

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

КЛИМЕНКО ОЛЕГ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 681.52

**АВТОМАТИЗОВАНЕ УПРАВЛІННЯ СТЕРИЛІЗАТОРАМИ
ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ МЕТОДІВ РОЗРОБКИ
ПРОГРАМАТОРІВ**

Спеціальність 05.13.07

Автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ 2015

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Національному університеті харчових технологій

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Трегуб Віктор Григорович,
Національний університет харчових технологій МОН
України, м. Київ, професор кафедри інтегрованих
автоматизованих систем управління.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, старший науковий
співробітник, професор
Шворов Сергій Андрійович,
Національний університет біоресурсів і
природокористування Кабінету Міністрів України,
м. Київ, професор кафедри автоматики та робототехні-
чних систем ім. акад. І.І.Мартиненка.

кандидат технічних наук, професор
Ковриго Юрій Михайлович,
Національний технічний університет України "КПІ",
МОН України, м. Київ, завідувач кафедри
автоматизації теплоенергетичних процесів

Захист відбудеться «7» жовтня 2015 року о 14-й годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.058.05 Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68, ауд. А-311.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету харчових технологій за адресою: 01601, м. Київ, вул. Володимирська, 68.

Автореферат розісланий з « 2 » вересня 2015 року.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
К 26.058.05,
К. Т. Н., доцент



О. М. М'яшило

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Технологічний процес стерилізації може відбуватися в апаратах неперервної та періодичної дії. До апаратів періодичної дії належать різного виду автоклави, тобто апарати з сорочкою, в робочій камері яких створюється надлишковий тиск, що дозволяє отримати температуру обробки вище 100 °С.

Особливістю апаратів періодичної дії є те, що поряд з динамічною підсистемою має розроблятися і логічна. Аналіз існуючих систем автоматизації показав, що метою більшості досліджень була розробка або логічної, або динамічної підсистеми, але не їх поєднання.

Огляд існуючих систем автоматизації автоклавів виявив такі їх недоліки як – використання одноконтурних систем що не можуть забезпечити необхідну якість відтворення програми стерилізації та відсутність логічної підсистеми в системі керування.

Тому для створення системи автоматизації необхідно розробити логічну та динамічну підсистеми для автоклавів та реалізувати програматор.

Програматори широко використовуються для управління періодичними процесами. Використання логічних пристроїв, що реалізують перехід між дільницями, може значно поліпшити управління, але ці методи вивчені недостатньо. Також важливим питанням є можливість побудови програмних САР з нейромережними регуляторами.

Аналіз стану питання показав, що методи розрахунку програматорів, що реалізують різні функції переходу, розроблені недостатньо. Тому розробка методів синтезу і розрахунку програматорів, що реалізують найбільш поширену функцію переходу “зростання – витримки – спадання ” може суттєво покращити процес стерилізації. Тому задача дослідження є актуальною.

Зв’язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація виконана згідно з планом науково-дослідних робіт кафедр Автоматизації процесів управління та Інтегрованих автоматизованих систем управління Національного університету харчових технологій «Наукові основи створення автоматизованих систем управління для комп’ютерно-інтегрованих виробництв харчової промисловості» (номер державної реєстрації 0112U001496).

Метою роботи. Розробка автоматизованої системи управління автоклавом періодичної дії з використанням програматорів.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих систем керування автоклавом та розробити параметричну логіко-динамічну модель автоклава.
2. Розробити діаграми UML необхідні для синтезу логічної підсистеми.
3. Зробити математичний опис зміни температури в автоклаві для ділянок нагрівання, витримки та охолодження.
4. Розробити динамічну підсистему з використанням комбінованого не-лінійного регулятора та реалізувати її з допомогою нейронних мереж.

5. Створити автоматизовану систему управління автоклавом, використовуючи розроблені логічну і динамічну підсистеми.

Об'єктом дослідження є керування технологічним процесом стерилізації консервів в автоклавах періодичної дії..

Предметом дослідження є автоматизована система керування автоклавом періодичної дії, що складається з логічної і динамічної підсистем.

Методи досліджень. В основу досліджень покладено методи теорії автоматичного керування, параметричної оптимізації систем керування, об'єктно-орієнтованого моделювання та статистичного аналізу.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблена динамічна підсистема керування автоклавом з використанням комбінованого нелінійного регулятора з логічним пристроєм перемикання налаштувань регуляторів на різних стадіях;
- вперше запропоновано застосування нейромережного регулятора для побудови динамічної підсистеми АСУ автоклавом;
- вперше досліджено логіку роботи автоклава за допомогою діаграм універсальної мови моделювання;
- удосконалена математична модель зміни температури води в автоклаві для ділянок нагрівання, витримки та охолодження, яка враховує зміну температури усередині банки;

Практичне значення та реалізація одержаних результатів. Одержані результати можуть бути використані в процесі проектування та впровадження нових та модернізації існуючих АСУ автоклавами періодичної дії. Результати роботи пройшли імітаційну перевірку на кафедрі інтегрованих автоматизованих систем управління НУХТ, використовуються в навчальному процесі та передані для подальшого впровадження на підприємстві..

Апробація роботи. Основні результати досліджень доповідались і обговорювались на наукових конференціях Національного університету харчових технологій у 2008-2014 рр., зокрема матеріали 78-ої міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішення проблем харчування людства у XXI столітті», матеріали 79-ої міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів – підсекція інноваційних рішень для інтегрованих автоматизованих систем управління, матеріали 80-ої міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів – підсекція інформаційні технології; міжнародних конференціях з автоматичного управління, зокрема матеріали Міжнародної конференції «Автоматика – 2012», Матеріали XX Міжнародної конференції з автоматичного управління, Миколаїв, 2013, "Автоматика-2014" (Київ).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 15 друкованих праць, в яких викладено основний зміст виконаних досліджень, з них дві статті в міжнародному журналі, 3 статті в фахових виданнях та 10 тез доповідей на наукових конференціях.

Структура та об'єм дисертаційної роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, списку літератури з 136 найменувань

і 4 додатків. Повний обсяг дисертації 150 стор., з яких зміст викладено на 126 стор. друкованого тексту, містить 84 рисунків, 7 таблиць та 6 додатків.

Особистий внесок у розробку наукових результатів. Усі основні положення та результати дисертаційної роботи, що захищаються, одержані автором самостійно. У наведених публікаціях здобувачем виконано наступне: розроблено параметричну логіко-динамічну модель автоклавів з протитиском та без протитиску; розроблено діаграми UML необхідні для синтезу логічної підсистеми; розроблена динамічна підсистема у вигляді комбінованої системи з нелінійним регулятором, яка реалізована з допомогою нейронних мереж; створено автоматизовану систему управління автоклавом, що складається з логічної і динамічної підсистем..

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ. Показана актуальність роботи, яка визначається необхідністю розробки логічної та динамічної підсистеми для автоклавів та реалізації програматора, а також можливістю побудови програмних САР з нейромережними регуляторами. Визначено об'єкт та предмет досліджень, сформульовано мету та задачі дослідження, наукову новизну та практичне значення одержаних результатів. Наведено інформацію про структуру та об'єм роботи, публікації та особистий внесок автора дисертації.

В першому розділі проведено аналіз стерилізатора як об'єкта керування. Проаналізовано математичні моделі і системи автоматизації процесу стерилізації. Розглянуто особливості розрахунку і структурної реалізації програматорів. Проведено аналіз нейромережних регуляторів. Обґрунтовано необхідність застосування програматорів для управління автоклавами.

Автоклави, що використовуються в промисловості, представляють із себе складні високотехнологічні агрегати. В даний час існує багато різновидів автоклавів, є серед них спеціалізовані апарати, незважаючи на це все вони працюють за одним принципом: при стерилізації продукт в фасованих ємностях зазнає нагрівання до високої температури при певному тиску. Тиск має підвищене значення в порівнянні з атмосферним, в результаті чого запобігають руйнуванню (розриву) тари (посуду) за рахунок компенсації температурного розширення нагрітих консервів.

У другому розділі розроблені параметричні логіко-динамічні моделі автоклавів з та без протитиску та логічні і динамічні підсистеми для цих автоклавів.

Тут наведено технологічні схеми автоклава з протитиском (рис.1) та без протитиску та опис їх роботи. Параметричні логіко-динамічні моделі цих стерилізаторів наведені у табл. 1 і 2 відповідно.

Таблиця 1

Операція циклу	Умови початку	Керувальні дії	Реакція об'єкта
1	2	3	4
1 Завантаження			
1.1 Початок завантаження	$h_0, V_1^{(1)}, V_2^{(0)} \dots V_6^{(0)},$ $M_1^{(0)}, V_7^{(1)}$	$M_1^{(1)}$	—

1	2	3	4
1.2 Кінець завантаження	τ_1	$M_1^{(0)}, V_2^{(1)}$	—
2 Робоча стадія			
2.1 Продувка	h_1	$V_2^{(0)}, V_5^{(1)}$	$t_B = f_1(G_{\text{п}}, G_{\text{зл}}, t_{\text{б}}, \tau)$
2.2 Заповнення водою	$t_{\text{в}1}$	$V_5^{(0)}, V_2^{(1)}, V_7^{(0)}$	—
2.3 Нагрів	h_2	$V_5^{(1)}, V_2^{(0)}, V_1^{(0)}, V_4^{(1)}$	$t_B = f_2(G_{\text{п}}, G_{\text{зл}}, t_{\text{б}}, \tau)$ $p = f_3(G_{\text{п}}, G_{\text{зл}}, t_{\text{в}}, \tau)$
2.4 Стерилізація	$t_{\text{в}2}$	$V_2^{(1)}$	$t_B = f_4(G_{\text{п}}, G_{\text{зл}}, t_{\text{б}}, \tau)$ $p = f_5(G_{\text{п}}, G_{\text{зл}}, t_{\text{в}}, \tau)$
2.5 Початок охолодження	τ_2	$V_5^{(0)}, V_4^{(0)}, V_3^{(1)}, V_6^{(1)}$	$t_B = f_6(G_{\text{ох}}, G_{\text{зл}}, t_{\text{ох}}, t_{\text{б}}, \tau)$ $p = f_7(G_{\text{пов}}, G_{\text{зл}}, G_{\text{ох}}, t_{\text{в}}, \tau)$
2.6 Охолодження	$t_{\text{в}3}$	$V_3^{(0)}, V_6^{(0)}, V_4^{(1)}, V_2^{(0)}, V_1^{(1)}$	$t_B = f_8(G_{\text{ох}}, G_{\text{зл}}, t_{\text{ох}}, t_{\text{б}}, \tau)$
3 Вивантаження			
3.1 Початок вивантаження	h_0, p_1	$V_4^{(0)}, V_7^{(1)}, M_1^{(1)}$	—
3.2 Кінець циклу	τ_3	$M_1^{(0)}$	—

