



## АВТОМАТИЗАЦІЯ ГІДРОТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ГРЕЧАНОЇ КРУПИ

## AUTOMATION OF HYDROTHERMAL PROCESSING OF BUCKWHEAT GROATS

Касап М.І.<sup>1</sup>, Світий І.М.<sup>2</sup>, Жигайло О.М.<sup>3</sup>, Воїнова С.О.<sup>4</sup>  
Kasap M.I.<sup>1</sup>, Svityi I.M.<sup>2</sup>, Zhyhailo O.M.<sup>3</sup>, Voinova S.O.<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Одеський національний технологічний університет, Одеса, Україна

ORCID ID: <sup>1</sup><https://orcid.org/0009-0004-5673-588X>; <sup>2</sup><https://orcid.org/0000-0001-8524-5565>;

<sup>3</sup><https://orcid.org/0000-0001-6986-4673>; <sup>4</sup><https://orcid.org/0000-0003-0203-0599>

Email: <sup>1</sup>[n.ka@ukr.net](mailto:n.ka@ukr.net), <sup>2</sup>[switii@yahoo.com](mailto:switii@yahoo.com), <sup>3</sup>[dr\\_jam2006@ukr.net](mailto:dr_jam2006@ukr.net), <sup>4</sup>[voinova\\_s@yahoo.com](mailto:voinova_s@yahoo.com)

Copyright © 2026 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.v18i1.3428

**Анотація.** Гречана крупа широко використовується у харчуванні. На етапі її гідротермічної обробки формуються ключові властивості готового продукту. Ефективність пропарювання зерна залежить від точності підтримки режимних параметрів, яку може забезпечити застосування сучасних систем автоматичного керування технологічним процесом. Актуальним науково-технічним завданням є автоматизація процесу пропарювання гречки в камерах пропарювання з метою підвищення якості продукції та ефективності виробництва. Ідентифікація моделей каналів об'єкта керування проводилася методом активного експерименту. Для їх параметричної ідентифікації застосовано методики двох загальних точок першого і другого порядку. Ідентифікація моделі контрольованого збурення проводилася методом пасивного експерименту. Проведено синтез і аналіз САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності. Розроблено технічну структуру мікропроцесорного ядра системи керування процесом пропарювання зерна, 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 працездатність програм та їх відповідність алгоритмам керування. В середовищі SCADA- системи WinCCFlexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і налагоджувача САК процесу пропарювання зерна. Розроблено фрагменти документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці. Виходячи з економічних розрахунків, проект модернізації САК є інвестиційно привабливим та фінансово прибутковим, адже чистий грошовий потік за період його реалізації більше нуля, та термін окупності менше нормативного.

**Abstract.** Buckwheat is widely used in food. At the stage of its hydrothermal treatment, key properties of the finished product are formed. The efficiency of grain steaming depends on the accuracy of maintaining the regime parameters, which can be ensured by the use of modern automatic control systems for the technological process. The current scientific and technical task is to automate the process of steaming buckwheat in steaming chambers in order to improve product quality and production efficiency. Identification of the control object channel models was carried out by the method of active experiment. For their parametric identification, the methods of two common points of the first and second order were used. Identification of the controlled perturbation model was carried out by the method of passive experiment. The synthesis and analysis of the automatic control system of the basic structure and the ACS of increased dynamic accuracy were carried out. The technical structure of the microprocessor core of the grain steaming process control system has been developed, an 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, and their verification has been carried out, which has confirmed the operability of the programs and their compliance with the control algorithms. In the WinCCFlexible SCADA system environment, software for the AWP of the operator and adjuster of the ACS of the grain steaming process has been developed. Fragments of the documentation for the technical support of the ACS have been developed, including issues of labor protection. Based on economic calculations, the ACS modernization project is investment-attractive and financially profitable, since the net cash flow for the period of its implementation is more than zero, and the payback period is less than the standard one.



**Ключові слова:** гречана крупа, пропарювання, пропарювач, автоматичне керування, автономна САК, автоматизація.

**Key words:** buckwheat, steaming, steamer, automatic control, autonomous ACS, automation.

**Вступ.** У сучасних умовах зростає попит на продукти харчування, що поєднують високу харчову цінність, безпечність та природне походження. Одним із таких продуктів є гречана крупа, яка характеризується збалансованим складом поживних речовин, високими органолептичними властивостями та широким використанням у дієтичному і дитячому харчуванні. Важливою перевагою гречки є можливість її вирощування без інтенсивного застосування хімічних засобів, що обумовлює її екологічну привабливість.

Виробництво гречаної крупы є складним багатостадійним процесом, що включає очищення зерна, гідротермічну обробку, калібрування, лущення, шліфування та сушіння.

