



- [6] Sandler, A. K. (2019). Modelirovaniye akselerometra mayatnikovogo tipa. [Modeling of a pendulum-type accelerometer]. Cherkasy: Bulletin of the Cherkasy State Technological University. No. 1. - P. 75-81. [in Ukraine].
- [7] Sandler, A. K. (2020). Optymizatsiya konstruktyvnykh parametriv volokonnoho akselerometru. [Optimization of design parameters of the fiber accelerometer]. Bratislava: Slovak international scientific journal. № 42. VOL.1. P. 25-31. [in Slovak].
- [8] Gulyaev, Yu. V., Mesh, M. Ya., Proklov, V. V. (1991). Modulyatsionnyye efekty v volokonnykh svetovodakh i ikh primeneniye. [Modulation effects in fiber optics and their application]. - Moscow: Radio i svyaz'. [in Russian].
- [9] Sharapov, V. M., Musienko, M. P., Sharapova, E. V. (2006). P'yezoelektricheskiye datchiki. [Piezoelectric sensors]. Moscow: Tekhnosfera. [in Russian].
- [10] Busurin, V. I., Nosov, Yu. R. (1990). Volokonno-opticheskiye datchiki. Fizicheskiye osnovy, voprosy rascheta i primeneniya [Fiber optic sensors. Physical basis, questions of calculation and application]. Moscow: Energoatomizdat. [in Russian].
- [11] Sandler, A.K. (2018). Informatsiyno-vymiryuval'ni prystroyi na osnovi volokonno-optychnykh tekhnolohiy. [Information-measuring devices based on fiber-optic technologies]. Odessa: Izdatelinform NU "OMA" [in Ukraine].

Отримана в редакції 05.02.2021. Прийнята до друку 26.02.2021. Received 05 February 2021. Approved 26 February 2021. Available in Internet 31 March 2021.

УДК 004.896:663.81:664.8.036.3

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПАСТЕРИЗАЦІЇ ЯБЛУЧНОГО СОКУ

Бричук Б. В.

Одеська національна академія харчових технологій

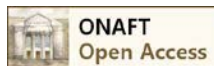
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0343-1354>

E-mail: bbrychuk@gmail.com

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:

Анотація. Здоров'я - безцінне надбання не тільки кожної людини, але і всього суспільства. Для підтримки здоров'я людини на певному рівні, необхідно включати в раціон харчування фруктові та овочеві соки, зокрема яблучний сок, який має високі споживні властивості. Збереження цих властивостей можна забезпечити лише за рахунок автоматичного керування технологічним процесом виробництва яблучного соку. Автоматичне керування процесом пастеризації яблучного соку – одне з найбільш складних та важливих завдань, оскільки забезпечує дотримання технологічного регламенту термічної обробки яблучного соку. Процес пастеризації яблучного соку, як об'єкт керування являє собою складну динамічну систему. Аналіз існуючих систем автоматичного керування пастеризацією яблучного соку демонструє певні недоліки і ставить задачі наступної розробки. В Одеській національній академії харчових технологій, на кафедрі автоматизація технологічних процесів і робототехнічних систем розроблено новий спосіб пастеризації яблучного соку, з використанням каскадної системи автоматичного регулювання, яка зменшує запізнення в контурі регулювання температури пастеризації, що підвищує якість готового продукту, продуктивність процесу та знижує його енергоємність. Результати структурно-параметричного синтезу і аналізу розробленої системи автоматичного керування підтверджують переваги запропонованого підходу. Побудована каскадна система автоматичного регулювання забезпечує високу динамічну точність керування розглянутим технологічним процесом. Розроблене автоматизоване робоче місце оператора-технолога і налагодика системи автоматичного керування в SCADA-системі дозволяє зручно і ефективно спостерігати та керувати ходом процесу пастеризації яблучного соку. Подальший розвиток питання автоматизації керування процесом пастеризації яблучного соку знайде в магістерській випускній роботі.

