



УДК [621.867.3:622.612]:658.5

# АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЗАВАНТАЖЕННЯ ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНИХ ЛІНІЙ ЗЕРНОВИХ ТЕРМІНАЛІВ

Хобін В.А.<sup>1</sup>, Степанов М.Т.<sup>2</sup>, Кір'язов І.М.<sup>3</sup>, Шестопапов С.В.<sup>4</sup><sup>1,2,3,4</sup> SE Group International, Одеський національний технологічний університет, Одеса, УкраїнаORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0238-8371><sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-1297-5537><sup>2</sup>E-mail: [khobin@ontu.edu.ua](mailto:khobin@ontu.edu.ua)<sup>1</sup>, [stepanov197818@gmail.com](mailto:stepanov197818@gmail.com)<sup>2</sup>, [ivan.kiryazov@se.ua](mailto:ivan.kiryazov@se.ua)<sup>3</sup>, [stanislav.shestopalov@se.ua](mailto:stanislav.shestopalov@se.ua)<sup>4</sup>

Copyright © 2021 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: <https://doi.org/10.15673/atbp.v15i4.2725>

**Анотація.** У статті розглядається інноваційна автоматизована система оптимізації завантаження (АСОЗ) потоково транспортних ліній (ПТЛ) відвантаження зерна на судна, яка впроваджена на ряді зернових терміналів України. Розкрито актуальність АСОЗ, яка обумовлена необхідністю підвищення продуктивності та зниження питомих витрат електричної енергії на перевантаження при одночасному запобіганні аварійним зупинкам ПТЛ. Для одного з найбільш повнофункціональних варіантів АСОЗ ПТЛ відвантаження зерна на судна представлено її функціональну структуру. У ній виділено цільову, системоутворюючі та робочі функції системи. Розкрито особливості властивостей ПТЛ як об'єкта керування, які враховані в алгоритмах управління та забезпечують ефективність роботи АСОЗ. Наведено результати виробничої роботи АСОЗ ПТЛ відвантаження зерна на судна на одному з морських зернових терміналів України. Розглянуто приклади роботи АСОЗ ПТЛ при відвантаженні зерна одночасно з кількох джерел у пускових і в сталих режимах роботи на високій продуктивності в різних технологічних ситуаціях, а також при виникненні аварійної ситуації, пов'язаної з розвитком «завалу» зерна в башмаку норії. При проведенні аналізу роботи АСОЗ ПТЛ у різних виробничих ситуаціях розкривається які системоутворюючі та робочі функції забезпечують ефективну роботу системи. Результати порівняльного аналізу ефективності управління завантаженням при відвантаженні зерна на судна оператором «вручну» та з використанням автоматизованої системи оптимізації завантаження, проведені у 2021-2022 роках, показали наступне: – середній час відвантаження на судно з урахуванням простоїв зменшився на 14.7% ; - Середня продуктивність відвантаження без урахування простоїв збільшилася на 15.5%. При роботі АСОЗ не виникало аварійних зупинок ПТЛ пов'язаних з перевантаженням їх зерном.

**Abstract.** The article discusses an innovative automated system for optimizing loading (ALOS) of in-line transport lines (FTL) for shipping grain to ships, which is implemented at a number of grain terminals in Ukraine. The relevance of ALOS is disclosed, which is due to the need to increase productivity and reduce the unit cost of electrical energy for overload while preventing emergency shutdowns of the FTL. For one of the most full-featured variants of the ALOS FTL for the shipment of grain to ships, its functional structure is presented. It highlights the target, backbone and working functions of the system. The features of the properties of the FTL as a control object are disclosed, which are taken into account in the control algorithms and ensure the efficiency of the ALOS. The results of the production work of the ALOS FTL for the shipment of grain to ships at one of the sea grain terminals of Ukraine are presented. Examples of the work of APS PTL during the shipment of grain simultaneously from several sources in starting and steady-state operating modes at high productivity in different technological situations, as well as in the event of an emergency situation associated with the development of a “blockage” of grain in the elevator shoe, are considered. When analyzing the operation of ALOS FTL in various production situations, it is revealed which system-forming and operational functions ensure the effective operation of the system. The results of a comparative analysis of the efficiency of loading management when loading grain onto ships by the operator “manually” and using an automated loading optimization system, conducted in 2021-2022, showed the following: - the average time of loading onto a ship, taking into account downtime, decreased by 14.7%; – average shipment productivity without downtime increased by 15.5%. During the operation of the ALOS, there were no emergency stops of the FTL associated with their overload with grain.

**Keywords:** Grain reloading, flow-transport lines, productivity, energy consumption, automated loading optimization system.

**Ключові слова:** Перевантаження зерна, потоково-транспортні лінії, продуктивність, енерговитрати, автоматизована система оптимізації завантаження.



## Вступ

Компанія S-engineering, що входить до холдингу SE Group International, займає лідируючі позиції в галузі автоматизації технологічних процесів зернопереробної галузі включаючи у свої проекти інноваційні розробки. Зокрема компанія займається розробкою інноваційних систем автоматичної оптимізації завантаження ПТЛ зернових терміналів. Метою таких систем є підвищення продуктивності та запобігання аварійним зупинкам ПТЛ, зниження питомих витрат електричної енергії на перевантаження.

У [1-2] розглянуті концепція побудови, результати досліджень та виробничих випробувань таких систем. АСОЗ ПТЛ реалізує технології Leffol & Senumac (L&S), запатентовані SE Group International [3–5].