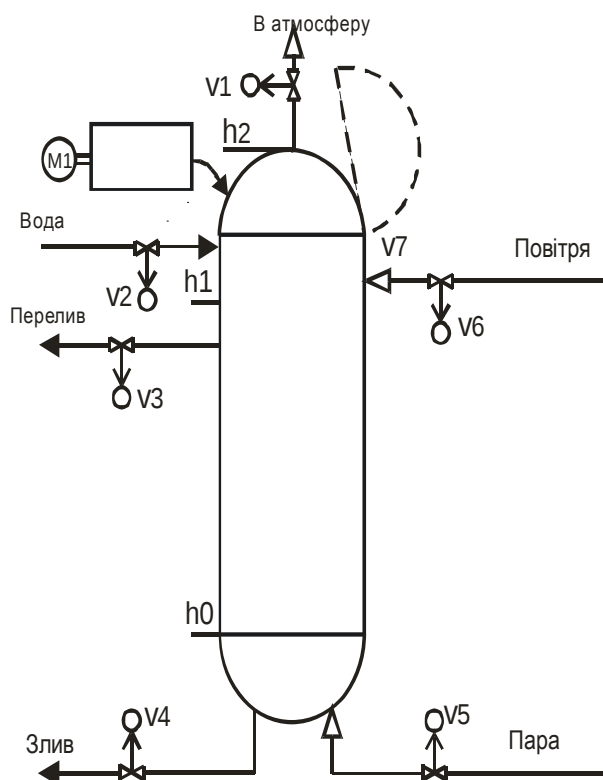


Рис. 1. Технологічна схема автоклава з протитиском

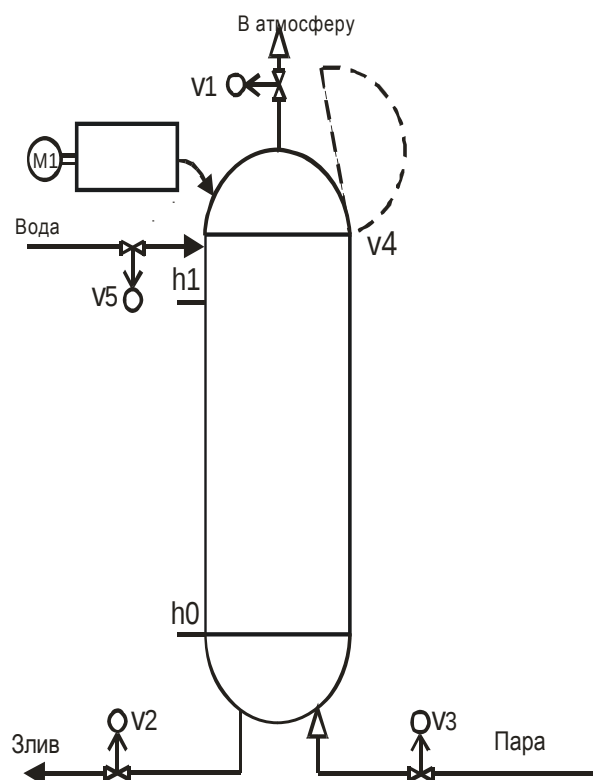


Рис. 2. Технологічна схема автоклава без протитиску

У табл.1 використані наступні позначення: t_6 – температура води в автоклаві, t_6 – температура консервних банок, p – тиск в автоклаві, G_{ox} – витрата холодної води, G_n – витрата насиченої пари, G_{3n} – витрата води на злив, t_{ox} – температура холодної води, $G_{нов}$ – витрата повітря, τ – час, f_i – i -та функція реакції об'єкту.

Таблиця 2

Операція циклу	Умови початку	Керувальні дії	Реакція об'єкта
1	2	3	4
1 Завантаження			
1.1 Початок завантаження	$V1^{(0)} \dots V3^{(0)}, M1^{(0)}, V4^{(1)}$	$M1^{(1)}$	–
1.2 Кінець завантаження	$\tau 1$	$M1^{(0)}$	–
2 Робоча стадія			
2.1 Продувка	$M1^{(0)}$	$V3^{(1)}, V2^{(1)}$	$t_a = f_1(G_n, G_{3n}, t_6, \tau)$
2.2 Кінець продувки	$\tau 2$	$V4^{(0)}, V1^{(1)}$	$t_a = f_2(G_n, G_{3n}, t_6, \tau)$
2.3 Нагрів	$t_a 1$	$V1^{(0)}, V2^{(0)}$	$t_a = f_3(G_n, m_k, t_6, \tau)$
2.4 Стерилізація	$t_a 2$	$V3^{(0)}$	$t_a = f_4(G_n, m_k, t_6, \tau)$
1	2	3	4
3 Вивантаження			
3.1 Початок вивантаження	$\tau 3$	$V1^{(1)}, V2^{(1)}$	–
3.2 Вивантаження	$p 1$	$V4^{(1)}, V2^{(0)}, V1^{(0)}, M1^{(1)}$	–
3.3 Кінець циклу	$\tau 4$	$M1^{(0)}$	–

У табл.2 окрім позначень з табл.1 використовується такі: t_a – температура в автоклаві між банками, m_k – маса конденсату.

Логічна частина логіко-динамічних моделей (ЛДМ) стерилізаторів представлена з допомогою діаграм UML. Для опису систем застосовувались чотири основні типи діаграм:

- класів, яка показує структуру системи;
- послідовності, яка показує часову послідовність використання об'єктів;
- стану, що визначає послідовність станів об'єкта в залежності від зовнішніх подій;
- діяльності, що описує зміну стану об'єкта в залежності від внутрішніх дій.

Діаграми для автоклава з протитиском представлені на рис. 3-6.