Abstract. Health is an invaluable property of not only every person, but also society. To maintain human health at a certain level, it is necessary to include fruit and vegetable juices in the diet, including apple juice, which has high consumable properties. The preservation of these properties can be provided only due to the automatic control of the technological process of production of apple juice. Automatic control of the process of pasteurization of apple juice is one of the most complex and



important tasks, since it provides compliance with the technological regulations of heat treatment of apple juice. The process of pasteurization of apple juice as the control object is a complex dynamic system. An analysis of existing automatic control systems for the pasteurization of apple juice demonstrates certain disadvantages and puts the task of the following development. In the Odessa National Academy of Food Technologies, the automation of technological processes and robotic systems has been developed by a new method of pasteurization of apple juice, using a cascade system of automatic regulation, which reduces the delay in the patient control circuit, which increases the quality of the finished product, process performance and reduces its energy intensity. The results of structural-parametric synthesis and analysis of the developed automatic control system confirm the benefits of the proposed approach. The constructed cascade system of automatic regulation provides a high dynamic accuracy of management of the considered technological process. The automated workplace of an automated operator-technologist and an automatic control system in the SCADA system allows you to conveniently and operate and control the process of pasteurization of apple juice. Further development of the automation of the process of pasteurization process of apple juice will find in master's graduation work.

Ключові слова: система автоматичного керування (САК), об'єкт керування (ОК), автоматизоване робоче місце (АРМ) оператора, пастеризація соку, пластинчастий пастеризатор, каскадна САК.

Keywords: system of automatic control (ACS), control object (CO), workstation of operator (OWS), pasteurization of juice, plate pasteurizer, cascade ASC.

Вступ.

Здоров'я кожної людини є основною умовою і запорукою повноцінного життя. Тому здоров'я треба підтримувати як у фізичному плані так і за рахунок корисного харчування.

Важливою частиною корисного харчування, є вживання різних соків, які наповнюють організм людини вітамінами та корисними мікроелементами, які допомагають тримати здоров'я у тонусі.

В складному технологічному процесі виготовлення соку його пастеризація є дуже важливим процесом, тому що вона забезпечує довгострокове зберігання готової продукції за рахунок пригнічення шкідливих мікроорганізмів під впливом високої температури, та збереження при цьому корисних вітамінів та мікроелементів в соку. Найважливішою умовою для виконання технологічного регламенту є забезпечення якості управління процесом, що в сучасних умовах можливо з використанням автоматизації технологічних процесів.

Оскільки сучасні консервні заводи мають застаріле обладнання та системи управління, вони потребують суттєвої модернізації, з застосуванням сучасних алгоритмів управління та програмних середовищ. Така модернізація допоможе підвищити якість управління та зменшити питомі витрати на енергоносії, зменшити брак продукції та відповідно збільшити продуктивність.

Аналіз літературних даних і постановка проблеми.

Оскільки автоматизація технологічного процесу пастеризації яблучного соку є вельми актуальною, багато дослідників займалися цим питанням. Так фірма «Агро-Маш» запропонувала спосіб автоматичного керування процесом пастеризації, який передбачає регулювання температури пастеризації соку за рахунок зміни положення регулюючого органу подачі пари. У разі падіння температури пастеризації нижче заданого значення, автоматично спрацьовує перепускний клапан, недопастеризований сік повертається в зрівняльний бак для повторної пастеризації. Сік в секції пастеризації підігрівається через пластини гарячою водою [1]. Фірма «Автоматизация и Производство» запропонувала спосіб автоматичного керування процесом пастеризації молока та рідких харчових продуктів, який передбачає регулювання температури пастеризації за рахунок зміни частоти обертання електроприводу насоса. При зниженні температури на 2°C від уставки установка автоматично перемикається на повернення, і продукт проходить повторну пастеризацію. При падінні рівня продукту в приймальномому баку нижче встановленого установка автоматично перемикається на циркуляцію [2]. Фірма «Мікрол» запропонувала спосіб автоматичного керування пастеризацією молока, який містить автоматичний контроль та регулювання температури пастеризації продукту, за рахунок зміни положення регулюючого органу подачі пари. Дана система є класичним прикладом використання каскадного регулювання [3]. Узюмов Ю. С. та Павлов А. І. запропонували спосіб автоматичного управління процесом пастеризації томатного соку, що включає вимірювання і регулювання температури пастеризації томатного соку в секції пастеризації шляхом зміни витрат гарячої пари, вимірювання і регулювання температури охолодження томатного соку в секції охолодження шляхом зміни витрати крижаної води [4]. Фірма «Czech brewery system» запропонувала спосіб автоматичного керування процесом пастеризації пива, сидру, шампанських вин та інших рідких харчових продуктів, який передбачає регулювання температури води та пастеризації за рахунок зміни положення регулюючого органу подачі пари [5].