Саме на етапі гідротермічної обробки формуються ключові технологічні та споживчі властивості готового продукту.

Гідротермічна обробка зерна передбачає вплив вологості та температури з метою зміни його фізико-механічних і біохімічних характеристик. Для гречаної крупы найбільш поширеним методом є пропарювання, яке забезпечує підвищення виходу крупы, покращення її кольору, смакових властивостей та кулінарних характеристик, а також збільшення стійкості до зберігання. Разом з тим ефективність цього процесу значною мірою залежить від точності дотримання режимних параметрів - температури, вологості, тиску та тривалості обробки.

Недотримання або коливання зазначених параметрів призводить до погіршення якості готової продукції та зниження ефективності виробництва. У зв'язку з цим забезпечення стабільності та оптимальності режимів пропарювання можливе лише за умови застосування сучасних систем автоматичного керування (САК) технологічним процесом.

Отже, актуальним науково-технічним завданням є автоматизація процесу пропарювання гречки в камерах пропарювання з метою підвищення якості продукції та ефективності виробництва.

**Аналіз літературних даних і постановка проблеми.** Оскільки автоматизація пропарювання зерна є актуальним науковим напрямом, багато дослідників присвятили йому свої розробки. Відомий спосіб гідротермічної обробки зерна круп'яних культур, що передбачає пропарювання зерна насиченою паром з регулюванням тиску та тривалості обробки [1]. Недоліком даного способу є відсутність регулювання тиску пари в апараті, що не забезпечує стабільність режимів пропарювання. Описано спосіб гідротермічної обробки зерна у пропарювачах безперервної дії, що передбачає регулювання тиску пари та часу перебування зерна в апараті [2]. Недоліком способу є відсутність регулювання витрати пропареного зерна, що ускладнює стабілізацію продуктивності процесу. Запропоновано спосіб пропарювання зерна у вертикальних пропарювачах із частковою автоматизацією, що передбачає регулювання тиску пари та тривалості обробки [3]. Недоліком способу є відсутність регулювання витрати пропареного зерна, а також відсутність взаємозв'язку між подачею зерна та параметрами пари. Існує спосіб гідротермічної обробки зерна у апаратах безперервної дії, що передбачає регулювання температури, тиску та тривалості обробки [4]. Недоліком способу є відсутність регулювання витрати пропареного зерна, що обмежує можливості оптимізації процесу за продуктивністю. Розглянуто спосіб гідротермічної обробки зерна рису, що передбачає регулювання температури, вологості та тривалості обробки [5]. Недоліком способу є відсутність регулювання тиску пари, що знижує стабільність теплового впливу. Відомий спосіб пропарювання зерна з використанням програмного керування режимами обробки, при якому параметри процесу задаються наперед у вигляді часової програми [6]. Недоліком способу є відсутність регулювання тиску пари, а також витрати зерна, що знижує адаптивність системи. Описано спосіб гідротермічної обробки зерна у апаратах безперервної дії, що передбачає регулювання часу перебування зерна шляхом зміни швидкості його руху [7]. Недоліком способу є відсутність регулювання тиску пари, а також витрати зерна. Запропоновано спосіб автоматичного керування процесом гідротермічної обробки зерна у пропарювачі, який містить пульт керування системою автоматики на основі контролера з виносною дисплейною панеллю, зокрема для регулювання тиску [8]. Недоліком способу є відсутність регулювання витрат пропареного зерна, що негативно впливає на якість пропареного зерна. Існує спосіб автоматичного керування процесом гідротермічної обробки зерна у пропарювачах безперервної дії, що передбачає одночасне регулювання тиску пари та витрати зерна шляхом зміни подачі пари та швидкості переміщення зерна [9]. Недоліком способу є те, що при зміні витрати зерна змінюються умови тепломасообміну в апараті, що призводить до впливу витрати зерна на тиск у камері пропарювання. Такий взаємний вплив ускладнює стабілізацію тиску та знижує ефективність керування процесом. Розглянуто спосіб автоматичного керування процесом гідротермічної обробки крупы в камері пропарювання, який містить регулювання витрат пропарюваного зерна на виході пропарювача шляхом зміни частоти обертів двигуна шлюзового затвору, а також регулювання тиску пари в пропарювачі шляхом зміни положення регулюючого органу подачі пари до пропарювача [10]. Недоліком способу є шкідливий вплив контуру регулювання витрат пропареного зерна на контур регулювання тиску пари в пропарювачі що знижує динамічну точність керування, яка в свою чергу призводить до зниження якості пропарювання.

В Одеському національному технологічному університеті, на кафедрі автоматизації технологічних, електромеханічних і робототехнічних систем запропоновано ефективну САК пропарюванням гречаної крупы в



пропарювачі, яка забезпечує високу якість готового продукту, зниження енерговитрат за рахунок підвищення динамічної точності керування [11].

