

## MATHEMATICAL MODELING OF PERIODIC PROCESSES IN COUNTERPRESSURE AUTOCLAVES

O. Klymenko, V. Tregub

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Counterpressure  
autoclave  
Class diagram  
State diagram  
Activity diagram  
Sequence diagram*

---

**Article history:**

Received 30.09.2014  
Received in revised form  
12.10.2014  
Accepted 25.10.2014

---

**Corresponding author:**

V. Tregub  
**E-mail:**  
npnuht@ukr.net

---

**ABSTRACT**

Modeling of periodic processes is an urgent task for their automation, which aims to study the behavior of a device in different environments as well as to find the optimal mode of process duration. The quality and length of shelf life of products depends from the sterilization process, so it is important to use new methods and approaches for implementation and management of these processes. Object-oriented modeling is widely used to simulate periodic processes. There is a great choice of object-oriented modeling, but the most widely spread language is UML (Unified Modeling Language). UML is classified as visual modeling language.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПЕРІОДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ В АВТОКЛАВАХ З ПРОТИТИСКОМ

О.М. Клименко, В.Г. Трегуб

*Національний університет харчових технологій*

*Моделювання періодичних процесів є актуальним завданням для їх автоматизації, мета якої — вивчення поведінки апарата в різних умовах, а також знаходження оптимального проходження процесу. Від процесу стерилізації залежать якість і тривалість зберігання продуктів, тому важливим є використання нових методів і підходів для реалізації й управління цими процесами. Для моделювання періодичних процесів усе частіше застосовується об'єктно-орієнтоване моделювання. Існує великий вибір мов об'єктного орієнтування, проте найбільш поширена уніфікована мова моделювання UML (Unified Modeling Language), яка відноситься до мов візуального моделювання.*

**Ключові слова:** автоклав з протитиском, діаграма класів, діаграма стану, діаграма діяльності, діаграма послідовності.

Комп'ютерне моделювання систем виконується у такій послідовності: 1) опис системи у термінах UML; 2) реалізація моделі системи з допомогою підсистеми Simulink пакета Matlab чи подібного пакета; 3) аналіз результатів комп'ютерного моделювання [1].

## АВТОМАТИЗАЦІЯ

Для опису в термінах UML періодичних процесів в автоклаві з протитиском у його циклі виділені такі стадії й операції: перша стадія — завантаження апарата; друга — робоча стадія (операції — продувка, нагрів, стерилізація й охолодження); третя — вивантаження апарата (див. табл.).

*Таблиця. Цикл автоклава з протитиском*

Операція циклу	Умови початку	Керувальні дії
1 Завантаження		
Початок завантаження	$h_0, V1^{(0)}, V2^{(1)} \dots V6^{(1)}, M1^{(0)}, V7^{(1)}$	$M1^{(1)}$
Кінець завантаження	$\tau_1$	$M^{(0)}, V2^{(1)}$
2 Робоча стадія		
2.1. Продувка	$h_1$	$V2^{(0)}, V5^{(1)}$
2.2. Заповнення водою	TE1	$V5^{(0)}, V2^{(1)}, V7^{(0)}$
2.3. Нагрів	$h_2$	$V5^{(1)}, V2^{(0)}, V1^{(0)}, V4^{(1)}$
2.4. Стерилізація	TE2	$V2^{(1)}$
2.5. Початок охолодження	$\tau_2$	$V5^{(0)}, V4^{(0)}, V3^{(1)}, V6^{(1)}$
2.6. Охолодження	TE3	$V3^{(0)}, V6^{(0)}, V4^{(1)}$
2.7. Кінець охолодження	$\tau_3$	$V2^{(0)}, V1^{(1)}$
3 Вивантаження		
Початок вивантаження	$h_0, PE1$	$V4^{(0)}, V7^{(1)}, M1^{(1)}$
Кінець циклу	$\tau_4$	$M1^{(0)}$