Однак у всіх розглянутих вище рішеннях, є недолік - низька швидкодія контуру регулювання температури пастеризації продукту, що знижує динамічну точність регулювання температури, що в свою чергу, знижує якість пастеризованого продукту.

Цей недолік усунуто в технічному рішенні, запропонованому в випускній роботі бакалавра на кафедрі АТПіРС ОНАХТ [6].

Мета і завдання досліджень.

Метою дослідження було розширення уявлень щодо автоматизації процесу пастеризації яблучного соку. Завдання дослідження складала аналіз технологічного процесу пастеризації яблучного соку, побудову параметризованої



технологічної схеми, параметричної схеми, структурної схеми процесу пастеризації яблучного соку, як об'єкта керування; проведення структурної та параметричної ідентифікації каналів об'єкта керування; проведення параметричної оптимізації алгоритмів керування; розробку САР підвищеної динамічної точності; проведення порівняльного аналізу САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності; розробка алгоритмів пуску-зупинки системи; складення програми керування процесом і SCADA-системи для АРМ оператора-технолога і наладчика САК; вибір технічних засобів; складення комплексу технічної документації САК; розгляд питань економічної ефективності запропонованого рішення та охорони праці.

Методи і матеріали досліджень.

Основним використаним методом є діалектичний. Також використано такі методи: аналіз, синтез, індукція, дедукція, спостереження, експеримент, вимір. Основним експериментальним методом обрано імітаційне моделювання.

Результати досліджень

В розробці спочатку було розглянуто технологічний процес пастеризації яблучного соку, побудовано параметризовану технологічну схему (рис. 1) та параметричну схему.