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є підвищення ефективності процесу пропарювання гречаної крупи, шляхом удосконалення інтелектуального рівню САК в результаті підвищення його динамічної точності.

Для досягнення цієї мети виконано наступні завдання:

- конкретизація задачі дотримання регламентів технологічного процесу, розробка і реалізація комплексу його моделей як об'єкта керування (ОК);
- формулювання задач керування, вимог до їх розв'язання і вибір основних принципів побудови автоматичних систем;
- синтез і аналіз системи автоматичного регулювання (САР) найпростішої (базової) структури;
- синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності.

**Методи і матеріали досліджень.** Основним використаним методом дослідження є метод системного аналізу. Для ідентифікації моделей було використано методи активного та пасивного експерименту, метод типової статистичної ідентифікації та інженерні методики ідентифікації моделі ОК. При синтезі САР було використано методи теорії автоматичного керування, а саме інженерні методики параметричного синтезу САР, оптимальний параметричний синтез, принцип автономності. Основним експериментальним методом обрано імітаційне моделювання.

**Результати досліджень.** На початку дослідження було проаналізовано технологічний процес пропарювання гречаного зерна, а саме гарячого кондиціювання із застосуванням пари (рис. 1). Пропарювання зерна проводять при тиску пари 0,3 ... 0,7 МПа тривалістю 5 хвилин, у результаті чого вологість зерна збільшується на 3 ... 6 %. Після цього зерно відволожують 10 ... 30 хв. Після пропарювання зерно сушать при температурі близько 150 °С, що зменшує міцність оболонки і вони краще відділяються від ядра. Завершують процес гідротермічної обробки охолодженням зерна до температури, яка відрізняється від температури наколишнього середовища не більше, ніж на 5 ... 8 °С, що сприяє додатковому зневодженню оболонки і покращує їх відділення. У процесі гідротермічної обробки у крупи вирівнюється колір, вона швидше розварюється до однорідної консистенції.

Розглянуто як приклад пропарювач круп'яних культур ПЗ-3 фірми СИМО (рис. 2). Апарат має циліндричний корпус, сферичне днище і кришку. По центру сферичної кришки встановлена приводна станція мішалки, змонтованої всередині апарату. Збоку знаходиться завантажувальний патрубок, до якого закріплено завантажувальний пристрій, який працює за принципом шлюзової камери. На кришці змонтовані манометр, вибухозапобіжний клапан і датчик рівня. По центру днища знаходиться розвантажувальний отвір, до якого закріплений шлюзовий живильник з приводною станцією. До днища закріплюється парова рубашка, що має патрубки підведення пари і відведення конденсату. З бічної частини циліндричного корпусу встановлений патрубок для подачі пари і люк для технічного обслуговування внутрішньої частини апарату.

Далі формалізували параметризовану схему технологічного процесу і отримали параметричну схему (рис. 3), на основі якої побудували структурну схему процесу пропарювання зерна, як ОК (рис. 4), де  $f_1$ ,  $f_2$ , – вектори неконтрольованих збурень, % х.р.о.

Мета ведення технологічного процесу визначає його умови, при яких виходить продукт із заданими властивостями, визначеними регламентом. У нашій випадку це: тиск пари в апараті Рап та витрата пропареного зерна Fзп. Керуючими діями для їх зміни є положення регулюючих органів подачі пари  $u_1$  та положення РО зміни частоти обертів електроприводу двигуна шлюзового затвору  $u_2$ . До параметричних збурень віднесли конструктивні особливості обладнання  $\delta_1$ , до координатних - Млз, Мпз. Оскільки на підприємстві ці параметри не вимірюють, віднесемо їх до неконтрольованих збурень  $f_1$ ,  $f_2$ , які прикладені до керуючих дій. Досліджувалися три канали: « $u_1$  – Рап», « $u_2$  – Fзп» та « $u_2$  – Рап» за якими ОК має статичні властивості.

Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів тиск пари в апараті Рап має підтримуватися на рівні 0,6 МПа з точністю  $\pm 0,05\%$ . За цим параметром припустимі короточасні відхилення до  $\pm 0,1\%$  протягом часу не більше 80 секунд. Відповідно до нормативів ведення технологічних процесів витрати пропареного зерна Fзп має підтримуватися на рівні 1000кг/год з точністю  $\pm 100$ кг/год. За цим параметром припустимі короточасні відхилення до  $\pm 200$ кг/год протягом часу не більше 60 секунд.