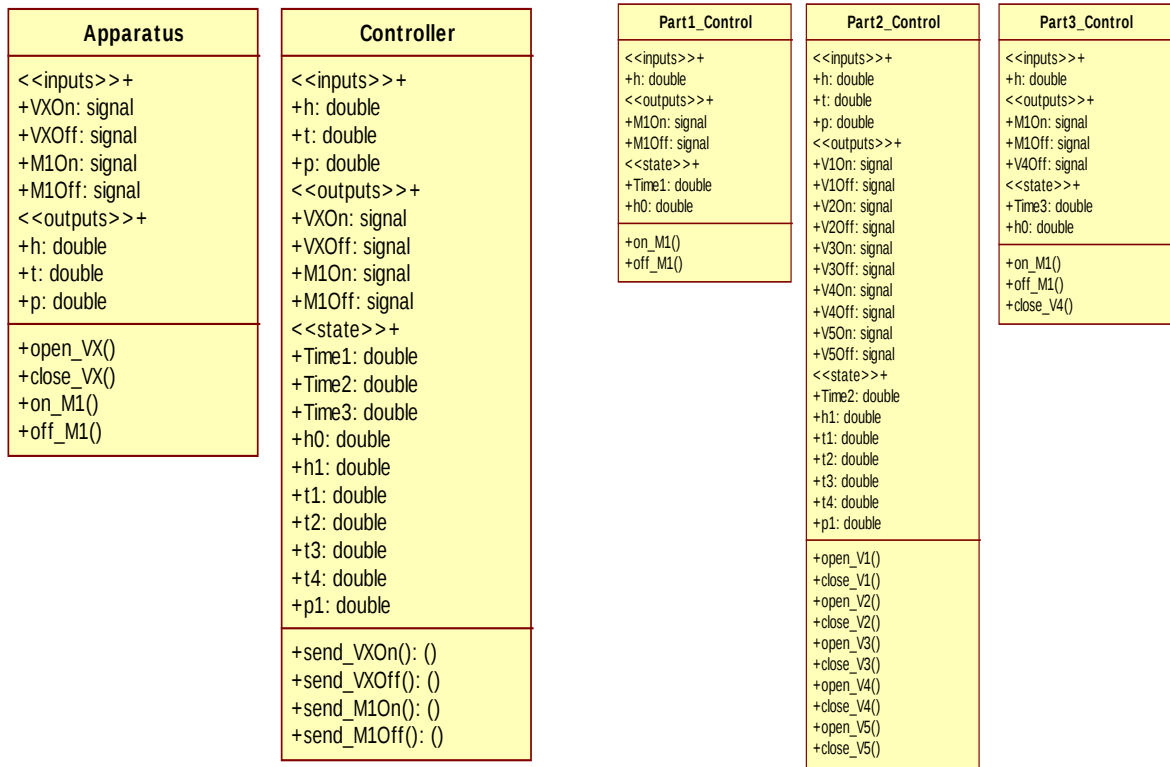


Рис.3. Діаграма класів

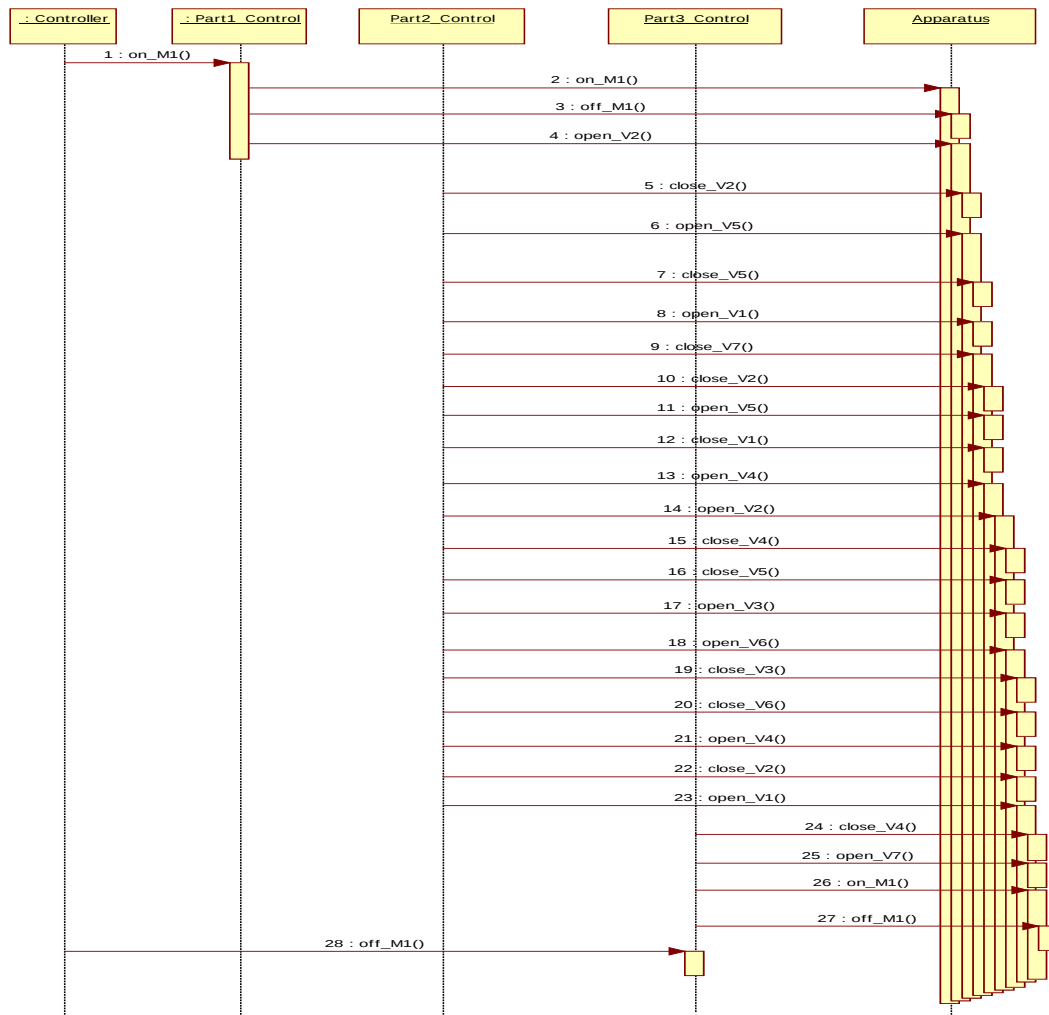


Рис.4. Діаграма послідовності

The Petri net diagram illustrates the control logic for a building ventilation system. It features 12 places (yellow rounded rectangles) and 12 transitions (red arrows). The places are arranged in a grid-like structure, and the transitions are labeled with events or actions. The diagram shows the sequence of operations for turning on and off various ventilation units (M1, V1, V2, V3, V4, V5, V6, V7) and the associated timing constraints (Time1, Time2, Time3, t1, t2, t3, t4).

Places (Yellow rounded rectangles):

- On M1 (Top Left)
- Off M1 (Second Row, Left)
- Open V2 (Third Row, Left)
- Close V2 (Fourth Row, Left)
- Open V5 (Fifth Row, Left)
- Close V5 (Bottom Row, Left)
- Open V4 (Second Row, Middle)
- Close V1 (Third Row, Middle)
- Close V2 (Fourth Row, Middle)
- Open V5 (Fifth Row, Middle)
- Close V7 (Sixth Row, Middle)
- Open V2 (Bottom Row, Middle)
- Open V2 (Top Middle)
- Close V5 (Second Row, Right)
- Close V4 (Third Row, Right)
- Close V4 (Fourth Row, Right)
- Open V3 (Fifth Row, Right)
- Open V6 (Sixth Row, Right)
- Close V3 (Bottom Row, Right)
- Open V7 (Top Right)
- Close V4 (Second Row, Far Right)
- Open V1 (Third Row, Far Right)
- Close V2 (Fourth Row, Far Right)
- Open V4 (Fifth Row, Far Right)
- Close V6 (Bottom Row, Far Right)
- On M1 (Far Right)
- Off M1 (Second Row, Far Right)

Transitions (Red arrows):

- Initial transition (Top Left, from start node)
- Time1 (Between On M1 and Off M1)
- M1Off (Between Off M1 and Open V2)
- h1 (Between Open V2 and Close V2)
- v2Off (Between Close V2 and Open V5)
- t1 (Between Open V5 and Close V5)
- v5Off (Between Close V5 and Open V2)
- t2 (Between Open V4 and Open V2)
- Time2 (Between Open V2 and Close V5)
- v5Off (Between Close V5 and Close V4)
- v4Off (Between Close V4 and Open V3)
- v3On (Between Open V3 and Open V6)
- t3 (Between Open V6 and Close V3)
- v3Off (Between Close V3 and Close V6)
- v6Off (Between Close V6 and Open V4)
- t4 (Between Open V4 and Close V2)
- v2Off (Between Close V2 and Open V1)
- h0, PE1 (Between Open V1 and Close V4)
- v4Off (Between Close V4 and Open V7)
- v7On (Between Open V7 and On M1)
- Time3 (Between On M1 and Off M1)

Динамічну частину ЛДМ стерилізаторів розроблено з допомогою математичного опису зміни температури води в автоклаві для ділянок нагрівання, витримки та охолодження. Так, для автоклава з протитиском рівняння (1) описує зміну температури води для ділянок нагрівання та витримки, а рівняння (2) – для ділянки охолодження. Зміни температури в автоклаві без протитиску для ділянок нагрівання та витримки описується рівнянням (3).

$$\frac{m_B c_B}{K \cdot F} \cdot \frac{dt_B}{d\tau} + t_B = \frac{i''}{K \cdot F} \cdot G_n + t_{\delta} \quad (1)$$

$$\frac{m_B \cdot c_B}{K \cdot F + G_{3Л} \cdot c_B} \cdot \frac{dt_B}{d\tau} + t_B = \frac{c_B \cdot t_{ox}}{K \cdot F + G_{3Л} \cdot c_B} \cdot G_{ox} + \frac{K \cdot F \cdot t_{\delta}}{K \cdot F + G_{3Л} \cdot c_B} \quad (2)$$

$$\frac{V \cdot i'' \cdot \rho}{K \cdot F \cdot \Delta t} \cdot \frac{dt_a}{d\tau} + t_a = G_n \cdot \frac{(i'' - \frac{i''}{i'' - c_K \cdot t_{\delta}} \cdot c_K \cdot t_{\delta})}{K \cdot F} + t_{\delta} \quad (3)$$

де m_B – маса води, c_B – теплоємність води, K – коефіцієнт теплопередачі, F – площа поверхні банок, i'' – ентальпія пари, c_K – теплоємність конденсату, t_k – температура конденсації пари, V – простір в автоклаві, що не заповнений банками, ρ – густина пари, Δt – температурний напір.

Схема моделювання ділянок нагріву і витримки у програмному середовищі MatLab представлена на рис. 7, а ділянки охолодження – на рис.8.

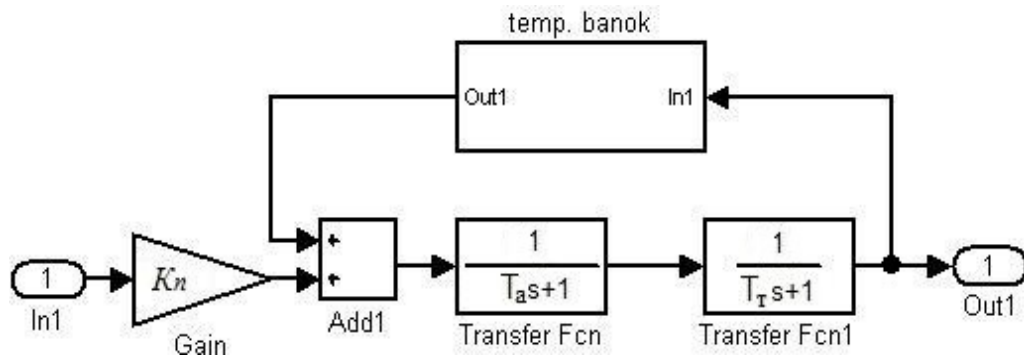


Рис. 7. Схема моделювання ділянки нагрівання і витримки

На рис.7: $In1$ – вхід, що відповідає витраті пари; K_n – коефіцієнт передачі за каналом подачі пари, $K_n = \frac{i''}{K \cdot F}$; T_a – постійна часу автоклава,

$T_a = \frac{m_B c_B}{K \cdot F}$; T_T – постійна часу термодатчика; $Out1$ – вихід, що відповідає температурі води в автоклаві.

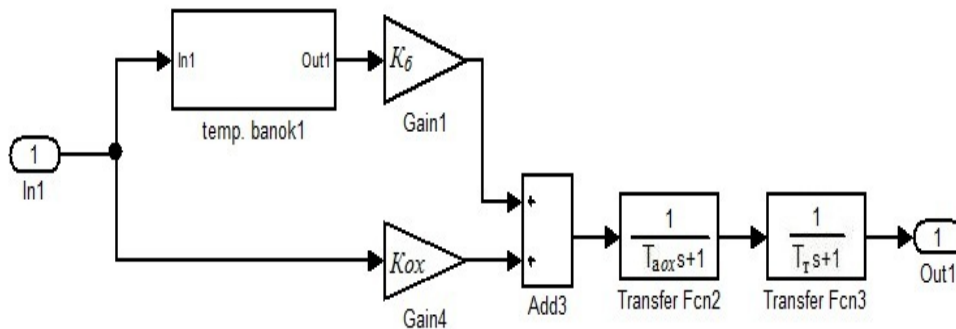


Рис.8. Схема моделювання ділянки охолодження

На рис.8: $In1$ – вхід, що відповідає витраті охолоджувальної води; T_{aox} – постійна часу автоклава, $T_{aox} = \frac{m_B \cdot c_B}{K \cdot F + G_{3Л} \cdot c_B}$; K_{ox} – коефіцієнт передачі за каналом подачі охолоджувальної води, $K_{ox} = \frac{c_B \cdot t_{ox}}{K \cdot F + G_{3Л} \cdot c_B}$; K_{δ} – коефіцієнт передачі за каналом теплового потоку від банок, $K_{\delta} = \frac{K \cdot F}{K \cdot F + G_{3Л} \cdot c_B}$. Блоки «temp banok» на рис.7 і 8 моделюють зміну температури усередині банок.