На першій стадії робота автоклава з протитиском (рис. 1) починається за умови, що автоклав порожній  $h_0$ , клапан  $V1^{(1)}$  відкритий, клапани  $V2^{(0)} \dots V6^{(0)}$  закриті, тельфер  $M1^{(0)}$  вимкнений, кришка автоклава  $V7^{(1)}$  відкрита. Для завантаження продукту вмикається тельфер, позначений  $M1^{(1)}$ . Коли час  $\tau_1$ , відведений на завантаження, спливає, то вимикається  $M1^{(0)}$  і відкривається клапан подачі води  $V2^{(1)}$ . Після того, як автоклав заповниться до рівня  $h_1$ , починається робоча стадія. Спершу відбувається продувка, відкривається клапан подачі пари  $V5^{(1)}$  та закривається клапан подачі води  $V2^{(0)}$ . Коли температура в середині автоклава досягне  $80^\circ\text{C}$  (позначено через TE1), продувка закінчується, клапан  $V5^{(0)}$  і кришка автоклава  $V7^{(0)}$  закриваються і відкривається клапан подачі води  $V2^{(1)}$ . При досягненні рівня  $h_2$  починається нагрівання: закриваються продувний клапан  $V1^{(0)}$  і клапан подачі води  $V2^{(0)}$ , та відкриваються клапани зливу  $V4^{(1)}$  і подачі пари  $V5^{(1)}$ . Стерилізація починається при досягненні температури стерилізації TE2, відкривається клапан подачі води  $V2^{(1)}$  для регулювання тиску. Після закінчення часу стерилізації  $\tau_2$ , заданого регламентом, клапани  $V5^{(0)}$  і  $V4^{(0)}$  закриваються, клапани переливу  $V3^{(1)}$  і подачі повітря  $V6^{(1)}$  відкриваються. Коли температура всередині автоклава опуститься до  $80^\circ\text{C}$  (позначено через TE3), клапани  $V3^{(0)}$  і  $V6^{(0)}$  закриваються, а клапан зливу  $V4^{(1)}$  відкривається. Охолодження проводиться протягом відведеного часу  $\tau_3$ , після чого закривається клапан  $V2^{(0)}$  і відкривається продувний клапан  $V1^{(1)}$ . Третя стадія починається при спрацюванні датчика нижнього рівня  $h_0$  за умови, що тиск дорівнює атмосферному (позначено через PE1). Після цього закривається клапан зливу  $V4^{(0)}$ , відкривається кришка автоклава  $V7^{(1)}$  і вмикається тельфер  $M1^{(1)}$  на вивантаження. Через час  $\tau_4$   $M1^{(0)}$  вимикається.