Особливо жорсткі вимоги пред'являються до тривалих відхилень, оскільки саме недотримання цих регламентів може призвести до браку готової продукції і суттєвих економічних збитків. При цьому малі відхилення регламентуються дуже жорстко. Тому в якості інтегрального критерію обрано інтегральний модульний критерій, що сильно штрафує незначні відхилення і мало штрафує короточасні відхилення. Рівняння для такого критерію має вигляд:

$$J = \int_0^{t_M} \left[ \left| \left( \frac{\Delta P_{\text{ап}}(t)}{0,1} \right) \right| + \left| \left( \frac{\Delta F_{\text{зп}}(t)}{100} \right) \right| \right] \cdot dt$$

де  $t_M$  – час моделювання;

$\Delta P_{\text{ап}}(t)$  – відхилення тиску пари в апараті від заданого значення.



$\Delta F_{zn}(t)$  – відхилення витрат пропареного зерна від заданого значення.

Для подальшого дослідження було проведено параметризацію технологічної схеми (рис. 1).

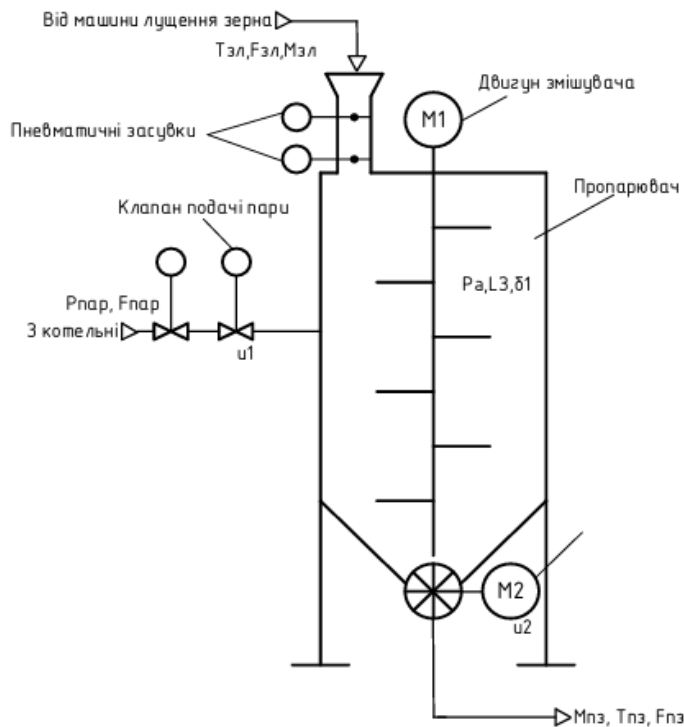


Рис. 1. – Параметризована схема процесу гідротермічної обробки гречаної крупи

Fig. 1. – Parameterized scheme of the buckwheat groats hydrothermal processing



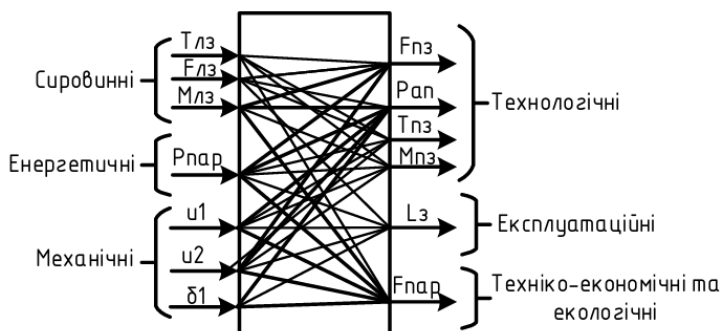
Рис. 2. – Пропарювач ПЗ-3

Fig. 2. – PZ-3 Steamer

На рис. 1 нанесено такі позначення параметрів/ The following parameter notations are shown in Fig. 1:

Р<sub>пар</sub> – тиск пари/steam pressure  
 F<sub>пар</sub> – витрати пари/steam flow rate  
 М<sub>зл</sub> – вологість лущеного зерна/moisture of hulled grain  
 М<sub>пз</sub> – вологість пропареного зерна/moisture of steamed grain  
 F<sub>пз</sub> – витрати пропареного зерна/steamed grain flow rate  
 Т<sub>зл</sub> – температура лущеного зерна/hulled grain temperature  
 F<sub>зл</sub> – витрати лущеного зерна/hulled grain flow rate

Т<sub>пз</sub> – температура пропареного зерна/steamed grain temperature  
 Р<sub>ап</sub> – тиск в апараті/pressure inside the apparatus  
 L<sub>3</sub> – рівень зерна в апараті/grain level in the apparatus  
 δ<sub>1</sub> – конструктивні особливості камери/design features of the chamber  
 u<sub>1</sub> – положення РО зміни витрати пари/actuator position for steam flow rate adjustment  
 u<sub>2</sub> – положення РО зміни частоти обертів електроприводу двигуна шлюзового затвору/actuator position for adjusting the rotary valve (airlock) motor speed