Схема моделювання стерилізації в автоклаві без протитиску у програмному середовищі MatLab представлена на рис. 9.

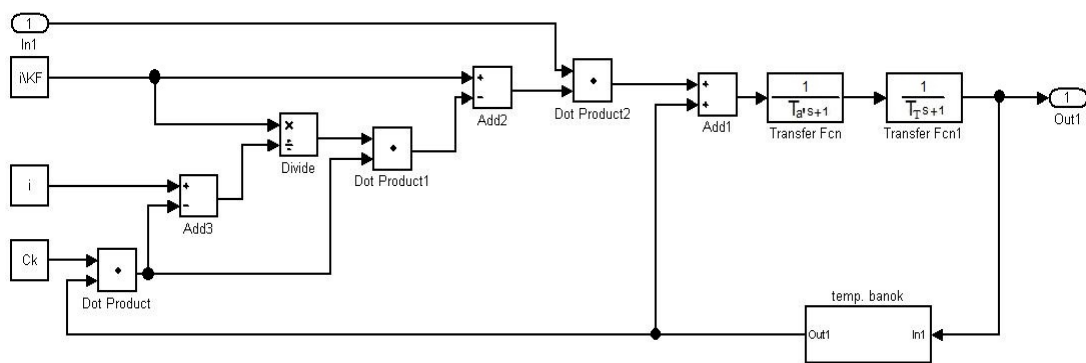


Рис.9. Схема моделювання автоклава без протитиску

де $T_{a'}$ – постійна часу автоклава без протитиску, $T_{a'} = \frac{V \cdot i'' \cdot \rho}{K \cdot F \cdot \Delta t}$

Адекватність розроблених моделей підтверджена заводськими експериментами, які проведені на Козятинському м'ясокомбінаті на промисловому автоклаві типу **Б6-КАВ-4**. Середня похибка для серії експериментів склала 5%.

В третьому розділі проводилась розробка програматорів з використанням одноконтурної системи, комбінованої програмної САР та нейромережного регулятора.

Автоматизовані системи керування об'єктами періодичної дії (ОПД) реалізують як алгоритми логічного, так і динамічного керування. Перші забезпечують перехід від стадії до стадії та від операції до операції, другі реалізують динамічне керування, в основному під час робочої стадії.

Особливістю динамічного керування об'єктами періодичної дії (ОПД) порівняно з об'єктами неперервної дії (ОНД) є те, що перехідні процеси у ОПД, пов'язані з переходом з початкового стану, який характеризується вектором x_0 , у кінцевий стан, якому відповідає вектор x_k , є корисними і забезпечують отримання готового продукту цих об'єктів.

Розробка системи динамічного керування (СДК) таким переходом залежить від багатьох факторів, але, насамперед, від того, чи задає функцію переходу технологічний регламент (ТР) (рис.10). Найбільш

простий випадок розв'язання такої задачі виникає тоді, коли ТР жорстко задає функцію переходу, а значить і траєкторію руху об'єкта із початкового у кінцевий стан. У цьому випадку розробка програматора, основного компонента СДК, що реалізує функцію переходу, зводиться до переносу останньої на машинні носії.

Якщо ТР не задає цю траєкторію, а тільки накладає обмеження на зміну керованих величин, то можливі два варіанти побудови СДК. Перший – це системи програмного керування (СПК), другий – системи керування за обмеженнями (СКО). Найбільш ефективним способом створення програми при відсутності вказівок у ТР є оптимізаційний, який потребує розв'язання задачі динамічної оптимізації.

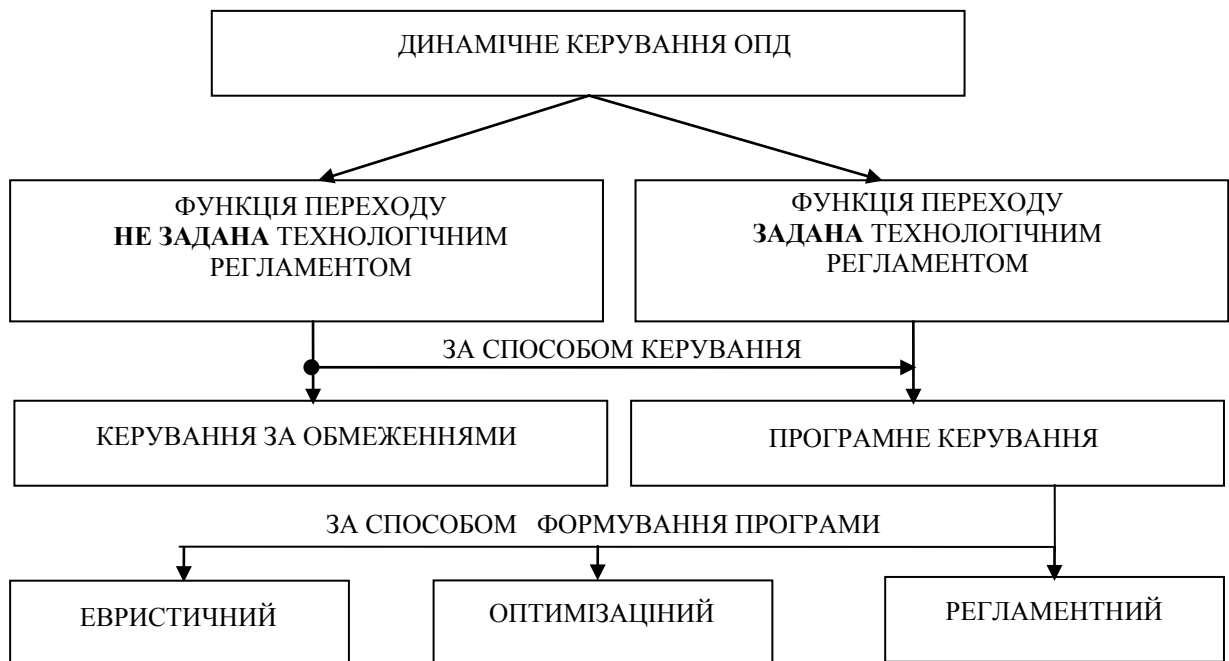


Рис.10. Класифікація динамічного керування ОПД

Оскільки для стерилізаторів функція переходу задана технологічним регламентом, відповідно до якого відхилення температури в автоклаві від завдання на стадії витримки не повинне перевищувати 2 °С, використовуємо регламентний спосіб створення програми. Для оцінки якості керування обрано інтегрально-квадратичний критерій, який показує площу між кривими завдання і вихідної величини. Даний критерій мінімізується для забезпечення найкращої реалізації програми.

Спочатку проведено розробку програматора з використанням одноконтурної системи та стандартних законів регулювання. Схеми моделювання у MatLab такої системи представлені на рис. 11 і 12, а графіки зміни температури на рис.13 і 14.

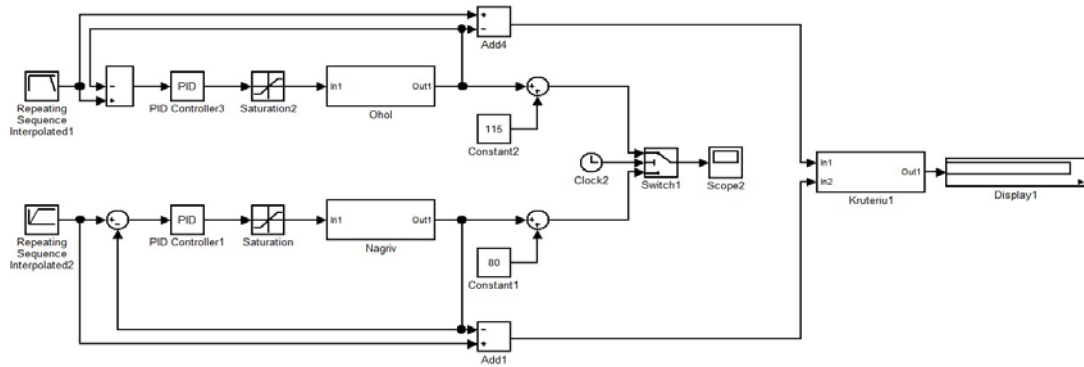


Рис.11. Схема моделювання програмної одноконтурної САР для автоклава з протитиском

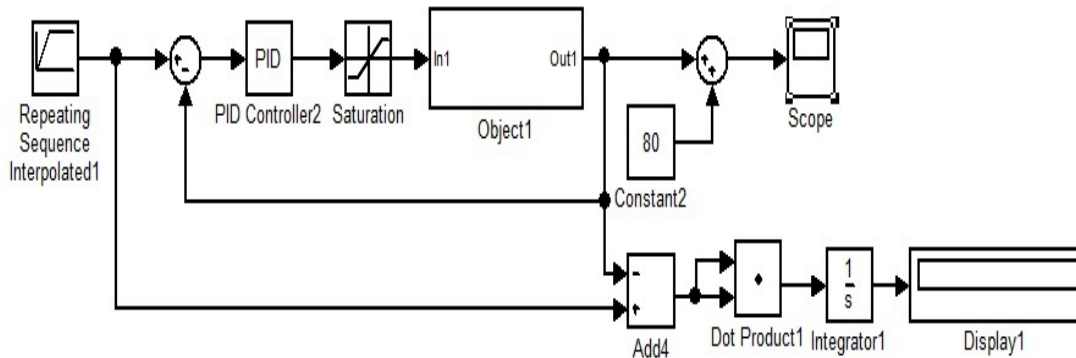


Рис.12. Схема моделювання програмної одноконтурної САР для автоклава без протитиску