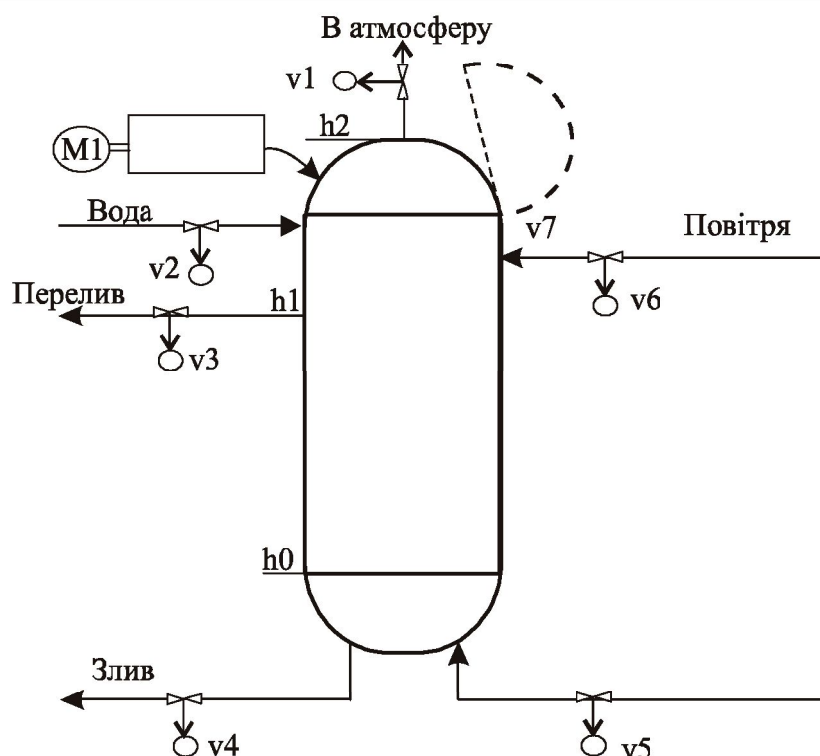


Рис. 1. Автоклав з протитиском

Серед діаграм, що існують в UML для опису систем, слід виділити такі основні типи діаграм:

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

Діаграма класів (class diagram) [2] служить для подання структури моделі, не залежить від часу, визначає типи об'єктів системи і різні статичні зв'язки та відношення між ними. На діаграмі клас зображують прямокутником, що поділений горизонтальними лініями на три секції: верхня містить ім'я класу, середня — перелік атрибутів (вхідних та вихідних сигналів і змінних стану); нижня — перелік операцій (описують поведінку об'єктів класу). Для того, щоб побудувати цю діаграму, потрібно спочатку виділити в системі окремі, відносно незалежні компоненти та визначити, яким чином вони взаємопов'язані. Двома основними компонентами комплексу, що розглядається, є апарат періодичної дії (АПД) і контролер. Контролер надсилає об'єкту сигнали керування вентилями V1-V6, кришкою V7 і тельфером M1. Для правильного керування об'єктом контролеру необхідно врахувати значення рівнів, температур, тиску та інтервалів часу. Контролер представлений класом Controller (рис. 2), який містить атрибути. До атрибутів віднесені рівень, тиск і температура, сигнали на відкриття (закриття) вентилів V1-V6, кришки V7 і тельфера M1. Враховуючи багатостадійність технологічного процесу, в АПД проведена декомпозиція системи на кілька частин, кожна з яких буде відповідати за керування технологічним процесом на певній стадії. Перша стадія відповідає завантаженню апарата, друга — робочій стадії, а третя — вивантаженню. Об'єкт представлений класом Apparatus, атрибути — вхідні

та вихідні змінні, рівень, тиск і температура, операції — керування потоками та механізмами.

Діаграма послідовності (sequence diagram) показує, в якій послідовності з'являються об'єкти при виконанні певної операції і який потік інформації виникає при цьому. Діаграма послідовності дає змогу описати повний цикл роботи автоклава з часовими інтервалами, що задаються регламентом. За допомогою цієї діаграми можливо проаналізувати часову послідовність стадій і операцій циклу. Вертикальні прямокутники під апаратом показують життєвий цикл стадій та операції, що відбуваються протягом одного часового інтервалу. Наприклад, третя стадія існує в часі, в якому відбуваються такі дії: закриття клапана V2<sup>(0)</sup> і відкриття клапана V5<sup>(1)</sup> (рис. 3).