Параметрична схема ОК  
 Fig. 3. – Parametric diagram of the control object

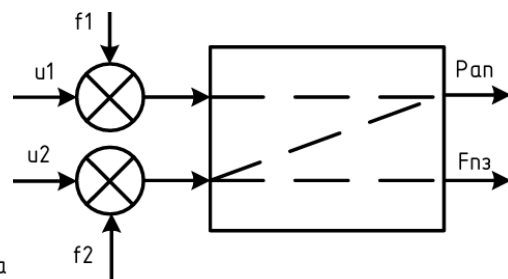


Рис. 4. – Структурна схема ОК  
 Fig. 4. – Block diagram of the control object



Проведено структурно-параметричну ідентифікацію каналів моделі ОК. Розроблено повну модель ОК (рис. 5).

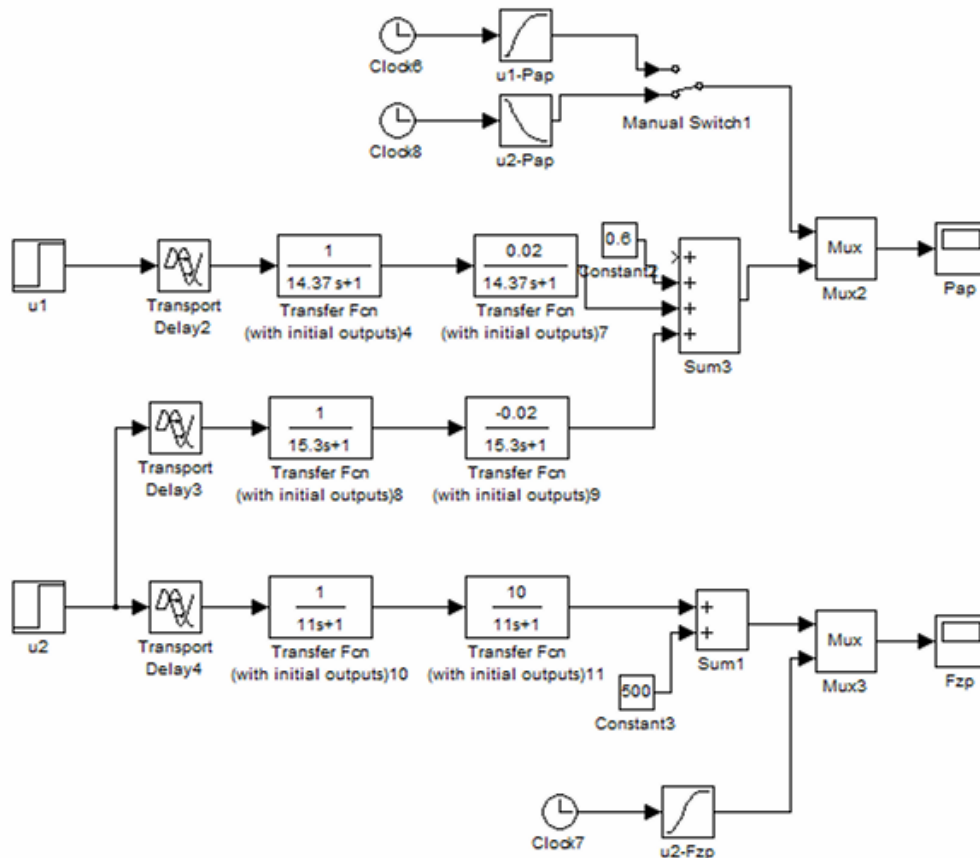


Рис. 5. – Схема повної моделі ОК  
Fig. 5. – Full control object model diagram

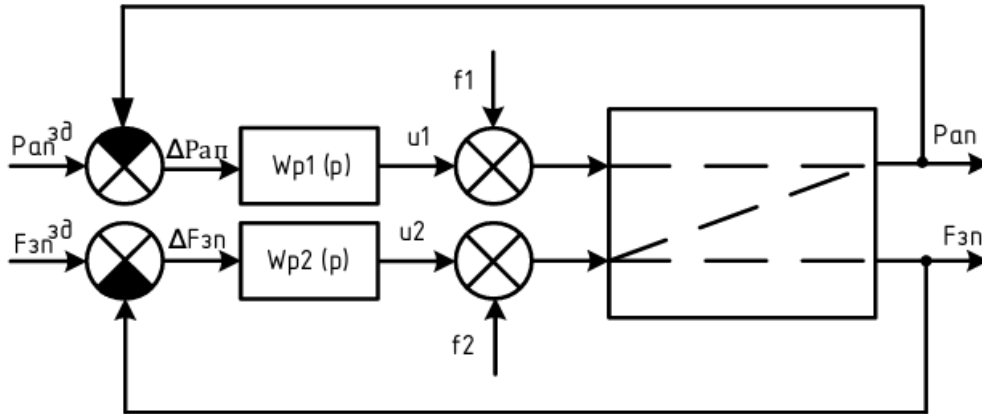
Для системи керування процесом гідротермічної обробки крупи в камері пропарювання, крім інформації про бажаний стан ОК ( $Pan^{30}$ ,  $Fzn^{30}$ ), доступною є інформація про поточний стан ОК ( $Pan$ ,  $Fzn$ ). Такий об'єм інформації для формування керуючого впливу ( $u1$ ,  $u2$ ) достатній для реалізації замкненого принципу керування. Тому саме цей принцип і покладено в основу розробленої САР базової структури (рис. 6).