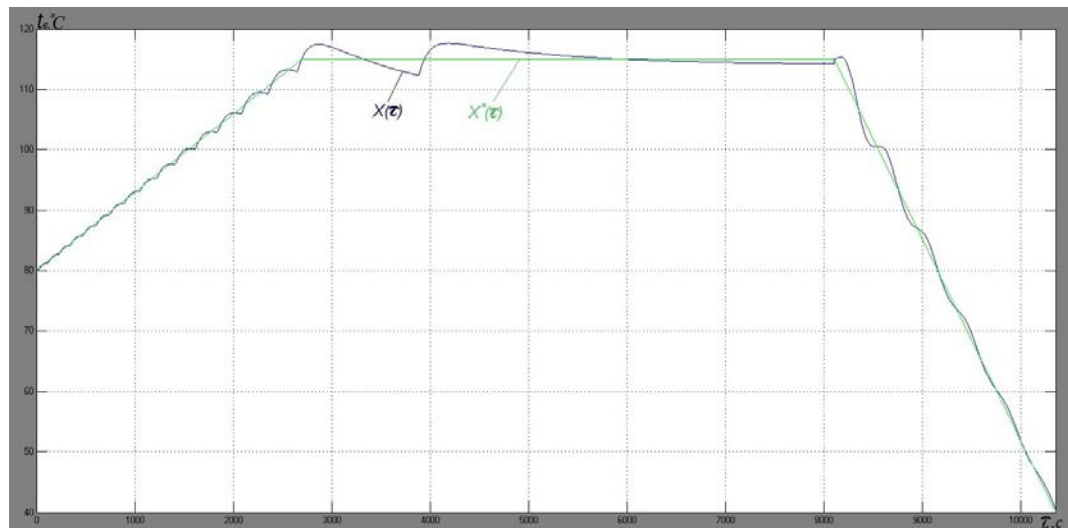


Рис.13. Графік зміни температури для автоклава з протитиском при реалізації одноконтурної системи

Значення інтегрально-квадратичного критерію при реалізації одноконтурної системи управління автоклавом з протитиском – $I=12558^{\circ}\text{C}^2 \cdot \text{с}$, максимальне відхилення температури від завдання на стадії витримки $2,5^{\circ}\text{C}$.

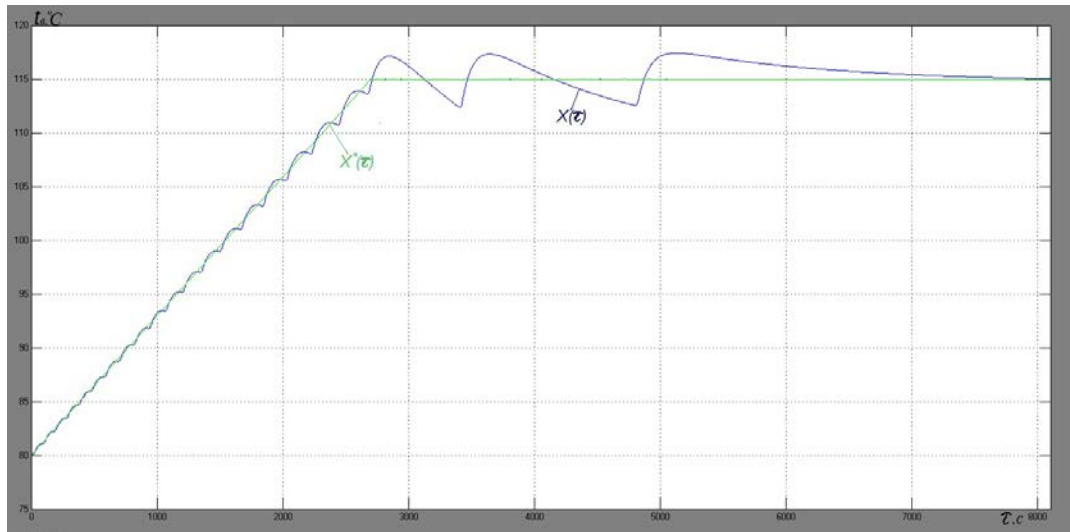


Рис.14. Графік зміни температури для автоклава без протитиску при реалізації одноконтурної системи

Значення інтегрально-квадратичного критерію при реалізації одноконтурної системи управління автоклавом без протитиску становить $I=10171$ $^{\circ}\text{C}^2 \cdot \text{c}$, максимальне відхилення температури від завдання на стадії витримки $2,11$ $^{\circ}\text{C}$.

За технологічним регламентом відхилення температури в автоклаві від завдання на стадії витримки не повинне перевищувати 2 $^{\circ}\text{C}$. Температура в автоклаві при використанні одноконтурної системи виходить за межі встановлені ТР, а отже дана САР не може застосовуватись, а значення інтегрально-квадратичного критерію вказує на те, що програма відтворюється недостатньо точно.

Відповідно до висновків про застосування одноконтурної системи є доцільним використання комбінованої САР. В цьому випадку визначається передаточна функція компенсатора, що не охоплений зворотним зв'язком, а отже не призводить до зменшення стійкості системи. Структурна схема комбінованої програмної САР представлена на рис.15.

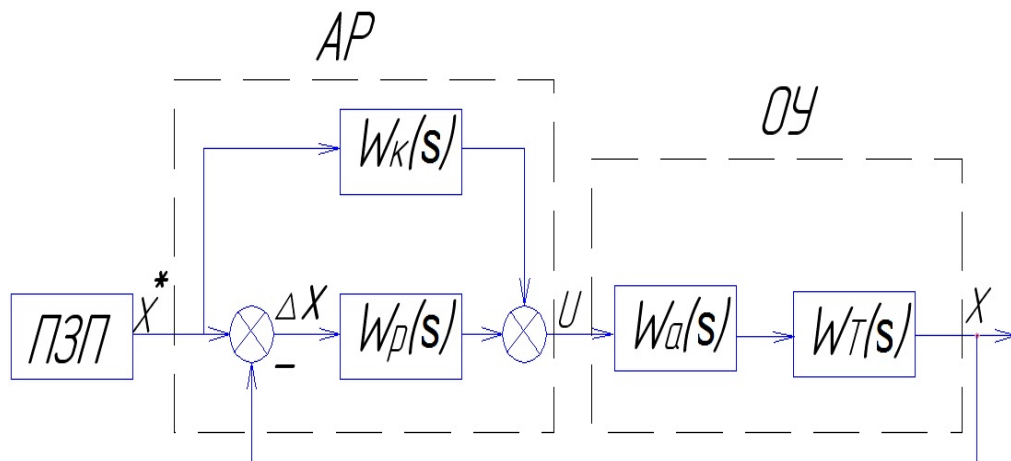


Рис.15. Схема комбінованої програмної САР

ПЗП подає завдання, що змінюється у часі, на вхід суматора та компенсатора. На вхід регулятора надходить розузгодження. Далі сигнал з виходу компенсатора та регулятора підсумовується і управляюча дія подається на об'єкт управління.

Для дослідження програматора з використанням багатоконтурної системи з **нелінійним регулятором** були побудовані у MatLab наступні схеми моделювання (рис. 16 і 17), з допомогою яких отримані наведені на рис.18 і 19 графіки зміни температури.

Для різних стадій використовуються регулятори з різними налаштуваннями. Для цього використовується нелінійний регулятор, що працює наступним чином. Протягом стадії нагрівання і витримки розузгодження між завданням і виходом об'єкта подається на регулятор з оптимальними налаштуваннями для цих стадій, вихід якого сумується з виходом компенсатора W_{k1} . Сумарний сигнал проходить ланку насичення і поступає на об'єкт. Після закінчення стадії витримки розузгодження подається на регулятор з оптимальними налаштуваннями для стадії охолодження, вихід якого сумується з виходом компенсатора W_{k2} .

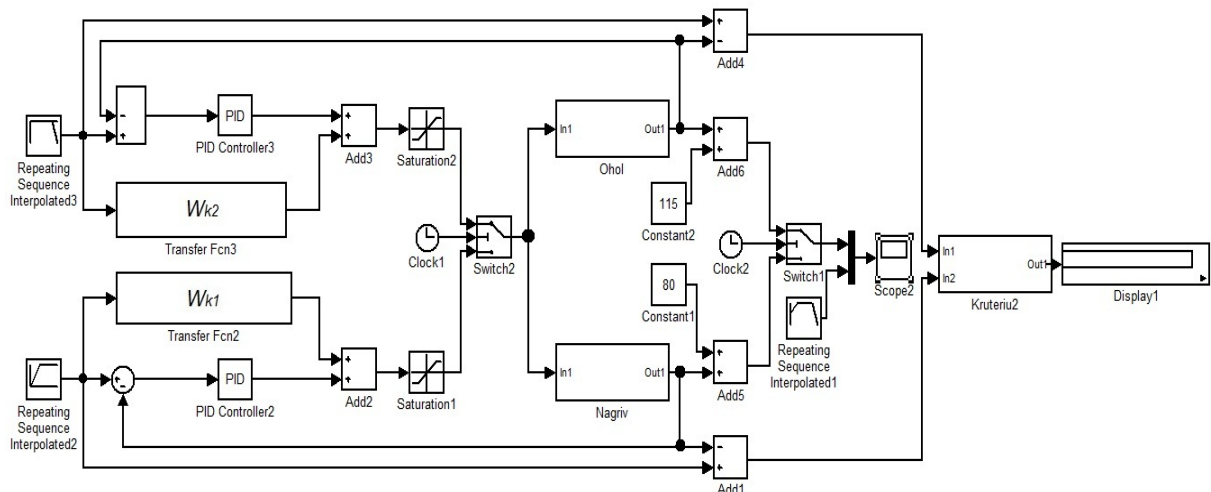


Рис.16. Схема моделювання комбінованої програмної системи для автоклава з протитиском

