



АВТОМАТИЗАЦІЯ ВИТОКУ ЗЕРНА З ПІДВАГОВОГО БУНКЕРУ

AUTOMATION OF GRAIN LEAKAGE FROM THE UNDER-WEIGHING HOPPER

Михайлов В. О.

Mykhailov V. O.

Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна

Odesa National University of Technology, Odesa, Ukraine

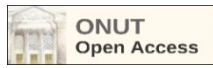
ORCID 0009-0007-0709-8169

E-mail rollzed27@gmail.com

Copyright © 2025 by author and the journal “Automation of technological and business – processes”.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



DOI: 10.15673/atbp.v17i2.3154

Анотація. Найважливішу роль у вирішенні державних завдань із забезпечення економічної та соціальної безпеки відіграє зернопереробний комплекс. Оскільки зерно також є стратегічним продуктом і експортується за кордон, дуже важливим є забезпечення умов його транспортування, в основному водним транспортом і збереження його споживних властивостей. Технологічний процес завантаження суден зерном вимагає якомога більшої стабільності за умови заданої продуктивності поточно-транспортної системи. Для забезпечення високої ефективності цього процесу ним треба керувати з використанням сучасних засобів автоматизації. Тому автоматизація процесу завантаження суден зерном є актуальним завданням. Розглянуто технологічний процес витоку зерна з підвагового бункера. Розроблено параметризовану, параметричну та координатну схему підвагового бункера як об'єкта керування. Конкретизовано основні регламенти. Проведено структурну і параметричну ідентифікацію моделі каналу перетворення дій об'єкта регулювання. Розроблено і параметрично оптимізовано алгоритми регулювання. Вибрано технічні засоби, за рахунок яких можна провести модернізацію обладнання. Розроблено технічну структуру мікропроцесорного ядра системи керування, здійснений вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу. В середовищі CoDeSys розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання. При виконанні роботи в середовищі SCADA-системи WinCCFlexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і налагоджувача САК процесом витоку зерна з підвагового бункера. Розроблено варіант комплексу технічної документації САК. Розглянуто питання техніки безпеки при монтажі, налагодженні та експлуатації розробленої системи.

Abstract. The grain processing complex plays the most important role in solving state tasks to ensure economic and social security. Since grain is also a strategic product and is exported abroad, it is very important to ensure the conditions for its transportation, mainly by water transport, and to preserve its consumer properties. The technological process of loading ships with grain requires the greatest possible stability given the set productivity of the flow-transport system. To ensure high efficiency of this process, it must be managed using modern automation tools. Therefore, automation of the process of loading ships with grain is an urgent task. The technological process of grain leakage from the under-weighing hopper is considered. A parameterized, parametric and coordinate scheme of the under-weighing hopper as a control object is developed. The main regulations are specified. A structural and parametric identification of the model of the channel for transforming the actions of the regulated object is carried out. Regulation algorithms are developed and parametrically optimized. Technical means are selected, due to which equipment can be modernized. The technical structure of the microprocessor core of the control system has been developed, the industrial controller and its input/output blocks have been selected. Programs that implement logical control and regulation algorithms have been developed in the CoDeSys environment. When performing work in the WinCCFlexible SCADA system environment, the software for the workstation of the operator and adjuster of the automatic control system for the process of grain leakage from the under-weighing hopper has been developed. A version of the set of technical documentation for the automatic control system has been developed. Safety issues during installation, adjustment and operation of the developed system have been considered.

Ключові слова: автоматизація, автоматичне керування, виток зерна, підваговий бункер, інваріантність до передісторії заданого значення.

Key words: automation, automatic control, grain leakage, under-weighing hopper, invariance to the prehistory of a set value.



Вступ. Найважливішу роль у вирішенні завдань із забезпечення економічної та соціальної безпеки будь-якої країни відіграє зернопереробний комплекс, що включає виробництво зернових культур та їх подальшу переробку. Зернопереробка має не тільки важливе соціально-економічне значення, а й політичне для розвитку національної економіки та забезпечення продовольчої безпеки держави. Зерно завжди належало до конкурентоспроможних продуктів на світовому ринку. Однією з характерних особливостей зернопереробка є те, що один і той же продукт може використовуватись за різними призначеннями.

Зернопереробний комплекс, будучи відкритою системою, взаємодіє з іншими сферами промисловості, споживаючи продукцію сполучених галузей (машинобудування, хімічна промисловість тощо), залучаючи ресурси фінансової системи та забезпечуючи цим задоволення потреб у продуктах харчування. Тобто, забезпечення ефективного розвитку цього сегмента дозволить найбільш повно задовольняти найперші потреби населення та стимулювати розвиток інших соціально-економічних систем.

