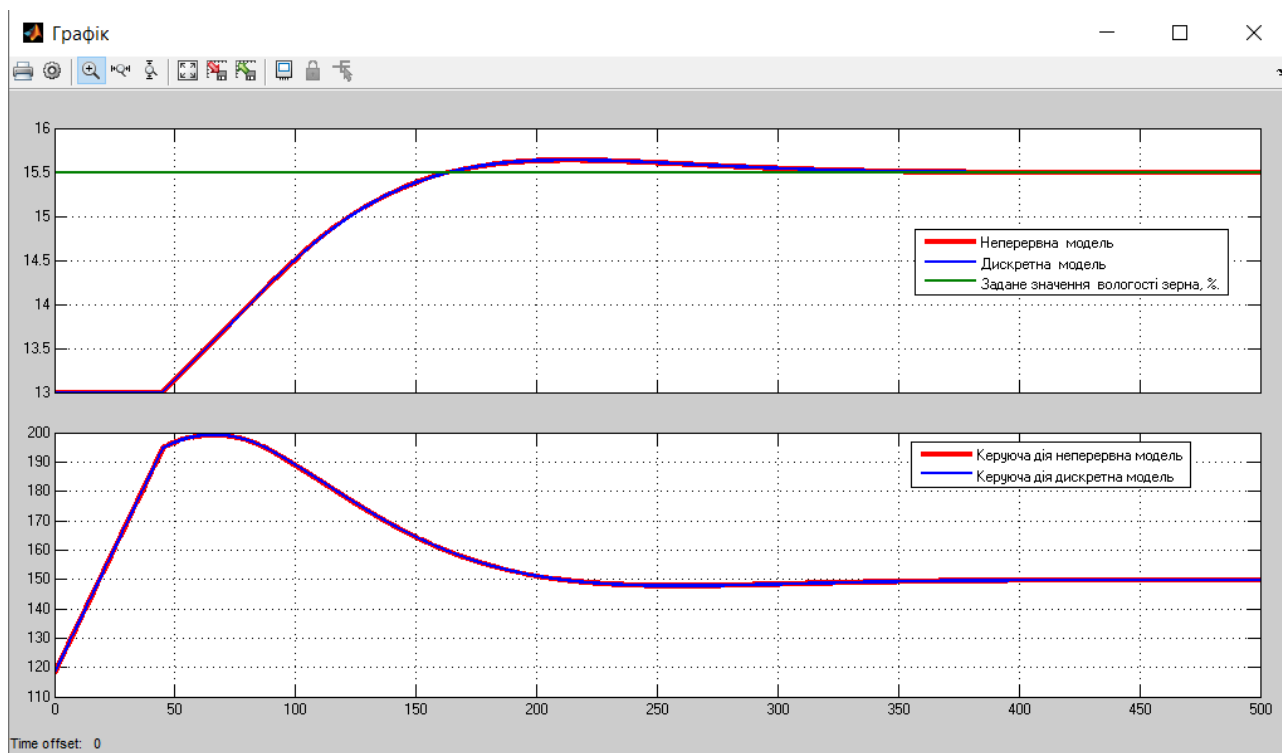


Рисунок 4.4 – Графічне зображення результату порівняння цифрової та неперервної моделей

Розрахунок чисельної міри збігу у роботі двох моделей виконаємо у Matlab за допомогою метода нормованого середньоквадратичного відхилення.

```
>> goodnessOfFit(discret.Data, original.Data, 'NRMSE')*100.0
ans =
99.9338
```

Результат розрахунку показує, що графіки перехідного процесу безперервної та цифрової моделей збігаються на 99.9 %, розбіжність у значеннях вихідних величин після закінчення перехідного процесу відсутня. Результати підтверджують, що отримана цифрова модель може бути використана для розробки програмного забезпечення системи керування.

Для подальшої роботи розділимо модель цифрової системи на два блоки або дві підсистеми: це підсистема пристрою керування або регулятор та підсистема об'єкта керування відповідно (рис. 4.5).

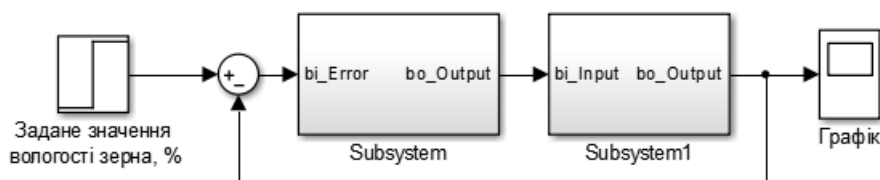


Рисунок 4.5 – Модель математична цифрової системи керування

Виконаємо перетворення вмісту блоку підсистеми який відповідає пристрою керування регулятору та блоку підсистеми який відповідає об'єкту керування на мову стандарту MEK 61131-3 “Structured text”, використовуючи середовище MATLAB. На основі отриманого коду підсистем у подальшому буде розроблено програмне забезпечення SCADA системи у середовищі zenon.

4.2 Розробка програмного забезпечення системи керування

Для розробки програмного забезпечення системи керування використовується SCADA система zenon, складовою якого є zenon Logic для імітації роботи мікропроцесорного програмованого логічного контролера VIPA.

У SCADA системі zenon використовується драйвер “S7TCP32” для пристрою керування контролеру VIPA(рис. 4.6), драйвер використовується для режиму програмної симуляції програмного забезпечення. Значення часу

оновлення даних дорівнює часу дискретизації 100 мс. З використанням даного драйвера буде виконуватися симуляція програмного забезпечення системи керування.

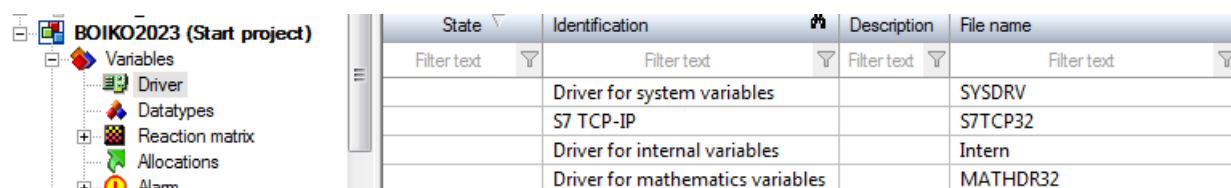


Рисунок 4.6 – Зображення переліку драйверів у середовищі zenon

Пакет zenon Logic буде симулювати роботу прикладного програмного забезпечення цифрової системи керування, що складається з регулятора (програмованого логічного контролера VIPA) та об'єкту керування.

З використанням середовища MATLAB отримано текст програмного забезпечення блоку об'єкту керування блок “Object”. Текст програми представлено на мові програмування Structured Text (додаток Б). Симуляція роботи функціонального блока “L_Object” виконується у складі системи керування у пакеті zenon Logic на мові функціональних блочних діаграм, представлена на рисунку 4.7.

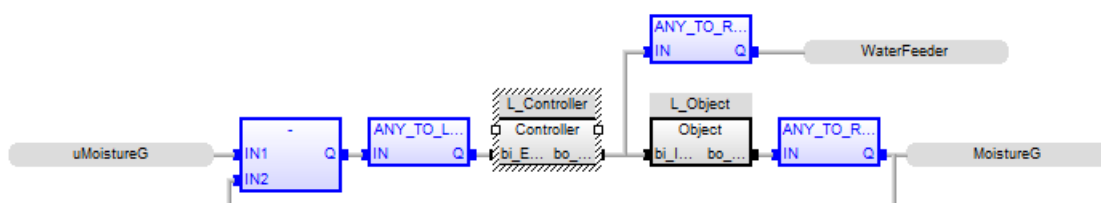


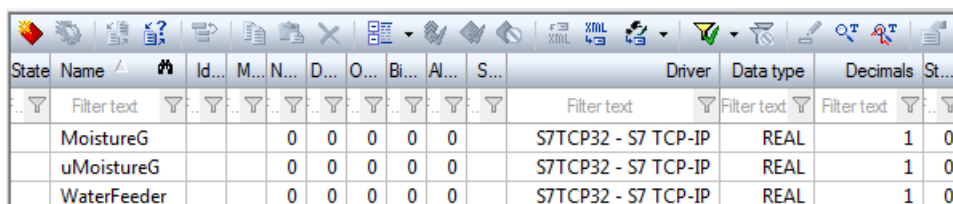
Рисунок 4.7 – Симуляція системи керування у zenon Logic

На вхід блока об'єкту керування подається дійсне значення витрати води через клапан з електроприводом «WaterFeeder». З виходу блока дійсне значення записується до змінної вологість зерна “MoistureG” на виході машини інтенсивного зволоження. Змінні “WaterFeeder” та “MoistureG” представлені як глобальні у SCADA системі zenon.

З використанням середовища MATLAB отримано програмне забезпечення функціонального блока “Controller”, текст програми представлено на мові програмування Structured text, яка наведена у додатку Б. На вхід блока подається значення помилки керування яке обчислюється як різниця між

установкою “uMoistureG” (значення складає 15.5, %) та дійсним значенням “MoistureG”. На виході блока “Controller” формується значення керуючого впливу, змінна “WaterFeeder” (керуючий вплив – значення витрати води, л/годину).

Для симуляції роботи програмного забезпечення контролера у SCADA системі zenon створено глобальні змінні які представлено на рисунку 4.8.



State	Name	Id...	M...	N...	D...	O...	Bi...	Al...	S...	Driver	Data type	Decimals	St...
	Filter text									Filter text	Filter text	Filter text	
	MoistureG		0	0	0	0	0	0		S7TCP32 - S7 TCP-IP	REAL	1	0
	uMoistureG		0	0	0	0	0	0		S7TCP32 - S7 TCP-IP	REAL	1	0
	WaterFeeder		0	0	0	0	0	0		S7TCP32 - S7 TCP-IP	REAL	1	0

Рисунок 4.8 – Перелік змінних мікропроцесорного контролера VIPA

4.3 Розробка програмного забезпечення людино-машинного інтерфейса

Людино-машинний інтерфейс на основі прикладного програмного забезпечення (додаток В) містить декілька вікон: мнемосхема технологічного процесу, діаграма технологічного процесу, протокол подій технологічного процесу та перелік тривог технологічного процесу. Оскільки інтерфейс між людиною та машиною відображає декілька зображень, то він складається з двох шаблонів на одному відображаються кнопки переключення зображення, а на іншому самі мнемонічні зображення.

На мнемонічному зображенні технологічного процесу буде відображатися інформація про зміну значень параметрів технологічного процесу, зміну значення вологості зерна після машини інтенсивного зволоження, значення витрати води, протокол подій та перелік інформаційних тривог. Допоміжний шаблон “ButtonScreen” буде використаний для розробки вікна з кнопками зміни основного зображення. У вікні з зображенням, що створене на основі шаблону “ButtonScreen” розміщено кнопки зображень “Діаграма процесу”, “Технологічна схема”, “Список тривог”, “Хронологія подій”. Присутня кнопка “Перезавантажити” яка відповідає за оновлення

людино-машинного інтерфейсу у випадку його перезавантаження та кнопка “Вихід” що припиняє роботу людино-машинного інтерфейсу програми.

Відповідно до теми кваліфікаційної роботи було розроблено мнемонічне зображення технологічного процесу (рис. 4.9).