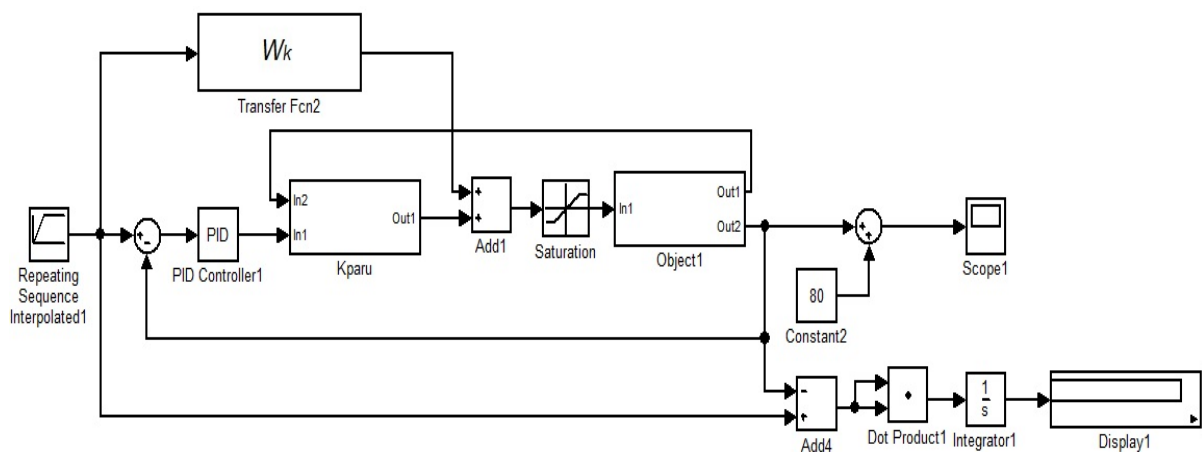


Рис.17. Схема моделювання комбінованої програмної системи для автоклава без протитиску

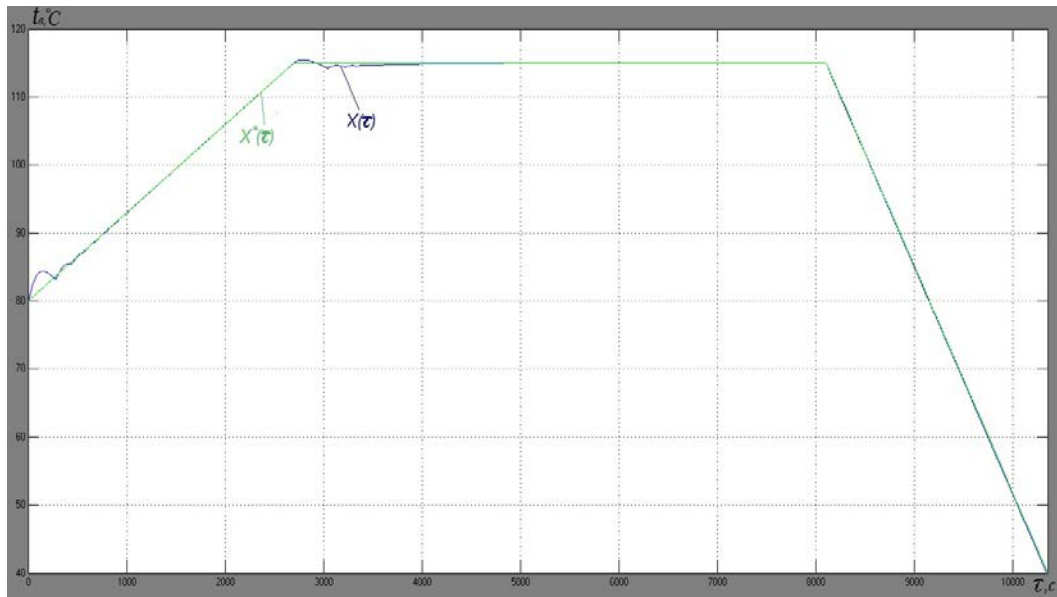


Рис.18. Графік зміни температури для автоклава з протитиском при реалізації комбінованої системи

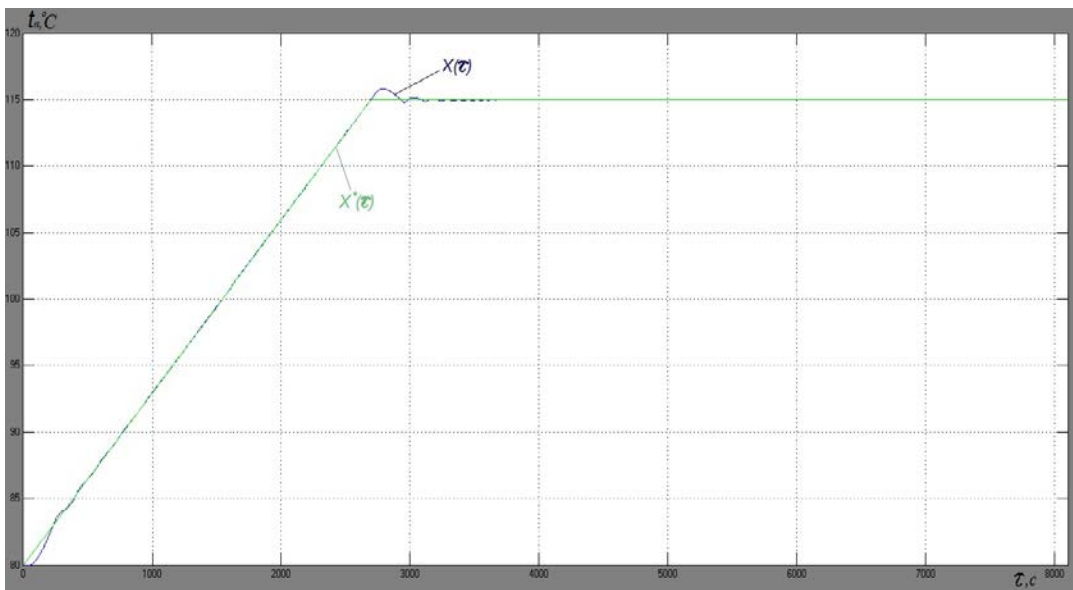


Рис.19. Графік зміни температури для автоклава без протитиску при реалізації комбінованої системи

Значення інтегрально-квадратичного критерію при реалізації комбінованої системи управління автоклавом з протитиском становить $I=741 \text{ }^{\circ}\text{C}^2 \cdot \text{с}$, максимальне відхилення температури від завдання на стадії витримки $0,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Значення інтегрально-квадратичного критерію при реалізації комбінованої системи управління автоклавом без протитиску становить $I=175 \text{ }^{\circ}\text{C}^2 \cdot \text{с}$, максимальне відхилення температури від завдання на стадії витримки $0,8 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

Для подальшого удосконалення динамічної підсистеми АСУ автоклавом був застосований нейромережевий регулятор (НМР). Схема та

результати моделювання системи при застосуванні НМР приведено на рис. 20-21.

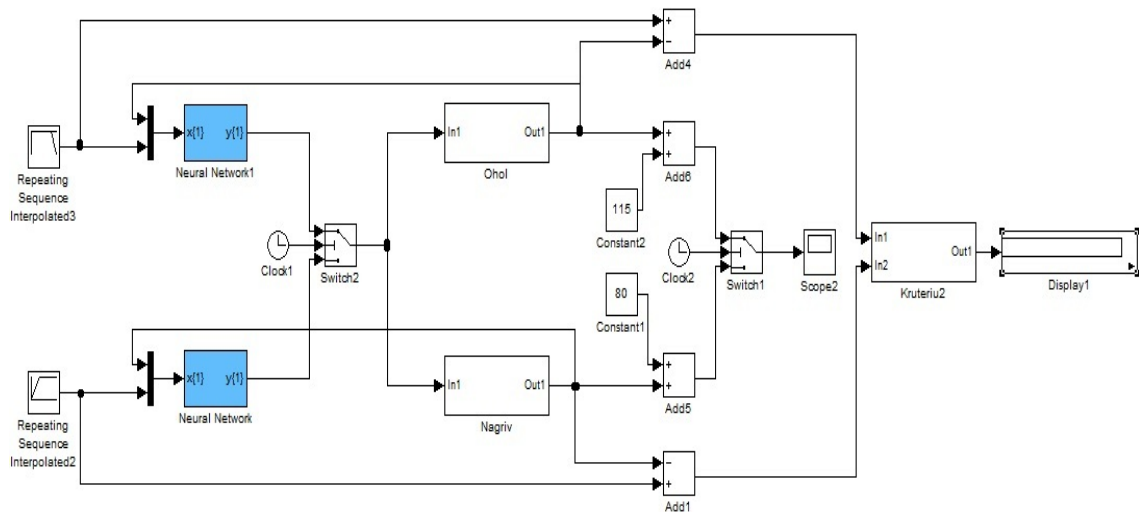


Рис.20. Схема моделювання комбінованої програмної системи з нейромережним регулятором для автоклава з протитиском

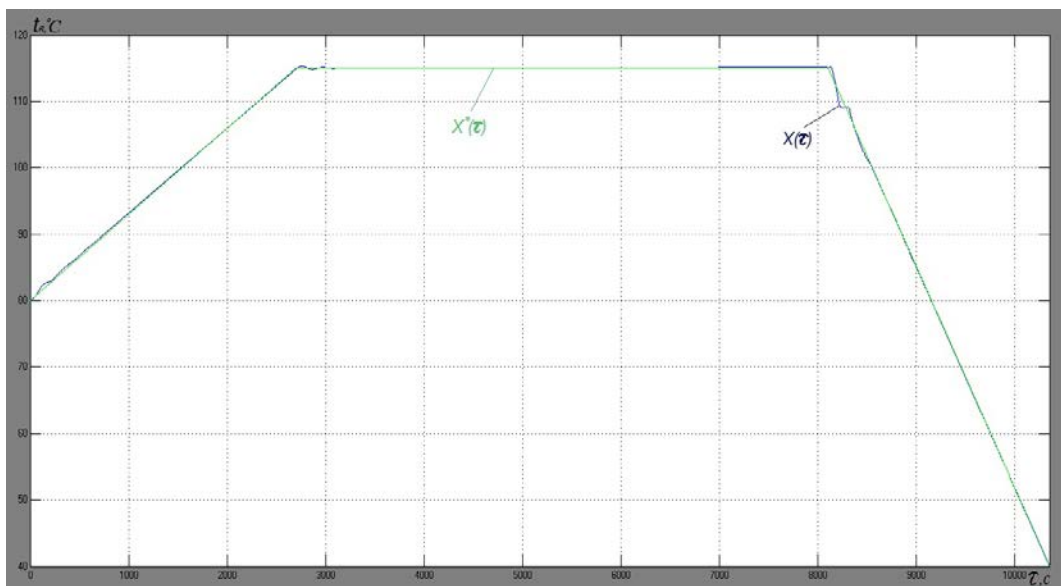


Рис.21. Графік зміни температури для автоклава з протитиском при реалізації системи з нейромережним регулятором

В даній роботі було обрано мережу прямої передачі FF для реалізації регулятора. Навчання проводилось окремо для стадій нагрівання та витримки та стадії охолодження. Для навчання формувались три вибірки: вектор $P2$, що складається зі значень завдання, вектор $P1$, який описує вихід системи, вектор цілей T , що являє собою управляючу дію.