Оскільки зерно не тільки фігурує в рамках внутрішнього споживання, але й експортується за кордон, дуже важливим є забезпечення умов його транспортування і збереження його споживних властивостей. В основному транспортування продукту забезпечується водним транспортом. Технологічний процес завантаження суден зерном вимагає якомога більшої стабільності за умови заданої продуктивності поточно-транспортної системи (ПТС). На практиці цей процес здійснюється вручну, - продуктивність конвеєрів, ступінь відкриття засувки тощо виставляються, керуючись досвідом оператора. Процес часто супроводжується нештатними зупинками ПТС з причини перевантаження лінії, просипання зерна тощо, тобто має низьку ефективність. Для підвищення ефективності процесу, зниження витрат через нештатні простоювання лінії, втрати зерна при транспортуванні тощо процесом завантаження суден зерном треба керувати з використанням сучасних засобів автоматизації. Тому, автоматизація процесу завантаження суден зерном є актуальним завданням.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми. Оскільки розглянуте питання є актуальним, багато дослідників займалися його вивченням. Так, А. Є. Єруланова та Г. К. Шадрин запропонували спосіб безперервного дозування сипких матеріалів шляхом порівняння сигналу ваговимірювача з сигналом задатчика продуктивності та наступним керуючим впливом на живильник, у якому вимірюють погонне навантаження сипкого матеріалу, порівнюють його із заданим, після чого подають керуючий сигнал на виконавчий механізм [1]. Компанія «Сімо» розробила систему обліку сипких матеріалів у потоці, яка містить можливість завдання кількості матеріалу, що відвантажується, індикацію ваги порції, автоматичне керування процесом дозування, підтримання продуктивності ваг, тензодатчиків, ваговий процесор для вимірювання та індикації поточної продуктивності ваг і значення маси матеріалів, що зважуються [2]. Компанія «Інновіпрот» винайшла можливість відвантаження заданої маси продукту встановленими дозами в автоматичному і напівавтоматичному режимах, видачі інформації про поточну та сумарну вагу продукту, що пройшов через ваги і кількість відвантажених доз на дисплей вагового терміналу та локальну мережу, можливість оперативного регулювання продуктивності ваг і зміни завдання ваги доз, включення ваг у систему кількісного та якісного обліку зернопродуктів на підприємстві [3]. Компанія «Grain capital» створила систему автоматичного керування зважуванням зерна, яка містить автоматичний облік зважуваної дози зерна за допомогою мікроконтролера, на який надходить інформація від тензодатчиків, забезпечуючи контроль стану ваг та дозволяючи проводити дозування і тарування [4]. Компанія «Ваговимірювальні системи» розробила спосіб автоматичного керування зважуванням зерна при його випуску з підвагового бункера, який містить регулювання маси зерна у підваговому бункері шляхом зміни положення його засувки [5]. Підприємство LLC "Hyperpress Technologies" виготовляє бункерні дозатори автоматичні АДМ-500/2 для дозування сипкого матеріалу на бетонних заводах, лініях для пресування цегли, лініях для вібропресування, лініях сортування, та як окрема одиниця для дозування інертних матеріалів. Дозатори можуть дозувати одночасно два інертних наповнювача на базі контролера з високою точністю. Транспортер встановлений на чотирьох тензодатчиках, що дозволяє точно вимірювати кількість матеріалу, містить автоматичну систему керування пневмоциліндрів [6]. НВП «Механотрон» запропонувало ваги бункерні «Норма-ТН1» для зважування сипких продуктів в потоці при неперервному русі продукту з транспортера або під час відбору з накопичувального бункера, які містять регулювання подачі, відбір заданої кількості продукту, облік кількості доз [7]. Американська компанія «COMPUWEIGH» запропонувала бункерні ваги з автоматичним пробовідбірником, який проводить перехресний відбір проб зерна без необхідності зупинки потоку [8]. В основу дії ваг, розроблених компанією Danvægt, покладено автоматичне переривчасте зважування. Подача продукту та розвантаження бункерів починається та припиняється автоматично під час зважування, контролюється за допомогою сигналів від тензодатчиків з індикацією роботи датчиків «порожній» і «повний» у бункерах. Система зважування забезпечує максимальну точність і швидкість зважування з урахуванням об'єму вагового бункера, швидкості вивантаження, кількості і виду матеріалу, а також вмісту вологи в ньому [9]. Недоліком розглянутих систем є низька точність дозування в результаті нестабільності подачі сипкого матеріалу в підваговий бункер.

В Одеському національному технологічному університеті, на кафедрі автоматизації технологічних процесів і робототехнічних систем запропоновано ефективну систему автоматичного керування процесом витоку зерна з підвагового бункера [10].

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є підвищення ефективності процесу витоку зерна з підвагового бункера шляхом компенсації нестабільності продуктивності поточно-транспортної системи.