Технологія LEFFOL: спосіб контролю рівня завантаження конвеєра / Method of Loading Efficiency Control. Суть технології - підвищення точності вимірювання завантаження будь-яких типів конвеєрів продуктом у процесі його транспортування без використання спеціалізованих датчиків тільки за рахунок вимірювання струму навантаження приводного електродвигуна.

Технологія SENUMAC: спосіб автоматичного керування завантаженням потоково-транспортних ліній сипучих матеріалів / S-engineering Useful Model Method of Automatic Control of Process Shipping line upload of granular materials. Суть технології - автоматичне управління завантаженням потоково-транспортної лінії, що дозволяє забезпечувати максимально можливу продуктивність лінії, близьку до критичної, при якій починається процес розвитку завалів зерна в її норії. При цьому алгоритм управління гарантує запобігання цим завалам.

Ця стаття присвячена розгляду одного з повнофункціональних варіантів АСОЗ ПТЛ відвантаження зерна на судна. Розкривається актуальність системи, її функціональна структура, представлені результати виробничої роботи на одному з морських зернових терміналів України.

## Актуальність АСОЗ

Експорт зерна з України реалізується через систему морських зернових терміналів (ЗТ). Переміщення зерна «всередині» ЗТ здійснюється потоково-транспортними лініями (ПТЛ) та потребує великих енерговитрат. Знизити ці витрати можливо завантажуючи ПТЛ зерном до її гранично допустимих значень, коли максимально знижується частка «холостого ходу» в навантаженні приводних електродвигунів (ПЕД) обладнання, підвищуються коефіцієнти їх потужності та корисної дії, що добре. Погано, що перевищення допустимого завантаження призводить до виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних з розвитком завалів зерна в обсягах обладнання ПТЛ, частіше - в башмаках норій і в надвагових бункерах. При цьому принципово важливо, що значення допустимого завантаження ПТЛ апіорі невідомі і змінюються зі зміною великої кількості факторів.

Традиційні САУ ПТЛ терміналів реалізують лише функції зблокування пуску та зупинки обладнання, контролю виникнення аварійних ситуацій та аварійного відключення ПТЛ. Функція керування ступенем завантаження ПТЛ завжди зберігалася за її оператором. Він, за умов невизначеностей, насправді, повинен сам вибирати ступінь компромісу між підвищенням завантаження ПТЛ, тобто. її енергоефективності та мінімізацією аварійних ситуацій. Практика показує – він обирає мінімізацію аварійних ситуацій, жертвуючи енергоефективністю.

## Особливості властивостей ПТЛ як об'єкта керування АСОЗ

Ефективність розроблених САУ визначається повнотою врахування у їхніх алгоритмах керування безлічі особливостей їх об'єктів керування (ОК). У нашому випадку, на ЗТ, ОК є процеси перевантаження зерна, що реалізуються ПТЛ. Для них актуальні наступні особливості [2]:

– унікальна структура потоково-транспортної системи (ПТС) кожного ЗТ, багатоваріантність, в рамках цієї ПТС, його ПТЛ, що оперативно формуються оператором для вирішення поточних технологічних завдань приймання та відвантаження зерна;

– широкий спектр транспортно-технологічного обладнання та його характеристик, яким комплектуються ПТС, включаючи обладнання, що залишилося після перепрофілювання терміналів (частіше – раніше працюючих з мінеральними насипними вантажами), яке не було адаптоване до характеристик зерна;

– різноманітність складських ресурсів ЗТ (силоси металеві та бетонні, склади підлогового зберігання), що мають різні характеристики стікання зерна на ПТЛ та рівні механізації приймально-відвантажувальних робіт;

– варіації конструктивних особливостей обладнання та технологій приймання зерна з автомобільного та залізничного транспорту, його відвантаження на судна, кількості відповідних вузлів приймання/відпустки та паралельно працюючих у них ліній;

– багатоваріантність технологій формування потоку зерна, що відвантажуються на судно (об'єднання, із заданим співвідношенням, складових потоку: а) що відбираються зі складських ресурсів; б) що перевантажуються без складування безпосередньо з вузлів приймання; в) комбінація варіантів «а» і «б»), конкретна з яких вибирається оператором ПТЛ, виходячи з розв'язуваного ним поточного завдання, у виробничій ситуації, що склалася, і техніко-економічних вимог до функціонування ЗТ;

– однакові техніко-економічні показники (ТЕП) до функціонування ЗТ, сутність яких – підвищення фінансового прибутку на основі: а) підвищення обсягів перевалки зерна; б) зниження питомих енерговитрат на перевалку; в) запобігання аварійним ситуаціям (АС), зумовленим перевищенням допустимого завантаження обладнання ПТЛ; г) мінімізації аварійних ситуацій, обумовлених відмовами обладнання ПТЛ, які провокуються екстремальними режимами їх роботи;



– подібність динамічних властивостей каналів управління продуктивністю ПТЛ, принципово важливим з яких є велике транспортне запізнення, обумовлене переміщенням зерна, обсяг і маса якого розподілені по довжині робочих органів нерівномірно і змінюються, у тому числі, при зміні керуючих впливів.

Аналіз перерахованих особливостей процесів перевантаження зерна як ОК з позицій необхідних функціональних можливостей алгоритмів керування дозволяє сформулювати наступну функціональну структуру АСОЗ.

