

DOI: 10.25140/2411-5363-2022-1(27)-172-183

УДК 697.95-52

**Вячеслав Лобов<sup>1</sup>, Людмила Єфіменко<sup>2</sup>, Сергій Бойко<sup>3</sup>, Олексій Городній<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій  
Криворізький національний університет (Кривий Ріг, Україна)

**E-mail:** [lobovvjcheslav@gmail.com](mailto:lobovvjcheslav@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6833-2819>

<sup>2</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматизації, комп'ютерних наук і технологій,  
Криворізький національний університет (Кривий Ріг, Україна)

**E-mail:** [liudmyla.yefimenko@gmail.com](mailto:liudmyla.yefimenko@gmail.com). **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3333-8951>

<sup>3</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій електронних засобів  
Національний університет «Запорізька політехніка» (Запоріжжя, Україна)

**E-mail:** [bsn1987@i.ua](mailto:bsn1987@i.ua). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202>

**Scopus Author ID:** [56417478200](https://orcid.org/56417478200)

<sup>4</sup>кандидат технічних наук, доцент кафедри електроніки, автоматики, робототехніки і мехатроніки  
Національний університет «Чернігівська політехніка» (Чернігів, Україна)

**E-mail:** [aleksey.gorodny@gmail.com](mailto:aleksey.gorodny@gmail.com). **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564>

**Scopus Author ID:** [55327980200](https://orcid.org/55327980200)

## МЕТОДИКА ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МІКРОКЛІМАТУ В ПРИМІЩЕННІ

*Метою статті є дослідження сучасних систем автоматизованого контролю і керування мікрокліматом у приміщеннях з урахуванням оптимізації технологічних параметрів: температури, вологості та інших з розробкою простої методики проєктування систем керування мікрокліматом в приміщенні з удосконаленою математичною моделлю, побудованою на основі правил прикладної теорії цифрових автоматів.*

*Представлено огляд науково-технічної літератури та статей на тему автоматизації систем управління, використовуючи сучасну елементну базу. Показано системи, що використовуються нині та їхні недоліки для якісного виконання поставленої мети. Під час оцінювання метеорологічних умов приміщень основне значення надано параметрам температури і вологи повітря. Дослідження виконувалось із розробленням математичної моделі і використанням правил прикладної теорії цифрових автоматів. Запропоновано методику проєктування системи для керування мікрокліматом в приміщенні на основі використання цифрового автомата. Розроблено алгоритм оптимального управління системою керування мікрокліматом у приміщенні*

**Ключові слова:** приміщення; мікроклімат; збурюючі фактори; автоматизація; цифровий автомат; методика.

*Рис.: 3. Табл.: 11. Бібл.: 21.*

**Актуальність теми дослідження.** Сучасні системи автоматизованого контролю і керування мікрокліматом приміщень промислового призначення або житлового помешкання дозволяють створювати нормальні умови праці та відпочинку людей. Мікроклімат – це комплекс метеорологічних умов у приміщенні, які характеризуються температурою, відносною вологістю, повітрообміном, швидкістю руху повітря, вмістом у повітрі кисню, частинок пилу тощо і визначають умови внутрішнього середовища, що впливають на тепловий обмін людей з оточенням шляхом конвекції, теплового випромінювання та випаровування вологи тощо. При оцінці метеорологічних умов приміщень основне значення має температура і волога повітря. Як відомо, оптимальними для мікроклімату приміщень у теплу пору року вважаються: температура повітря 22-25° С, відносна вологість – 30-60 %. Взимку оптимальна температура в приміщенні повинна становити 18-19° С (для помірного поясу) і 17-18° С (для жаркого). Відносна вологість повітря (при температурі повітря 18-20° С) має бути в межах 40-60 %. Ці умови визначаються поєднанням температури й відносною вологістю та шляхом зміни швидкості руху повітря, яке повинно бути не більше за 0,25 м/с, температури оточуючих людину поверхонь та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінення, тощо.

**Постановка проблеми.** Унаслідок не правильного алгоритму роботи або порушення режимів при несправності технологічного обладнання: вентиляторів, підлоги (електричної або водяної), іонізатори, засувок, повітряних каналів тощо, або параметри мікроклімату в приміщенні, не забезпечують оптимальні метеорологічні умови, тобто поєднання параметрів мікроклімату: температури і вологи повітря у приміщенні при неправильно спроектованій системі для керування мікрокліматом в приміщенні, або при неправильній

експлуатації цього обладнання виникає відхилення від стандартних метеорологічних умов у приміщенні. Особливо даються взнаки зміни температури та вологості від нормованих або заданих значень повітря. Причиною відхилень температури і вологи повітря, та інших параметрів у приміщенні можуть мати також недостатнє опалення в зимовий період, перенаселення приміщення, виконання робіт при недостатній вентиляції та інші. Тому важливо мати ефективну просту методику проектування автоматизованої системи для керування мікроклімату в приміщенні на базі використання для неї простого пристрою керування. Алгоритм системи повинен бути простим і надійним при експлуатації технологічного обладнання, що забезпечує безперебійну його роботу. Система керування мікроклімату в приміщенні повинна працювати з урахуванням зовнішніх умов навколишнього середовища (температури повітря назовні, пори року, реагувати на кліматичні зміни). З цих причин надана тема статті є актуальною.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** На сьогодні проводяться масштабні дослідження в галузі створення ефективних методів та технологій, що дозволяють вирішувати керування технологічним процесом при автоматичному керуванні мікрокліматом у приміщенні. Існує значна кількість робіт, присвячених теоретичному та експериментальному дослідженню процесів керування мікроклімату в приміщенні [1-4]. У цих роботах сучасні системи регулювання мікроклімату в приміщеннях вирізняються ефективністю використання різноманітних пристроїв керування, оснащених спеціалізованими алгоритмами керування, вони стають «розумнішими», мають більшу функціональність, додаткові зручності та можливості [5-8]. Значна увага дослідників приділена питанням аналітичного моделювання процесу підтримки температурного режиму в приміщенні [9-14], що дозволило розробити різні методики проектування систем керування мікрокліматом у приміщеннях та на їх основі реалізувати різноманітні технічні пристрої. Так, у роботі [15] представлено універсальний восьми канальний мікропроцесорний регулятор-вимірювач на базі однокристалльної мікроЕОМ MSC51. За допомогою цього пристрою виконується контроль і регулювання системи мікроклімату та каналного опалення, вентиляційних установок загально-обмінного типу, припливно-витяжної вентиляції каналного типу. Прилад робить вимір фізичних параметрів контрольованих вхідними первинними перетворювачами і дозволяє виконувати установку програмованих робочих параметрів за допомогою вбудованої клавіатури керування. Крім того, прилад дозволяє робити корекцію вимірюваних параметрів для усунення погрешностей первинних перетворювачів, здійснює відображення результатів вимірів на вбудованому світлодіодному чотирирозрядному цифровому індикаторі та формує сигнали керування зовнішніми виконавчими механізмами. Проте методика проектування автоматичного керування мікрокліматом у приміщенні є не досконалою. Алгоритми роботи пристроїв потребують доопрацювання для забезпечення підтримки заданих значень температури і вологи повітря.