Для досягнення поставленої мети вирішено такі завдання:



- аналіз процесу витоку зерна з підвагового бункера як об'єкту керування;
- розробка комплексу моделей процесу витоку зерна як об'єкту регулювання і проведення моделювання для підтвердження відповідності отриманих моделей експериментальним даним;
- розробка варіантів алгоритмів регулювання, проведення їх параметричної оптимізації, порівняльного аналізу САР, синтезу та аналізу САР підвищеної динамічної точності;
- складання регламенту функціонування та алгоритмів пуску-зупинки процесу;
- проведення вибору технічних засобів, які забезпечують належне керування процесом;
- розробка технічної структури мікропроцесорного ядра системи керування процесом витоку зерна з підвагового бункера;
- вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу;
- розробка програм, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання в середовищі CoDeSys;
- створення системи за допомогою середовища WinCCFlexible, розробка програмного забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесом витоку зерна з підвагового бункера;
- розробка комплекта технічної документації САК;
- розгляд питання безпечної експлуатації системи.

Методи і матеріали досліджень. Основним використаним методом дослідження є метод системного аналізу. Для ідентифікації моделей використано методи активного та пасивного експерименту, метод типової статистичної ідентифікації та інженерні методики ідентифікації моделі об'єкта керування (ОК). При синтезі САР було використано методи теорії автоматичного керування, а саме інженерні методики параметричного синтезу САР, оптимального параметричного синтезу, принцип інваріантності до передісторії заданого значення. Основним експериментальним методом обрано імітаційне моделювання.

Результати досліджень. На початку дослідження було проаналізовано технологічний процес витоку зерна з підвагового бункера. З ліній прийому зерна з залізничного транспорту продукт потрапляє в бункерні ваги ВБ 2 для зважування, з яких зерно (пшениця, ячмінь, ріпак, горох тощо) переміщується конвеєром КС5, після чого воно норією КН4 піднімається до конвеєра КС4 і транспортується в сепаратор СП для обробки зернових культур, потім потрапляє на конвеєр КЛ1 і з нього - в спеціальну судновантажну машину СПМ, через яку продукт надходить у трюми вантажного корабля.

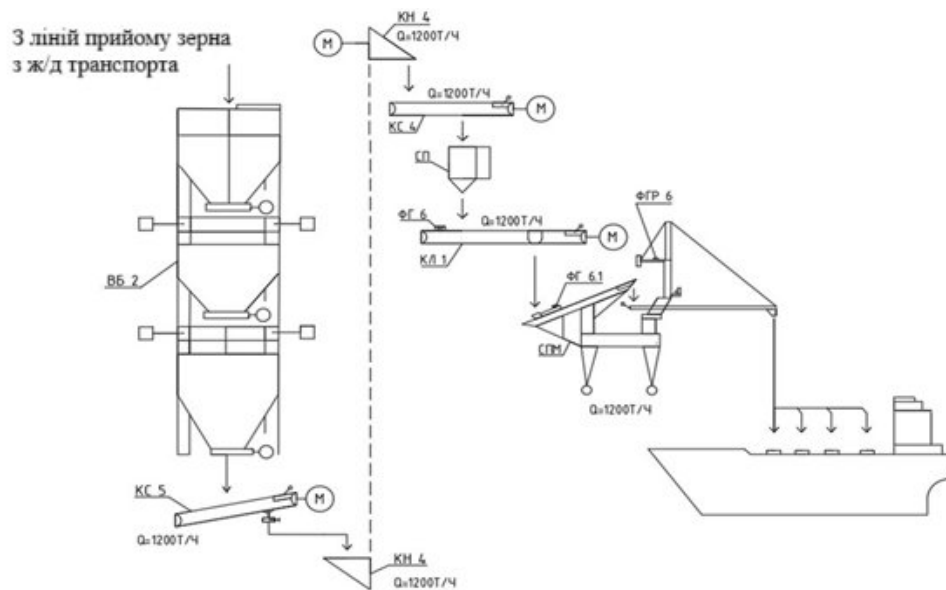


Рис. 1 – Технологічна схема процесу керування витоком зерна з підвагового бункера до лінії завантаження суден

Fig. 1 – Technological scheme of the process of controlling the flow of grain from the weighing bunker to the ship loading line

Далі було проведено параметризацію технологічної схеми (рис. 2), побудовано параметричну схему (рис. 3) та структурну схему об'єкта регулювання (ОР) (рис. 4).

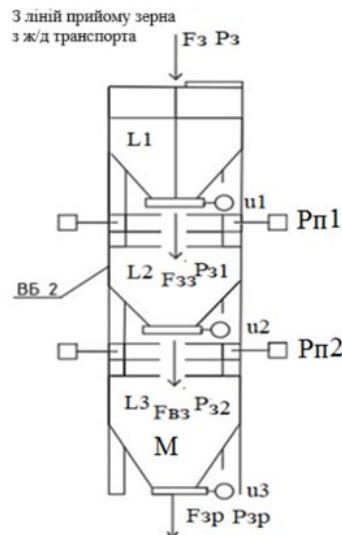


Рис. 2 – Параметризована технологічна схема бункерних ваг
Fig. 2 – Parameterized technological scheme of hopper scales

На рис.2 наведено такі позначення:

- | | |
|---|---|
| F_z – витрата зерна, кг/с; | P_{z1} – тиск зерна після бункера 1, МПа; |
| P_z – тиск зерна після конвеєра, МПа; | $P_{п2}$ – тиск пневмережі 2, МПа; |
| L_1 – рівень у бункері 1, м; | U_2 – керуюча дія пневмозасувки бункера 2, %х.р.о; |
| $P_{п1}$ – тиск пневмережі 1, МПа; | L_3 – рівень у бункері 3, м; |
| U_1 – керуюча дія пневмозасувки бункера 1, % х.р.о; | $F_{вз}$ – витрата зваженого зерна в бункері 3, кг/с; |
| $P_{зз}$ – тиск зерна після бункера 1, МПа; | $P_{з2}$ – тиск зерна після бункера 2, МПа; |
| L_2 – рівень у бункері 2, м; | P_r – тиск гідрмережі, МПа; |
| $F_{зз}$ – витрата засипного зерна у бункері 2, кг/с; | U_3 – керуюча дія пневмозасувки бункера 3, %х.р.о |
| M – маса бункера, т; | |

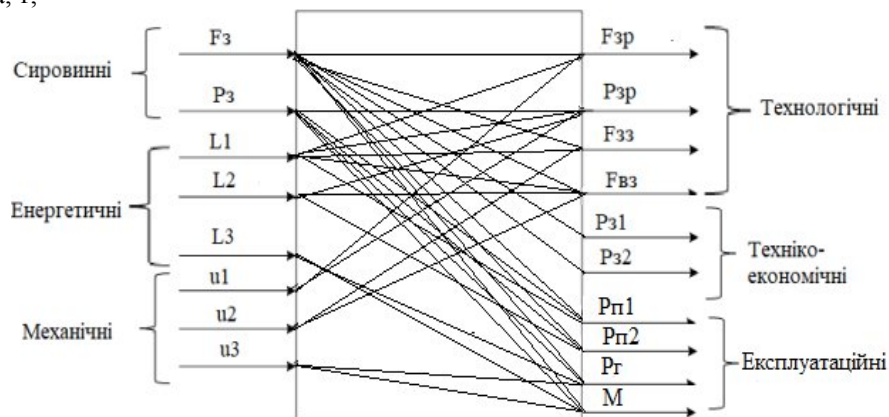


Рис. 3 – Параметрична схема технологічного процесу витоку зерна з підвагового бункера
Fig. 3 – Parametric diagram of the technological process of grain leakage from the weighing bunker

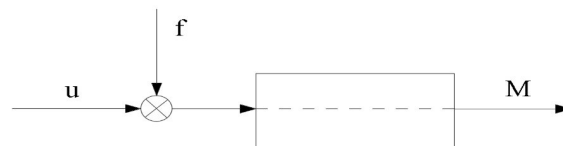


Рис. 4 – Структурна схема процесу витоку зерна з підвагового бункера як об'єкту регулювання
Fig. 4 – Structural diagram of the process of grain leakage from the weighing bunker as an object of regulation

- u – положення регулюючого органу, %х.р.о.;
- M – маса зерна в підваговому бункері, т;
- f – вектор неконтрольованих збурень.

Провели ідентифікацію моделі каналу « u - M » перетворення об'єкта регулювання. За результатами активного експерименту об'єкт визначено як астатичний. Було побудовано схему моделі неконтрольованих збурень. Генерацію результатів пасивного експерименту забезпечено програмою rgen у середовищі Matlab. Для ідентифікації моделей неконтрольованих координатних збурень використали програму IdSoft середовища



Mathlab.

Провели реалізація моделей у середовищі Mathlab і підтвердження їх відповідності експериментальним даним.

В пакеті Simulink середовища Mathlab для каналу ОК розроблено схему моделювання для моделі 1-го і 2-го порядку. Для реалізації повної моделі ОК об'єднано моделі динаміки каналів ОК.

Модель ОК достатньо точно відображає експериментальні дані, що означає адекватність моделі ОК.

Для відтворення моделі збурень як стохастичних процесів (СП) із заданими властивостями використано метод формуючого фільтру. Похибка відтворення σ_f менша 5%, а значить точність моделі неконтрольованих збурювань є достатньою.

Повна модель ОК містить у собі повну модель каналів і модель вхідних дій. Проведено експерименти з повною моделлю ОК. Як показують їх результати, модель ОК в достатній мірі відтворює результати експериментальних досліджень.

Здійснено конкретизацію задач регулювання технологічним агрегатом та автоматизовано кожне із завдань керування.

Процес керування витоком зерна з підвагового бункера є об'єктом неперервної дії. Для нього є характерним тривалий робочий режим, на який об'єкт виводять дистанційно. Режими пуску і зупинки є неекономічними режимами роботи установки. Підвищення економічної ефективності роботи цього процесу в режимах пуску і зупинки можна досягти, автоматизувавши ці завдання. Тому для даного технологічного процесу актуальна автоматизація задачі логічного керування.