Проведено оптимальний параметричний синтез і аналіз САР підвищеної динамічної точності з корегуючим зв'язком, який забезпечує автономність контуру регулювання тиску пари в пропарювачі від контуру регулювання витрат пропареного зерна таким чином, щоб зміни частоти обертів двигуна шлюзового затвору не впливали на тиск пари в пропарювачі. Розраховано, спрощено та оптимізовано параметри коригуючого зв'язку та доведено його доцільність використання. Проведено перевірки на грубість САР з урахуванням можливості зміни параметрів ОК.

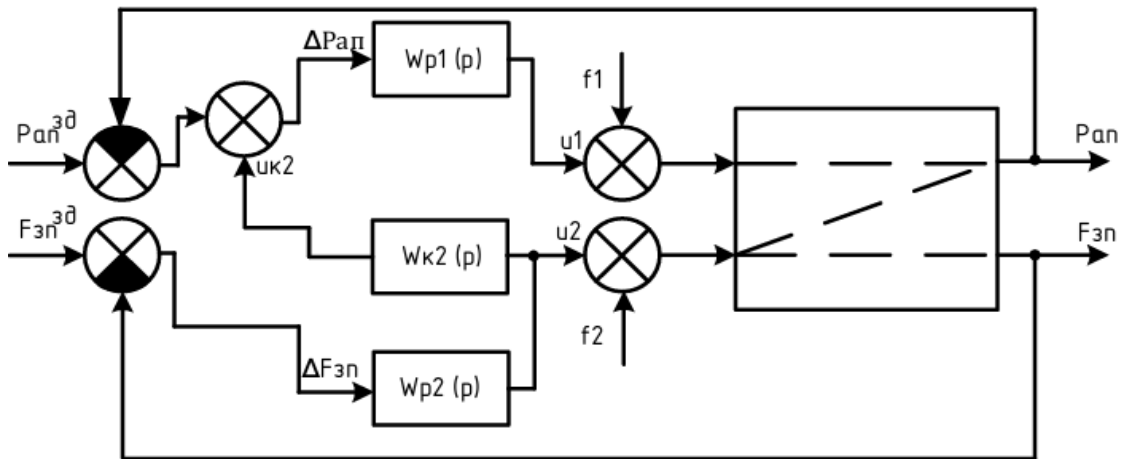
Таблиця 1.- Результати порівняння базової САР і автономної САР

Варіант САР	Максимальне динамічне відхилення $\Delta Pa_{max}$ , МПа	Час перехідного процесу за $Pa_{ap}$ , с	Значення інтегрального показника якості перехідного процесу
САР з ПІД-регулятором	0,674	44,6	862
САР підвищеної динамічної точності	0,66	40,5	613

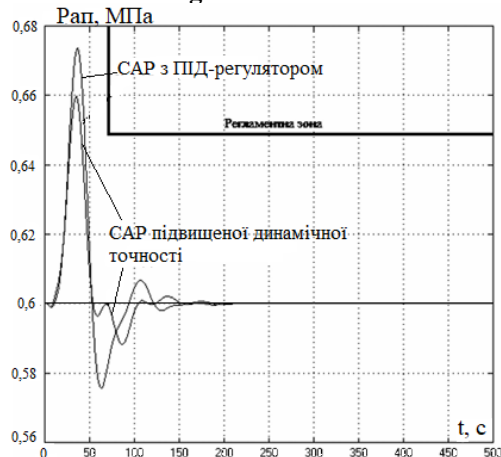
Результати порівняння якості роботи САР базової структури і САР підвищеної динамічної точності (ПДТ) наведено в табл. 1, на рис. 8. Автономна САР демонструє дещо кращі показники якості.



**Рис. 6.- Структурна схема САР гідротермічної обробки гречаної крупи базової структури**  
 $W_{p1}(p)$  – передаточна функція регулятора вологості пропареного зерна;  
 $W_{p2}(p)$  – передаточна функція регулятора витрат пропареного зерна  
**Fig. 6. – Block diagram of the buckwheat groats hydrothermal processing ACS**  
 $W_{p1}(p)$  – transfer function of the steamed grain moisture controller;  
 $W_{p2}(p)$  – transfer function of the steamed grain flow rate controller.