Останнім часом присвячується велика кількість робіт періодичному здійсненню ідентифікації об'єкта керування на основі отриманої моделі з виконанням прогнозування, використання нечіткої логіки, нейро-нечітких моделей, ANFIS-моделей і цифрових автоматів (ЦА) [16-21]. Методи керування з використанням прогнозуючої моделі належать до класу алгоритмів, у яких динамічна модель використовується для прогнозування та оптимізації процесу в режимі реального часу. Недоліками цих методів є порівняно складні методики проектування, непрості алгоритми керування. Однак вони мають схеми формування зворотного зв'язку та високі адаптивні властивості, що дозволяють здійснювати квазіоптимальне керування нелінійними нестационарними об'єктами зі складною структурою в режимі реального часу з урахуванням обмежень на керуючі та вихідні змінні. Сьогодні для керування різними технологічними процесами дослідники використовують математичні моделі та правила прикладної теорії ЦА, які дозволяють ство-

ривати універсальні алгоритми, спроектувати просту та доступну до реалізації функціональну і принципову схеми ЦА. Як показали результати досліджень, основне призначення автоматизованої системи керування мікроклімату в приміщенні полягає у відслідковуванні поточного стану приміщення з погляду його мікрокліматичних показників, вибір режиму роботи, відповідно до технологічних умов використання приміщення, а також необхідність керування мікрокліматичними показниками приміщення в режимі реального часу. На основі порівняльного аналізу технологічних аспектів задач керування мікрокліматом у приміщенні зроблено висновок про актуальність проблеми автоматизованого керування при забезпеченні нормованих і заданих параметрів з оптимізацією цього процесу в режимі реального часу. Це вказує на необхідність розробки удосконалених простих методик проектування мікроклімату в приміщенні з можливістю розробити модель процесу керування мікрокліматом у приміщенні на основі використання методології чіткої логіки.

**Виділення недосліджених частин загальної проблеми.** Відомі сучасні системи керування мікроклімату в приміщенні здатні лише фіксувати відхилення вимірюваного параметра від його встановленого значення, однак не в змозі з відповідною похибкою підтримувати параметри температури і вологості з урахуванням зміни аварійних режимів, що враховують гранично допустимі параметри температури та вологості повітря та інших технологічних параметрів. При цьому треба, щоб аварійна і вимірювальна інформація надходила одночасно від засобів первинних перетворювачів (датчиків) до входів керуючого пристрою. Це дозволяє врахувати значну інерційність температури та відносної вологості та скоротити час керування мікрокліматом у приміщенні. Як показали результати досліджень, найбільш удосконаленою є методика проектування мікроклімату в приміщенні на основі цифрових автоматів з можливістю розробити простий пристрій керування на основі використання мікросхем середнього ступеня інтеграції.

**Мета статті.** Метою даної статті є дослідження сучасних систем автоматизованого контролю і керування мікрокліматом у приміщеннях із врахуванням оптимізації технологічних параметрів: температури, вологості та інших з розробкою простої методики проектування систем керування мікроклімату в приміщенні з удосконаленою математичною моделлю, побудованою на основі правил прикладної теорії цифрових автоматів.

**Виклад основного матеріалу.** Викладемо методику проектування ЦА, призначеного для керування мікроклімату в приміщенні, який діє на основі двох основних режимів роботи: керування параметрами температури й вологості повітря. Використовуючи процес заміни букв алфавітів S, X, Y, цифрового автомата двійковими векторами виконаємо кодування і представляємо його роботу таблицями. У лівій частині таблиці перераховуються всі букви (наприклад, вхідного алфавіту), а в правій – двійкові вектори, які ставляться у відповідність цим буквам (табл. 1 – Таблиця переходів, табл. 2 – Таблиця виходів і табл. 3 – Переходи-виходи ЦА). Для розробки ЦА відповідно до таблиць переходів і виходів приймаємо 8 вхідних сигналів, 8 вихідних сигналів і 6 перехідних станів.

Таблиця 1

Переходи ЦА

Стан ЦА	Входи						
	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	X <sub>6</sub>	X <sub>7</sub>
S <sub>0</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>3</sub>
S <sub>1</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>3</sub>
S <sub>2</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>3</sub>
S <sub>3</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>3</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>3</sub>
S <sub>4</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>4</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>3</sub>
S <sub>5</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>5</sub>	S <sub>0</sub>	S <sub>5</sub>

Джерело: розроблено авторами.

Таблиця 2

## Виходи ЦА

Стан ЦА	Входи						
	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>	x <sub>5</sub>	x <sub>6</sub>	x <sub>7</sub>
S <sub>0</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>5</sub>
S <sub>1</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>5</sub>
S <sub>2</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>5</sub>
S <sub>3</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>1</sub>
S <sub>4</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>7</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>5</sub>
S <sub>5</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>4</sub>	y <sub>8</sub>	y <sub>8</sub>

Джерело: розроблено авторами.

Входи x<sub>1</sub>-x<sub>5</sub> використовуємо для введення інформації у ЦА від первинних перетворювачів (датчиків) про стан температури повітря у цифровому вигляді, а входи x<sub>6</sub>-x<sub>8</sub> – про вологості повітря в приміщені. Наявність сигналу на вході x<sub>1</sub> вказує на те, що температура в приміщені в нормі (t норма), на вході x<sub>2</sub>-температура висока (t жарко) і на вході x<sub>3</sub> – низька температура (t холодно). У приміщені може бути два аварійних режиму по гранично допустимій температурі, які визначаються первинними перетворювачами. Так, за наявності сигналу на вході x<sub>4</sub> вважається, що температура гранично висока і режим приймається як аварійно жарко (t ав. жарко), на вході x<sub>5</sub> – максимально низька температура і режим аварійно холодно (t ав. холодно).