Apparatus	Controller	Part1_Control	Part2_Control	Part3_Control
<pre>&lt;&lt;inputs&gt;&gt;+ +VXOn: signal +VXOff: signal +M1On: signal +M1Off: signal &lt;&lt;outputs&gt;&gt;+ +PE: double +h: double +TE: double  +open_VX() +close_VX() +on_M1() +off_M1()</pre>	<pre>&lt;&lt;inputs&gt;&gt;+ +PE: double +h: double +TE: double &lt;&lt;outputs&gt;&gt;+ +VXOn: signal +VXOff: signal +M1On: signal +M1Off: signal &lt;&lt;state&gt;&gt;+ +Time1: double +Time2: double +Time2: double +Time4: double +h0: double +h1: double +h2: double +TE1: double +TE2: double +TE3: double +PE1: double  +send_VXOn(): 0 +send_VXOff(): 0 +send_M1On(): 0 +send_M1Off(): 0</pre>	<pre>&lt;&lt;inputs&gt;&gt;+ +h: double &lt;&lt;outputs&gt;&gt;+ +M1On: signal +M1Off: signal +V2On: signal +V2Off: signal +Time1: double +h0: double  +on_M1() +off_M1() +open_V2()</pre>	<pre>&lt;&lt;inputs&gt;&gt;+ +h: double +TE: double &lt;&lt;outputs&gt;&gt;+ +V1On: signal +V1Off: signal +V2On: signal +V2Off: signal +V3On: signal +V3Off: signal +V4On: signal +V4Off: signal +V5On: signal +V5Off: signal +V6On: signal +V6Off: signal +V7Off: signal &lt;&lt;state&gt;&gt;+ +Time2: double +Time3: double +h1: double +h2: double +TE1: double +TE2: double +TE3: double  +open_V1() +close_V1() +open_V2() +close_V2() +open_V3() +close_V3() +open_V4() +close_V4() +open_V5() +close_V5() +open_V6() +close_V6() +close_V7()</pre>	<pre>&lt;&lt;inputs&gt;&gt;+ +h: double +PE: double &lt;&lt;outputs&gt;&gt;+ +M1On: signal +M1Off: signal +V7On: signal +V4Off: signal &lt;&lt;state&gt;&gt;+ +Time4: double +h0: double +PE1: double  +on_M1() +off_M1() +open_V7() +close_V4()</pre>

**Рис. 2. Діаграма класів**

Діаграма стану (state diagrams) показує послідовність станів, в яких може опинитися об'єкт залежно від зовнішніх подій і реакції об'єкта на ці події. Стан позначається Wait і відповідає певному інтервалу часу в житті об'єкта, зображується прямокутником із закругленими кутами, який може мати одну або кілька секцій. У секціях наводиться ім'я стану, змінні стану, внутрішня поведінка тощо. Остання найчастіше містить такі дії: entry — дія на вході у стан; exit — дія на виході із стану.