Цільова функція АСОЗ ( $F_{ц}$ ) - автоматичне формування загального потоку зерна, що переміщується з джерел, обраних оператором ПТЛ і в заданій ним пропорції, автоматична, для поточної технологічної ситуації, оптимізація (максимізація) ступеня завантаження цієї ПТЛ зерном безпосередньо в процесі його переміщення (тобто в реальному часі) і гарантування запобігання аварійним зупинкам ПТЛ обумовлених перевищенням допустимого завантаження.

- $F_{ц}$  :
- $F_1$  – взаємодія, в рамках їх автоматизованих робочих місць (АРМ), з: а) оператором ПТЛ для завдання АСОЗ нового вирішуваного технологічного завдання та контролю його виконання; б) з наладчиком АСОЗ;
  - $F_2$  – автоматичні розрахунки початкових значень витрат зерна з усіх заданих точок його відбору за заданою продуктивністю загального потоку, і далі, за математичними моделями - початкових значень: а) відкриття необхідних підсилованих/підбункерних засувок; б) швидкостей конвеєрів відбору зерна з точок з фіксованими положеннями засувок; в) відкриття засувок і швидкостей конвеєрів при каскадному управлінні витратою зерна;
  - $F_3$  – автоматичне керування (координація/стабілізація) витратами зерна: а) зі складів; б) з точок розвантаження автомобілів; в) із точок розвантаження вагонів;
  - $F_4$  – автоматичне керування (координація/стабілізація/оптимізація) продуктивністю сумарного потоку зерна ПТЛ, у т.ч. екстрене автоматичне переведення ПТЛ на знижену продуктивність у разі зміни оператором її заданого значення, наприклад, при зміні режиму завантаження судна;
  - $F_5$  – автоматична ідентифікація аварійних ситуацій (АС), що зароджуються, і, у разі їх виявлення - автоматичне скоординоване управління загальною продуктивністю ПТЛ і всіх її гілок для
- $F_1$  :
- $F_{11}$  – автоматичне визначення (ідентифікація) та надання оператору інформації про культуру зерна, що відвантажується на судно;
  - $F_{12}$  – автоматичне визначення та надання оператору інформації про включені в роботу маршрути відвантаження зерна на судна та джерела (список силосів, точки розвантаження складів підлогового зберігання, точки розвантаження автомобілів, точки розвантаження вагонів) задіяних у формуванні загального потоку зерна;
  - $F_{13}$  – автоматичне виявлення та надання оператору інформації про несправність та неготовність до роботи виконавчих механізмів підсилованих/підбункерних засувок та перетворювачів частоти ПЕД транспортерів, включених у маршрути відвантаження зерна на судна;
  - $F_{14}$  – надання оператору інформації в цифровому та графічному вигляді про сумарну продуктивність загального потоку зерна та продуктивності за окремими його складовими;
  - $F_{15}$  – прийом від оператора команд щодо конкретизації джерел, задіяних у формуванні загального потоку зерна, при вирішенні нової технологічної задачі;
  - $F_{16}$  – прийом від оператора завдання загальної продуктивності потоку зерна, що переміщується з вибраних джерел у заданій їм пропорції;
  - $F_{17}$  – прийом від оператора команд для оперативного припинення та відновлення подачі зерна з вибраних лжелел:
- $F_2$  :
- $F_{21}$  – автоматичний розрахунок початкових значень ступеня відкриття кількох підсилованих засувок по заданому співвідношенню відсоткового введення, для конкретного виду зерна, що відвантажується, і заданої початкової продуктивності ПТЛ;
  - $F_{22}$  – автоматична корекція параметрів математичної моделі витратної характеристики підсиленої/підбункерної засувки в залежності від виду культури зерна, що відвантажується;
  - $F_{23}$  – автоматичний розрахунок початкової швидкості приймаючих зерно конвеєрів для швидкого та безаварійного виведення норії на задану продуктивність;
  - $F_{24}$  – автоматичне закриття засувок у приймальних бункерах станцій залізничного та авто прийому при їх спустошенні з наступним автоматичним відкриттям, на розрахункове безпечне значення, що запобігає значним навантаженням транспортерів і норій при початку вивантаження зерна;