Входи x<sub>6</sub>, x<sub>7</sub> використовуємо для введення інформації у ЦА від первинних перетворювачів (датчиків) про стан вологи повітря у цифровому вигляді. Якщо вологість повітря в приміщені знаходиться в межах заданого значення (φ норма), то на вхід x<sub>6</sub> подається відповідна інформація, при підвищенні вологості від заданого значення (φ підвищена) з'являється сигнал на вході x<sub>7</sub>, а при зниженні (φ знижена) на вході x<sub>8</sub>. Первинні перетворювачі температури і вологи встановлюються експериментально в точках приміщення, де температура і волога повітря відповідають дійсним значенням.

Температурний режим у приміщені підтримується шляхом зміни роботи вентилятора (y<sub>1</sub>) і нагрівального елемента (y<sub>2</sub>), за допомогою системи керування цим обладнанням. При цьому видається на індикацію два аварійних режиму по гранично допустимій температурі: аварійно жарко (y<sub>3</sub>) і аварійно холодно (y<sub>4</sub>). Режим вологості підтримується увімкненням розпилювача води (y<sub>5</sub>), а зменшення вологості шляхом одночасного ввімкнення вентилятора й нагрівального елемента (y<sub>6</sub>). При керуванні мікрокліматом у приміщені передбачається режим аварійного вимкнення (y<sub>7</sub>) і загального вимкнення (y<sub>8</sub>). Контроль аварійних режимів виконується первинними перетворювачами, їх цифрова інформація вводиться на входи ЦА, що знижує інерційність температури та відносної вологості та швидше здійснюється дозування керуючого впливу на виконавчі органи.

Стан цифрового автомата можна умовно поділити на 3 підгрупи: нормальний стан (всі показники в нормі, S<sub>0</sub>), відхилення від нормального стану: S<sub>1</sub> – висока температура t жарко, S<sub>2</sub> – низька температура t холодно, S<sub>3</sub> – вологість φ підвищена, S<sub>4</sub> - вологість φ знижена, «аварійне» стан (S<sub>5</sub>). При побудові табл. 1 (переходи ЦА) враховуємо, що перехід в «нормальне» стан S<sub>0</sub> відбувається при подачі вхідних сигналів x<sub>1</sub> або x<sub>6</sub>, а з «нормального» стану ЦА може перейти в будь-який інший стан. При переході до стану S<sub>3</sub> та S<sub>4</sub> (відхилення вологості від заданого значення) на вихід системи управління виконуючими пристроями, для цього подаються відповідні сигнали y<sub>5</sub>, щоб розбризкати воду в повітрі приміщення і для підвищення вологості або сигнал y<sub>6</sub>, щоб поглинути її, включивши нагрівальний елемент, наприклад ТЕН (табл. 2). ЦА перебуваючи в станах S<sub>3</sub> та S<sub>4</sub>, сигнали на управління виконуючими пристроями на збільшення або зменшення вологості не подаються, а лише формується сигнал керування на активізацію вентилятора, щоб рівномірно розподілити вологість по приміщенню, або виконати рівномірний нагрів, щоб ліквідувати вологу в повітрі. Ці

стани мають пріоритет над станами  $S_1$  або  $S_2$  («жарко»/ «холодно»). Але самим пріоритетним станом ЦА є «аварійне» стан  $S_5$ . Для регулювання температури в приміщені передусе подача з ЦА вихідного сигналу  $y_7$ , який сповіщає про перехід ЦА в аварійний стан і він залишається в цьому стані, поки температура повітря в ньому не нормалізується. Далі цифровий автомат відновить свою роботу, і буде підтримувати необхідні температури і вологості в приміщені з формуванням відповідних вихідних сигналів  $y_1$ - $y_4$ .

Використовуючи дані табл. 1 і табл. 2 будуємо суміщену таблицю переходів-виходи ЦА (табл. 3) і матрицю сполук (табл. 4). У загальному випадку, використовуючи суміщену таблицю переходів-виходів ЦА (табл. 3), будуємо граф роботи ЦА (рис. 1), вершинами якого є стану переходів  $S_0 - S_5$ , а на дугах вказані його стану входів-виходів.

Таблиця 3

Переходи-виходи ЦА

Стан ЦА	Входи						
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$
$S_0$	$S_0/y_8$	$S_1/y_1$	$S_2/y_2$	$S_5/y_7$	$S_5/y_7$	$S_0/y_8$	$S_3/y_5$
$S_1$	$S_0/y_8$	$S_1/y_1$	$S_2/y_2$	$S_5/y_7$	$S_5/y_7$	$S_0/y_8$	$S_3/y_5$
$S_2$	$S_0/y_8$	$S_1/y_1$	$S_2/y_2$	$S_5/y_7$	$S_5/y_7$	$S_0/y_8$	$S_3/y_5$
$S_3$	$S_0/y_8$	$S_3/y_1$	$S_3/y_1$	$S_5/y_7$	$S_5/y_7$	$S_0/y_8$	$S_3/y_1$
$S_4$	$S_0/y_8$	$S_4/y_2$	$S_4/y_2$	$S_5/y_7$	$S_5/y_7$	$S_0/y_8$	$S_3/y_5$
$S_5$	$S_0/y_8$	$S_1/y_1$	$S_2/y_2$	$S_5/y_3$	$S_5/y_4$	$S_0/y_8$	$S_5/y_8$

Джерело: розроблено авторами.

Таблиця 4

Матриця з'єднань

Стан ЦА	$S_0$	$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$	$S_5$
$S_0$	$x_1/y_8 \vee x_6/y_8$	$x_2/y_1$	$x_3/y_2$	$x_7/y_5$	$x_8/y_6$	$x_4/y_7 \vee x_5/y_7$
$S_1$	$x_1/y_8 \vee x_6/y_8$	$x_2/y_1$	$x_3/y_2$	$x_7/y_5$	$x_8/y_6$	$x_4/y_7 \vee x_5/y_7$
$S_2$	$x_1/y_8 \vee x_6/y_8$	$x_2/y_1$	$x_3/y_2$	$x_7/y_5$	$x_8/y_6$	$x_4/y_7 \vee x_5/y_7$
$S_3$	$x_1/y_8 \vee x_6/y_8$	-	-	$x_2/y_1 \vee x_3/y_1 \vee x_7/y_1$	$x_8/y_6$	$x_4/y_7 \vee x_5/y_7$
$S_4$	$x_1/y_8 \vee x_6/y_8$	-	-	$x_7/y_5$	$x_2/y_2 \vee x_3/y_2 \vee x_8/y_2$	$x_4/y_7 \vee x_5/y_7$
$S_5$	$x_1/y_8 \vee x_6/y_8$	$x_2/y_1$	$x_3/y_2$	-	-	$x_4/y_3 \vee x_5/y_4$ $x_7/y_8 \vee x_8/y_8$

Джерело: розроблено авторами.