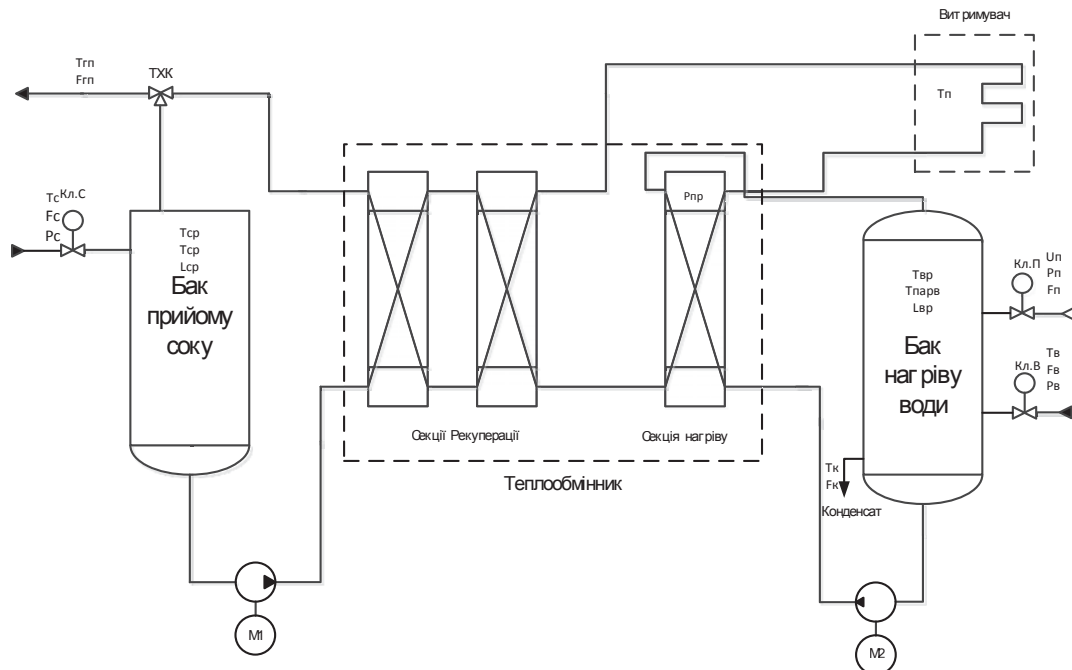


Рис.1 – Параметризована технологічна схема процесу пастеризації яблучного соку

На рис.1 наведено такі позначення:

F_c – витрати соку до пастеризації кг/с;

T_c – температура соку до пастеризації, °С;

P_c – тиск соку до пастеризації, МПа;

$T_{гп}$ – температура готового продукту після пастеризації, °С;

$F_{гп}$ – витрати готового продукту після пастеризації кг/с;

u_p – положення регулюючого органу, що дроселює потік пари, %.

$P_{пр}$ – Тиск продукту у теплообміннику МПа;

$T_{вр}$ – температура гарячої води у баку нагріву води, °С;

$T_{пар}$ – температура пари у баку нагріву води, °С;

L_c – рівень соку у баку прийому соку, %;

F_p – витрати грючої пари, до РО, кг/с;

P_p – тиск грючої пари, до РО, МПа;

F_v – витрати гарячої води, кг/с;

P_v – тиск гарячої води, МПа;

T_v – температура гарячої води, °С;

T_p – температура пастеризації, °С;

T_k – температура конденсату, °С;

$L_{вр}$ – рівень гарячої води у баку нагріву води, %;

$T_{сп}$ – температура соку у баку прийому соку, °С;

Далі було побудовано структурну схему (рис.2) процесу пастеризації яблучного соку, як об'єкта керування. Було проведено структурну та параметричну ідентифікацію каналів об'єкта керування. Проведено параметричну оптимізацію алгоритмів керування. Побудовано САР підвищеної динамічної точності шляхом створення каскадної САР (рис. 3). Зроблено порівняльний аналіз САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності (рис. 4, табл. 1). Далі було розроблено алгоритми пуску-зупинки системи, на основі яких складено програму керування процесом у середовищі Step7, а також SCADA-систему в середовищі WinCC flexible (рис. 5) для АРМ оператора-



технолога і наладчика САК. Також було проведено вибір технічних засобів, які зможуть забезпечити належне та високоякісне керування процесом пастеризації яблучного соку, та які відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Було складено комплект технічної документації САК: схему автоматизації; принципову електричну схему контролю та керування; принципову електричну схему живлення; загальний вид щита оператора; монтажну схему щита оператора; схему зовнішніх проводок на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-300. Розглянуто питання економічної ефективності запропонованого рішення та питання з охорони праці.

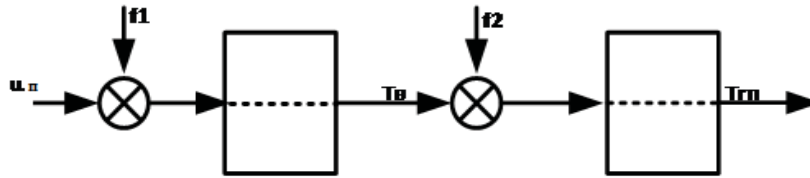


Рис. 2 – Структурна схема процесу пастеризації яблучного соку як об'єкта регулювання

- $Tв$ – температура гарячої води;
- $Tгп$ – температура пастеризації соку;
- u_n – регулюючий вплив – положення регулюючого органу, що дроселює потік пари;
- $f1, f2$ – неконтрольовані збурення.