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів маса M має підтримуватися на рівні $5t$ з точністю $\pm 0,1t$. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до $\pm 0,5t$ протягом часу не більше 8 с.

Регламентом на функціонування САР витоком зерна з підвагового бункера висуваються жорсткі вимоги до тривалих відхилень, тому в якості критерію оптимальності обрано інтегральний модульний критерій, що істотно штрафує незначні відхилення і мало штрафує короточасні відхилення:

$$J = \int_0^{t_M} [|\Delta M(t)|] dt$$

Основу керування становить інформація про мету керування або про бажаний стан ОК \bar{y}^* , про поточний стан ОК \bar{y} та про збурення \bar{f} . Для системи керування процесом витоку зерна з підвагового бункера доступною, крім інформації про бажаний стан ОК, є інформація про поточний стан ОК. Такий обсяг інформації для формування керуючого впливу (u) достатній для реалізації замкненого принципу керування. Тому саме цей принцип і покладено в основу розробленої САР.

Проведено параметричний синтез і аналіз САР базової структури.

Процес за каналом «и-М» має астатичні властивості, тому в якості альтернативних варіантів алгоритмів регулювання обрано пропорційно-інтегральний (ПІ) і пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) алгоритми регулювання.

Порівняли перехідні процеси в САР з ПІД-регулятором до і після оптимізації за інтегральним і прямими показниками якості (табл. 1).

Таблиця 1 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta M^{\text{МАКС}}$	$T_{\text{пн}}, \text{с}$	
ПІ	0,0675	7,28	0,349
ПІД	0,0392	3,28	0,1455

Як видно з результатів порівняння перехідних процесів, САР з ПІД-регулятором є кращою за усіма показниками. Тому далі використано ПІД-закон регулювання.

САР і з ПІ-регулятором і з ПІД-регулятором є грубою.

Результати оцінки САР на грубість показують, що "найсприятливішим" для керування сполученням параметрів ОК є більший на 20% час запізнення ОК, а "найнесприятливішим" для керування сполученням - на 20% менший час запізнення.

Проведено структурний і параметричний синтез САР підвищеної динамічної точності і її аналіз.

Виявлено, що основною причиною недостатньої динамічної точності САР є зміна передісторії заданого значення. Основним шляхом підвищення динамічної точності розглянутої САР є побудова САР, інваріантної до передісторії заданого значення (рис. 5).

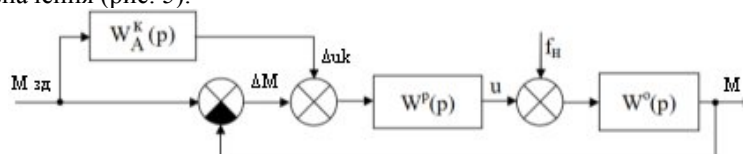


Рис. 5 – Структурна схема САР підвищеної динамічної точності
Fig. 5 – Structural diagram of an ATS with increased dynamic accuracy



Було конкретизовано задачу і розроблено алгоритм логічного керування пуском ділянки ПТЛ завантаження суден.

Здійснено вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізацію керуючих впливів, які забезпечують належне та якісне керування процесом витоку зерна з підвагового бункера. Класи точності, ступінь захисту та ступінь вибухозахисту пристроїв відповідають виробничим умовам технологічного процесу.

Програмна реалізація алгоритмів логічного керування виконана в програмному модулі PLC_PRG. Графічний інтерфейс при тестуванні алгоритму пуску наведено на рис. 6. Розроблена технічна структура мікропроцесорного ядра системи керування витоком зерна з підвагового бункера до лінії завантаження суден, здійснений вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу, в середовищі CoDeSys, розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання, проведена їх перевірка, яка засвідчила роботоспроможність програм та їх відповідність алгоритмам керування.