Значення інтегрально-квадратичного критерію при реалізації цієї комбінованої системи управління автоклавом з протитиском становить $I=422 \text{ } ^\circ\text{C}^2 \cdot \text{c}$, максимальне відхилення температури від завдання на стадії витримки $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$.

В четвертому розділі проведено імітаційне моделювання та визначення ефективності функціонування системи з одноконтурним та багатоконтурним програматором при можливих змінах режиму роботи автоклава. Результати роботи цих систем при зміні температури охолоджувальної води, заповненні автоклава на 50% та зміні програми стерилізації наведено у табл. 3.

Таблиця 3

Умови реалізації програми	I, при одноконтурній системі, $^{\circ}\text{C}^2 \cdot \text{c}$	Макс. відхилення температур при одноконтурній системі, $^{\circ}\text{C}$	I, при комбінованій системі, $^{\circ}\text{C}^2 \cdot \text{c}$	Макс. відхилення температур при комбінованій системі, $^{\circ}\text{C}$
1	2	3	4	5
$t_{\text{ох}} = 20^{\circ}\text{C}$	9847	2,4	724	0,8
при завантаженні 50%	13300	3,5	687	0,8
при зміні програми стерилізації	13250	3,5	2016	1,8

Також в розділі наведена програмна реалізація логічної і динамічної підсистем АСУ автоклавом; SCADA-схема оператора та інша документація, необхідна для впровадження та експлуатації розробленої системи.

Для програмної реалізації було використано програмне середовище Unity Pro XL фірми Shneider Electric.

Основна програма написана мовою SFC (рис. 22). Її структура розроблена на основі **логічної підсистеми** і відповідає схемам UML, що розроблені у другому розділі.

Підпрограма блоку “Nagriv” описує дії для етапу нагріву води в автоклаві (рис. 23).

При спрацюванні сигналізатора рівня h2 клапан подачі води і випускний клапан закриваються і спрацьовує внутрішня змінна по передньому фронту, запускається таймер. Блок RESET використовується для онулення таймера.

Динамічна підсистема реалізується задавачем, регулятором та компенсатором, реалізація та робота яких описана нижче.

Поточне значення таймера наводиться в мілісекундах і для роботи з цими даними вони спочатку переводяться у формат REAL (блок TIME_TO_REAL), а потім приводяться до секунд діленням на 1000 (блок DIV).

Поточне значення часу в секундах подається на блок LOOKUP_TABLE1, що формує завдання. В блоці задаються вузлові точки, що відповідають значенню параметра в конкретний момент часу. Завдання

подається на ПІ-регулятор (блок PI_B) та компенсатор (блок Компен), сигнал з яких сумується (блок ADD_REAL), переводиться в формат INTEGER (блок REAL_TO_INT) та надходить на клапан подачі пари.

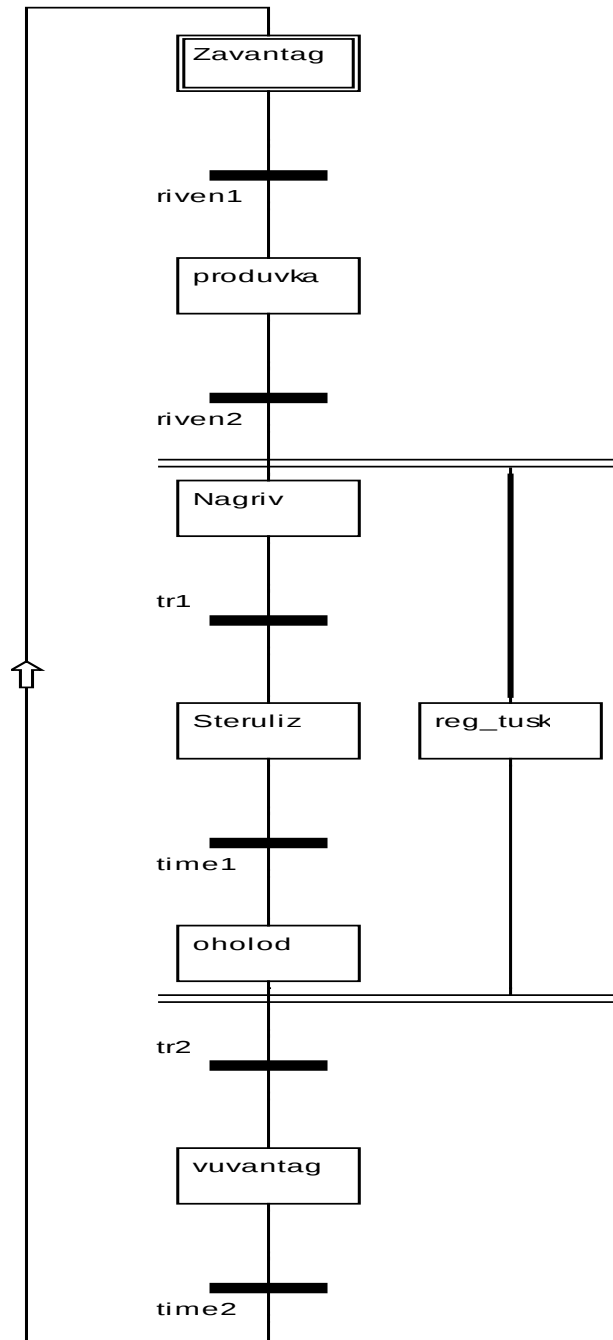


Рис. 22. Програма

Компенсатор реалізується за допомогою функціонального блоку користувача і при його виклику необхідно проставити потрібні коефіцієнти GAIN, періодичність виклику d_t та сталу часу LAG. Функціональний блок користувача написаний мовою ST:

```
if init then OUT:=0.0; OUT1:=0.0; OUT2:=0.0; end_if;
OUT1:=OUT1+d_t*(IN-OUT1);
OUT2:=GAIN*OUT2+d_t/LAG*(IN-OUT2);
OUT:=OUT1/OUT2.
```

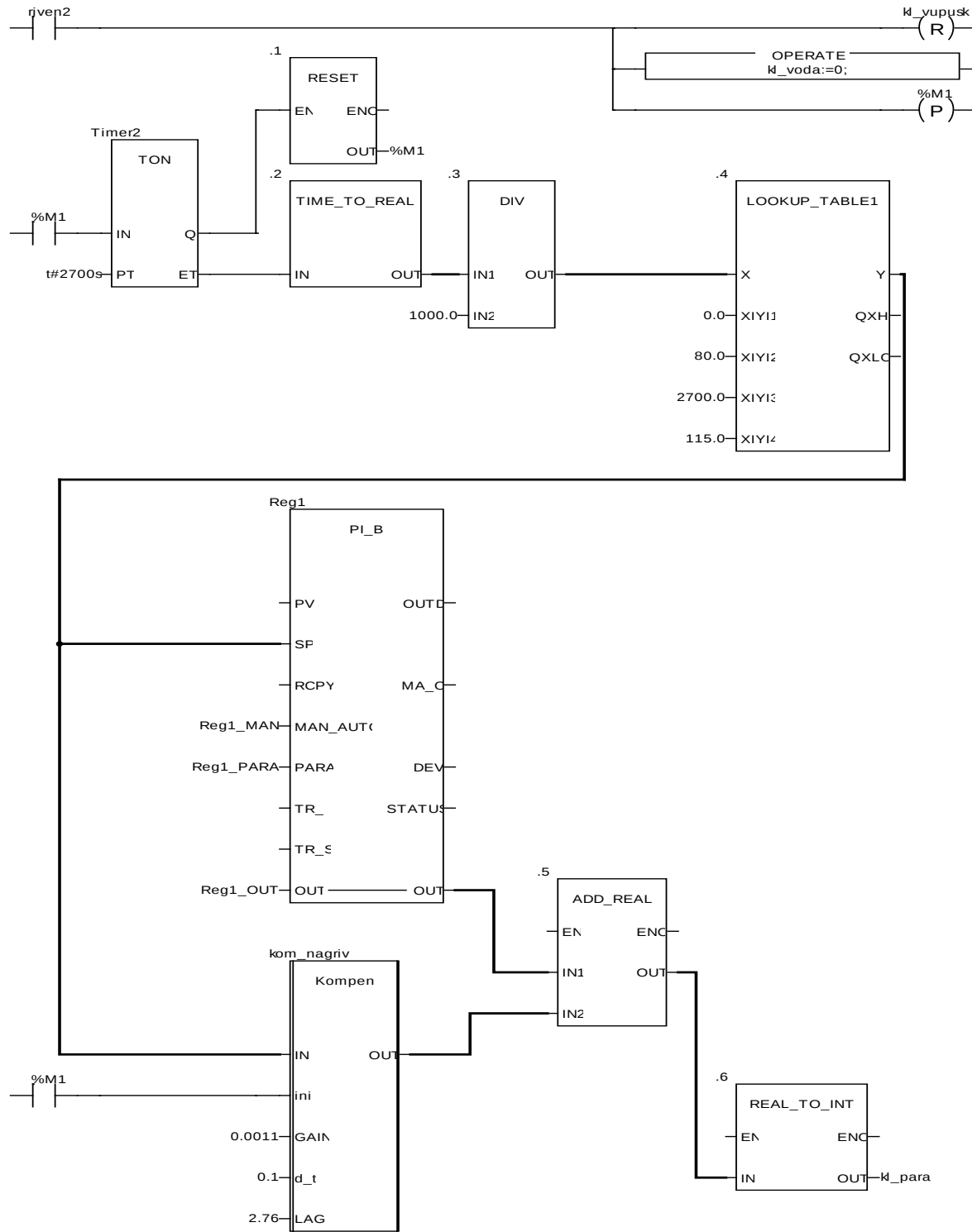


Рис. 23. Підпрограма “Nagriv”

Перехід до підпрограми “Steruliz” відбудеться після виконання умови “tr1” (рис. 24), що відповідає досягненню температури води в автоклаві 115°C.