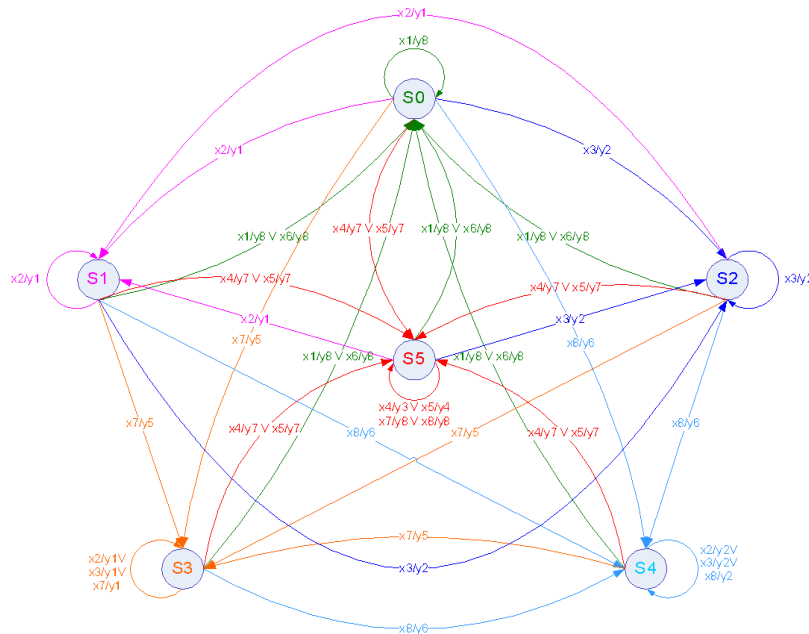


Рис. 1. Граф роботи ЦА

Джерело: розроблено авторами.

Для визначення логічних рівнянь роботи ЦА складаємо таблицю кодування, необхідні для обчислення кількості розрядів  $k$ :

$$k_{вх} = \lceil \log_2 |X| \rceil, k_{вих} = \lceil \log_2 |y| \rceil, k_{ст} = \lceil \log_2 |S| \rceil.$$

Оскільки  $X = x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6, x_7, x_8 = 8$ , то  $k_{вх} = \lceil \log_2 8 \rceil = 3$ , а  $Y = y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8 = 8$  -  $k_{вих} = \lceil \log_2 8 \rceil = 3$  і  $S = s_0, s_1, s_2, s_3, s_4, s_5 = 6$  -  $k_{ст} = \lceil \log_2 6 \rceil = 3$ .

Знаючи кількість входів, виходів і переходів, будемо їх таблиці кодування (табл. 5-7)), у ролі елементів пам'яті вибираємо D-тригера, для яких дана таблиця переходів (табл. 8) і повну таблицю кодування (табл. 9), на якій введені такі позначення:  $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$  - відповідні розряди кодів переходів ЦА.

Таблиця 5

Кодування входів

Входи	Код
$X_1$	0 0 0
$x_2$	0 0 1
$x_3$	0 1 0
$x_4$	0 1 1
$x_5$	1 0 0
$x_6$	1 0 1
$x_7$	1 1 0
$x_8$	1 1 1

Таблиця 6

Кодування виходів

Виходи	Код
$y_1$	0 0 0
$y_2$	0 0 1
$y_3$	0 1 0
$y_4$	0 1 1
$y_5$	1 0 0
$y_6$	1 0 1
$y_7$	1 1 0
$y_8$	1 1 1

Таблиця 7

Кодування станів

Стан ЦА	Код
$S_0$	0 0 0
$S_1$	0 0 1
$S_2$	0 1 0
$S_3$	0 1 1
$S_4$	1 0 0
$S_5$	1 0 1

Таблиця 8

Переходи D-тригера

Стан переходів D-тригера	Вхідні сигнали	
	0	1
0	0	1
1	0	1

Таблиця 9

Повна таблиця кодування сигналів

$\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3$	$x_1=000$	$x_2=001$	$x_3=010$	$x_4=011$	$x_5=100$	$x_6=101$	$x_7=110$	$x_8=111$
0 0 0	000 / 111	001 / 000	010 / 001	101 / 110	101 / 110	000 / 111	011 / 100	100 / 101
0 0 1	000 / 111	001 / 000	010 / 001	101 / 110	101 / 110	000 / 111	011 / 100	100 / 101
0 1 0	000 / 111	001 / 000	010 / 001	101 / 110	101 / 110	000 / 111	011 / 100	100 / 101
0 1 1	000 / 111	011 / 000	011 / 000	101 / 110	101 / 110	000 / 111	011 / 000	100 / 101
1 0 0	000 / 111	100 / 001	100 / 001	101 / 110	101 / 110	000 / 111	011 / 100	100 / 001
1 0 1	000 / 111	001 / 000	010 / 001	101 / 010	101 / 011	000 / 111	101 / 111	101 / 111

Джерело: розроблено авторами.

Використовуючи дані табл. 8 і 9, будемо структурну схему ЦА (рис. 2), яка має дві комбінаційні схеми збудження тригерів КС1 і схеми виходів КС2, три тригера Т1...Т3 і введені такі позначення:

$\beta'1, \beta'2, \beta'3, \beta1, \beta2, \beta3$  - відповідно прямі та інверсні входи,  $U1, U2, U3$  - виходи комбінаційної схеми КС1,  $\lambda'1, \lambda'2, \lambda'3, \lambda1, \lambda2, \lambda3$  - прямі та інверсні виходи тригерів Т1...Т2 і  $W1, W2, W3$  - виходи ЦА.