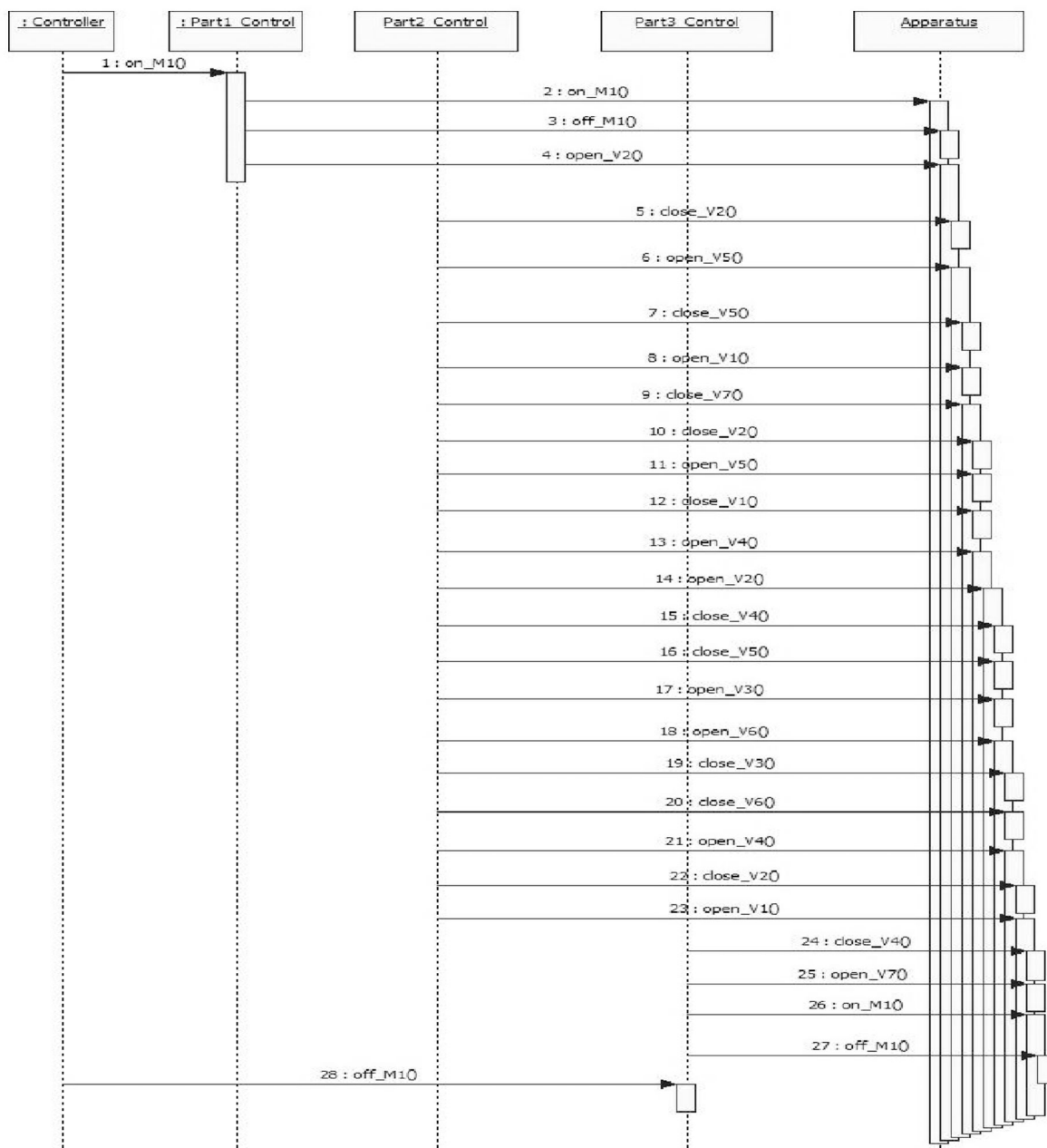


Рис. 3. Діаграма послідовності

Для класу Controller діаграма стану наведена на рис. 4. Фактично у даному випадку стан характеризує ситуацію очікування під час інтервалів часу, які починаються зміною положення виконавчих органів (Send). Так, при очікуванні системи в проміжку стадії 4 система на вході закриває клапани  $V5^{(0)}$  і  $V4^{(0)}$  і відкриває клапани  $V3^{(1)}$  і  $V6^{(1)}$ , а при виході з цього проміжку закриває клапани  $V3^{(0)}$  і  $V6^{(0)}$  і відкриває  $V4^{(1)}$ . Діаграма стану може бути використана для мінімізації тривалості циклу стерилізатора періодичної дії.

Діаграма діяльності (activity diagram) призначена для опису зміни стану об'єкта під дією внутрішніх наперед визначених дій. На відміну від діаграми стану, основним елементом цих діаграм є дія. Для цієї мети використані блок-схеми або структурні схеми алгоритмів. Кожна дія на діаграмі відповідає виконанню певної операції, перехід до наступної дії спрацьовує тільки при завершенні операції попередньої дії.