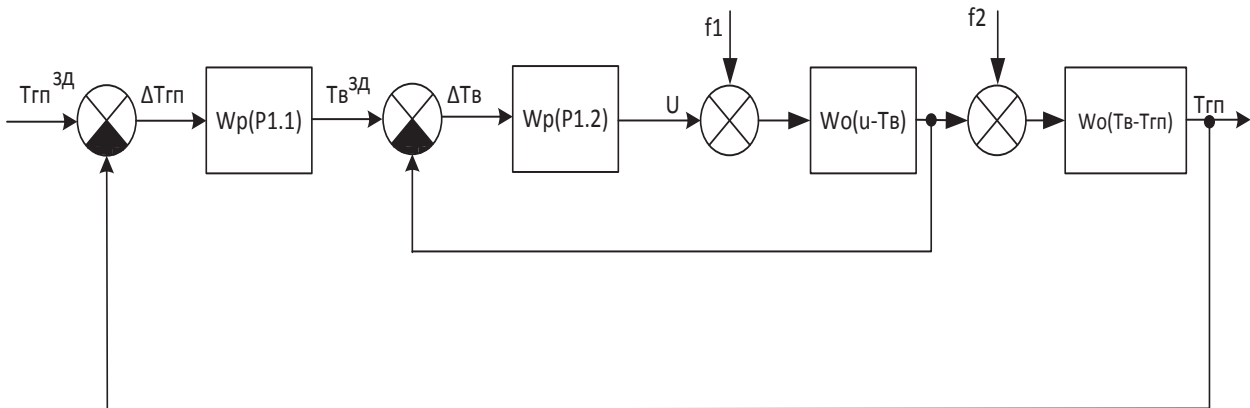


Рис. 3 – Структурна схема каскадної САР

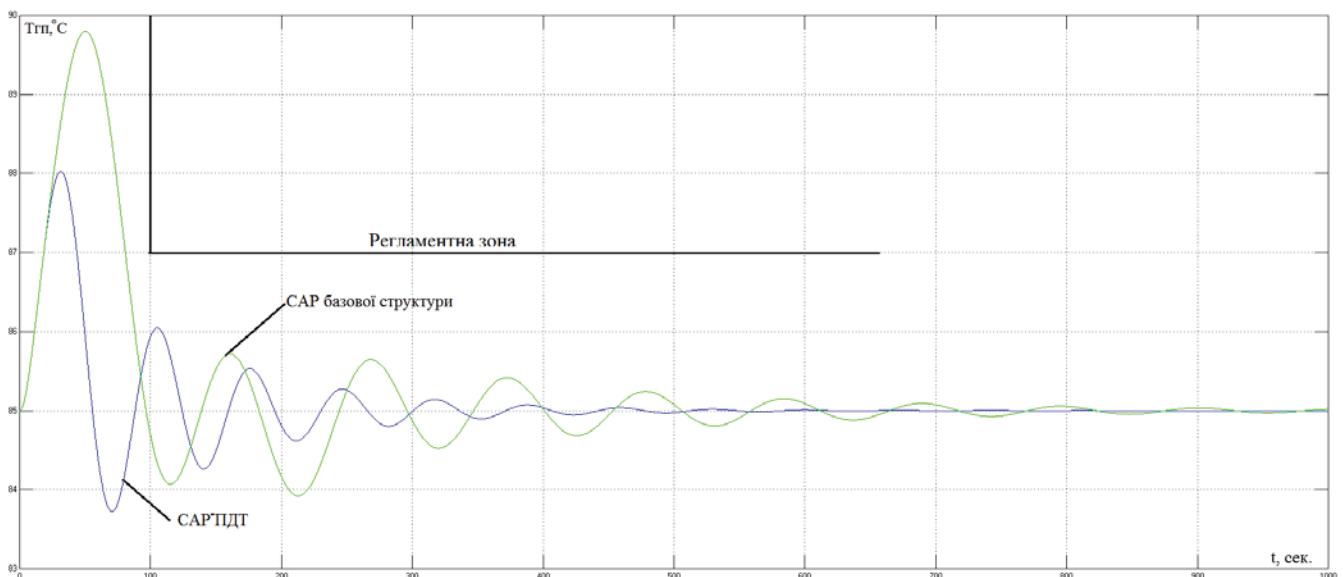


Рис. 4 – Порівняльна характеристика САР базової структури та підвищеної динамічної точності з ПД-регулятором



Таблиця 1– Результати порівняння САР базової і підвищеної динамічної точності в перехідних режимах

САР	ΔT_{r}^{\max}	$T_{тгп}$	J
Одноканальна САР з ПІД-регулятором	5	89,75	361,4
Каскадна САР	3,02	43,67	203,85