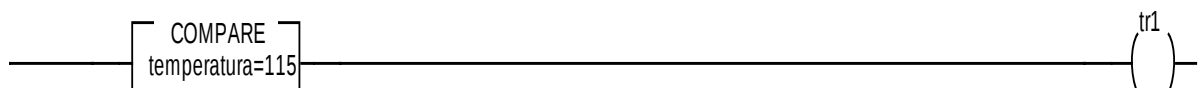


Рис. 24. Підпрограма умови “tr1”

ОСНОВНІ ВИСНОВКИ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

Розроблена автоматизована система управління автоклавом періодичної дії як об'єктом програмного управління, що складається з логічної і динамічної підсистем. При цьому побудова першої базується на застосуванні універсальної мови моделювання, а другої – на використанні нелінійного комбінованого регулятора.

На основі рівнянь теплового балансу розроблені динамічні моделі зміни температури в автоклаві на ділянках нагріву і витримки та на ділянці охолодження. Адекватність моделей реальному процесу підтверджена виробничим експериментом.

В результаті моделювання одноконтурних систем для автоклавів з та без протитиску були отримані результати, що не відповідають вимогам технологічного регламенту.

Застосування комбінованої системи управління дозволило зменшити критерій оптимальності на понад 90% для обох автоклавів.

Моделювання зміни температури води в автоклаві з протитиском при використанні нейромережних регуляторів дозволило покращити значення критерію у порівнянні з комбінованою системою з ПІ-регуляторами на понад 40%.

Уся технічна документація передана на розгляд до впровадження на ПАТ "Козятинський М'ясокомбінат".

Основний зміст дисертації викладено в опублікованих роботах:

1. Клименко О.М. Дослідження програматорів для систем управління апаратами періодичної дії / О.М. Клименко, В.Г. Трегуб // Наукові праці НУХТ № 42. – Київ: НУХТ, 2012. – С.11 – 16.
2. Клименко О.М. Постановка задачі автоматизованого управління стерилізаторами періодичної дії / Клименко О.М. // Матеріали 78-ої міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у ХХІ столітті», 2 -3 квіт. 2012 р. – К.: НУХТ, 2012. – с. 299-300.
3. Клименко О.М. Динамічне керування об'єктами періодичної дії / О.М. Клименко, В.Г. Трегуб // матеріали Міжнародної конференції «Автоматика – 2012». – К.: НУХТ, 2012. – с. 208-209.
4. Klymenko O.M. Dynamic control of objects of periodic action / O.M. Klymenko, V.G. Tregub // VIII Международная научно-практическая конференция "Наука и образование без границ - 2012". – с. 18-22.
5. Клименко О.М. Використання нейронних мереж для реалізації програмних САР/ О.М. Клименко, В.Г. Трегуб // Матеріали 79-ої міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Підсекція інноваційних рішень для інтегрованих автоматизованих систем управління – К.: НУХТ, 2013. – с. 556 – 558.

6. Klymenko O. Control of the system of the periodic action with the use of programmer/ O. Klymenko, V. Tregyb // The second north and east European congress on food. K.: NUFT 2013. – с.183.
7. Клименко О.М. Розробка програмної САР з допомогою нейронних мереж / О.М. Клименко, В.Г. Трегуб // Матеріали XX Міжнародної конференції з автоматичного управління. Миколаїв, 2013 – с. 171 – 172.
8. Клименко О.Н. Применение нейронных сетей в программном регулировании / О.Н. Клименко, В.Г. Трегуб // Сборник материалов конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Кемерово, 2013 – с. 723 – 727.
9. Трегуб В.Г. Керування об'єктами періодичної дії / В.Г. Трегуб, О.М. Клименко // Міжнародний науково-технічний журнал Наукові вісті № 2(88). – Київ: КПІ, 2013. – С.85 – 89.
10. Клименко О. М. Розробка логічної частини математичної моделі автоклава з протитиском / О.М. Клименко, Я. Салтан // Матеріали 80-ої міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Підсекція інформаційні технології – К.: НУХТ, 2014. – с. 440 – 441.
11. Гевела М. Побудова системи логічного управління автоклавом без протитиску з використанням мови UML / М. Гевела, О.М. Клименко // Матеріали 80-ої міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів. Підсекція інформаційні технології – К.: НУХТ, 2014. – с. 438 – 439.
12. Клименко О.М. Моделирование логической подсистемы для стерилизатора без протитиску / О.М. Клименко, В.Г. Трегуб // Матеріали XXI Міжнародної конференції з автоматичного управління, присвяченої 100-річчю з дня народження академіка О.І. Кухтенка. – К., 2014. – с.260-261.
13. Клименко О. М. Розробка програма тора для автоклава з протитиском / О.М. Клименко, В.Г. Трегуб // Міжнародна наукова конференція, присвячена 130-річчю Національного університету харчових технологій.– К.: НУХТ, 2014. – с. 249.
14. Клименко О. М. Логическая подсистема стерилизации консерв для автоклава без противодавления / О.М. Клименко, В.Г. Трегуб // Научные труды том 53, серия 10.2. Биотехнологии и пищевые технологии. – Ruse, 2014. – с. 65 – 70.
15. Клименко О.М. Математичне моделювання періодичних процесів в автоклавах з протитиском / О.М. Клименко, В.Г. Трегуб // Наукові праці НУХТ том 20 № 6. – Київ: НУХТ, 2014. – С.14 – 20.

АНОТАЦІЯ

Клименко О.М. Автоматизоване управління стерилізаторами періодичної дії з використанням методів розробки програматорів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 Автоматизація процесів керування. Національний університет харчових технологій, Київ, 2015.

В дисертаційній роботі розроблена автоматизована система управління автоклавом періодичної дії як об'єктом програмного управління, що складається з логічної і динамічної підсистем, причому остання реалізується за допомогою програматора.

Програматор побудований з використанням нелінійного комбінованого регулятора з логічним пристроєм, що змінює його налаштування при переході від ділянки до ділянки.

Логічна частини моделі автоклава створена на основі таких діаграм універсальної мови моделювання UML, як діаграми класів, послідовності, стану та діяльності. Динамічна частина моделі автоклава описує динаміку зміни температури води в автоклаві на ділянках нагріву і витримки та на ділянці охолодження з урахуванням зміни температури усередині банки.

Дослідження одноконтурної, нелінійної комбінованої та нейромережної систем програмного управління при створенні динамічної підсистеми АСУ автоклавом показало, що застосування одноконтурної системи не задовольняє вимоги технологічного регламенту на відміну від двох інших варіантів.

Розроблена апаратно-програмна реалізація АСУ, яка передана для впровадження на ПАТ "Козятинський М'ясокомбінат".

Ключові слова: програматор, логічна підсистема, динамічна підсистема, логічні пристрої, нелінійний комбінований регулятор.

АННОТАЦИЯ

Клименко О.Н. Автоматизированное управление стерилизаторами периодического действия с использованием методов разработки программаторов. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 Автоматизация процессов управления. Национальный университет пищевых технологий, Киев, 2015.

В диссертационной работе разработана автоматизированная система управления автоклавом периодического действия как объектом программного управления, что состоит из логической и динамической подсистем, причем последняя реализуется с помощью программатора.

Программатор построен с использованием нелинейного комбинированного регулятора с логическим устройством, которое меняет его настройки при переходе от участка к участку.

Логическая часть модели автоклава создана на основе таких диаграмм универсального языка моделирования UML, как диаграммы классов, последовательности, состояния и деятельности. Динамическая часть модели автоклава описывает динамику изменения температуры воды в автоклаве на участках нагрева и выдержки и на участке охлаждения с учетом изменения температуры внутри банки.

Исследование одноконтурной, нелинейной комбинированной и нейросетевой систем программного управления при создании динамической подсистемы АСУ автоклавом показало, что применение одноконтурной системы не удовлетворяет требования технологического регламента в отличие от двух других вариантов.

Разработана аппаратно-программная реализация АСУ, которая передана для внедрения на ОАО "Казатинский мясокомбинат".

Ключевые слова: программатор, логическая подсистема, динамическая подсистема, логические устройства, нелинейный комбинированный регулятор.

ANNOTATION

O. Klymenko Automatic control of batch sterilizers using methods of development programmers. - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.13.07 Automation of control. National University of Food Technologies, Kyiv, 2015.

The thesis developed the automated system of batch autoclave object as program management, consisting of logic and dynamic subsystems, the last realized by the programmer.

Programmer is built using nonlinear combined controller with a logical device that changes its configuration when moving from station to station.

The logical model of the autoclave is based on such diagrams of universal modeling language UML, as class diagrams, sequence, position and activity. Dynamic models of autoclave describes the dynamics of water temperature in an autoclave at sites of exposure and heating and cooling at the site of the changing temperature inside the banks.

Research of single-application, nonlinear combined and neuron-networked systems of program management when creating dynamic subsystem ACS showed that single-application system does not meet the requirements of the regulation, unlike the other two options.

The developed of hardware and software implementation of management information that is transferred for implementation at JSC "Kozyatyn Meat".

Keywords: programmer, logical subsystem, dynamic subsystem, logical device, combined nonlinear regulator.