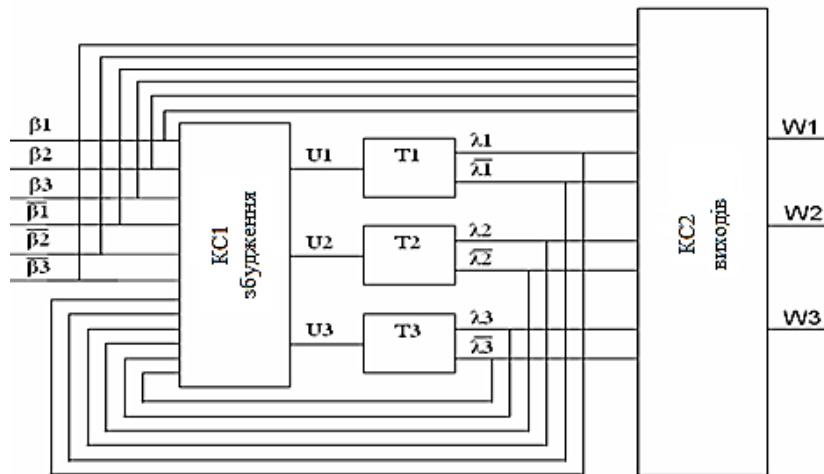


Рис. 2. Структурна схема ЦА

Джерело: розроблено авторами.

Для кодування входів збудження тригерів ЦА використаємо логічні стани табл. 10 і складемо булеві функції, а для виходів – дані табл. 11.

Таблиця 10

Кодування збудження ЦА

λ <sub>1</sub>	λ <sub>2</sub>	λ <sub>3</sub>	β <sub>1</sub>			β <sub>2</sub>			β <sub>3</sub>			β <sub>1</sub> -			β <sub>2</sub> -			β <sub>3</sub> -											
			β <sub>11</sub>	β <sub>12</sub>	β <sub>13</sub>	β <sub>21</sub>	β <sub>22</sub>	β <sub>23</sub>	β <sub>31</sub>	β <sub>32</sub>	β <sub>33</sub>	β <sub>11</sub> -	β <sub>12</sub> -	β <sub>13</sub> -	β <sub>21</sub> -	β <sub>22</sub> -	β <sub>23</sub> -	β <sub>31</sub> -	β <sub>32</sub> -	β <sub>33</sub> -									
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	1
			U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>	U <sub>1</sub>	U <sub>2</sub>	U <sub>3</sub>			

Джерело: розроблено авторами.

За табл. 10 складаємо булеві функції збудження (U<sub>1</sub>, U<sub>2</sub>, U<sub>3</sub>):

$$\begin{aligned}
 U_1 = & \beta_1' \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' + \\
 & + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \\
 & + \beta_1 \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \beta_1 \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' + \beta_1 \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \beta_1 \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1 \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \\
 & + \beta_1 \beta_2 \beta_3' \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \\
 & + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' \quad (1)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_2 = & \beta_1' \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' + \\
 & + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' + \\
 & + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' \quad (2)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 U_3 = & \beta_1' \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1' \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \beta_1' \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' + \beta_1' \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \\
 & + \beta_1' \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' + \\
 & + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' + \beta_1' \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \\
 & + \beta_1 \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' + \beta_1 \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \beta_1 \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1 \beta_2' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \\
 & + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3' + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \\
 & + \beta_1 \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2 \lambda_3 \quad (3)
 \end{aligned}$$

Після мінімізації логічних рівнянь (3)...(5) маємо такі функції збудження:

$$\begin{aligned}
 U_1 = & \beta_1' \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1' \beta_2 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3' + \beta_1 \beta_2' \beta_3 \lambda_1' + \beta_1 \beta_2' \beta_3 \lambda_2' + \beta_1 \beta_3 \lambda_1 \lambda_2' \lambda_3 + \\
 & + \beta_2 \beta_3 \lambda_1 \quad (4)
 \end{aligned}$$

$$U_2 = \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1'\beta_2\beta_3'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_2\beta_3'\lambda_1' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_2'\lambda_3 \tag{5}$$

$$U_3 = \beta_1'\beta_2\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1'\beta_3\lambda_1' + \beta_1'\beta_2\beta_3\lambda_2' + \beta_1'\beta_3\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_3'\lambda_1' + \beta_1\beta_3'\lambda_2' + \beta_2\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 \tag{6}$$

Таблиця 11

*Кодування виходів ЦА*

$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$	$\beta_1$	$\beta_2$	$\beta_3$			
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	1	1	1			
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0		
0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0		
0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0		
0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	
1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	0	0	
1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	0	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	1	0	1
			W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	W	

Джерело: розроблено авторами.

Використовуючи дані табл. 11, складаємо булеві функції виходів цифрового автомата (W1, W2, W3):

$$W_1 = \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3 \tag{7}$$

$$W_2 = \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \beta_1'\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1'\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1'\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1'\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1'\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1'\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1'\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1'\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2\lambda_3 \tag{8}$$

$$W_3 = \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_1\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1'\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1'\lambda_2\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3' + \beta_1\beta_2\beta_3\lambda_1\lambda_2\lambda_3 \tag{9}$$

Аналогічно функціям збудження, мінімізуємо логічні функції (9)...(11) виходів ЦА:

$$W_1 = \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_2' + \beta_1'\beta_2\beta_3\lambda_2'\lambda_3' + \beta_2'\beta_3\lambda_1' + \beta_1\beta_2'\lambda_1' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_2' + \beta_1\beta_2\beta_3'\lambda_2' + \beta_1\lambda_1'\lambda_3' + \beta_2\beta_3\lambda_1' + \beta_1\beta_3\lambda_2'\lambda_3 \tag{10}$$

$$W_2 = \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_2' + \beta_1'\beta_2\beta_3\lambda_1' + \beta_1'\beta_2\beta_3\lambda_2' + \beta_2'\beta_3\lambda_1' + \beta_1\beta_2'\lambda_1' + \beta_1\beta_2'\beta_3\lambda_2' + \beta_1\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 \tag{11}$$

$$W_3 = \beta_1'\beta_2'\beta_3\lambda_1' + \beta_1'\beta_2'\lambda_1\lambda_2'\lambda_3' + \beta_1'\beta_3\lambda_1'\lambda_3' + \beta_1'\beta_3\lambda_2' + \beta_3\lambda_1\lambda_2'\lambda_3 + \beta_1\beta_3\lambda_1' + \beta_1\beta_3\lambda_2' \tag{12}$$

Використовуючи рівняння (6)...(8) і (12)...(14), побудуємо функціональну схему цифрового апарату для керування мікроклімату в приміщенні.