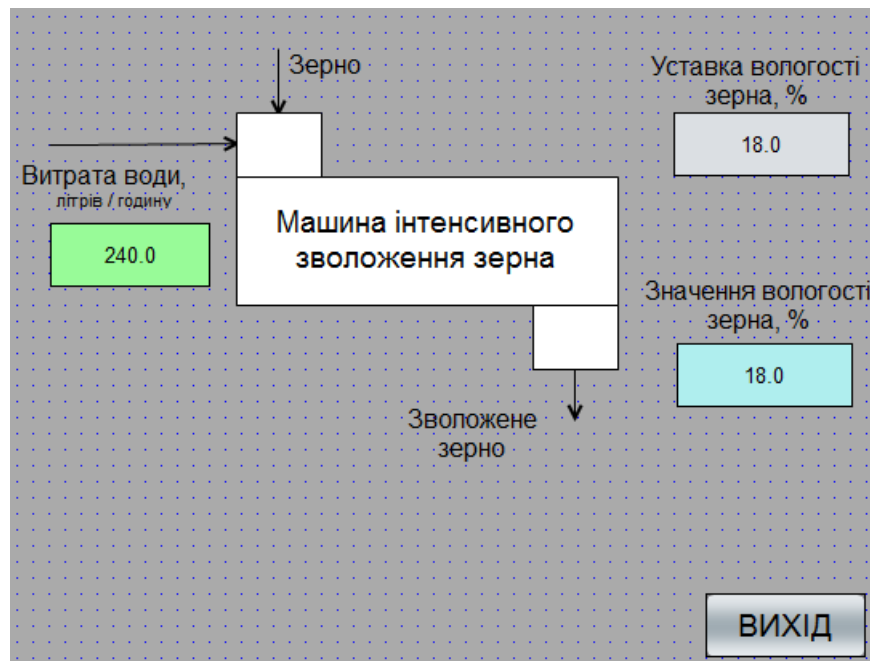


Рисунок 4.9 – Мнемонічне зображення технологічного процесу

На мнемонічному зображенні представлено умовне позначення обладнання технологічного процесу зволоження зерна. За для контролю зміни значень вхідних та вихідних параметрів машини інтенсивного зволоження зерна розроблено зображення діаграми яке наведено на рисунку 4.10. На мнемонічному зображенні з використанням розширеного тренду відображається зміна значень параметра вологості зерна на після машини інтенсивного зволоження та значення витрати води через клапан з електроприводом.

Для контролю, відображення, збереження переліку подій під час технологічного процесу використано зображення типу “Chronologic event list”. До хронологічного переліку подій або протоколу подій під час роботи системи записується інформація про зміну значення вологості зерна після машини інтенсивного зволоження та значення витрати води через клапан на вході машини інтенсивного зволоження зерна.

Представлення переліку інформаційних тривог виконано за допомогою зображення типу “Alarm message list” у середовищі zenon.

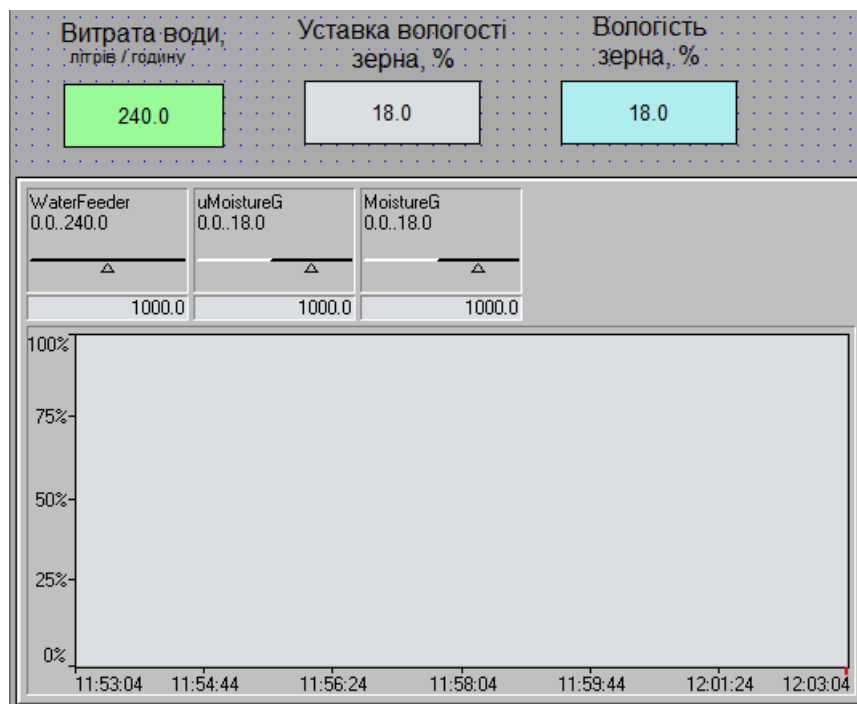


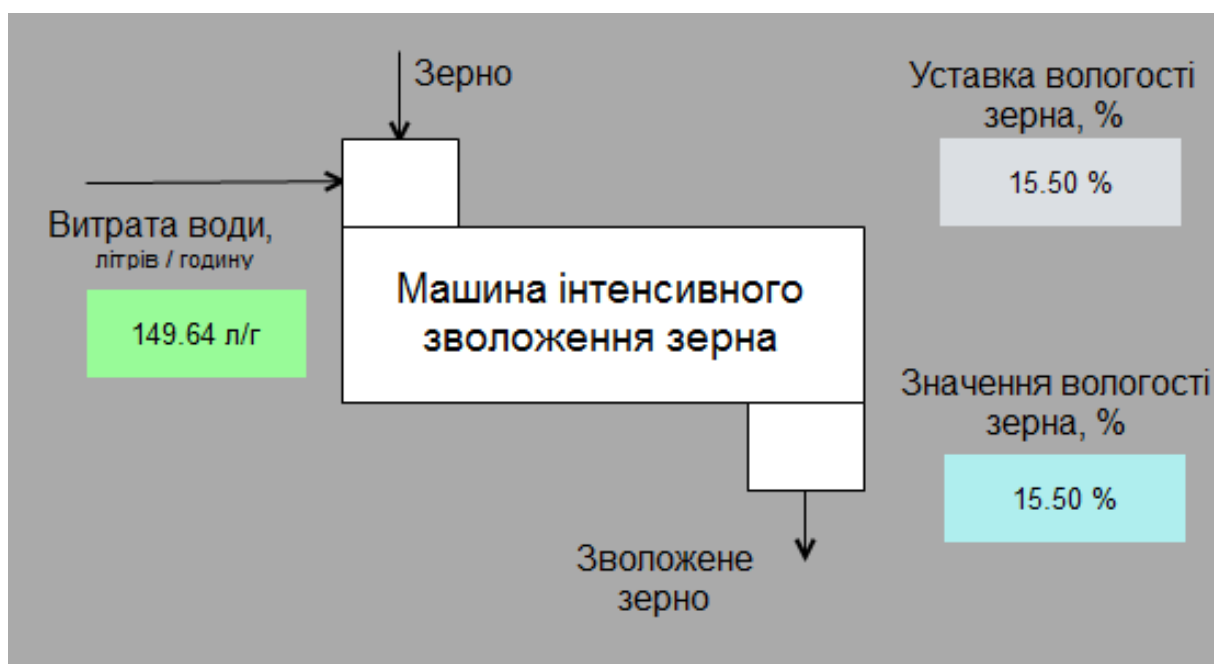
Рисунок 4.10 – Зовнішній вигляд діаграми параметрів

Інформація до переліку тривог записується при досягненні порогових значень параметрів технологічного процесу.

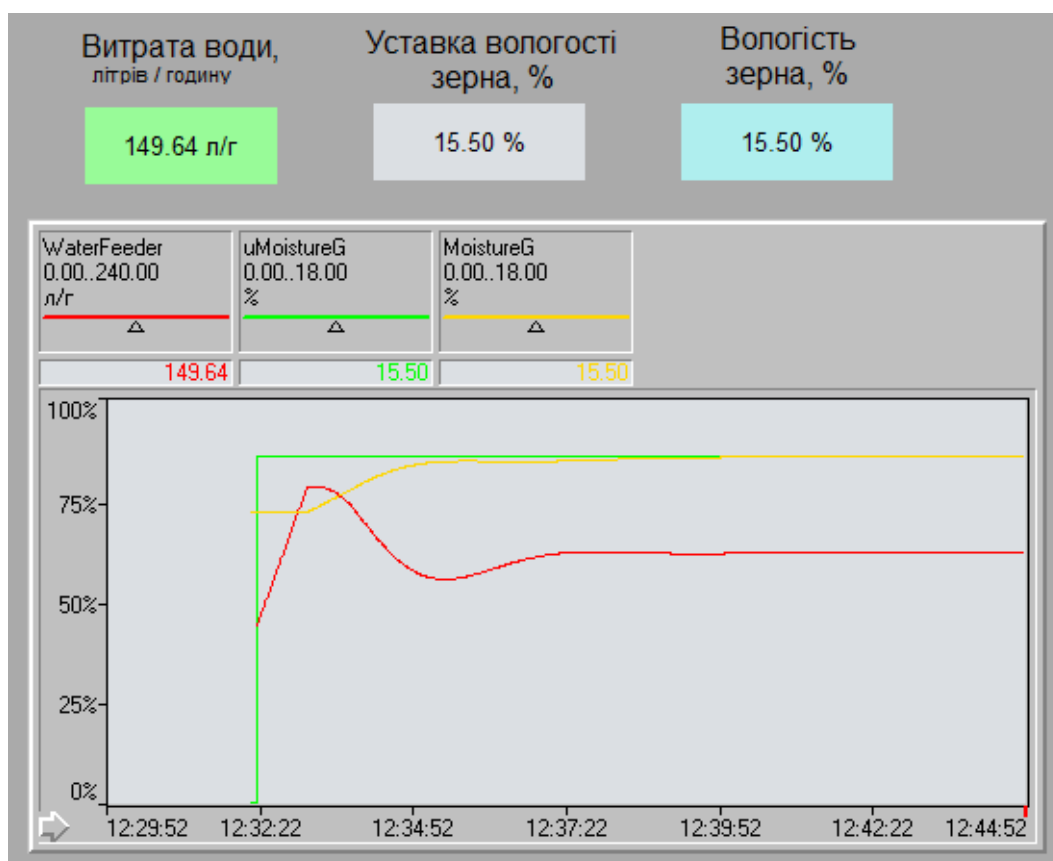
4.4 Перевірка функціонування програмного забезпечення

Контроль та перевірка роботи програмного забезпечення технологічного процесу зволоження зерна проведено за допомогою симуляції у середовищі zenon. Використовувалась симуляція роботи програмованого логічного контролеру, що реалізовано у програмному вигляді разом з симуляцією моделі об'єкта керування.

При контролі та перевірці встановлено, що система керування працює відповідно до моделі системи керування у середовищі Matlab, що розроблено раніше. Графічне зображення трендів діаграми про зміну вхідних та вихідних значень параметрів (рис 4.11), відповідає попередньо розробленої моделі системи керування у середовищі Matlab.



а)



б)

Рисунок 4.11 – Графічне зображення діаграми зміни значень процесу зволоження зерна

4.5 Висновки по розділу

Використавши отриману у попередньому розділі безперервну модель системи керування розроблено цифрову модель системи керування, що розділено на модель регулятора та модель об'єкта керування. Використовуючи функції середовища Matlab отримано програмний код моделей регулятора та об'єкта керування на мові програмування Structured Text.

Розроблено програмне забезпечення системи керування для програмованого логічного контролера VIPA у пакеті Zenon Logic, що є частиною середовища Zenon. Для SCADA системи технологічного процесу розроблено людино машинний інтерфейс, що відображає інформацію про зміну значень параметрів, перелік подій та перелік тривог технологічного процесу.

Зроблено контроль та перевірку функціонування розробленого прикладного програмного забезпечення. Графіки трендів діаграми відображають зміни значень параметрів відповідно до моделі системи керування, що попередньо розроблено у Matlab.