- $F_3$  : {
- $F_{31}$  – автоматичний перерахунок струмів навантаження норій, задіяних у маршрутах відвантаження зерна, у значення їх ступенів завантаження (% від номінального);
  - $F_{32}$  – автоматичний або за командою оператора розрахунок ступенів завантаження холостого ходу всіх норій, що включені до маршрутів відвантаження зерна;
  - $F_{33}$  – автоматичний перерахунок ступенів завантаження норій у значення їх продуктивностей (т/год);
  - $F_{34}$  – автоматичне або за командою оператора калібрування моделі перерахунку ступенів завантаження норій у значення їх продуктивності за показаннями бункерних ваг для поточної продуктивності ПТЛ;
  - $F_{35}$  – автоматичне формування регульованих змінних залежно від того, які норії задіяні в маршрутах відвантаження зерна;
  - $F_{36}$  – автоматична стабілізація витрат зерна з різних джерел на основі алгоритмів регулювання з прогнозуванням вільного та вимушеного руху, що забезпечують високий запас стійкості та динамічну точність САР;
  - $F_{37}$  – автоматичне перенастроювання параметрів САР продуктивності ПТЛ на основі принципу розімкнутої адаптації при зміні точки вивантаження зерна в маршруті (зміна силосу) або виду культури зерна;
  - $F_{38}$  – автоматичне підтримання процентного співвідношення для потоків зерна з кожного силосу відповідно до заданого оператора відсотком його введення в загальний потік за будь-яких змін продуктивності ПТЛ;
  - $F_{39}$  – автоматичне перемикання між бункерами прийому зерна для станцій розвантаження автомобілів і вагонів при закінченні зерна в одному та наявності зерна в другому приймальному бункері;
  - $F_{310}$  – автоматична координація продуктивностей кількох, що працюють паралельно норій одного джерела зерна відповідно до загальної заданої продуктивності цього джерела зерна та встановлених
- $F_4$  : {
- $F_{41}$  – автоматичний розрахунок продуктивності бункерних ваг як регульованої (оптимізованої) змінної з використанням алгоритмів лінійної та нелінійної фільтрації;
  - $F_{42}$  – автоматичне формування структури каскадної САР сумарної продуктивності ПТЛ та керуючого впливу при зміні складу джерел зерна, задіяних у відвантаженні;
  - $F_{43}$  – каскадне регулювання сумарної продуктивності ПТЛ на основі імпульсних алгоритмів регулювання з прогнозуванням для об'єктів з великим запізненням;
  - $F_{44}$  – автоматичне виведення сумарної продуктивності ПТЛ на максимально досяжну в поточних умовах величину;
  - $F_{45}$  – екстремне автоматичне переведення ПТЛ на знижену продуктивність у разі зміни оператором її заданого значення за рахунок зменшення продуктивності джерела з максимальною часткою участі та мінімальним часом переміщення зерна;
  - $F_{46}$  – автоматична стабілізація сумарної продуктивності ПТЛ із забезпеченням безперервності потоку зерна при аварійному або технологічному припиненні та подальшому відновленні подачі зерна в одному з джерел;
- $F_5$  : {
- $F_{51}$  – автоматичне, на основі спеціальних алгоритмів, виявлення факту початку переповнення бункерних ваг і екстремне тимчасове зниження загальної заданої продуктивності з наступним виведенням на нове знижене значення;
  - $F_{52}$  – автоматичне запобігання аварійним зупинкам ПТЛ через розвиток завалів зерна в башмаках норій та надвісовому бункері ваг (при обмеженні продуктивності ваг встановленим положенням засувки підвісового бункера);
  - $F_{53}$  – автоматичний розрахунок та контроль значень середньоквадратичного струму для всіх транспортерів та норій, включених у роботу, у кожному маршруті відвантаження зерна на судна як показника нагріву ПЕД;
  - $F_{54}$  – автоматичний контроль часу, що залишився до зупинки ПЕД, що викликана його нагріванням під час використання спеціальних пристроїв керування та захисту електродвигуна Simocode Pro;
  - $F_{55}$  – автоматична технологічна зупинка маршруту;

$F_1, F_2, F_3, F_4, F_5$  – системоутворюючі функції. Виконання кожної системоутворюючої функції ( $F_i$ ) забезпечується рядом робочих функцій АСОЗ ( $F_{ij}$ ).

Розглянута функціональна структура АСОЗ відноситься до найбільш повнофункціонального варіанту, але вона може змінюватись в залежності від особливостей та складнощів, з якими доводиться стикатися при реалізації системи на конкретному ЗТ. Найчастіше змінюється набір робочих функцій системи.

### Результати виробничої роботи АСОЗ

При промисловому впровадженні АСОЗ алгоритми, що реалізують робочі функції, інтегруються у вигляді програмного коду в існуюче програмне забезпечення контролерів та станцій автоматизованих робочих місць (АРМ) операторів АСУТП зернового терміналу. На рис.1 представлений загальний вигляд основного екрану АРМ оператора процесу навантаження зерна АСУТП на одному з морських зернових терміналів України. А на



рис. 2 той самий екран, але з відкритим вікном АРМ АСОЗ ПТЛ. На екранах видно, що термінал має досить складну, розгалужену систему ПТЛ з можливістю одночасного навантаження кількох суден із різних джерел зерна.

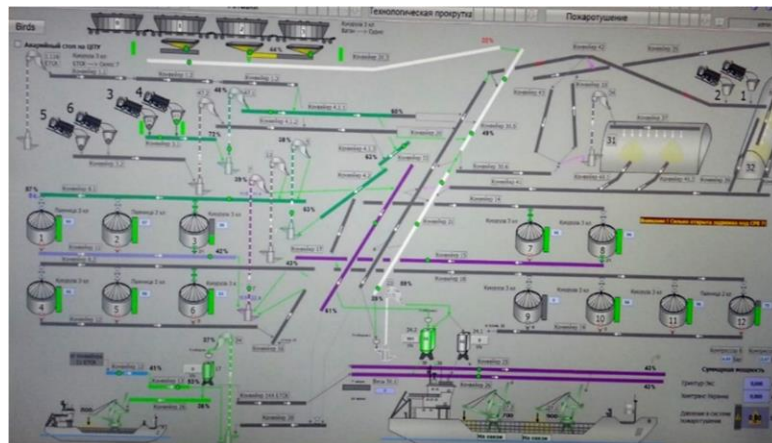


Рис. 1 – Загальний вигляд основного екрану АРМ оператора процесу перевантаження зерна АСУП елеватора

Fig. 1 – General view of the main screen of the ATM of the operator of the overloading process grains of elevator control system