**Рис. 7. – Структурна схема автономної САР гідротермічної обробки гречаної крупи**  
 $W_{к2}(p)$  - передаточна функція коригуючого зв'язку  
 $uk2$  – корегуючий сигнал на виході корегуючого зв'язку  
**Fig. 7. – Block diagram of the autonomous ACS for buckwheat groats hydrothermal processing**  
 $W_{к2}(p)$  – transfer function of the corrective link;  
 $uk2$  – correction signal at the corrective link output.



**Рис. 8.- Перехідні процеси в базовій САР і автономній САР за тиском в апараті**  
**Fig. 8. – Transient processes in the base ACS and autonomous ACS by the apparatus pressure**



Здійснено вибір технічних засобів отримання інформації про змінні процесу та реалізації керуючих впливів, розроблено контролерно-комп'ютерну мережу, проведено програмування алгоритмів регулювання та логічного керування САК. Розроблено SCADA для автоматизованого робочого місця технолога і наладчика САК. Розроблено фрагменти документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці. Були розраховані показники економічного ефекту від модернізації.

**Обговорення результатів.** САР із ПД-регулятором та П-регулятором у перехідних режимах задовольняє гранично допустимим вимогам. САР в усталених режимах не виходить за рамки зони неважливих відхилень. Порівняно з ПД-регулятором, САР з П-регулятором менш чутлива до варіації параметрів ОК.

САР підвищеної динамічної точності задовольняє гранично припустимим вимогам за обома каналами регулювання. Після підвищення динамічної точності САР інтегральний критерій зменшився на 30%, максимальне динамічне відхилення зменшилося на 2%, а час перехідного процесу зменшився на 9%.

Отже, зважаючи на покращення усіх показників якості у порівнянні з САР базової структури, САР підвищеної динамічної точності використовувати доцільно.

Розроблено технічну структуру мікропроцесорного ядра системи керування процесом пропарювання гречаного зерна, 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 працездатність програм та їх відповідність алгоритмам керування.

В середовищі SCADA- системи WinCCFlexible розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесу пропарювання зерна. АРМ дозволяє контролювати хід технологічного процесу, задавати режими роботи, здійснювати перемикання режимів керування обладнанням (Авт / Руч) і керувати в ручному режимі окремим обладнанням, проводити налаштування і налагодження САУ, відображати динаміку зміни технологічних параметрів, вести журнали подій, проводити адміністрування користувачів програми.

Виходячи з економічних розрахунків, проект модернізації САК є інвестиційно привабливим та фінансово прибутковим, адже чистий грошовий потік за період його реалізації більше нуля, та термін окупності менше нормативного.

#### **Висновки**

Ефективність технологічного процесу пропарювання гречаного зерна залежить від точності підтримки режимних параметрів - тиску пари в апараті та витрат пропареного зерна.

Керуючими діями виступають положення регулюючого органу подачі пари та зміни частоти обертів електроприводу двигуна шлюзового затвору.

Ідентифікація моделей каналів об'єкта керування проводилася методом активного експерименту з нанесенням на вхід каналу 10%-ї ступінчастої дії.

Для параметричної ідентифікації моделей каналу керування застосовувалися методики двох загальних точок для моделей першого і другого порядку.

Ідентифікація моделі каналу контрольованого збурення проводилася методом пасивного експерименту.

Статистичними методами отримана модель стохастичної складової контрольованого та неконтрольованих збурень.

Відтворення отриманих моделей здійснювалося в середовищі імітаційного моделювання Matlab.

Відтворення моделей стохастичної складової контрольованих та неконтрольованих збурень здійснено методом формуючого фільтра.

Проведено синтез і аналіз САР базової структури.

Здійснено оптимізацію параметрів регулятора за інтегральним модульним критерієм.

Зроблено висновок про покращення прямих та інтегральних показників якості.

Проведено синтез САР підвищеної динамічної точності на основі розробленої САР базової структури.

Розраховано, спрощено та оптимізовано параметри коригуючого зв'язку та доведено доцільність його використання.

Проведено перевірку на грубість САР, зроблено висновок про грубість при варіаціях параметрів ОК на  $\pm 20\%$  від номінальних.

САР підвищеної динамічної точності задовольняє гранично припустимим вимогам за обома каналами регулювання.

Розроблено технічну структуру мікропроцесорного ядра САК пропарювання зерна, здійснений вибір промислового контролера, реалізовано алгоритми логічного керування та регулювання.

Розроблено програмне забезпечення АРМ оператора і наладчика САК процесу пропарювання зерна.

Створено фрагменти документації технічного забезпечення САК, включаючи питання охорони праці.