5 ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

5.1 Техніко-економічне обґрунтування синтезу системи автоматичного керування процесом зволоження зерна

У розділі кваліфікаційної роботи виконані та визначені капітальні та експлуатаційні витрати, виконано економічне обґрунтування доцільності використання синтезу системи автоматизованого керування зволоженням зерна.

Впровадження системи керування забезпечить:

- підвищення ефективності керування процесом зволоження зерна;
- автоматизоване спостереження за процесом керування технологічним процесом за допомогою людино-машинного інтерфейсу;
- створення та збереження даних хронології подій технологічного процесу для аналізу технології.

Проведемо розрахунки основних економічних показників для визначення економічної ефективності.

5.2 Розрахунок капітальних витрат пов'язаних з впровадженням системи керування

Капітальні витрати, пов'язані з виготовленням та впровадженням системи керування, визначаються як:

$$K_{\text{ПКВ}} = C_{\text{ОБ}} + D_{\text{ТР}} + M_{\text{МН}} + K_{\text{ПЗ}}, \quad (5.1)$$

де $K_{\text{ПКВ}}$ – капітальні витрати, грн.;

$C_{\text{ОБ}}$ – вартість основного та допоміжного обладнання, грн.;

$D_{\text{ТР}}$ – транспортно-заготівельні витрати, грн.;

$M_{\text{МН}}$ – витрати на монтаж і налагодження системи, грн.;

$K_{\text{ПЗ}}$ – витрати на розробку прикладного програмного забезпечення, грн.

Перелік та вартість обладнання, матеріалів наведена в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Перелік покупного обладнання, матеріалів

№	Найменування	Одиниці виміру	Кількість	Вартість (грн.)	Сума (грн.)
1	Вологомір зерна у потоці Мікрорадар 113	од.	1	78000,00	78000,00
2	Шаровий клапан з ел. приводом Belimo TR24-SR	од.	1	6400,00	6400,00
3	Контролер CPU VIPA 214-2BE03	од.	1	20950,00	20950,00
4	Модуль аналогового вводу/виводу VIPA 234-1BD50	од.	1	16800,00	16800,00
5	Джерело живлення SPD24301	од.	2	2480,00	4960,00
6	Мережевий кабель КПП-ВП 4x2x0.51	м	30	19,00	570,00
	Разом				127 680,00

Загальна вартість обладнання та матеріалів $C_{OB} = 264\,283,80$ грн.

Сума витрат на транспортно-заготівельні і складські роботи приймається від вартості обладнання на рівні 8 % від загальної вартості:

$$D_{TP} = C_{OB} \cdot 0,08. \quad (5.2)$$

Сума витрат на складські та транспортно-заготівельні роботи складає

$$D_{TP} = 127\,680 \cdot 0,08 = 10\,214,40 \text{ (грн.)}.$$

Вартість монтажних та налагоджувальних робіт приймається на рівні 7 % від вартості обладнання:

$$M_{MH} = C_{OB} \cdot 0,07. \quad (5.3)$$

Разом сума витрат на монтажні та налагоджувальні роботи складає

$$M_{MH} = 127\,680 \cdot 0,07 = 8\,937,60 \text{ (грн.)}.$$

5.3 Розрахунок капітальних витрат на програмне забезпечення

5.3.1 Розрахунок часу на розробку програмного забезпечення

Трудомісткість розробки прикладного програмного забезпечення розраховується за допомогою формули

$$t = t_o + t_u + t_a + t_n + t_{OT} + t_g. \quad (5.4)$$

де t – трудомісткість розробки прикладного програмного забезпечення, люд.-год.;

t_o – час на підготовку і опис постановки завдання, люд.-год.;

t_u – час на вивчення завдання, люд.-год.;

t_a – час на розробку схеми алгоритму, люд.-год.;

t_n – час на програмування по готовій блок-схемі алгоритму, люд.-год.;

t_{OT} – час на налаштування прикладного програмного забезпечення, люд.-год.;

t_g – час на розробку документації по завданню, люд.-год.

Розрахунок складових часу визначається за умовною кількістю операторів у прикладному програмному забезпеченні (ППЗ):

$$Q = q \cdot c \cdot (1 + p), \quad (5.5)$$

де Q – умовна кількість операторів ППЗ;

q – кількість операторів ППЗ ($q = 176$, мова програмування Structured Text);

c – коефіцієнт складності ППЗ ($c = 1,35$);

p – коефіцієнт корекції ППЗ ($p = 0,1$).

Розрахунок для прикладного програмного забезпечення проектного варіанту:

$$Q = 176 * 1,35 * (1 + 0,1) = 261.$$

Значення часу на підготовку і опис постановки завдання $t_o = 40$ люд. – год.

Значення часу на вивчення завдання визначається як:

$$t_u = \frac{Q \cdot B}{(75 \div 85) \cdot k}, \quad (5.6)$$

де B – коефіцієнт збільшення витрат праці ($B = 1,5$);

k – коефіцієнт кваліфікації програміста ($k = 1,2$).

Значення часу на вивчення завдання розраховується та приймає наступне значення

$$t_u = 261 * 1,5 / (80 * 1,2) \approx 4 \text{ (люд. – год.)}.$$

Розрахунок часу на розробку схеми алгоритму керування:

$$t_a = \frac{Q}{(20 \div 25) \cdot k} \quad (5.7)$$

Значення часу на розробку схеми алгоритму керування дорівнює

$$t_a = 261 / (20 * 1,2) \approx 11 \text{ (люд. – год.)}$$

Розрахунок витрат часу на налаштування ППЗ

$$t_n = \frac{Q}{(4 \div 5) \cdot k} \quad (5.8)$$

Значення часу на налаштування ППЗ дорівнює:

$$t_n = 261 / (4 * 1,2) \approx 54 \text{ (люд. – год.)}$$

Розрахунок витрат часу на підготовку документації по завданню

$$t_g = t_{\text{ДР}} + t_{\text{ДО}}, \quad (5.9)$$

де $t_{\text{ДР}}$ – витрати часу на підготовку матеріалів до написання;

$t_{\text{ДО}}$ – витрати часу на редагування, друк та оформлення документації.

Розрахунок часу підготовки матеріалів до написання визначається як:

$$t_{\text{ДР}} = \frac{Q}{(15 \div 20) \cdot k} \quad (5.10)$$

Значення витрат час для підготовки матеріалів до написання

$$t_{\text{ДР}} = 261 / (17 * 1,2) \approx 13 \text{ (люд. – год.)}$$

Розрахунок часу на оформлення документації (редагування та друку):

$$t_{\text{ДО}} = 0,75 \cdot t_{\text{ДР}} \quad (5.11)$$

Значення витрат часу оформлення документації (редагування та друку):

$$t_{\text{ДО}} = 0,75 * 13 = 10 \text{ (люд. – год.)}$$

Значення розрахунку витрат часу на підготовку документації по завданню розраховується та становить:

$$t_g = 13 + 10 = 23 \text{ (люд. – год.)}$$

Значення витрат часу розробки прикладного програмного забезпечення дорівнює:

$$t = 42 + 4 + 11 + 54 + 13 + 23 = 147(\text{люд.} - \text{год.}).$$

5.3.2 Розрахунок витрат на розробку програмного забезпечення

Розрахунок витрат на розробку ППЗ визначається згідно формули:

$$K_{\text{ПЗ}} = Z_{\text{ЗП}} + Z_{\text{МІ}}, \quad (5.12)$$

де $Z_{\text{ЗП}}$ – зарплата інженера-програміста, грн.;

$Z_{\text{МІ}}$ – тариф на вартість машинного часу, грн.

Розрахунок розміру заробітної плати програміста визначається як:

$$Z_{\text{ЗП}} = t \cdot C_{\text{ПР}}, \quad (5.13)$$

де $C_{\text{ПР}}$ – годинна тарифна ставка програміста ($C_{\text{ПР}} = 110$ грн./год.).

Розмір заробітної плати програміста:

$$Z_{\text{ЗП}} = 147 * 110 = 16170,00 \text{ грн.}$$

Розрахунок вартості машинного часу, визначається формулою:

$$Z_{\text{МІ}} = t_n \cdot C_{\text{МЧ}}, \quad (5.14)$$

де $C_{\text{МЧ}}$ – вартість машинного ($C_{\text{МЧ}} = 20$ грн./год.).

Розмір вартості машинного часу складає:

$$Z_{\text{МІ}} = 54 * 20 = 1080,00 \text{ грн.}$$

Загальний розмір витрат на розробку ППЗ системи керування дорівнює:

$$K_{\text{ПЗ}} = 16\ 170,00 + 10\ 80,00 = 17\ 250,00 \text{ грн.}$$

Розрахунок часу розробки ППЗ визначається формулою:

$$T = \frac{t}{B_k \cdot F_p}, \quad (5.15)$$

де T – затрати часу на розробку ППЗ (міс.), B_k – кількість виконавців ($B_k = 1$);

F_p – місячний фонд робочого часу ($F_p = 185$ год./міс.).

$$T = \frac{147}{(1 * 185)} \approx 0,80 \text{ міс}$$

Разом розмір капітальних витрат дорівнює:

$$K_{\Pi} = 127\,680,00 + 10\,214,40 + 8\,937,60 + 17\,250,00 \approx 164\,082,00 \text{ грн.}$$

5.4 Розрахунок експлуатаційних витрат

Розрахунок розміру річних експлуатаційних витрат:

$$C_e = C_a + C_3 + C_c + C_{PO} + C_{ee} + C_{\text{ІНШ}}, \quad (5.16)$$

де C_e – розмір річних поточних витрат, що пов'язані з застосуванням системи керування, грн.;

C_a – розмір амортизації основних фондів, грн.;

C_3 – розмір заробітної платні обслуговуючого персоналу, грн.;

C_c – розмір відрахувань на соціальні заходи, грн.;

C_{PO} – розмір витрат на технічне обслуговування та поточний ремонт обладнання, грн.;

C_{ee} – розмір витрат на електроенергію, грн.;

$C_{\text{ІНШ}}$ – розмір інших витрат, грн.

Визначимо розмір експлуатаційних витрат системи керування.

5.4.1 Амортизація основних фондів

Амортизаційний розрахунок ведеться залежно від групи, до якої віднесено той чи інший об'єкт основних засобів, так само встановлені мінімально допустимі строки їх амортизації.

У цій кваліфікаційній роботі для системи керування використовується обладнання, яке належить до 4 групи (машини та обладнання), передбачуваний термін експлуатації системи становить 5 років.

За прискореним методом зменшення залишкової вартості норма амортизації визначається як:

$$H_a = \frac{2}{T} \cdot 100 \%, \quad (5.17)$$

де H_a – норма амортизації (%), T – термін корисного використання системи, рік.

Розрахунок розміру амортизації основних фондів виконується як:

$$C_a = \frac{\text{ПВ} \cdot H_a}{100 \%}, \quad (5.18)$$

де C_a – розмір річної амортизації основних фондів, грн.;

ПВ – розмір первинної вартості (ПВ = $K_{\text{ПКВ}}$), грн.

Розмір норми амортизації для системи керування складає:

$$H_a = \frac{2}{5} \cdot 100 \% = 40 \%$$

Розмір суми амортизації для системи керування становить:

$$C_a = 164\,082,00 * \frac{40}{100} = 65\,632,80 \text{ грн.}$$

де $C_{a\Pi}$ – розмір річної амортизації основних фондів системи, грн.;

5.4.2 Розрахунок фонду заробітної плати

Розрахунок номінального річного фонду робочого часу працівника:

$$T_{\text{НР}} = (T_{\text{К}} - T_{\text{ВС}} - T_{\text{В}}) \cdot T_{\text{З}}, \quad (5.19)$$

де $T_{\text{НР}}$ – розмір річного фонду робочого часу одного працівника, год.;

$T_{\text{К}}$ – розмір календарного фонду робочого часу ($T_{\text{К}} = 365$ днів);

$T_{\text{ВС}}$ – кількість вихідних днів та свят ($T_{\text{ВС}} = 81$ (днів));

$T_{\text{В}}$ – розмір відпустки ($T_{\text{В}} = 24$ день);

$T_{\text{З}}$ – тривалість зміни ($T_{\text{З}} = 8$ год.).