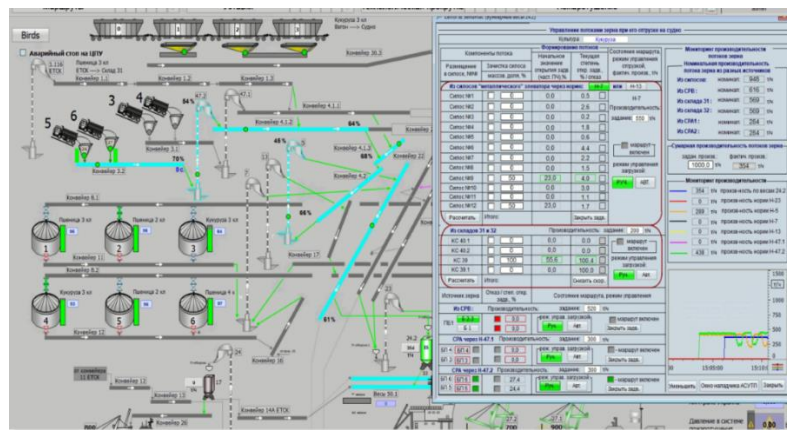


Рис. 2 – Загальний вигляд основного екрану АРМ оператора процесу перевантаження зерна АСУП елеватора з відкритим вікном АРМ АСОЗ ПТЛ

Fig. 2 – General view of the main screen of the ATM of the operator of the overloading process grain ASUTP of the elevator with an open window ARM ASOZ PTL

Для налагодження АСОЗ у графічному інтерфейсі передбачено ряд вікон. На рис.3 представлений загальний вигляд основного екрану АРМ оператора процесу навантаження зерна АСУП з відкритим вікном АРМ налагодника АСОЗ ПТЛ. Вікно передбачає побудову графіків зміни координат системи та дозволяє провести аналіз роботи АСОЗ.



Рис. 3 – Загальний вигляд основного екрану АРМ оператора процесу перевантаження зерна АСУП елеватора з відкритим вікном АРМ налагодника АСОЗ ПТЛ

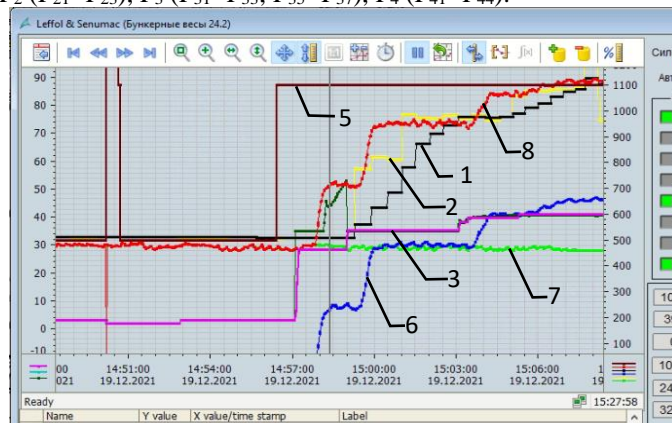
Fig. 3 – General view of the main screen of the ATM of the operator of the overloading process grains of the elevator control system with an open window of the control panel of the ASOZ PTL adjuster



Представлені вікна АРМ АСОЗ ПТЛ забезпечують виконання системою ряду робочих функцій F11-F17 як складових системоутворюючої функції F1. Розглянемо кілька фрагментів роботи АСОЗ ПТЛ відвантаження зерна на судна, що розкривають виконання системою ряду інших системоутворюючих функцій.

На рисунках позначення графіків будуть наступними: 1 – середня за 5 циклів продуктивність ПТЛ, виміряна вагами; 2 – продуктивність ПТЛ, виміряна на кожному циклі роботи вагів; 3 – положення провідної підсилювальної засувки; 4 – швидкості стрічок підсилювальних конвеєрів ПТЛ; 5 – задане (оптимізоване) значення продуктивності ПТЛ; 6 – розрахована за моделлю продуктивність провідної норії в ПТЛ відвантаження зерна з металевих силосів; 7 – розрахована за моделлю продуктивність провідної норії в ПТЛ відвантаження зерна зі складів підлогового зберігання та з Ж/Д транспорту; 8 – сумарна продуктивність норій, що формують загальний потік зерна в ПТЛ відвантаження зерна на судно.

На рис. 4 представлений приклад роботи АСОЗ у пусковому режимі, де розкривається робота системоутворюючих функцій F<sub>2</sub> (F<sub>21</sub>- F<sub>23</sub>), F<sub>3</sub> (F<sub>31</sub>- F<sub>33</sub>; F<sub>35</sub>- F<sub>37</sub>), F<sub>4</sub> (F<sub>41</sub>- F<sub>44</sub>).

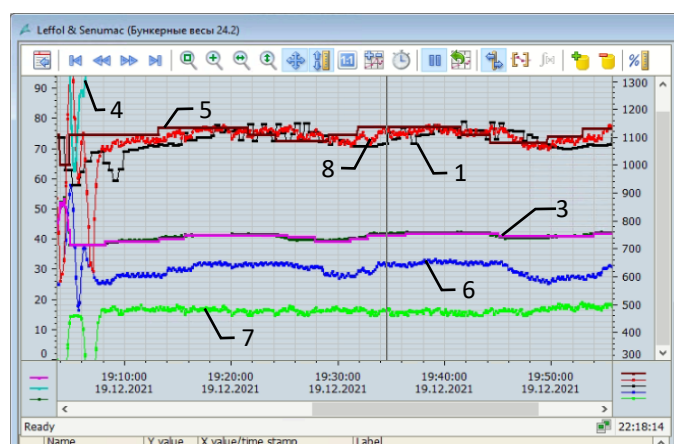


**Рис. 4 – Приклад роботи АСОЗ при відвантаженні зерна одночасно із двох джерел (Залізничний прийом – 450 т/год, та металеві силоси – 650 т/год) у пусковому режимі при виведенні продуктивності ПТЛ на задане значення 1100 т/год**