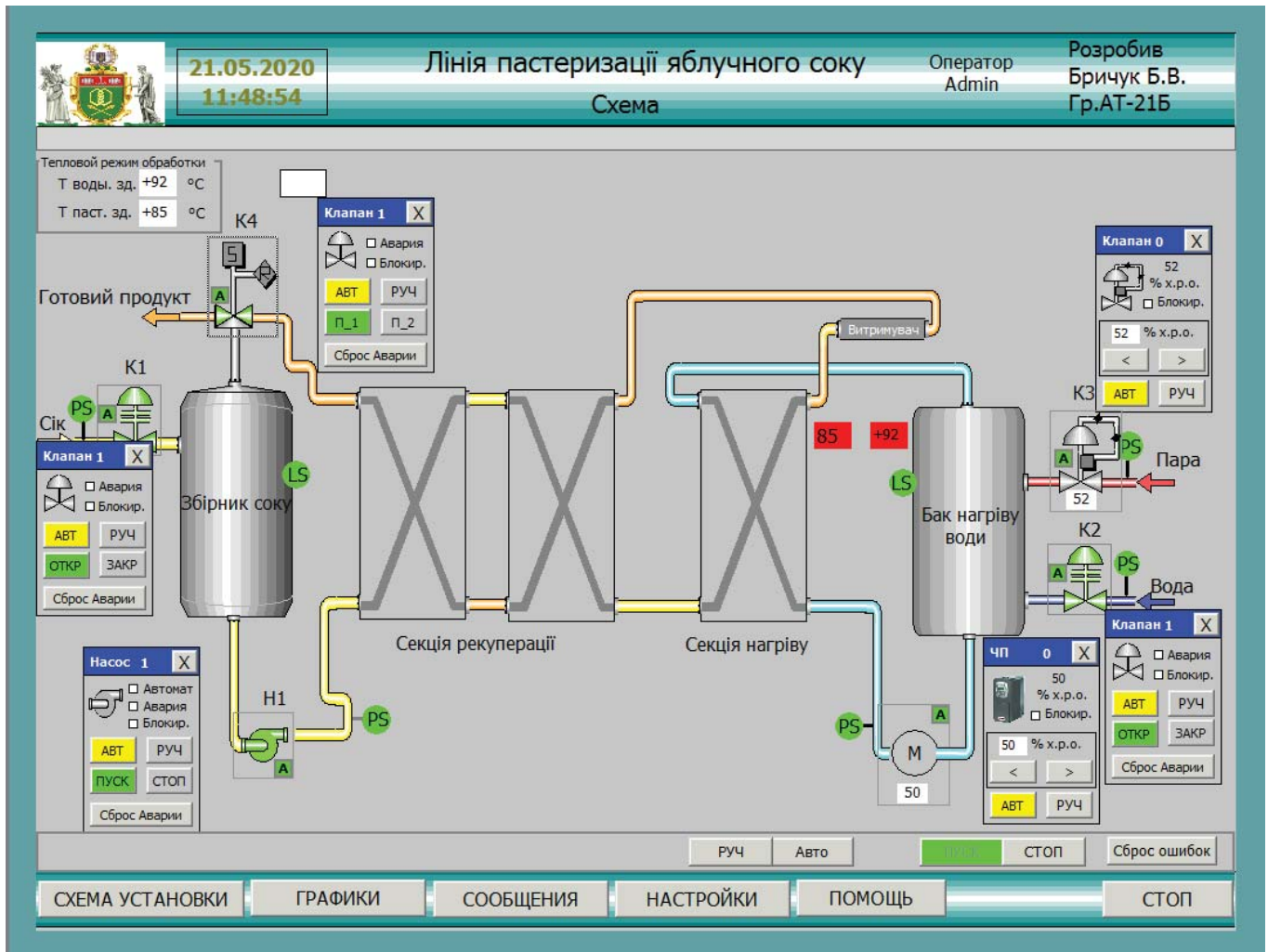


Рис. 5 – Вікно «Мнемосхема» при відкритих екранних формах керування двигунами і клапанами

Подальший розвиток питання автоматизації керування процесом пастеризації яблучного соку знайде в магістерській випускній роботі.

Обговорення результатів досліджень. Аналіз технологічного процесу пастеризації яблучного соку, дозволив розкрити його суть та побудувати параметризовану технологічну схему, яка вміщує властивості вхідних та вихідних сировинних та енергетичних потоків. Аналіз параметризованої схеми дозволив виділити серед всіх параметрів потоків групи сировинних, енергетичних та механічних вхідних параметрів та регламентованих, експлуатаційних, техніко-економічних вихідних параметрів і побудувати параметричну схему. На параметричній схемі було виділено основні регламентні параметри та відповідні керуючі впливи та побудовано структурну схему процесу пастеризації яблучного соку, як об'єкту керування. Структурна та параметрична ідентифікація каналів об'єкта керування, дозволила отримати математичні моделі об'єкта керування, за допомогою яких було одержано ПІ та ПІД алгоритми регулювання. Параметрична оптимізація алгоритмів дозволила одержати оптимальні параметри налагодження регуляторів. На підставі замкненого принципу регулювання для основних регульованих параметрів було побудовано