Розмір річного фонду робочого часу працівника складе:

$$T_{\text{НР}} = (365 - 81 - 24) * 8 = 2080 \text{ год.}$$

У технологічному процесі зволоження зерна задіяні: 1 оператор людино-машинного інтерфейсу, 1 спеціаліст налащик.

Штат персоналу не буде змінено і після впровадження системи автоматизованого керування. Розрахунок розміру річного фонду заробітної платні робітників здійснюється у відповідності з формою, наведеною у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Розрахунок розміру заробітної платні персоналу

п/п	Найменування професії робітників	Число працюючих, люд.	Годинна тарифна ставка, грн./год.	Річний фонд робочого часу (год.)	Пряма заробітна плата, грн.	Додаткова заробітна плата (8%), грн.	Дошлати (7%), грн.	Всього заробітна плата, грн
1	Оператор ЛМІ	1	105	2080	218400	17472	15288	251160
2	Наладчик	1	110		228800	18304	16016	263120
Разом								514 280

Розмір річного фонду заробітної платні робітників складає

$$C_{ЗП} = 514\,280,00 \text{ (грн.)}$$

$C_{ЗП}$ – зарплата персоналу проектної системи керування (грн.);

5.4.3 Відрахування на соціальні заходи

Розрахунок відрахувань на соціальні заходи визначається:

$$C_c = 0,22 \cdot C_3. \quad (5.20)$$

Відповідно до наведеної формули відрахування на соціальні заходи:

$$C_c = 0,22 * 514\,280,00 = 113\,141,6 \text{ грн.}$$

де C_c – розмір відрахувань на соціальні заходи системи керування, грн.;

5.4.4 Розрахунок витрат на технічне обслуговування та ремонт

Розмір витрат на поточний ремонт та технічне обслуговування

обладнання приймаємо на рівні 5 % від величини капітальних витрат:

$$C_{PO} = 0,05 \cdot K_{KB}, \text{ грн} \quad (5.21)$$

Розмір витрат дорівнює:

$$C_{PO} = 0,05 * 164\,082,00 = 8\,204,10 \text{ грн.}$$

де $C_{POП}$ – витрати на технічне обслуговування системи керування, грн.;

5.4.5 Витрати на електроенергію

Розрахунок вартості електроенергії споживаної системою керування, що розроблено визначається формулою:

$$C_{ee} = K_e \cdot K_{RD} \cdot T_z \cdot T_e, \text{ грн.} \quad (5.22)$$

де K_e – кількість електроенергії, що споживається системою за годину;

K_{RD} – кількість робочих днів у році ($K_{RD} = 260 \text{ день}$);

T_z – тривалість зміни;

T_e – тариф на електроенергію (для користувачів електроенергії 2 класу тариф складає 4,61 грн.-кВт без ПДВ, з урахуванням ПДВ тариф $T_e = 5,53968 \text{ грн.}$).

Розмір вартості споживаної електроенергії становить:

$$C_{Э} = 1 * 8 * 260 * 5,53968 = 11\,522,54$$

де C_e – вартість електроенергії споживаної об'єктом, грн.;

5.4.6 Інші витрати

Для роботи системи автоматичного керування зволоженням зерна ще потрібні такі витрати як витрати на заходи з охорони праці, на спецодяг та інше. Згідно прийнятої практики, ці витрати визначимо в розмірі 4 % від річного фонду заробітної плати обслуговуючого персоналу:

$$C_{\text{ІНШ}} = 0,04 \cdot C_3, \text{ грн} \quad (5.23)$$

Таким чином інші витрати становлять:

$$C_{\text{ІНШП}} = C_{\text{ІНШБ}} = 0,04 * 514\,280,00 = 20\,517,20 \text{ грн.}$$

де $C_{\text{ІНШП}}$ – інші витрати проектної системи керування, грн.

Розмір річних експлуатаційних витрат складає: (5.17-5.22), (табл. 5.3).

Таблиця 5.3 – Розмір експлуатаційних витрат

№ п/п	Назва показника	Проектний варіант, грн.
1	Амортизація	65 632,80
2	Фонд заробітної плати	514 280,00
3	Відрахування на соціальні виплати	113 141,60
4	Ремонт та технічне обслуговування	8 204,34
5	Електроенергія	11 522,54
6	Інше	20 517,20
	Всього	733 298,48

$$C_{\text{П}} = 65\,632,8 + 514\,280,00 + 113\,141,60 + 8\,204,34 + 11\,522,54 + 20\,517,20 = 733\,298,48 \text{ грн.}$$

де $C_{\text{П}}$ – річні експлуатаційні витрати системи керування, грн.;

5.5 Оцінка економічної ефективності проекту

За експертною оцінкою очікуваний чистий прибуток подібної ділянки технологічного процесу підприємства при цілодобовому навантаженні за рік складає приблизно 250 000 грн.

Значення фінансово-економічних показників, що характеризують ефективність створення і використання системи керування представлено в таблиці 5.4.

Таблиця 5.4 – Значення економічних показників системи керування

Найменування показника	Одиниці	Значення показників
Капітальні витрати	грн.	164 082,00
Експлуатаційні витрати, всього	грн.	733 298,48
В тому числі: - амортизація	грн.	65632,8
- заробітна плата обслуговуючого персоналу	грн.	514 280,00
- відрахування на соціальні заходи	грн.	113 141,60
-технічне обслуговування та поточний ремонт системи керування	грн.	8204,34
- вартість споживаної електроенергії	грн.	11 522,54
- інші витрати	грн.	20 517,20
-очікуваний прибуток	грн.	250 000,00

Коефіцієнт ефективності		0,28
Термін окупності капітальних вкладень	роки	3,59

Значення терміну окупності системи керування розраховується згідно формулою (5.24)

$$T_o = I / \text{ЧП, грн} \quad (5.24)$$

де T_o – термін окупності;

I – величина інвестицій (капітальні витрати), грн

ЧП – чистий річний прибуток.

Для повноти економічної оцінки проекту необхідно розрахувати коефіцієнт економічної ефективності, що розраховується за формулою

$$E_p = \Pi / K_{\text{ПКВ}} \quad (5.25)$$

де E_p – коефіцієнт економічної ефективності;

Π – розмір прибутку, грн

$K_{\text{ПКВ}}$ – розмір капітальних витрат, грн

Таким чином, значення коефіцієнту економічної ефективності складає:

$$E_p = 250\,000 / 897\,380,48 = 0,28$$

5.6 Висновки по розділу

При впровадженні системи автоматизованого зволоження зерна капітальні витрати та річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи складають 897 тис. грн., очікуваний термін окупності 3,59 року.

Впровадження автоматизованої системи керування є економічно вигідно та дозволяє вирішити цілий ряд завдань, важливих для сучасного виробництва, таких як: збільшення виходу борошна високих сортів; зменшення зносу обладнання; відображення інформації про хід робочого процесу в режимі реального часу.

звертаючи увагу на коефіцієнт ефективності, що дорівнює 0,28 можливо зробити висновок, що впровадження автоматизованої системи керування є економічно вигідно.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Аналіз небезпечних і шкідливих факторів при керуванні зволоженням зерна

Система автоматичного керування зволоженням зерна є складною системою, яка включає в себе як механічні, так і електричні компоненти. При її проектуванні та експлуатації необхідно враховувати всі можливі небезпеки та шкідливі фактори, які можуть виникнути в процесі роботи[13-17].

До небезпек, пов'язаних з механічними компонентами системи автоматичного керування зволоженням зерна, відносяться:

а. Несправності механічних елементів системи, які можуть призвести до її поломки або травмування персоналу.

До таких несправностей можуть відноситися:

1. Знос або поломка робочих органів механізмів, наприклад, лопатей вентилятора, шнеків, вальців тощо.
2. Несправність датчиків і виконавчих механізмів, які можуть призвести до неправильної роботи системи.
3. Порушення правил експлуатації системи, наприклад, неправильне транспортування, монтаж або демонтаж.

б. Небезпеки, пов'язані з електричними компонентами системи автоматичного керування зволоженням зерна:

1. Електротравма. Система автоматичного керування зволоженням зерна включає в себе електричне обладнання, яке може бути джерелом електротравми. Для уникнення цього необхідно забезпечити надійну ізоляцію всіх електричних проводів і приладів, а також використовувати заземлення.

2. Пожежа. Система автоматичного керування зволоженням зерна може використовуватися в приміщеннях, де знаходиться зерно. Зерно є горючим матеріалом, тому в разі пожежі система може стати джерелом

займання. Для уникнення цього необхідно забезпечити надійну протипожежну захист приміщення, де буде експлуатуватися система.

3. Вибух. Зерно є пило-небезпечним матеріалом, тому в разі виникнення пожежі в приміщенні, де знаходиться зерно, можливий вибух. Для уникнення цього необхідно забезпечити надійну пожежну захист приміщення, а також використовувати системи пожежогасіння.

в. Шкідливі фактори, які можуть виникнути в процесі експлуатації системи автоматичного керування зволоженням зерна:

1. Шум. В процесі роботи система автоматичного керування зволоженням зерна може створювати шум, який може бути шкідливим для здоров'я людей. Для уникнення цього необхідно використовувати обладнання, яке відповідає встановленим нормам шуму.

2. Запилення. В процесі роботи система автоматичного керування зволоженням зерна може виділяти частинки, які можуть бути шкідливими для здоров'я людей. Для уникнення цього необхідно використовувати обладнання, яке відповідає встановленим нормам викидів.

3. Забруднення повітря. В процесі роботи система автоматичного керування зволоженням зерна може забруднювати повітря шкідливими речовинами. Для уникнення цього необхідно використовувати обладнання, яке відповідає встановленим нормам викидів.

6.2 Інженерно – технічні заходи з охорони праці

Оцінка ймовірності отримання травми

Небезпека електротравми може бути оцінена за формулою:

$$P = 1 - (1 - p_1)(1 - p_2)(1 - p_3)...(1 - p_n) \quad (6.1)$$

де: P - ймовірність отримання електротравми; p_i - ймовірність того, що i -тий фактор не призведе до електротравми; n - кількість факторів, які можуть призвести до електротравми.

У разі системи автоматичного керування зволоженням зерна факторами, які можуть призвести до електротравми, є:

а. Несправність ізоляції електричних проводів і приладів.

Ізоляція електричних проводів і приладів є одним з найважливіших факторів, що впливають на ймовірність електротравми. Несправна ізоляція може призвести до короткого замикання, що може спричинити ураження електричним струмом.

Ймовірність того, що ізоляція електричних проводів і приладів не буде пошкоджена, можна оцінити за формулою:

$$p_1 = 1 - (1 - p_{11})(1 - p_{12})(1 - p_{13}) \dots (1 - p_{1n}) \quad (6.2)$$

де: p_1 - ймовірність того, що ізоляція не буде пошкоджена; p_{11} - ймовірність того, що ізоляція буде виготовлена з якісних матеріалів; p_{12} - ймовірність того, що ізоляція буде правильно встановлена; p_{13} - ймовірність того, що ізоляція не буде пошкоджена під час експлуатації.

Ймовірність того, що ізоляція буде виготовлена з якісних матеріалів, можна оцінити за даними виробника. Ймовірність того, що ізоляція буде правильно встановлена, можна оцінити за результатами контролю якості. Ймовірність того, що ізоляція не буде пошкоджена під час експлуатації, можна оцінити за результатами випробувань.