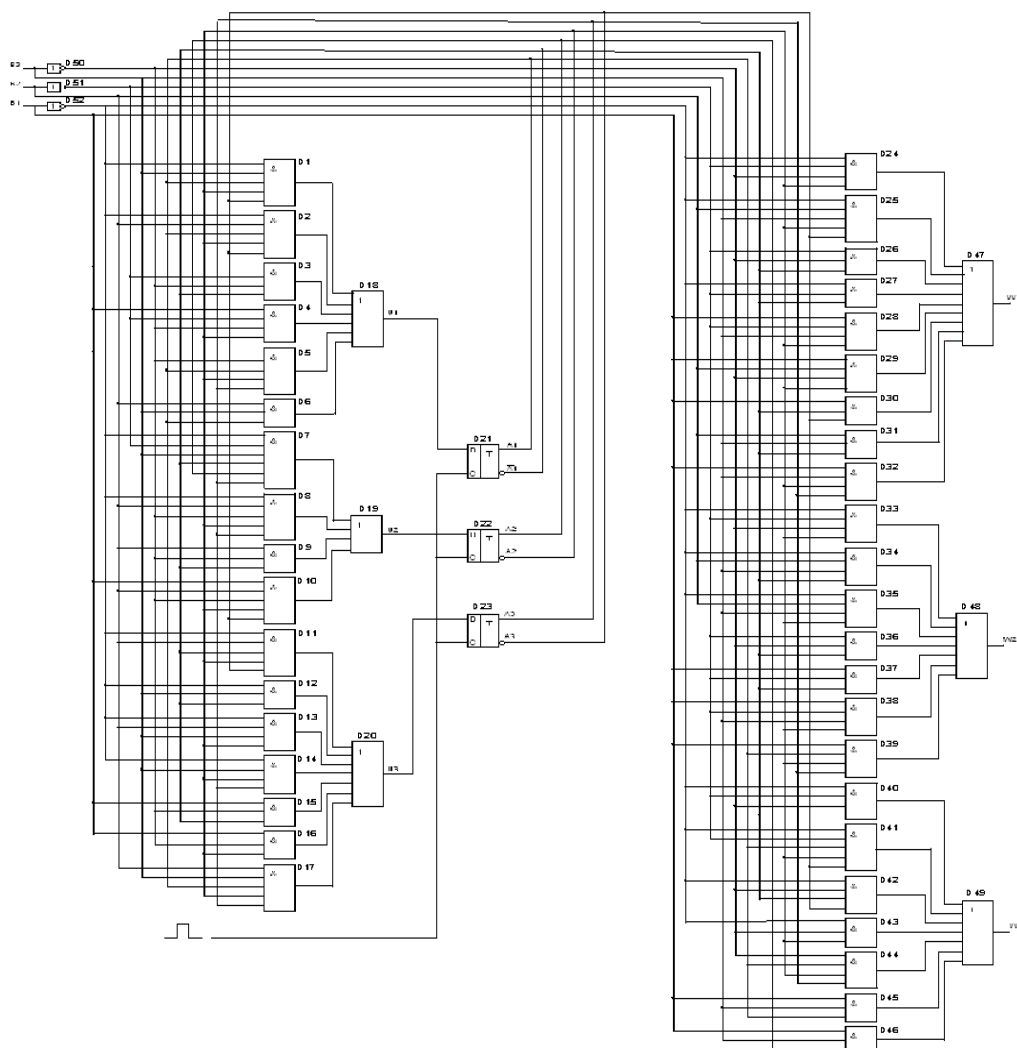


Рис. 3. Функціональна схема ЦА для керування мікроклімату в приміщенні  
Джерело: розроблено авторами.

**Висновки.** Використовуючи прикладну теорію цифрових автоматів, розроблена методика проектування систем керування мікроклімату в приміщенні, яка дозволила отримати рівняння булевих функцій. Складено інженерний підхід до підтримки заданого мікроклімату за рахунок регулювання температури та вологості повітря у приміщенні. Розроблений цифровий автомат для підтримки заданого мікроклімату в приміщенні має 8 вхідних сигналів, 8 вихідних сигналів та 6 перехідних станів. Логічні рівняння дозволили розробити просту функціональну схему ЦА для керування мікроклімату в приміщенні, яка легко реалізується на мікросхемах середньої ступені інтеграції, наприклад, КР1561, або інших пристроях, наприклад, в мікроконтролерах.

Напрямом подальших досліджень є збільшення функцій цифрового автомата, таких як повітрообмін, швидкість руху повітря, вміст у повітрі частинок пилу, CO<sub>2</sub> тощо.

#### Список використаних джерел

1. Глоба Л. С. Розробка інформаційних ресурсів та систем / Л. С. Глоба, Т. М. Кот. – К. : НН ІТС НТУУ «ХПІ», 2012. – 322 с.
2. Мікроклімат промислових приміщень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.protrud.com>.
3. Строкань О. В. Програмно-інформаційна система оптимізації мікроклімату у виробничому приміщенні / О. В. Строкань // Вісник національного технічного університету «ХПІ». Серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – 2014. – Випуск 48. – С. 92-96.