САР базової структури з проміжною точкою, її аналіз показав низьку динамічну точність внаслідок, низької швидкодії контуру регулювання температури пастеризації продукту. Для усунення цього недоліку було побудовано каскадну САР. Порівняльний аналіз САР базової структури та САР підвищеної динамічної точності показав підвищення інтегральних показників якості. Розроблені алгоритми пуску-зупинки системи врахували умови початкового стану та ведення процесу. Розроблено АРМ оператора-технолога і наладчика САУ в SCADA-системі. Складена в середовищі Step7 програма керування процесом, та реалізована на її основі SCADA-система в середовищі WinCC flexible для АРМ оператора-технолога і наладчика САК дозволяє в режимі реального часу стежити за ходом технологічного процесу, та за необхідності впливати на нього. Обрані технічні засоби забезпечують належне та високоякісне керування процесом пастеризації яблучного соку та відповідають виробничим умовам технологічного процесу. Розроблений варіант комплексу технічної документації САК: схема автоматизації; принципова електрична схема контролю та керування; принципова електрична схема живлення; загальний вид щита оператора; монтажна схема щита оператора; схема зовнішніх проводок на базі контролера фірми Siemens SIMATIC S7-300, задовольняє вимоги замовника САК. Розглянуті питання економічної ефективності запропонованого рішення та питання з охорони праці дозволили зробити обґрунтування та висновки щодо інвестиційно привабливості розробки проекту, адже приріст чистого прибутку та чистий грошовий потік більше нуля та дорівнюють, відповідно, 147 551,42 тис. грн та 295 001,04 тис. грн.