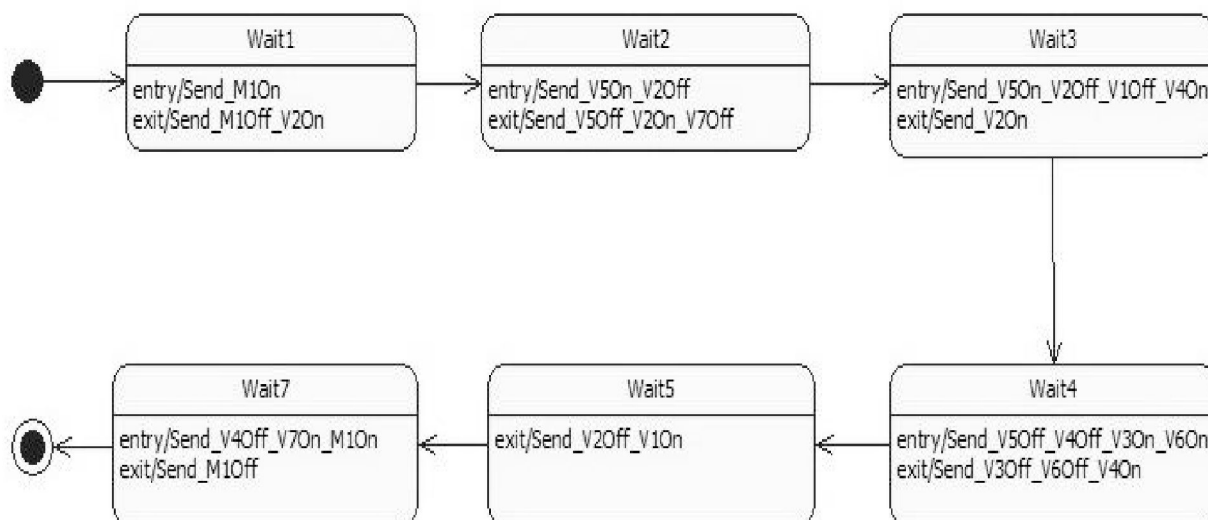


Рис. 4. Діаграма стану

Ця діаграма фактично є алгоритмом логічного керування автоклавом. Біля стрілок записують умови переходу до даної дії. Так, наприклад, увімкнення тельфера M1<sup>(0)1</sup> відбудеться тільки за умови, що рівень буде мінімальний (h0), клапани V1<sup>(0)</sup>-V7<sup>(0)</sup> закриті (V1Off-V7Off), тельфер вимкнений (M1Off), а кришка автоклава відкрита (V8On) (рис. 5). Через час, відведений на завантаження (Time1), тельфер вимкнеться. Тільки після того, як вимкнеться тельфер, кришка автоклава V8<sup>(0)</sup> закриється.