Проект модернізації САК є інвестиційно привабливим та фінансово прибутковим.



### Список використаних джерел

1. OLIS. Технології переробки гречки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://olis.com.ua/en/kompleksi/krupocch/grechih/> (дата звернення: 28.03.2026).
2. AGRO-SIMO-MASHBUD. Обладнання для гідротермічної обробки зерна [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simo.com.ua/en/oborudovanie/gidrotermicheskaya-obrabotka/> (дата звернення: 28.03.2026).
3. AGRO-SIMO-MASHBUD. Пропарювач ПЗ-3 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simo.com.ua/en/oborudovanie/proparivatelpz-3> (дата звернення: 28.03.2026).
4. Aleksashin A., Goncharuk G. Modernization of the machine for hydrothermal treatment of grain // Grain Products and Mixed Fodder's. – 2022. – №22(2). – С. 20–26. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15673/gpmf.v22i2.2396> (дата звернення: 28.03.2026).
5. International Rice Research Institute. Postharvest processing of rice [Електронний ресурс]. – Manila, 2013. – Режим доступу: <https://www.irri.org> (дата звернення: 28.03.2026).
6. Bühler Group. Parboiling and hydrothermal treatment solutions [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.buhlergroup.com> (дата звернення: 28.03.2026).
7. Singh R.P., Heldman D.R. Introduction to Food Engineering. – 5th ed. – Academic Press, 2014
8. Пропарювач ПЗ-1 [Електронний ресурс]. / Офіційний сайт компанії АГРО-СІМО-МАШБУД.- Режим доступу: <https://simo.com.ua/oborudovanie/proparivatelpz-1> (дата звернення: 28.03.2026).
9. US Patent US20130213376A1. Method for steaming grain [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/US20130213376A1> (дата звернення: 28.03.2026).
10. Офіційний сайт фірми "Simo" [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://simo.com.ua/ua/obladnannya/proparivatelpz-3> (дата звернення: 28.03.2026).
11. Касап М. І. Підвищення ефективності безперервної гідротермічної обробки зерна на основі вдосконалення алгоритмів автоматичного керування (рукопис).- Одеса: ОНТУ, 2025.- 127с.

### References

1. OLIS. Tekhnologii pererobky hrechky [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://olis.com.ua/en/kompleksi/krupocch/grechih/> (data zvernennia: 28.03.2026).
2. AGRO-SIMO-MASHBUD. Obladnannia dlia hidrottermichnoi obrobky zerna [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://simo.com.ua/en/oborudovanie/gidrotermicheskaya-obrabotka/> (data zvernennia: 28.03.2026).
3. AGRO-SIMO-MASHBUD. Propariuvach PZ-3 [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://simo.com.ua/en/oborudovanie/proparivatelpz-3> (data zvernennia: 28.03.2026).
4. Aleksashin A., Goncharuk G. Modernization of the machine for hydrothermal treatment of grain // Grain Products and Mixed Fodders. – 2022. – №22(2). – S. 20–26. – Rezhym dostupu: <https://doi.org/10.15673/gpmf.v22i2.2396> (data zvernennia: 28.03.2026).
5. International Rice Research Institute. Postharvest processing of rice [Elektronnyi resurs]. – Manila, 2013. – Rezhym dostupu: <https://www.irri.org> (data zvernennia: 28.03.2026).
6. Bühler Group. Parboiling and hydrothermal treatment solutions [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://www.buhlergroup.com> (data zvernennia: 28.03.2026).
7. Singh R.P., Heldman D.R. Introduction to Food Engineering. – 5th ed. – Academic Press, 2014
8. Propariuvach PZ-1 [Elektronnyi resurs]. / Ofitsiyni sait kompanii AHRO-SIMO-MASHBUD.- Rezhym dostupu: <https://simo.com.ua/oborudovanie/proparivatelpz-1> (data zvernennia: 28.03.2026).
9. US Patent US20130213376A1. Method for steaming grain [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://patents.google.com/patent/US20130213376A1> (data zvernennia: 28.03.2026).
10. Ofitsiyni sait firmy "Simo" [Elektronnyi resurs]. – Rezhym dostupu: <https://simo.com.ua/ua/obladnannya/proparivatelpz-3> (data zvernennia: 28.03.2026).
11. Kasap M. I. Pidvyshchennia efektyvnosti bezperervnoi hidrottermichnoi obrobky zerna na osnovi vdoskonaennia alhorytmiv avtomatichnoho keruvannia (rukopys).- Odessa: ONTU, 2025.- 127s.

Отримана в редакції 03.03.2026. Прийнята до друку 09.03.2026. Розміщено в інтернеті 30 березня 2026.  
Received 03 March 2025. Approved 09 March 2026. Available in Internet 30 March 2026