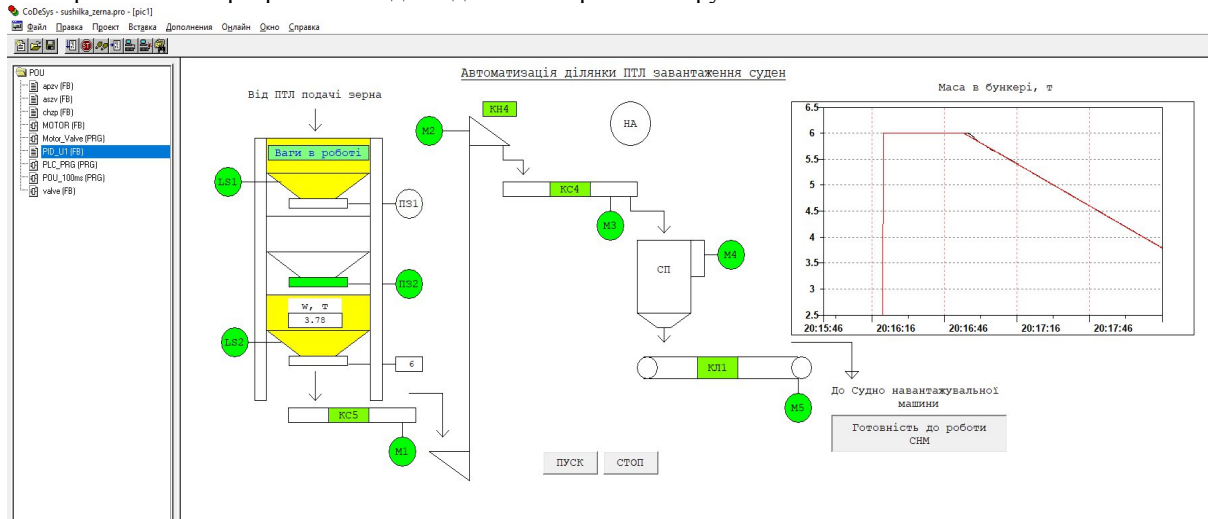


Рис. 6 – Фрагмент графічного інтерфейсу оператора
Fig. 6 – Fragment of the operator's graphical interface

Результати тестування програми у режимі емуляції контролера, що реалізує керування пуском та останом процесу, підтверджують коректність реалізації програми моделі САК та програми логічного керування.

Розроблена SCADA-система для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК. Конкретизовано функції і структури екранів АРМ оператора-технолога. На рис. 7 представлений екран «Схема установки» при працюючому в автоматичному режимі процесі, без порушень режиму роботи і справному обладнанні з відкритими екранними формами керування засувками і двигунами.

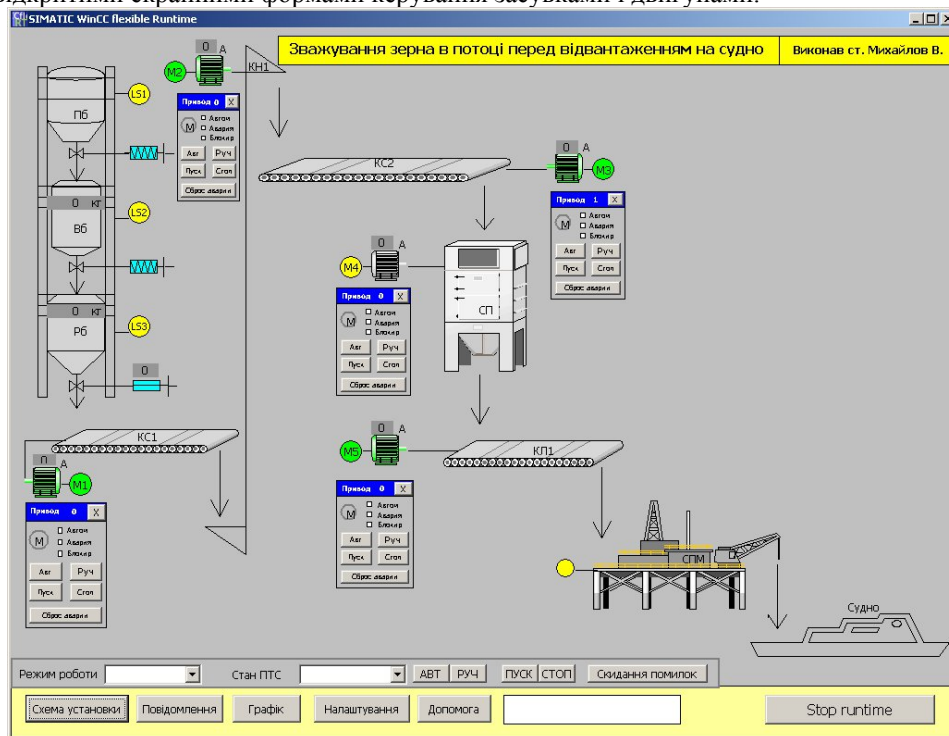


Рис. 7 – Загальний вигляд екрану «Схема установки» при нормальній роботі
Fig. 7 – General view of the “Installation diagram” screen during normal operation



АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів керування обладнанням поточно-транспортної лінії (АВТ / РУЧ) і керувати в ручному режимі окремим обладнанням, проводити налаштування і налагодження САК, відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми.

Розроблено фрагменти документації технічного забезпечення САК та заходів з охорони безпеки. Виконаний опис функціональної схеми автоматизації, опис принципової електричної схеми електроприводу та опис принципової електричної схеми живлення.

Обговорення результатів. САР з ПД-регулятором в перехідних режимах задовольняє гранично припустимим вимогам, а САР з ПІ-регулятором не задовольняє цим вимогам за максимальним динамічним відхиленням. САР базової структури в сталих режимах не виходить за рамки зони неважливих відхилень.