**Fig. 4 – An example of ASOZ operation when shipping grain simultaneously from two sources (Railway reception - 450 t/h, and metal silos - 650 t/h) in start-up mode when outputting the PTL productivity to the set value of 1100 t/h**

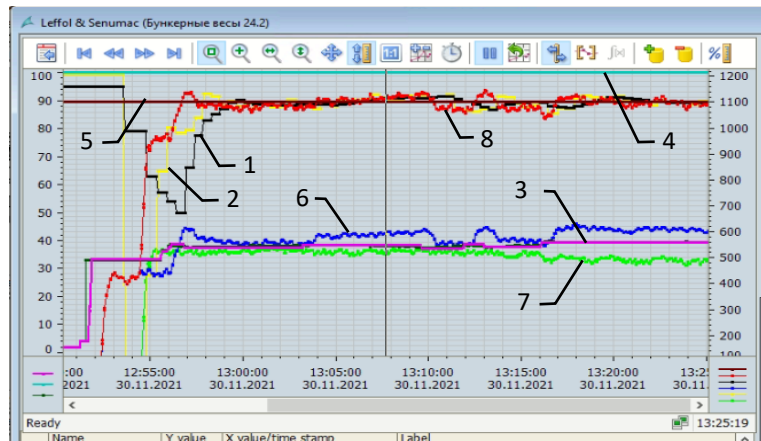
У наведеному прикладі до потоку зерна, що відвантажується на судно з Ж/Д прийому, додається потік з металевих силосів. На початковому етапі на основі заданого значення сумарної продуктивності та початкового значення витрати зерна із силосу розраховується початкове положення підсилювальної засувки (функція F<sub>2</sub> (F<sub>21</sub>, F<sub>22</sub>)), що дозволяє швидко вивести сумарну продуктивність ПТЛ в область робочих режимів (1000 т/год), далі (приблизно в 15.03 19.12.2021) включаються контури регулювання і сумарна продуктивність ПТЛ виводиться на задане значення 1100 т/год (функція F<sub>3</sub>, F<sub>4</sub>).

Приклади роботи АСОЗ в режимах роботи, що встановилися, в тому числі в умовах істотно нерівномірного висипання зерна представлений на рис. 5-7. Рисунки ілюструють виконання системоутворюючих функцій F<sub>3</sub> (F<sub>31</sub>- F<sub>33</sub>; F<sub>35</sub>- F<sub>38</sub>, F<sub>310</sub>), F<sub>4</sub> (F<sub>41</sub>- F<sub>44</sub>, F<sub>46</sub>).



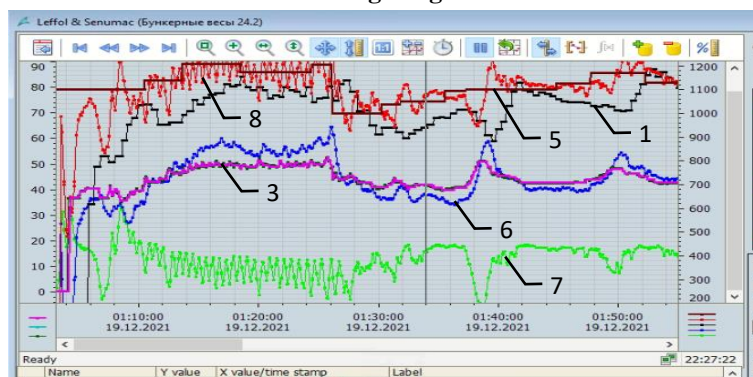
**Рис. 5 – Приклад роботи АСОЗ при відвантаженні зерна одночасно із двох джерел (Залізничний прийом – 500 т/год, та металеві силосу (2 штуки) – 600 т/год) в режимі, що встановився**

**Fig. 5 – An example of ASOZ operation when shipping grain simultaneously from two sources (Railway reception - 500 t/h, and metal silos (2 pieces) - 600 t/h) in the established mode**



**Рис. 6 – Приклад роботи АСОЗ при відвантаженні зерна одночасно із трьох джерел (склад підлогового зберігання №31 - 100 т/год, Залізничний прийом – 400 т/год та металеві силосу – 600 т/год) за відносно рівномірним висипанням зерна**

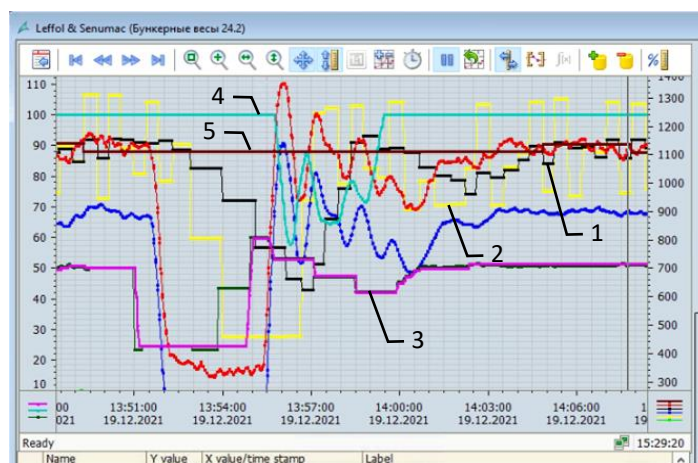
**Fig. 6 – An example of ASOZ operation when shipping grain simultaneously from three sources (floor storage warehouse No. 31 - 100 t/h, Railway reception - 400 t/h and metal of silage - 600 t/h) with a relatively uniform discharge of grain**