б. Пошкодження заземлення.

Заземлення є важливою частиною системи електробезпеки. Воно забезпечує відведення електричного струму в землю в разі короткого замикання. Пошкоджене заземлення може призвести до ураження електричним струмом.

Ймовірність того, що заземлення буде справним, можна оцінити за формулою:

$$p_2 = 1 - (1 - p_{21})(1 - p_{22})(1 - p_{23}) \dots (1 - p_{2n}) \quad (6.3)$$

де: p_2 - ймовірність того, що заземлення буде справним; p_{21} - ймовірність того, що заземлюючі провідники будуть виготовлені з якісних матеріалів; p_{22} - ймовірність того, що заземлюючі провідники будуть правильно з'єднані; p_{23} - ймовірність того, що заземлюючі провідники не будуть пошкоджені під час експлуатації.

Імовірність того, що заземлюючі провідники будуть виготовлені з якісних матеріалів, можна оцінити за даними виробника. Імовірність того, що заземлюючі провідники будуть правильно з'єднані, можна оцінити за результатами контролю якості. Імовірність того, що заземлюючі провідники не будуть пошкоджені під час експлуатації, можна оцінити за результатами випробувань.

в. Неправильне використання електричного обладнання.

Неправильне використання електричного обладнання може призвести до електротравми. До неправильного використання електричного обладнання відносяться такі дії:

1. Імовірність того, що електричне обладнання буде використовуватися правильно, можна оцінити за результатами навчання персоналу з електробезпеки.

Припустимо, що ймовірність того, що ізоляція електричних проводів і приладів буде виготовлена з якісних матеріалів, становить 0,9, ймовірність того, що вона буде правильно встановлена, становить 0,9, а ймовірність того, що вона не буде пошкоджена під час експлуатації, становить 0,9. Імовірність того, що заземлюючі провідники будуть виготовлені з якісних матеріалів, становить 0,9, ймовірність того, що вони будуть правильно з'єднані, становить 0,9, а ймовірність того, що вони не будуть пошкоджені під час експлуатації, становить 0,9. Імовірність того, що персонал буде використовувати електричне обладнання правильно, становить 0,9. Тоді ймовірність того, що не відбудеться електротравма, становитиме:

$$P = 1 - (1 - 0,9)(1 - 0,9)(1 - 0,9)(1 - 0,9)(1 - 0,9)(1 - 0,9) \quad (6.4)$$

$$P = 1 - (0,1)(0,1)(0,1)(0,1)(0,1)(0,1) = 1 - 0,000001 = 0,999999.$$

Тобто, ймовірність того, що не відбудеться електротравма, становить 99,9%.

2. Несправності механічних елементів системи.

Несправності механічних елементів системи можуть призвести до її поломки або травмування персоналу. До таких несправностей відносяться:

- несправність датчиків;
- несправність виконавчих механізмів;
- несправність систем регулювання;
- несправність систем безпеки.

Несправності механічних елементів системи можна оцінити за допомогою методів статистичної обробки даних про їх ремонт і заміну.

Припустимо, що за останній рік було замінено 10 датчиків з загальної кількості 1000 датчиків. Тоді ймовірність того, що датчик вийде з ладу протягом року, становить:

$$P = 10 / 1000 = 0,01$$

Тобто, ймовірність того, що датчик вийде з ладу протягом року, становить 1%.

Еквівалентний рівень шуму (L_{eq}) - це рівень шуму, який має таку ж енергію, як і шум, який змінюється в часі. Він визначається за формулою:

$$L_{eq} = 1/T \int L(t) dt \quad (6.5)$$

де: L_{eq} - еквівалентний рівень шуму, дБА; $L(t)$ - поточний рівень шуму, дБА; T - тривалість вимірювань, с.

Для проведення розрахунку еквівалентного рівня шуму необхідно провести вимірювання шуму в робочій зоні системи автоматичного керування зволоженням зерна. Вимірювання необхідно проводити в трьох точках, розташованих на відстані 1,5 м від робочого місця оператора. Вимірювання необхідно проводити протягом 8 годин робочого дня.

Результати вимірювань шуму в робочій зоні системи автоматичного керування зволоженням зерна такі:

Час, с | Рівень шуму, дБА.

0 | 80;

60 | 90;

720 | 70.

Тоді еквівалентний рівень шуму становитиме:

$$L_{eq} = 1/8 \int (80 + 90 + 70) dt = 1/8 * 640 = 80 \text{ дБА.}$$

Ризик виникнення травми - це ймовірність того, що внаслідок певної події або дії відбудеться травма. Він визначається за формулою:

$$R = P * F \quad (6.6)$$

де: R - ризик виникнення травми; P - ймовірність події або дії, що може призвести до травми; F - тяжкість травми.

Для оцінки ризиків виникнення травми необхідно оцінити ймовірність події або дії, що може призвести до травми, а також тяжкість травми.

Припустимо, що ймовірність того, що працівник отримає травму внаслідок зіткнення з рухомою частиною системи автоматичного керування зволоженням зерна, становить 0,01. Тяжкість травми при такому зіткненні може становити 10 балів за шкалою тяжкості травм. Тоді ризик виникнення травми становитиме:

$$R = 0,01 * 10 = 0,1.$$

Тобто, ризик виникнення травми внаслідок зіткнення з рухомою частиною системи автоматичного керування зволоженням зерна становить 1%.

Також необхідно вжити наступні заходи з охорони праці:

а. Регулярний огляд і ремонт робочих органів механізмів Цей захід обґрунтований тим, що зношування або пошкодження робочих органів механізмів є однією з основних причин їх поломок. Регулярний огляд і ремонт допоможуть виявити і усунути зношування або пошкодження на ранніх стадіях, що дозволить уникнути поломок і запобігти травмам. Ймовірність того, що робочий орган механізму вийде з ладу протягом року, становить 1%. Якщо регулярно проводити огляд і ремонт, то ймовірність того, що робочий орган механізму вийде з ладу, можна зменшити до 0,01%. Це означає, що ризик поломки робочого органу механізму зменшиться в 10 разів.

б. Використання захисних кожухів і огорож для рухомих частин механізмів. Рухомі частини механізмів є одними з основних джерел травматизму. Захисні кожухи і огорожі допоможуть запобігти травмам в разі поломки робочого органу. Ймовірність того, що працівник отримає травму внаслідок зіткнення з рухомою частиною механізму, становить 0,01. Якщо

використовувати захисні кожухи і огорожі, то ймовірність отримання травми можна зменшити до 0,001%. Це означає, що ризик травмування персоналу зменшиться в 10 разів.

в. Навчання персоналу з техніки безпеки. Персонал повинен бути обізнаний про потенційні небезпеки, пов'язані з експлуатацією системи, і про те, як їх уникнути. Навчання з техніки безпеки допоможе персоналу усвідомити потенційні небезпеки і вжити заходів для їх запобігання. Ймовірність того, що працівник отримає травму внаслідок незнання правил техніки безпеки, становить 0,01. Якщо проводити навчання з техніки безпеки, то ймовірність отримання травми можна зменшити до 0,001%. Це означає, що ризик травмування персоналу зменшиться в 10 разів.

г. Використання резервних датчиків і виконавчих механізмів. Наявність резервних датчиків і виконавчих механізмів забезпечить безперервну роботу системи в разі несправності одного з елементів. Це допоможе уникнути травмування персоналу або пошкодження системи. Ймовірність того, що датчик або виконавчий механізм вийде з ладу протягом року, становить 1%. Якщо використовувати резервні датчики і виконавчі механізми, то ймовірність того, що система перестане працювати, зменшиться до 0,001%. Це означає, що ризик зупинки системи зменшиться в 100 разів.

6.3 Протипожежна профілактика

Система автоматичного керування зволоженням зерна є складним технічним пристроєм, який може бути джерелом пожежі в разі неналежного обслуговування та експлуатації.

Основні причини пожеж в системах автоматичного керування зволоженням зерна:

– Електричні короткі замикання. Це найпоширеніша причина пожеж в таких системах. Короткі замикання можуть виникнути внаслідок пошкодження ізоляції електричних проводів, а також через неправильне використання електричного обладнання.

а. Перегрівання електрообладнання. Перегрівання може виникнути внаслідок неправильної експлуатації електрообладнання, а також через несправність систем охолодження.

б. Вигорання ізоляції електрообладнання. Вигорання ізоляції може виникнути внаслідок коротких замикань, а також внаслідок старіння ізоляції.

в. Пошкодження обладнання. Пошкодження обладнання може призвести до пожежі, якщо обладнання не буде негайно відключено від електромережі.

г. Невідповідність системи пожежним нормам. Невідповідність системи пожежним нормам може призвести до пожежі в разі виникнення пожежі в приміщенні, де встановлена система.

Заходи пожежної профілактики системи автоматичного керування зволоженням зерна:

- регулярний огляд і ремонт, регулярний огляд і ремонт допоможе виявити і усунути потенційні пожежні небезпеки на ранніх стадіях;

- використання якісного обладнання, при виборі обладнання для системи автоматичного керування зволоженням зерна необхідно враховувати пожежні норми;

- правильне використання обладнання, персонал, який обслуговує систему, повинен бути навчений правилам пожежної безпеки;

- наявність системи пожежогасіння, система пожежогасіння повинна бути здатна швидко і ефективно локалізувати або ліквідувати пожежу;

- регулярно проводити огляд електричних проводів і обладнання на предмет пошкодження ізоляції;

- забезпечити правильну циркуляцію повітря в приміщенні, де встановлена система;

- не допускати використання електрообладнання в умовах підвищеної вологості або забрудненості;

- не допускати використання електрообладнання з пошкодженою ізоляцією;

- встановити систему пожежогасіння, яка відповідає пожежним нормам;
- дотримання цих заходів допоможе знизити ризик пожежі в системі автоматичного керування зволоженням зерна і забезпечити безпеку персоналу;
- встановлення системи пожежної сигналізації;
- наявність запасу вогнегасників і інших засобів пожежогасіння;
- навчання персоналу з техніки безпеки, включаючи пожежну безпеку.

6.3.1 Розрахунок пожежної сигналізації для системи автоматичного керування зволоженням зерна:

Дані:

- площа приміщення, де встановлена система, становить 100 м².
- висота приміщення становить 5 м.

В приміщенні встановлені такі типи пожежних сповіщувачів:

- димовий сповіщувач: площа зони виявлення становить 100 м².
- температурний сповіщувач: площа зони виявлення становить 50 м².

Кількість димових сповіщувачів:

$$\begin{aligned} \text{Кількість} &= \text{Площа приміщення} / \text{Площа зони виявлення} = \\ &= 100 \text{ м}^2 / 100 \text{ м}^2 = 1 \text{ шт.} \end{aligned}$$

Кількість температурних сповіщувачів:

$$\begin{aligned} \text{Кількість} &= \text{Площа приміщення} / \text{Площа зони виявлення} = \\ &= 100 \text{ м}^2 / 50 \text{ м}^2 = 2 \text{ шт.} \end{aligned}$$

Для забезпечення пожежної безпеки системи автоматичного керування зволоженням зерна в приміщенні необхідно встановити 1 димовий і 2 температурних сповіщувачів.

6.3.2 Розрахунок оцінки ризику виникнення надзвичайної ситуації

Дані:

- рівень пожежної небезпеки приміщення становить 2;
- вміст горючих матеріалів у приміщенні становить 50 кг/м³;
- наявність перешкод для поширення сигналу від сповіщувачів до приймально-контрольного пристрою відсутня.

Розрахунок ймовірності виникнення пожежі:

$$\text{Ймовірність} = 1 / (1 + 100 * t / T) \quad (6.7)$$

де: t - час безперервної роботи системи, год; T - встановлений межа безперервної роботи системи, год.