4. Варфоломеев Ю. М. Системы и оборудование для создания микроклимата помещений: Учебник для студентов и колледжей строительного профиля и бакалавров строительных вузов / О. Я. Кокорин, Ю. М. Варфоломеев. (Среднее профессиональное образование) (Гриф). – М. : Изд. Инфра-М., 2011. – 273 с.
5. Система контролю мікроклімату в приміщенні на базі контролеру Siemens TC65T / М. М. Ткач, В. М. Назаренко, В. Й. Лобов, М. О. Котляр // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2010. – № 17(37). – С. 130-138.
6. Строкань О. В. Інформаційно-програмна система управління мікрокліматом в зерносковищі / О. В. Строкань, В. В. Прокопенко // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», серія «Нові рішення в сучасних технологіях». – 2015. – Вип. 46(1155). – С. 104-108.
7. Смірнов Д. А., Автоматизація процесу керування температурно-вологісним режимом у фермерській теплиці / Д. А. Смірнов, О. В. Матус. // Вісник навчально-наукового інституту автоматики, кібернетики та обчислювальної техніки НУВГП: зб. наук. праць. – Рівне: НУВГП. – 2019. – вип. 6. – с. 85-93.
8. Прокопенко Т. О. Інтелектуальна система керування температурно-вологісним режимом теплиці / Т. О. Прокопенко // Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Техніка та енергетика АПК. – 2015. – Вип. 209, ч. 1. – С. 140-147.
9. Автоматика инженерных систем зданий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.lenprom.spb.ru/avtomatika>.
10. Шульц О. В. Дослідження та розробка інформаційно-управляючої scada-системи процесом опалення у теплиці / О. В. Шульц // 70-а наук.-практ. конф. студентів «Енергозабезпечення, електротехнології, електротехніка та інтелектуальні управляючі системи в АПК». – К. : НУБіП України, 2016. – С. 82.
11. Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха : учеб. пособие / Е. С. Бондарь, А. С. Гордиенко, В. А. Михайлов, Г. В. Нимич. – К. : Видавничий будинок «Апангіост-Прим», 2005. – 560 с.
12. Control System s for Heating, Ventilating, and Air Conditioning / Roger W. Haines, Douglas C. Hittlc. – New York : Springer Science +Business Media Inc., 2006. – 366 p.
13. Системный анализ оптимизации общеобменной вентиляции и кондиционирования воздуха / А. А. Рымкснич. – М. : Стройиздат, 1990. – 300 с.
14. Голінко І. М. Структурне моделювання системи керування для штучного мікроклімату / І. М. Голінко, А. П. Ладашок // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – С. 53-56.
15. Франовський І. О. Дослідження автоматизованої системи управління мікрокліматом приміщень: дипломна робота магістра за спеціальністю «151 – автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / І. О. Франовський. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. – 104 с.
16. Борисов А. Н. Принятие решений на основе нечетких моделей. Примеры моделей / А. Н. Борисов, О. А. Крумберг, И. П. Федоров. – Рига : Знание, 1990. – 184 с.
17. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткая логика, генетические алгоритмы, нейронные сети / А. П. Ротштейн. – Винница : УНІВЕРСУМ – Вінниця, 1999. – 320 с.
18. Демківський Є. О. Система підтримки прийняття рішень при прогнозуванні нестационарних процесів / Є. О. Демківський, П. І. Бідюк // Наукові праці Миколаївського державного гуманітарного університету ім. Петра Могили. – 2008. – Вип. 77. – С. 137-159.
19. Потенциал нейро-нечеткой методологии для оценки уровня шума ветровых турбин / В. Николич, Д. Петкович, Л. Пор, С. Шамширбанд, М. Замани, Ж. Шойбашич, С. Мотамеди // Механические системы и обработка сигналов. – 2016. – С. 715-722.
20. Кравець П. І. Нейромережеві компоненти систем керування динамічними об'єктами з їх апаратно-програмною реалізацією на FPGA / П. І. Кравець, В. М. Шимкович, П. Омельченко // Вісник НТУУ «КПІ». Інформатика, управління та обчислювальна техніка : зб. наук. пр. – К. : Век+, 2013. – № 59. – С. 78-85.
21. Прикладна теорія цифрових апаратів / В. І. Жабін, І. А. Жуков, І. А. Клименко, В. В. Ткаченко. – К. : НАУ, 2007. – 364 с.

### References

1. Globa, L.S., Kot, T.M. (2012). *Rozrobka informatsiinykh resursiv ta system [Development of information resources and systems]*. NN ITS NTUU «KPI».
2. Mikroklimat promyslovykh prymishchen [Microclimate of industrial premises]. <https://www.protrud.com>.
3. Strokan, O.V. (2014). Prohramno-informatsiina systema optymizatsii mikroklimatu u vyrobnychomu prymishcheni [Software and information system for optimizing the microclimate in the production room]. *Visnyk natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Seriya "Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh" – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series "New solutions in modern technologies"*, 48, 92-96.
4. Varfolomeev, Yu.M., Kokorin, O.Ya. (2011). *Sistemy i oborudovanie dlia sozdaniia mikroklimata pomeshchenii [Systems and equipment for creating a microclimate of premises] (Secondary vocational education) (Vulture)*. Infra-M.
5. Tkach, M.M., Nazarenko, V.M., Lobov, V.I., Kotlyar, M.O. (2010). Systema kontroliu mikroklimatu v prymishcheni na bazi kontroleru Siemens TC65T [Indoor microclimate control system based on Siemens TC65T controller]. *Adaptyvni systemy avtomatychnoho upravlinnia – Adaptive automatic control systems*, (17(37)), 130-138.
6. Strokan, O.V., Prokopenko, V.V. (2015). Informatsiino-prohramna systema upravlinnia mikroklimatom v zernoskhovyshchi [Information and software system for microclimate management in the granary]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "Kharkivskiy politekhnichnyi instytut", seriya «Novi rishennia v suchasnykh tekhnolohiiakh» – Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", series "New solutions in modern technologies"*, 46(1155), 104–108.
7. Smirnov D. A., Matus O. V. (2015). Automation of the process of temperature and humidity conditions control in the green house. *Visnyk navchalno-naukovoho instytutu avtomatyky, kibernetiky ta obchysliualnoi tekhniky NUVHP: coll. of sci. works, Rivne: NUWEE, 2019 (6), 85-93.*
8. Prokopenko, T.O. (2015). Intelktualna systema keruvannia temperaturno-volohisnym rezhymom teplytsi [Intelligent control system of temperature and humidity of the greenhouse]. *Naukovyi visnyk Natsionalnoho universytetu bioresursiv i pryrodokorystuvannia Ukrainy. Seriya: Tekhnika ta enerhetyka APK – Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Engineering and energy of agro-industrial complex*, 209(1), 140-147.
9. Avtomatyka ynzhenerskykh system zdanyi [Automation of building engineering systems]. <http://www.lenprom.spb.ru/avtomatika>.
10. Schultz, O.V. (2016). Doslidzhennia ta rozrobka informatsiino-upravliaiuchoi scada-systemy protsesom opalennia u teplytsi [Research and development of information-control scada-system of the heating process in the greenhouse]. *70-a nauk.-prakt. konf. studentiv «Enerhozabezpechennia, elektrotekhnolohii, elektrotekhnika ta intelektualni upravliaiuchi systemy v APK» – 70th scientific-practical. conf. students "Energy supply, electrical technology, electrical engineering and intelligent control systems in agriculture"* (p. 82). ULES of Ukraine.
11. Bondar, E.S., Gordisnko, A.C., Mikhailov, U.A., Nimich, G.V. (2005). *Avtomatyzatsiia system ventyliatsyy y kondytsionirovannia vozdukh [Automation of ventilation and air coordination systems: textbook. Allowance]*. Apangiostr-Prim Publishing House.
12. Roger W. Haines, Douglas C. Hittlc. (2006). *Control Systems for Heating, Ventilating, and Air Conditioning*. Springer Science + Business Media Inc.
13. Rymksnich, A.A. (1990). *Systemnyi analiz optymizatsii obshcheobmennoi ventyliatsyy y kondytsionirovannia vozdukh [System analysis of optimization of ventilation exchange and air conditioning]*. Stroiizdat.
14. Golinko, I.M., Ladashok, A.P. (2010). Strukturne modeliuvannia systemy keruvannia dlia shtuchnoho mikroklimatu [Structural modeling of control system for artificial microclimate]. *Skhidno-Yevropeyskyi zhurnal peredovykh tekhnolohii – East Iranian Journal of Advanced Technologies*, 53-56.
15. Franovsky, I.O. (2019). *Doslidzhennia avtomatyzovanoi systemy upravlinnia mikroklimatom prymishchen: dyplomna robota mahistra za spetsialnistiu «151 – avtomatyzatsiia ta kompiuterno-intehrovani tekhnolohii» [Research of the automated control system of microclimate of premises: master's thesis on a specialty "151 – automation and computer-integrated technologies"]*. TNTU.
16. Borisov, A.N., Krumberg, O.A., Fedorov, I.P. (1990). *Priniatie reshenii na osnove nechetkykh modelei. Primery modelei [Making decisions based on fuzzy models. Examples of models]*. Zinatne.