Висновки

1. Автоматичне керування процесом пастеризації яблучного соку – одне з найбільш складних та важливих завдань, що виникають при автоматизації консервного виробництва.
2. Процес пастеризації яблучного соку як об'єкт керування являє собою складну динамічну систему. Аналіз існуючих систем автоматичного керування пастеризацією яблучного соку демонструє певні недоліки і ставить задачі наступної розробки.
3. В ОНАХТ, на кафедрі АТПіРС розроблено новий спосіб пастеризації яблучного соку, з використанням каскадної САР, який підвищує якість готового продукту, продуктивність процесу та знижує його енергоємність.
4. Результати структурно-параметричного синтезу і аналізу розробленої САУ підтверджує переваги запропонованого підходу.
5. Побудована каскадна САР забезпечує високу динамічну точність керування розглянутим технологічним процесом.
6. Розроблене АРМ оператора-технолога і наладчика САУ в SCADA-системі дозволяє зручно і ефективно спостерігати та керувати ходом процесу пастеризації яблучного соку.
7. Подальший розвиток питання автоматизації керування процесом пастеризації яблучного соку знайде в магістерській випускній роботі.

Список використаних джерел

- [1] Офіційний сайт фірми "Агро-Маш". URL: <https://www.agro-mash.ru/deaerator-pasterizator-sokov.html>
- [2] Офіційний сайт фірми "Автоматизация и Производство". URL: https://aip.com.ru/article/asu_plastinchatoy_ustanovki.
- [3] Офіційний сайт фірми "Мікрол". URL: http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garde_n_flpage.tpl&product_id=23&category_id=93&option=com_virtuemart&Itemid=71.
- [4] Патент України на корисну модель №44154, МПК 2009, А23N 1/00 / Узюмов Ю. С., Павлов А. І., Спосіб автоматичного керування процесом пастеризації томатного соку; заявл. u200902389 від 17. 03. 2009; опубл. 25. 09. 2009, бюл.№ 18.
- [5] Офіційний сайт фірми «CZECH BREWERY SYSTEM». URL: eshop.czechminibreweries.com/ru/product/bfp-1500.
- [6] Бричук Б.В. Випускна робота бакалавра «Автоматизація процесу керування пастеризацією яблучного соку» (Рукопис).- Одеса: ОНАХТ, 2020.- 187с.

References

- [1] Ofitsiyni sait firmy "Ahro-Mash". URL: <https://www.agro-mash.ru/deaerator-pasterizator-sokov.html>
- [2] Ofitsiyni sait firmy "Avtomatyzatsiya y Proyzvodstvo". URL: https://aip.com.ru/article/asu_plastinchatoy_ustanovki.
- [3] Ofitsiyni sait firmy "Mikrol". URL: http://www.microl.ua/index.php?page=shop.product_details&flypage=garden_flpage.tpl&product_id=23&category_id=93&option=com_virtuemart&Itemid=71.
- [4] Patent Ukrainy na korysnu model №44154, MPK 2009, A23N 1/00 / Uziumov Yu. S., Pavlov A. I., Sposib avtomatychnoho keruvannia protsesom pasteryzatsii tomatnoho soku; zaiavl. u200902389 vid 17. 03. 2009; opubl. 25. 09. 2009, biul.№ 18
- [5] Ofitsiyni sait firmy «Czech brewery system». URL: eshop.czechminibreweries.com/ru/product/bfp-1500.
- [6] Brychuk B.V. Vypuskna robota bakalavra «Avtomatyzatsiia protsesu keruvannia pasteryzatsiieiu yabluchnoho soku» (Rukopys).- Odessa: ONAKhT, 2020.- 187s.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент Скаковський Ю. М.

Отримана в редакції 08.02.2021. Прийнята до друку 26.02.2021. Received 08 February 2021. Approved 26 February 2021. Available in Internet 31 March 2021.