Припустимо, що встановлений межа безперервної роботи системи становить 1000 год. Тоді ймовірність виникнення пожежі за час роботи системи становить:

$$\text{Ймовірність} = 1 / (1 + 100 * 1000 / 1000) = 1 / (1 + 100) = 0,01$$

6.3.3 Розрахунок тяжкості наслідків пожежі:

$$\text{Тяжкість} = m * g, \quad (6.8)$$

де: m - маса горючих матеріалів у приміщенні, кг; g - коефіцієнт тяжкості наслідків пожежі.

Припустимо, що коефіцієнт тяжкості наслідків пожежі становить 10. Тоді тяжкість наслідків пожежі становить:

$$\text{Тяжкість} = 50 * 10 = 500.$$

Оцінка ризику виникнення пожежі:

$$\text{Ризик} = \text{Ймовірність} * \text{Тяжкість}.$$

Тоді ризик виникнення пожежі становить:

$$\text{Ризик} = 0,01 * 500 = 5.$$

Ризик виникнення пожежі в системі автоматичного керування зволоженням зерна становить 5. Це означає, що ймовірність того, що впродовж 1000 год роботи системи виникне пожежа, становить 1%. Тяжкість наслідків пожежі в разі її виникнення буде значною.

Розробка порядку евакуації оператора, який керує системою автоматичного керування зволоженням зерна.

Евакуація оператора, який керує системою автоматичного керування зволоженням зерна, повинна проводитися у разі виникнення пожежі або іншої надзвичайної ситуації.

Порядок евакуації:

- оператор повинен негайно зупинити роботу системи;
- оператор повинен повідомити про пожежу або іншу надзвичайну ситуацію за номером 112;
- оператор повинен евакуюватися з приміщення;

Евакуація оператора повинна проводитися в наступній послідовності:

- оператор повинен вимкнути систему управління;
- оператор повинен вимкнути електроживлення системи;
- оператор повинен вийти з приміщення через евакуаційні виходи;
- евакуаційні виходи з приміщення повинні бути вільними від перешкод;

- евакуація оператора повинна проводитися у найкоротші терміни;

Під час евакуації оператор повинен дотримуватися наступних правил:

- не панікувати;
- не затримуватися в приміщенні;
- допомогти евакуюватися іншим особам, які перебувають у приміщенні.

Після евакуації оператор повинен перебувати у безпечному місці до прибуття рятувальних служб.

6.4 Висновки до розділу

В розділі охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях було проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів при технологічному процесі зволоження зерна, розроблено відповідні інженерно-технічні заходи з охорони праці, розглянуті питання протипожежної профілактики.

ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота пройшла апробацію на XI Міжнародній науково-технічній конференції[18] студентів, аспірантів та молодих вчених «МОЛОДЬ: НАУКА ТА ІННОВАЦІЇ». Секція Кіберфізичні та інформаційно-вимірювальні системи, НТУ «Дніпровська політехніка», 23 листопада 2023 року.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи складено висновки:

Для системи автоматичного керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2 обрано комплекс технічних засобів на базі мікропроцесорного контролеру VІРА 200, виконано розробку технічних документів.

Для машини інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2 по каналу витрата води (Q) на вході – вологість зерна (W_k) на виході передаточна характеристика моделі об'єкту являє собою аперіодичну ланку першого порядку з запізненням 45 секунд. Дослідження моделі об'єкту за допомогою П-подібного впливу показало симетричність моделі, та відсутність інтегруючої складової. Дослідження значень параметрів об'єкта керування графічним методом по вихідній характеристиці після подачі вхідного сигналу визначило наступне: значення часу наростання складає приблизно 150 с., значення часу встановлення складає приблизно 300 с., перерегулювання відсутнє.

Для автоматичної системи керування машиною інтенсивного зволоження зерна по каналу витрата води (Q) на вході – вологість зерна (W_k) на виході було визначено структуру та параметри регулятора, оцінено роботу системи керування згідно з висунутим критерієм, визначено допустиму межу зміни коефіцієнту підсилення «к» при впливі збурення на вихідний параметр системи керування.

Дія збурення на об'єкт керування впливає на вихідний параметр системи керування, та залежить від знаку та значення збурення. Для об'єкта керування з коефіцієнтом підсилення « $k=0.0167$ » збурення критично впливає на вихідний параметр системи керування при негативному знаку зі значенням 2.25 % та

більше. Позитивне значення збурення від нуля до значення 2.0 % вологості зерна не впливає на вихідний параметр системи керування.

Дія збурення на об'єкт керування має вплив, ще більше при зниженні коефіцієнту підсилення «к» об'єкта керування. Критичне найменше значення коефіцієнту підсилення «к» сягає $k=0.01$. Вже при цьому значенні коефіцієнту підсилення «к» система керування не має запасу стійкості при відсутності впливу негативного збурення на об'єкт керування. Хоча відхилення значення вологості зерна на виході системи не перевищує порогового значення, но зобов'язує виконати заново розрахунок регулятора системи керування.

Розроблено цифрову модель системи керування, що розділено на модель регулятора та модель об'єкта керування. Використовуючи функції середовища Matlab отримано програмний код моделей регулятора та об'єкту керування на мові програмування Structured Text. Розроблено програмне забезпечення системи керування для програмованого логічного контролера VIPA, для SCADA системи технологічного процесу розроблено людино машинний інтерфейс. Виконано контроль та перевірку функціонування розробленого прикладного програмного забезпечення.

В економічному розділі розрахунок показує, що при впровадженні системи автоматизованого зволоження зерна капітальні витрати та річні експлуатаційні витрати, пов'язані з впровадженням системи складають 897 тис. грн., очікуваний термін окупності 3,59 року, впровадження автоматизованої системи керування є економічно вигідно.

В розділі охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях було проведено аналіз шкідливих та небезпечних факторів при технологічному процесі зволоження зерна, розроблено відповідні інженерно-технічні заходи з охорони праці, розглянуті питання протипожежної профілактики.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Єремєєва О. А., Харченко Є. І., Любич В. В. Технологічні процеси переробки зерна пшениці в борошно: моногр. / Київ, 2021. 160 с.; іл.
2. Перегуда М.А., Харченко Є.І. Технологія борошномельного виробництва: Конспект лекцій для студ. за напрямом підготовки 6.051701 «Харчові технології та інженерія» спец. «Технологія зберігання та переробки зерна» всіх форм навч. – К.: НУХТ, 2011. – 80 с.
3. Єгоров Г.А. Технологія борошна. Практичний курс. – К.– 2007.– 143 с.
4. Конспект лекцій «Загальні технології харчових виробництв» для студентів спеціальності 181 «Харчові технології» / Трач Л.О.– Гусятин: ГК ТНТУ, 2017. – с.291
5. Домарецький В.А., Остапчук М.В., Українець А.І. Технологія харчових продуктів. К., НУХТ 2003. - 572 с.
6. Технологічне обладнання зернопереробних і олійних виробництв. Дацишин О.В. Та інші. – Вінниця: Нова книга, 2009. – 480с.
7. НВП «Мікрорадар». – режим доступу: <http://www.microradar.com/>
8. Belimo. – режим доступу: <http://belimo.com.ua/>
9. VIPA. – режим доступу: <https://vipa.com.ua/contact.html>
10. Алексейчук А.А., Грепенюк Е.А., Іцкович Е.Л. Сучасні АСУП: їх вибір для конкретних підприємств // Промислові АСУ та контролери.- 2003. - №6.
11. Іцкович Е.Л. Вибір пакета візуалізації вимірювальної інформації (SCADA - програми для конкретної системи автоматизації виробництва) // Прилади і системи управління. - 1996. - №10.
12. Різьбярів А.Ф. і ін. Моделі і алгоритми постановки задач розробки АСУ промисловими об'єктами // Пісу. - 2006. - №9. - С. 64-67.
13. «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості на небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу». № 528 - 2001.
14. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні.

15. Охорона праці в галузі. Конспект лекцій для студентів Інституту електроенергетики. / Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», 2013. – 86 с.

16. Методичні рекомендації з виконання заходів стосовно охорони праці при роботі з ПЕОМ та розрахунку освітлення у дипломних проектах студентів усіх спеціальностей/ Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Ю.І. Чеберячко, М.Ю. Іконніков. - Дніпропетровськ: ДВНЗ «Національний гірничий університет», 2013.- 12 с.

17. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою.

18. Boiko V. Research and synthesis of an automatic control system for grain moistening / Boiko V., Sosnin K. // Молодь: наука та інновації: матеріали XI Міжнародної науково-технічної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених, Дніпро, 22–24 листопада 2023 року / Національний технічний університет «Дніпровська політехніка» – Дніпро : НТУ «ДП», 2023 – с.

Програмні модулі системи керування

A.1 Модуль об'єкта керування

```

(*)
*
* File: DigitalBoikoV.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"DigitalBoikoV/Subsystem1"
*
* Model name           : DigitalBoikoV
* Model version        : 1.78
* Model creator        : Student
* Model last modified by : Student
* Model last modified on  : Fri Dec 01 14:15:45 2023
* Model sample time    : 0s
* Subsystem name       : DigitalBoikoV/Subsystem1
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on   : Sat Dec 02 11:20:18 2023
*
* Target IDE selection   : ZenonIDE
* Test Bench included    : No
*
*)
FUNCTION_BLOCK Subsystem1
VAR_INPUT
    ssMethodType: SINT;
    bi_Input: LREAL;
END_VAR
VAR_OUTPUT
    bo_Output: LREAL;
END_VAR
VAR
    _states: LREAL;
    _DSTATE: ARRAY [0..449] OF LREAL;
END_VAR
VAR_TEMP
    k: DINT;
    i: DINT;
END_VAR
CASE ssMethodType OF

```

SS_INITIALIZE:

(* InitializeConditions for Delay: '<S1>/Затримка' *)

FOR i := 0 TO 449 DO

 _DSTATE[i] := 0.0;

END_FOR;

(* End of InitializeConditions for Delay: '<S1>/Затримка' *)

(* InitializeConditions for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування у цифровій формі' *)

 _states := 0.0;

SS_STEP:

(* Output: '<Root>/bo_Output' incorporates:

 * Constant: '<S1>/Початкове значення вологості зерна, %'

 * Delay: '<S1>/Затримка'

 * Sum: '<S1>/Sum4' *)

bo_Output := 13.0 + _DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Затримка' incorporates:

 * DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування у цифровій формі' *)

FOR k := 0 TO 448 DO

 _DSTATE[k] := _DSTATE[k + 1];

END_FOR;

_DSTATE[449] := 2.31783446458311E-5 * _states;

(* End of Update for Delay: '<S1>/Затримка' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування у цифровій формі' incorporates:

 * Update for Inport: '<Root>/bi_Input' *)

 _states := bi_Input - (-0.998612075170908 * _states);

END_CASE;

END_FUNCTION_BLOCK

VAR_GLOBAL CONSTANT

 SS_INITIALIZE: SINT := 0;

 SS_STEP: SINT := 1;