Після проведення процедури оптимізації параметрів ПІ-регулятора коефіцієнт передачі зменшився на 104%, час ізодрому збільшився на 100%, інтегральний критерій зменшився на 24%. Після проведення процедури оптимізації параметрів ПД-регулятора коефіцієнт передачі збільшився на 46%, час ізодрому зменшився на 1%, час упередження зменшився на 43%, інтегральний критерій зменшився на 45%.

Введення до алгоритму регулювання Д-складової призвело до зменшення інтегрального критерію на 58%.

САР підвищеної динамічної точності задовольняє гранично припустимим вимогам. Після підвищення динамічної точності САР інтегральний критерій зменшився на 21%, максимальне динамічне відхилення зменшилося на 28%, час перехідного процесу зменшився на 37%.

САР підвищеної динамічної точності є грубою.

Оскільки САР підвищеної динамічної точності дає суттєве покращення показників якості регулювання у порівнянні з САР базової структури, тому САР підвищеної динамічної точності використовувати є доцільним (рис. 8, табл. 2).

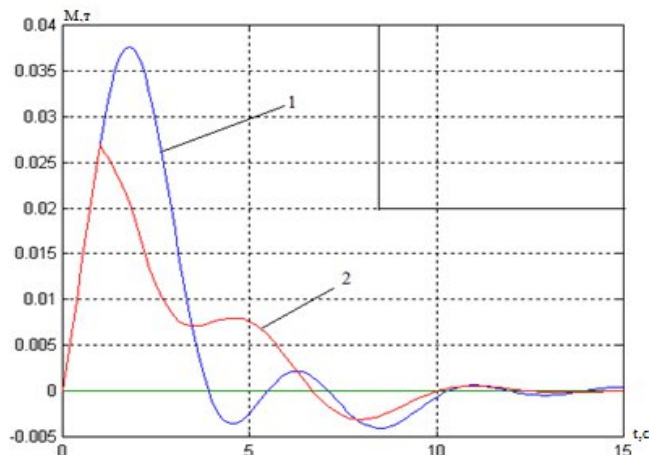


Рис. 8 – Результати порівняння якості роботи САР базової структури (1) і САР підвищеної динамічної точності (2)

Fig. 8 – Results of comparison of the performance of the basic structure ATS (1) and the ATS with increased dynamic accuracy (2)

Таблиця 2 – Результати порівняння варіантів САР

Алгоритм регулювання	Прямі показники якості		Критерій
	$\Delta M^{\text{МАКС}}$	$T_{\text{пп}}, \text{c}$	
ПД	0,0376	2,9	0,099
Інваріантна	0,027	1,83	0,078

Висновки

Оскільки зерно є стратегічним продуктом держави і експортується за кордон, дуже важливим є забезпечення умов його транспортування, в основному водним транспортом і збереження його споживних властивостей.

Технологічний процес завантаження суден зерном вимагає якомога більшої стабільності за умови заданої продуктивності поточно-транспортної системи.

Для забезпечення високої ефективності процесу завантаження суден зерном ним треба керувати з використанням сучасних засобів автоматизації.

Автоматизація процесу завантаження суден зерном є актуальним завданням.

Розглянуто технологічний процес витоку зерна з підвагового бункера.

Як об'єкт керування розглянуто підваговий бункер.

Розроблено параметризовану, параметричну та координатну схему об'єкту керування.

Конкретизовано основні регламенти.

Проведено структурну і параметричну ідентифікацію моделі каналу перетворення дій об'єкту регулювання.



Розроблено і параметрично оптимізовано алгоритми регулювання.

Вибрано технічні засоби, за рахунок яких можна провести модернізацію обладнання.

Розроблено технічну структуру мікропроцесорного ядра системи керування процесом витoku зерна з підвагового бункеру, здійснений вибір промислового контролера та його блоків вводу/виводу.

В середовищі CoDeSys розроблені програми, які реалізують алгоритми логічного керування та регулювання.

При виконанні роботи в середовищі SCADA-системи WinCCFlexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і налагоджувача САК процесом витoku зерна з підвагового бункеру.

Розроблено варіант комплексу технічної документації САК.

Розглянуто питання техніки безпеки при монтажі, налагодженні та експлуатації розробленої системи.