**Рис. 7 – Приклад роботи АСОЗ при відвантаженні зерна одночасно із двох джерел (склад підлогового зберігання №32 - 350 т/год та металеві силосу – 800 т/год) при суттєво нерівномірному висипанні зерна зі складу підлогового зберігання**

**Fig. 7 – An example of ASOZ operation when shipping grain simultaneously from two sources (floor storage warehouse No. 32 - 350 t/h and metal silos - 800 t/h) in case of significantly uneven spillage of grain from the floor storage**

Рис. 8 ілюструє роботу системоутворюючої функції F5, що забезпечує ідентифікацію АС, що зароджуються, і їх ліквідацію.



**Рис. 8 – Приклад роботи АСОЗ ПТЛ у разі виникнення аварійної ситуації, пов'язаної з розвитком «завалу» зерна у башмаку норії**

**Fig. 8 – An example of the work of the ASOZ PTL in the event of an emergency situation, associated with the development of grain "blockage" in the noria shoe**



На рис.8 видно, що при спрацьовуванні (приблизно в 13-55 19.12.2021) датчика підпору зерна в башмаку норії алгоритм управління АСОЗ знижує швидкість підсилосних конвеєрів і прикриває підсилосні засувки, запобігаючи розвитку аварійної ситуації. Після закінчення перехідних процесів номінальна швидкість конвеєрів алгоритмом відновлюється, а продуктивність ПТЛ встановлюється на оптимальному значенні 1100т/год. Без АСОЗ ця ситуація призвела б до аварійного зупинення завантаженої норії та всього попереднього обладнання ПТС.

Для оцінки ефективності АСОЗ ПТЛ у 2021–2022 роках було проведено аналіз зміни техніко-економічних показників відвантаження зерна на судна після впровадження АСОЗ. Приклад зміни техніко-економічних показників відвантаження зерна на судна після запровадження АСОЗ за результатами завантаження чотирьох суден кукурудзою наведено на рис. 9.

Показник	Розрахунок ТЕО				Среднее (по 3-м т/х)	Прогноз (из ТЭО)	Факт з SENUMAC				Среднее	
	1/х Baltic Hare 14-16.01.2020	1/х Erikeri 19-21.01.2020	1/х Iolcos Fighter 30.01-02.02.2020				1/х Nara A 18-21.12.2021	1/х Seeluck II 23-26.12.2021	1/х Wheat Weifang 17-20.01.2022	1/х Elpis 21-23.01.2022		
5 Продукт	Кукурудза											
6 Об'єм відвантаження, т	29487	27000	45012			38113	40048	47819	33000			
7 Об'єм вдовантаження, т (при роботі Senumac)						36822 (96,6%)	35626 (89%)	36228 (75,8%)	19662 (59,6%)			
8 Час завантаження, год (без простоїв)	41	34,2	61,8			43,5	46,8	41,8	40,7			
9 Час завантаження, год (при роботі Senumac)						39,4 (90,4%)	42,7 (91,3%)	26 (62,2%)	25,4 (62,5%)			
10	Основні показники											
11 Середня продуктивність завантаження, т/год	721	798	710	743	824	+10,9%	871,5 (+17,3%)	856,4 (+15,3%)	865,9 (+16,5%)	836,8 (+12,6%)	858	+15,5%
12 Середній час завантаження 1000т, год	1,39	1,27	1,37	1,34	1,21	-9,7%	1,14 (-14,9%)	1,17 (-12,7%)	1,15 (-14,2%)	1,2 (-10,4%)	1,17	-12,7%
15 Середня максимальна продуктивність, т/год	885	953	903	914	1050	+14,9%	1068,6 (+16,9%)	1047,8 (+14,6%)	1054,9 (+15,4%)	1017,7 (+11,3%)	1047	+14,6%
17 Затрати на електроенергію для завантаження 1000т, кВт/год	1136	-	-	1136	970	-14,6%	949,07 (-16,5%)	930,55 (-18,1%)	937,72 (-17,5%)	1049,6 (-7,6%)	967	-14,9%

**Рис. 9 – Приклад зміни техніко-економічних показників відвантаження зерна на судна після впровадження АСОЗ**  
**Fig. 9 – An example of a change in technical and economic indicators shipment of grain to ships after the implementation of ASOZ**

### Висновок

Результати порівняльного аналізу ефективності управління завантаженням ПТЛ під час відвантаження зерна на судна оператором «вручну» та з використанням автоматизованої системи оптимізації завантаження, проведені у 2021-2022 роках, показали наступне: – середній час відвантаження на судно з урахуванням простоїв зменшився на 14,7%; – середня продуктивність відвантаження без урахування простоїв збільшилася на 15,5%.