END_VAR

VAR_GLOBAL

END_VAR

A.2 Модуль регулятора

```
(*
*
* File: DigitalBoikoV.exp
*
* IEC 61131-3 Structured Text (ST) code generated for subsystem
"DigitalBoikoV/Subsystem"
*
* Model name           : DigitalBoikoV
* Model version        : 1.78
* Model creator        : Student
* Model last modified by : Student
* Model last modified on  : Fri Dec 01 14:15:45 2023
* Model sample time    : 0s
* Subsystem name       : DigitalBoikoV/Subsystem
* Subsystem sample time : 0.1s
* Simulink PLC Coder version : 1.6 (R2013b) 08-Aug-2013
* ST code generated on   : Sat Dec 02 11:23:29 2023
*
* Target IDE selection  : ZenonIDE
* Test Bench included   : No
*
*)
```

```
FUNCTION_BLOCK Subsystem
```

```
VAR_INPUT
```

```
    ssMethodType: SINT;
```

```
    bi_Error: LREAL;
```

```
END_VAR
```

```
VAR_OUTPUT
```

```
    bo_Output: LREAL;
```

```
END_VAR
```

```
VAR
```

```
    _DSTATE: LREAL;
```

```
END_VAR
```

```
VAR_TEMP
```

```
    rtb_u: LREAL;
```

```
    rtb_Saturation1: LREAL;
```

```
END_VAR
```

```
CASE ssMethodType OF
```

```
    SS_INITIALIZE:
```

```
        (* InitializeConditions for DiscreteIntegrator: '<S1>/Интегрирующа складова' *)
```

```
        _DSTATE := 0.0;
```

SS_STEP:

```
(* Gain: '<S1>/Пропорційна складова' incorporates:
 * DiscreteIntegrator: '<S1>/Інтегруюча складова'
 * Inport: '<Root>/bi_Error'
 * Sum: '<S1>/Sum21' *)
rtb_u := (_DSTATE + bi_Error) * 47.3;

(* Saturate: '<S1>/Saturation1' *)
IF rtb_u >= 240.0 THEN
  rtb_Saturation1 := 240.0;
ELSIF rtb_u > 0.0 THEN
  rtb_Saturation1 := rtb_u;
ELSE
  rtb_Saturation1 := 0.0;
END_IF;
(* End of Saturate: '<S1>/Saturation1' *)

(* Output: '<Root>/bo_Output' *)
bo_Output := rtb_Saturation1;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Інтегруюча складова' incorporates:
 * Gain: '<S1>/Ti'
 * Inport: '<Root>/bi_Error'
 * Sum: '<S1>/Sum2'
 * Sum: '<S1>/Sum9' *)
_DSTATE := (((rtb_Saturation1 - rtb_u) + (0.014409221902017291 * bi_Error))
* 0.1) + _DSTATE;
END_CASE;
END_FUNCTION_BLOCK
VAR_GLOBAL CONSTANT
  SS_INITIALIZE: SINT := 0;
  SS_STEP: SINT := 1;
END_VAR
VAR_GLOBAL
END_VAR
```

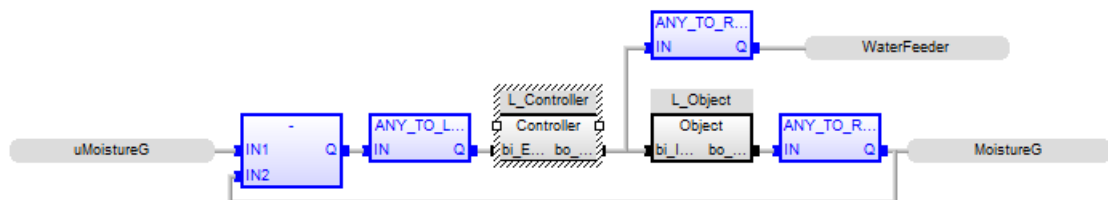
Програмне забезпечення системи керування

Б.1 Програмне забезпечення об'єкта керування**Б.1.1 Перелік програм**

[FBD] Main (* Основна програма *)

[ST] Object (* Об'єкт керування *)

[ST] Controller (* Засіб керування *)

Б.1.2 Основна програма**Б.1.3 Об'єкт керування**

(* Output: '<Root>/bo_Output' incorporates:

* Constant: '<S1>/Початкове значення вологості зерна, %'

* Delay: '<S1>/Затримка'

* Sum: '<S1>/Sum4' *)

bo_Output := 13.0 + _DSTATE[0];

(* Update for Delay: '<S1>/Затримка' incorporates:

* DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування у цифровій формі' *)

FOR k := 0 TO 448 DO

_DSTATE[k] := _DSTATE[k + 1];

END_FOR;

_DSTATE[449] := 2.31783446458311E-5 * _states;

(* End of Update for Delay: '<S1>/Затримка' *)

(* Update for DiscreteTransferFcn: '<S1>/Об'єкт керування у цифровій формі' incorporates:

* Update for Inport: '<Root>/bi_Input' *)

_states := bi_Input - (-0.998612075170908 * _states);

Б.1.4 Засіб керування

(* Gain: '<S1>/Пропорційна складова' incorporates:

* DiscreteIntegrator: '<S1>/Інтегруюча складова'

* Inport: '<Root>/bi_Error'

* Sum: '<S1>/Sum21' *)

rtb_u := (_DSTATE + bi_Error) * 47.3;

(* Saturate: '<S1>/Saturation1' *)

IF rtb_u >= 240.0 THEN

 rtb_Saturation1 := 240.0;

ELSIF rtb_u > 0.0 THEN

 rtb_Saturation1 := rtb_u;

ELSE

 rtb_Saturation1 := 0.0;

END_IF;

(* End of Saturate: '<S1>/Saturation1' *)

(* Outport: '<Root>/bo_Output' *)

bo_Output := rtb_Saturation1;

(* Update for DiscreteIntegrator: '<S1>/Інтегруюча складова' incorporates:

* Gain: '<S1>/Ti'

* Inport: '<Root>/bi_Error'

* Sum: '<S1>/Sum2'

* Sum: '<S1>/Sum9' *)

 _DSTATE := (((rtb_Saturation1 - rtb_u) + (0.014409221902017291 * bi_Error))
* 0.1) + _DSTATE;

Б.1.5 Перелік змінних

Global variables

MoistureG

REAL

Embedded: <Symbol>

uMoistureG

REAL

Embedded: <Symbol>

WaterFeeder

REAL

Embedded: <Symbol>

Main

l_Controller

Controller

l_Object

Object

Controller

bi_Error

REAL

bo_Output

REAL

_states

REAL

_DSTATE

REAL

rtb_Saturation1

REAL

rtb_u

REAL

_tmp

REAL

Object

bi_Input

REAL

bo_Output

REAL

_states

REAL

_DSTATE

REAL [0..449]

k

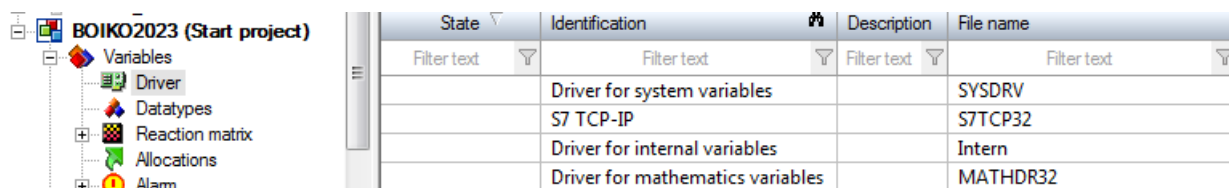
DINT

i

DINT

Програмне забезпечення людино-машинного інтерфейсу

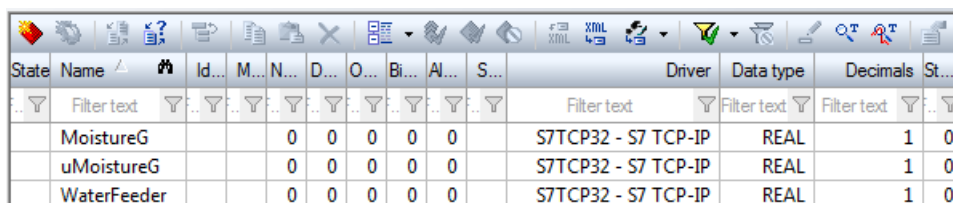
В.1 Драйвера



The screenshot shows a project tree on the left with the following items: BOIKO2023 (Start project), Variables, Driver, Datatypes, Reaction matrix, Allocations, and Alarm. The main window displays a table with the following data:

State	Identification	Description	File name
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	Driver for system variables		SYSDRV
	S7 TCP-IP		S7TCP32
	Driver for internal variables		Intern
	Driver for mathematics variables		MATHDR32