Список використаних джерел

1. Patent Kazakhstan na izobrenenie # 26500 Sposob nepreryvnoho dozirovaniya sypuchikh materialov (Elektronniy resurs) / Erulanova A.E., Shadrin H.K. MPK G01G 11/00. Zayavl. 24.11.2011 # 2011/1220.1. Opubl 14.12.2012.- URL: <https://kz.patents.su/4-ip26500-sposob-nepreryvnogo-dozirovaniya-sypuchih-materialov.html>.
2. Ваги бункерні автоматичні ВБА-1100-Э-300 (електропривід) (Електронний ресурс) / Офіційний сайт компанії «Сімо».- URL: [https://simo.com.ua/ua/obladnannya/vesyi-bunkernye-avtomaticheskije-vba-1100-e-300-\(elektroprivod\)](https://simo.com.ua/ua/obladnannya/vesyi-bunkernye-avtomaticheskije-vba-1100-e-300-(elektroprivod)).
3. Ваговимірювальні комплекси та системи дозування (Електронний ресурс) / Офіційний сайт компанії «Інновінпром».- URL: <https://innovinprom.com/galuzevi-rishennya/bunkerni-vagy-2>.
4. Встановлення бункерних ваг для ТОВ «Ойлтранстерминал» (Електронний ресурс) / Офіційний сайт компанії «Grain capital».- URL: <https://zeo.ua/case/tov-oiltransterminal>.
5. Ваговий дозатор сипучих матеріалів продуктивністю 300 т/год (Електронний ресурс) / Офіційний сайт «Ваговимірювальні системи».- URL: <https://vis.ua/product/vesovoj-dozator-sypuchih-materialov-proizvoditelnostyu-300-t-ch/>.
6. Бункерний дозатор автоматичний АДМ-500/2, Дозатор інертних матеріалів (Електронний ресурс) / Офіційний сайт компанії «MFIN».- URL: https://mfin.com.ua/page_info.php?id=2277505&cat=prom.
7. Ваги бункерні «Норма-ТН1» (Електронний ресурс) / Офіційний сайт НВП «Механотрон».- URL: <https://mechanotron.com/?p=74>.
8. Бункерні ваги з автоматичним пробовідбірником (Електронний ресурс) / Офіційний сайт компанія «МКХП» <https://mkhp.com.ua/ru/glavnaj/>.
9. Бункерні ваги автоматичного переривчастого зважування (Електронний ресурс) / Офіційний сайт компанія «TORNUM» <https://www.tornum.com/uk/product/hopper-scale-dviu/>.
10. Михайлов В.О. Автоматизація процесу керування витокom зерна з підвісового бункера до лінії завантаження суден (рукопис) / Випускна робота бакалавра.- Одеса: ОНТУ, 2023.-169с.

References

1. Patent Kazakhstan na izobrenenie № 26500 Sposob nepreryvnoho dozirovaniya sypuchih materialov (Elektronniy resurs) / Erulanova A.E., Shadrin G.K. MPK G01G 11/00. Zayavl. 24.11.2011 № 2011/1220.1. Opubl. 14.12.2012.- URL: <https://kz.patents.su/4-ip26500-sposob-nepreryvnogo-dozirovaniya-sypuchih-materialov.html>.
2. Vahy bunkerni avtomatichni VBA-1100-Э-300 (elektroprivid) (Elektronniy resurs)/ Ofitsiyni sait kompanii «Simo».- URL: [https://simo.com.ua/ua/obladnannya/vesyi-bunkernye-avtomaticheskije-vba-1100-e-300-\(elektroprivod\)](https://simo.com.ua/ua/obladnannya/vesyi-bunkernye-avtomaticheskije-vba-1100-e-300-(elektroprivod)).
3. Vahovymiriuvalni kompleksi ta systemy dozuvannya (Elektronniy resurs)/ Ofitsiyni sait kompanii «Innovinprom».- URL: <https://innovinprom.com/galuzevi-rishennya/bunkerni-vagy-2>.
4. Vstanovlennia bunkernykh vah dlia TOV «Oiltransterminal» (Elektronniy resurs) / Ofitsiyni sait kompanii «Grain capital».- URL: <https://zeo.ua/case/tov-oiltransterminal>.
5. Vahovi dozator sypuchykh materialiv produktyvnistiu 300 t/hod (Elektronniy resurs) / Ofitsiyni sait «Vahovymiriuvalni systemy».- URL: <https://vis.ua/product/vesovoj-dozator-sypuchih-materialov-proizvoditelnostyu-300-t-ch/>.
6. Bunkernyi dozator avtomatichnyi ADM-500/2, Dozator inertnykh materialiv (Elektronniy resurs) / Ofitsiyni sait kompanii «MFIN».- URL: https://mfin.com.ua/page_info.php?id=2277505&cat=prom
7. Vahy bunkerni «Norma-TN1» (Elektronniy resurs) / Ofitsiyni sait NVP «Mekhanotron».- URL: <https://mechanotron.com/?p=74>.
8. Bunkerni vahy z avtomatichnym probovidbirnykom (Elektronniy resurs) / Ofitsiyni sait kompaniia «MKKhP» <https://mkhp.com.ua/ru/glavnaj/>
9. Bunkerni vahy avtomatichnoho pereryvchastoho zvažuvannya (Elektronniy resurs) / Ofitsiyni sait kompaniia «TORNUM» <https://www.tornum.com/uk/product/hopper-scale-dviu/>.
10. Mykhailov V.O. Avtomatyzatsiia protsesu keruvannia vytokom zerna z pidvisovoho bunkera do linii zavantazhennia suden (rukopys) / Vypuskna robota bakalavra.- Odеса: ONTU, 2023.-169s.