Джерела підвищення ефективності роботи ПТЛ при застосуванні АСОЗ:

- максимізація продуктивності ПТЛ до її гранично допустимих значень, що визначаються паспортними характеристиками обладнання;
- скорочення часу роботи ПТЛ зі зниженою продуктивністю в режимах пуску ПТЛ та цілеспрямованої зміни її продуктивності за рахунок значного скорочення часу перехідних процесів;
- скорочення часу роботи ПТЛ зі зниженою продуктивністю в режимах перемикання джерел зерна ПТЛ за рахунок забезпечення безперервності потоку зерна із заданою продуктивністю джерелами зерна, що залишаються в роботі;
- гарантоване запобігання аварійним зупинкам ПТЛ через їх перевантаження зерном та їх негативним наслідкам;

### Література

1. Кір'язов І. М. Дослідження ефективності функціонування АСОЗ ПТЛ прийому зерна з залізничного транспорту на елеваторі «МКХП Орєксім» М. Миколаїв / І. М. Кір'язов, С.В. Шестопапов, М.Т. Степанов, В. А. Хобін // Автоматизація технологічних і бізнес-процесів. – Одеса, 2020. – № 2. – Т. 12. – С. 4–8.
2. Хобін В. А. Автоматизовані системи оптимізації завантаження поточно-транспортних ліній зернових терміналів / В. А. Хобін, М.Т. Степанов, І. М. Кір'язов, С.В. Шестопапов // Збірник тез доповідей 82 наукової конференції викладачів університету. Міністерство освіти і науки України. – Одеса: ОНТУ. – 2022. – С. 204 – 206.
3. Пат. на винахід 99525 Україна, МПК (2011.01), B65G 17/00, G01R 29/00. Спосіб контролю ступеня завантаження конвеєра / Аннаєв Б. С., Герасимов В. В., Хобін В. А., Кирязов И.Н., Шестопапов С. В. и др.; власник ТОВ «С-Інжиніринг». – № а201014455; заявл. 03.12.10; опубл. 25.05.12, Бюл. № 10. – 14 с.
4. Пат. на винахід 95887 Україна, МПК (2011.01), B65G 17/00, B65G 47/46 (2006.01), B65G 65/42 (2006.01), G01G



- 11/12 (2006.01). Спосіб автоматичного управління завантаженням потоково-транспортної лінії сипких матеріалів / Аннаєв Б. С., Герасимов В. В., Хобін В. А., Кір'язов І. М., Шестопапов С. В. і ін.; власник ТОВ «С-Інжиніринг». – № а201015861; заявл. 29.12.10; опубл. 12.09.11, Бюл. № 17. – 24 с;
5. Пат. на винахід 98736 Україна, МПК (2012.01) B65G 17/00, B65G 47/00, B65G 43/00, H02H 5/04 (2006.01). Спосіб автоматичного управління потоково-транспортною лінією сипких матеріалів / Аннаєв Б. С., Герасимов В. В., Хобін В. А., Кір'язов І. М., Шестопапов С. В. і ін.; заявник та патентовласник ТОВ «С-Інжиніринг». – № а201105403; заявл. 27.04.11; опубл. 11.06.12, Бюл. № 11. – 7 с.

### References

1. Kiryazov I. M. Doslidzhennia efektyvnosti funktsionuvannia ASOZ PTL pryiomu zerna z zaliznychnoho transportu na elevatori «MKKhP Oreksim» M. Mykolaiv / I. M. Kiryazov, S.V. Shestopalov, M.T. Stepanov, V. A. Khobin // Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh i biznes-protseviv. – Odesa, 2020. – № 2. – Т. 12. – С. 4–8.
2. Khobin V. A. Avtomatyzovani systemy optymizatsii zavantazhennia potочно-transportnykh liniy zernovykh terminaliv / V. A. Khobin, M.T. Stepanov, I. M. Kiryazov, S.V. Shestopalov // Zbirnyk tez dopovidei 82 naukovoї konferentsii vykladachiv universytetu. Ministerstvo osvity i nauky Ukrainy. – Odesa: ONTU. – 2022. – С. 204 – 206.
3. Pat. na vinahId 99525 UkraYina, MPK (2011.01), V65G 17/00, G01R 29/00. SposIb kontroly zavantazhennya konveera / Annaev B. S., Gerasimov V. V., Khobin V. A., Kiryazov I. M., Shestopalov S. V. i In.; vlasnik TOV «S-InzhinIrIng». – № а201014455; заявл. 03.12.10; опубл. 25.05.12, Бюл. № 10. – 14 с;
4. Pat. na vinahId 95887 UkraYina, MPK (2011.01), V65G 17/00, V65G 47/46 (2006.01), V65G 65/42 (2006.01), G01G 11/12 (2006.01). SposIb avtomatichnogo upravIlnnya zavantazhenniam potokovo-transportnoYi IInIYi sipkih materIalIv / AnnaEv B. S., Gerasimov V. V., KhobIn V. A., Kiryazov I. M., Shestopalov S. V. I In.; vlasnik TOV «S-InzhinIrIng». – № а201015861; заявл. 29.12.10; опубл. 12.09.11, Бюл. № 17. – 24 с;
5. Pat. na vinahId 98736 UkraYina, MPK (2012.01) B65G 17/00, B65G 47/00, B65G 43/00, H02H 5/04 (2006.01). SposIb avtomatichnogo upravIlnnya potokovo-transportnoYi IInIYi sipkih materIalIv / AnnaEv B. S., Gerasimov V. V., KhobIn V. A., Kiryazov I. M., Shestopalov S. V. I In.; заявник та патентовласник TOV «S-InzhinIrIng». – № а201105403; заявл. 27.04.11; опубл. 11.06.12, Бюл. № 11. – 7 с.