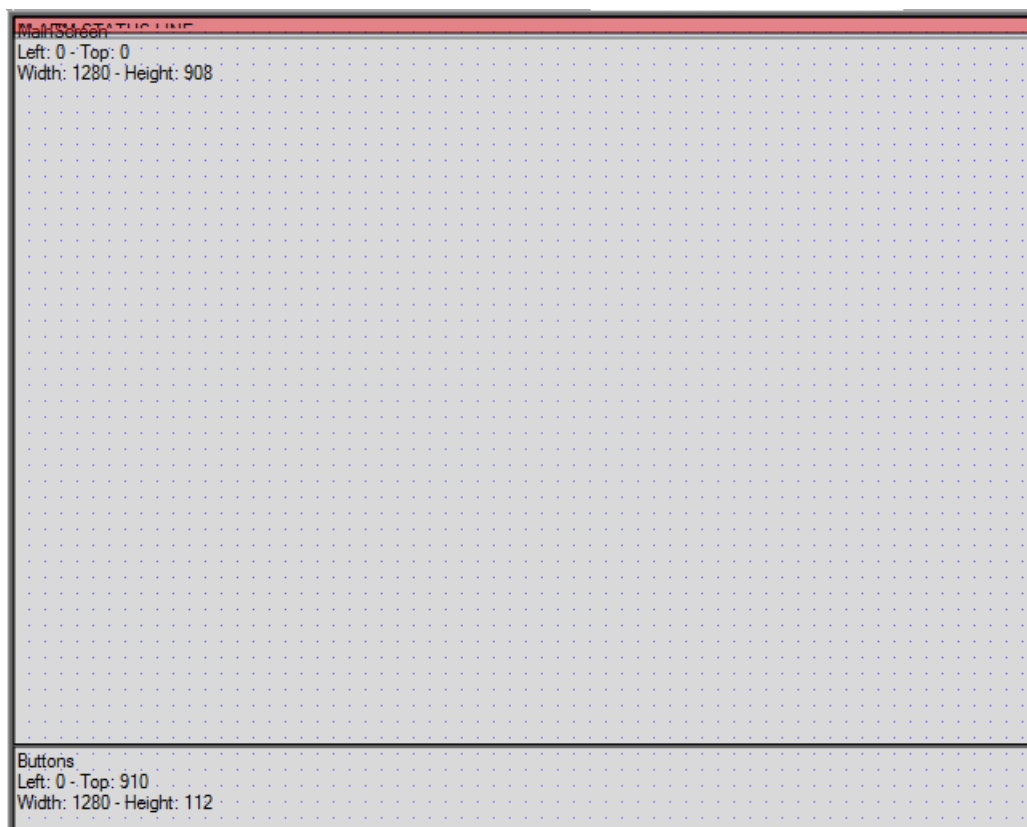
В.2 Перелік змінних

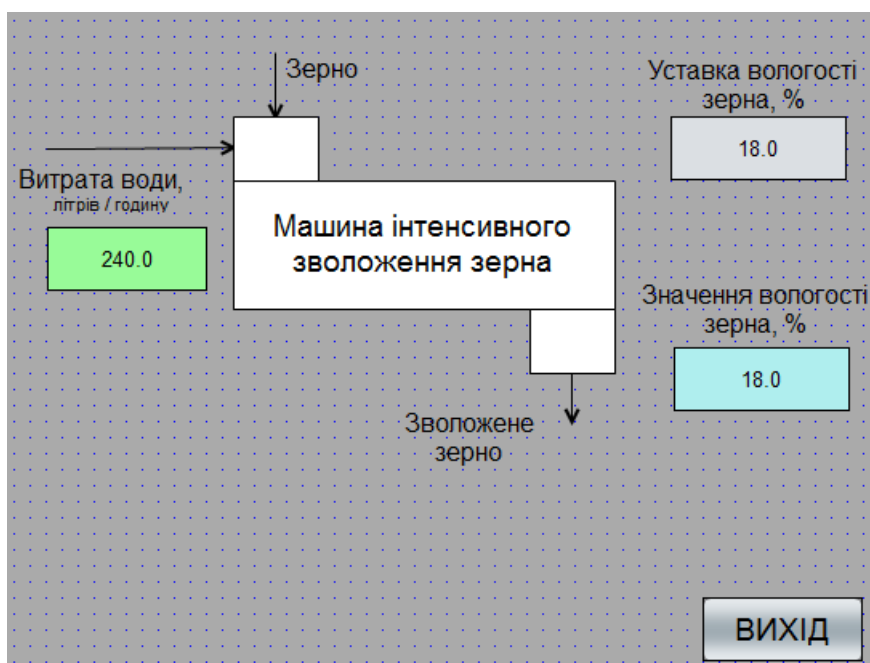
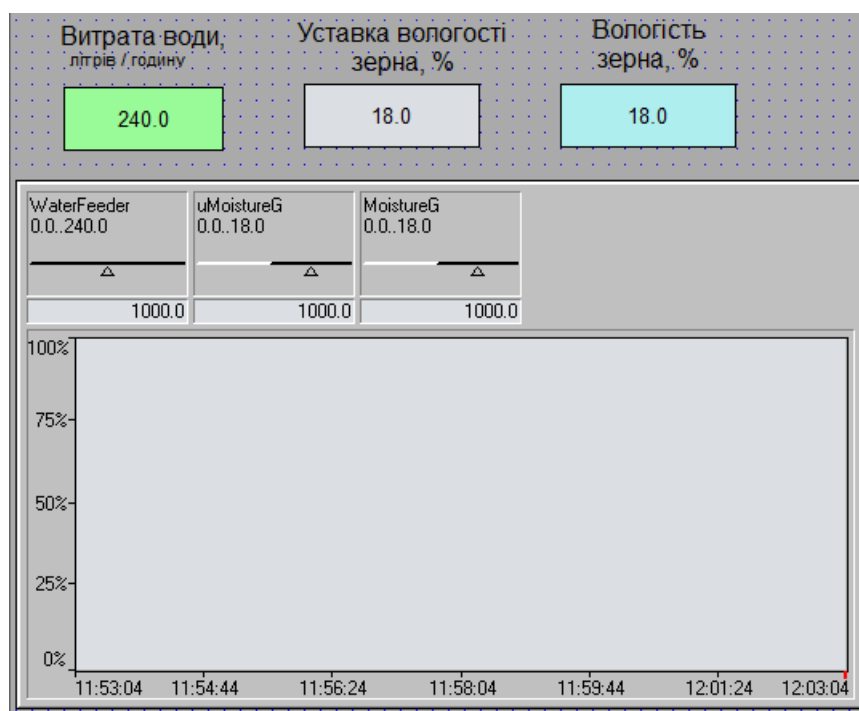


The screenshot shows a table with the following data:

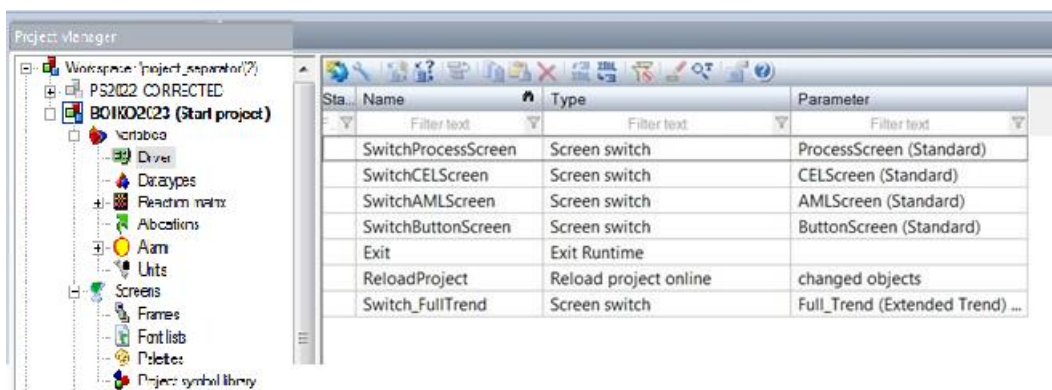
State	Name	Id...	M...	N...	D...	O...	Bi...	Al...	S...	Driver	Data type	Decimals	St...
Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text	Filter text
	MoistureG		0	0	0	0	0	0		S7TCP32 - S7 TCP-IP	REAL	1	0
	uMoistureG		0	0	0	0	0	0		S7TCP32 - S7 TCP-IP	REAL	1	0
	WaterFeeder		0	0	0	0	0	0		S7TCP32 - S7 TCP-IP	REAL	1	0

В.3 Шаблони зображень





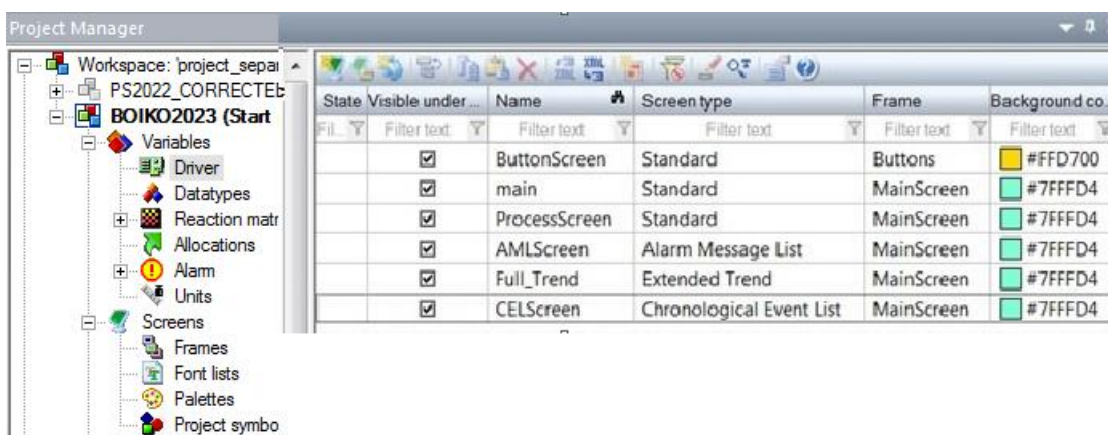
В.4 Функції



The screenshot shows the Project Manager interface. On the left, a tree view displays the project structure for 'BOIKO2023 (Start project)', including folders like 'Screens' and 'Frames'. On the right, a table lists various functions and their parameters.

Sta.	Name	Type	Parameter
	SwitchProcessScreen	Screen switch	ProcessScreen (Standard)
	SwitchCELScreen	Screen switch	CELScreen (Standard)
	SwitchAMLScreen	Screen switch	AMLScreen (Standard)
	SwitchButtonScreen	Screen switch	ButtonScreen (Standard)
	Exit	Exit Runtime	
	ReloadProject	Reload project online	changed objects
	Switch_FullTrend	Screen switch	Full_Trend (Extended Trend) ...

В.5 Зображення



The screenshot shows the Project Manager interface. On the left, a tree view displays the project structure for 'BOIKO2023 (Start project)', including folders like 'Screens' and 'Frames'. On the right, a table lists screen configurations and their background colors.

State	Visible under ...	Name	Screen type	Frame	Background co...
	<input checked="" type="checkbox"/>	ButtonScreen	Standard	Buttons	#FFD700
	<input checked="" type="checkbox"/>	main	Standard	MainScreen	#7FFFD4
	<input checked="" type="checkbox"/>	ProcessScreen	Standard	MainScreen	#7FFFD4
	<input checked="" type="checkbox"/>	AMLScreen	Alarm Message List	MainScreen	#7FFFD4
	<input checked="" type="checkbox"/>	Full_Trend	Extended Trend	MainScreen	#7FFFD4
	<input checked="" type="checkbox"/>	CELScreen	Chronological Event List	MainScreen	#7FFFD4

ВІДГУКИ КОНСУЛЬТАНТІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

ВІДГУК
на кваліфікаційну роботу ступеню магістра
на тему: “ Дослідження та синтез системи автоматичного керування
зволоженням зерна ”
студента групи 151м-22-1
Бойка Владислава Ігоровича

Тема кваліфікаційної роботи актуальна і безпосередньо близька професійній діяльності магістра спеціальності 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Оригінальність роботи полягає в отриманні моделі впливу збурення на вихідний параметр системи керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2 по каналу витрата води (Q) на вході – вологість зерна (W_k) на виході, що дозволяє визначити межове значення коефіцієнта підсилення «к» об'єкта керування як межу стійкості розробленої автоматичної системи керування.

Кваліфікаційна робота пройшла апробацію на XI Міжнародній науково-технічній конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «МОЛОДЬ: НАУКА ТА ІННОВАЦІЇ». Секція Кіберфізичні та інформаційно-вимірювальні системи, НТУ «Дніпровська політехніка», 23 листопада 2023 року.

Студент виконав роботу з добрим ступенем самостійності підтримуючи роботу з консультантами розділів. Праця студента над кваліфікаційною роботою підтвердила достатність знань та навиків у даній галузі знань. В цілому кваліфікаційна робота заслуговує оцінку _____ за умови відповідного захисту, а студент Бойко В.І. присвоєння йому кваліфікації «магістр» за спеціальністю 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Керівник кваліфікаційної роботи, доцент

К.В. Соснін

12.12.2023

РЕЦЕНЗІЯ

**на кваліфікаційну роботу ступеню магістра
на тему: “ Дослідження та синтез системи автоматичного керування
зволоженням зерна ”**

студента групи 151м-21-1

Бойка Владислава Ігоровича

Тема і зміст кваліфікаційної роботи відповідають перевірці знань і ступеня підготовленості магістра за спеціальністю 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Оформлення пояснювальної записки і графічних матеріалів кваліфікаційної роботи виконано відповідно до вимог ДСТУ.

Представлена робота на основі моделювання системи керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2 підтвердила наукове положення що дія збурення на вихідний параметр системи керування має прямопропорційний вплив, та залежить від знаку та значення збурення, а стійкість системи керування для протидії збуренню пропорційна коефіцієнту підсилення «к» об'єкта керування, та має нижнє межове значення « $k=0.01$ ».

Практичне значення роботи полягає у підвищенні якості керування машиною інтенсивного зволоження зерна марки А1-БШУ-2 по каналу витрата води на вході – вологість зерна на виході.

В цілому кваліфікаційна робота заслуговує оцінку «_____» за умови відповідного захисту, а студент Бойко В.І. присвоєння йому кваліфікації «магістр» за спеціальністю 151 “Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології”.

Рецензент

ЗАТВЕРДЖЕНО:

завідувачем кафедри

кіберфізичних та інформаційно-вимірювальних систем

_____ Бубліковим А.В.

«_____» _____ 2023 року

ВИСНОВОК

Про рівень запозичень у кваліфікаційній роботі магістра на тему “Дослідження та синтез системи автоматичного керування зволоженням зерна”, здобувача вищої освіти, групи 151м-22-1, Бойка Владислава Ігоровича.

Загальний обсяг кваліфікаційної роботи без переліку посилань складає 93 сторінки. Програмне забезпечення використане для перевірки роботи “<https://unichack.com>”. Рівень запозичень у роботі складає _____ %, що є меншим 40 % запозичень з однієї роботи та відповідає вимогам Положення про систему запобігання та виявлення плагіату у Національному технічному університеті «Дніпровська політехніка».

(підпис)

(дата)