17. Rothstein, A.P. (1999). *Intellektualnye tekhnologii identyfikatsii: nechetkaia logika, geneticheskie algoritmy, neyronnye seti [Intelligent identification technologies: fuzzy logic, genetic algorithms, neural networks]*. UNIVERSUM – Vinnytsia.
18. Demkivsky, E.A., Bidyuk, P.I. (2008). Systema pidtrymky pryiniattia rishen pry prohnouzuvanni nestatsionarnykh protsesiv [Decision support system for forecasting non-stationary processes]. *Naukovi pratsi Mykolaivskoho derzhavnogo humanitarnoho universytetu im. Petra Mohyly – Scientific works of Mykolayiv State University for the Humanities P. Mogilia*, 77, 137-159.
19. Nikolich, V., Petkovich, D., Por, L., Shamshirband, S., Zamani, M., Shoibashich, J., Motamedi S. (2016). Potentsial neuro-nechetkoi metodologii dlia otsenki urovnia shuma vetrovykh turbin [The potential of neuro-fuzzy methodology for estimating the noise level of wind turbines]. *Mekhanicheskie sistemy i obrabotka signalov – Mechanical systems and signal processing*, 715-722.
20. Kravets, P.I., Shymkovych, V.M., Omelchenko, P. (2013). Neiomerezhevi komponenty system keruvannya dynamichnyimi ob'ektamy z yikh aparatno-prohramnoiu realizatsiieiu na FPGA [Neural network components of control systems for dynamic objects with their hardware and software implementation on FPGA]. *Visnyk NTUU «KPI». Informatyka, upravlinnia ta obchysliualna tekhnika – Bulletin of NTUU "KPI". Informatics, management and computer engineering*, (59), 78-85.
21. Zhabin, V.I., Zhukov, I.A., Klymenko, I.A., Tkachenko, V.V. (2007). *Prykladna teoriia tsyfrovyykh aparativ [Applied theory of digital devices]*. NAU.

Отримано 25.01.2022

UDC 697.95-52

**Vyacheslav Lobov<sup>1</sup>, Lyudmila Efimenko<sup>2</sup>, Serhii Boiko<sup>3</sup>, Oleksiy Gorodny<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Avtomation, Computer Sciences and Technology  
Kryvyi Rih National University (Kryvyi Rih, Ukraine)

**E-mail:** [lobovvjcheslav@gmail.com](mailto:lobovvjcheslav@gmail.com) **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6833-2819>

<sup>2</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Avtomation, Computer Sciences and Technology  
Kryvyi Rih National University (Kryvyi Rih, Ukraine)

**E-mail:** [liudmyla.yefimenko@gmail.com](mailto:liudmyla.yefimenko@gmail.com) **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3333-8951>

<sup>3</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Information Technology of Electronic Media  
Zaporizhzhya Polytechnic National University (Zaporizhzhya, Ukraine)

**E-mail:** [bsn1987@i.ua](mailto:bsn1987@i.ua) **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-9778-2202> **Scopus Author ID:** [56417478200](https://orcid.org/0000-0001-9778-2202)

<sup>4</sup>PhD in Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electronics, Automation, Robotics and Mechatronics  
Chernihiv Polytechnic National University (Chernihiv, Ukraine)

**E-mail:** [aleksey.gorodny@gmail.com](mailto:aleksey.gorodny@gmail.com) **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0001-5303-9564> **Scopus Author ID:** [55327980200](https://orcid.org/0000-0001-5303-9564)

**METHODOLOGY FOR THE INDOOR MICROCLIMATE  
CONTROL SYSTEM DESIGN**

*The development of digital technology in recent decades has been rapid. The number of areas of application of DA continues to grow steadily. For example, in the last few years they have been actively implemented in automated systems of various technological processes. During the writing of the article, it was found that the current requirements for software and the rapid pace of technical systems cause growing interest in the theory of digital automata and discrete automata in general. This makes it possible to solve increasingly complex problems and, at the same time, achieve greater efficiency.*

*The aim of this article is to study modern systems of automated control and management of indoor climate with optimization of technological parameters: temperature, humidity, etc. with the development of simple methods for designing indoor climate control systems with advanced mathematical model based on the rules of applied digital theory. The research was performed using a mathematical model and rules of applied theory of digital automata, which allows to create universal algorithms and design a simple and easy for implementation functional and schematic diagram of digital automata.*

*Using the applied theory of digital automata, the equations of Boolean functions are obtained. An engineering approach to maintaining a given microclimate by regulating the temperature and humidity in the room. Developed digital circuit breaker to maintain a given microclimate in the room has eight input signals, eight output signals and six transient states. Logical equations allowed to develop a simple functional circuit of DA to control the microclimate in the room, which is quite easy to implement on chips of medium integration, such as KRI561, or other devices, such as microcontrollers.*

**Keywords:** premises; microclimate; disturbing factors; automation; digital automaton; methods.

*Fig.: 3. Table: 11. References: 21.*