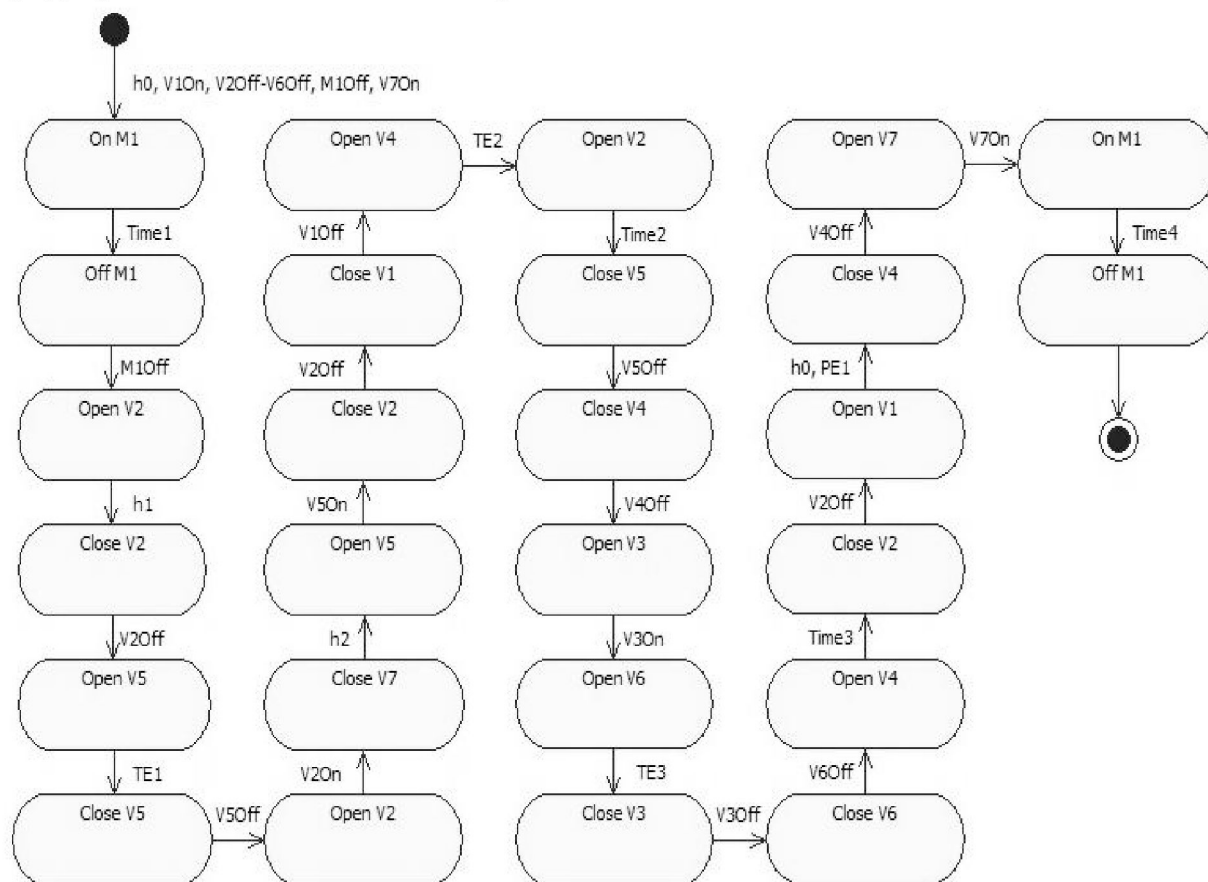


Рис. 5. Діаграма діяльності

### **Висновки**

Наведені вище діаграми дають змогу представити процес стерилізації таким чином, щоб були визначені всі зв'язки як між апаратом і контролером, так і всередині самого апарата. А це, у свою чергу, допомагає більш швидко і якісно наочно змодельовати та реалізувати процес. Слід підкреслити, що саме UML є загальноприйнятим стандартом у галузі розробки моделей систем з його подальшою реалізацією у відповідних інструментальних засобах. Розроблена модель може використовуватись для вирішення різних завдань, які сприятимуть покращенню ефективності роботи автоклавів з протитиском, а також для розроблення логічної підсистеми АСУ таким автоклавом.

### **Література**

1. Трегуб В.Г. Побудова математичної моделі автоматизованого апарата періодичної дії / В.Г. Трегуб // Харчова промисловість. — 2004. — № 3. — С. 165—169.
2. Бенькович Е.С. Практическое моделирование динамических систем / Е.С. Бенькович, Ю.Б. Колесов, Ю.Б. Сениченков. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002. — 464 с.

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АВТОКЛАВАХ С ПРОТИВОДАВЛЕНИЕМ**

**О.М. Клименко, В.Г. Трегуб**

*Национальный университет пищевых технологий*

*Моделирование периодических процессов является актуальной задачей для их автоматизации, цель которой — изучение поведения аппарата в различных условиях, а также нахождение оптимального режима протекания процесса. От процесса стерилизации зависят качество и длительность хранения продуктов, поэтому важно использовать новые методы и подходы для реализации и управления этими процессами. Для моделирования периодических процессов все чаще применяется объектно-ориентированное моделирование. Существует большой выбор языков объектного ориентирования, однако наибольшее распространение получил унифицированный язык моделирования UML (Unified Modeling Language), который относится к языкам визуального моделирования.*

**Ключевые слова:** автоклав с противодавлением, диаграмма классов, диаграмма состояния, диаграмма деятельности, диаграмма последовательности.