

ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ АВТОМАТИЗОВАНОГО АПАРАТА ПЕРІОДИЧНОЇ ДІЇ

Розглянуто метод побудови математичної моделі автоматизованого апарата періодичної дії в термінах уніфікованої мови моделювання UML.

Рассмотрен метод построения математической модели автоматизированного аппарат периодического действия в терминах унифицированного языка моделирования UML.

Автоматизоване керування апаратами періодичної дії (АПД) базується на використанні логико-динамічних структур при побудові як математичних моделей цих апаратів, так і систем керування ними (Бенькович Е.С., Колесов Ю.Б., Сеніченков Ю.Б. Практическое моделирование динамических систем. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002). Одним із ефективних сучасних інструментів об'єктно-орієнтованого моделювання таких гібридних систем є уніфікована мова моделювання UML (Unified Modeling Language). У разі її застосування комп'ютерне моделювання подібних об'єктів виконують у такій послідовності: опис системи у термінах UML; реалізація моделі системи з допомогою підсистеми Simulink

пакета Matlab чи подібного пакета; аналіз результатів комп'ютерного моделювання. Використаємо для опису в термінах UML найпоширеніший чотиристадійний АПД, технологічну схему якого наведено на рис. 1, а операції циклу — у таблиці.

На першій стадії роботи АПД, щоб завантажити початковий напівпродукт А, повністю відкривають вентиль V1 і після досягнення рівня h_1 подають теплоносій (V3) та вмикають мішалку M1. Далі припиняють подавати напівпродукт А (V1) і подають в АПД напівпродукт Б (V2). Вентиль V2 закривають після досягнення рівня h_2 , коли закінчується стадія завантаження і починається друга, робоча стадія, яка продовжується до досягнення певної концентрації C_k готового продукту в АПД. Третьою є стадія вивантаження, яка починається з відкривання вентилі V4. Досягши

© В.Г. Трегуб, 2004

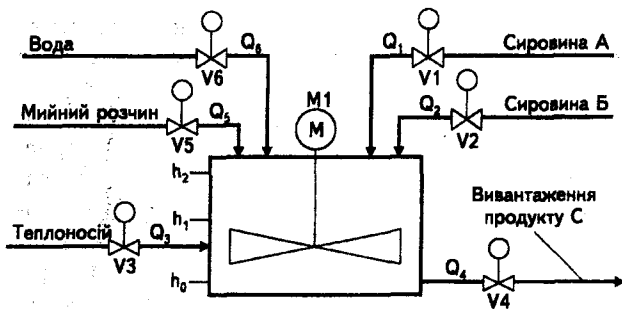


Рис. 1

рівня h_1 , припиняють подавати теплоносіє (V3) і вмикають двигун M1. Стадія вивантаження закінчується тим, що закривають вентиль V4, коли АПД стає порожнім (рівень h_0). Стадія очищення пов'язана з поданням протягом певних інтервалів часу (відповідно τ_6 і τ_7) послідовно мийного розчину (V5) і води (V6).

З більш ніж десяти типів модельних конструкцій UML-діаграм для відображення технологічного процесу в АПД найважливішими є чотири діаграми: *класів*, яка показує структуру автоматизованого технологічного комплексу; *взаємодії*, яка визначає часову послідовність використання об'єктів; *стану*, що показує послідовність станів об'єкта залежно від зовнішніх подій; *діяльності*, що описує змінення стану об'єкта залежно від внутрішніх дій.

Діаграма класів (class diagrams) показує структуру системи, визначаючи типи об'єктів системи і різні зв'язки та відношення між ними. Будуючи цю діаграму, використовують такий структурний ланцюжок: об'єкт—клас—пакет, причому клас зобра-

Таблиця операцій циклу

Операція циклу	Умови початку	Керувальні дії
1. Стадія завантаження		
1.1. Завантаження напівпродукту А	$h_0, V1^{(0)} \dots V6^{(0)}, M1^{(0)}$	$V1^{(1)}$
1.2. Подання теплоносія	h_1	$V3^{(1)}$
1.3. Перемішування	h_1	$M1^{(1)}$
1.4. Завантаження напівпродукту Б	h_1	$V1^{(0)}, V2^{(1)}$
2. Робоча стадія		
	h_2	$V2^{(0)}$
3. Стадія вивантаження		
3.1. Вивантаження продукту С	C_x	$V4^{(1)}$
3.2. Закінчення процесів подання теплоносія і перемішування	h_1	$V3^{(0)}, M1^{(0)}$
3.3. Закінчення вивантаження продукту С	h_0	$V4^{(0)}$
4. Стадія очищення		
4.1. Подання мийного розчину	$h_0, V4^{(0)}$	$V5^{(1)}$
4.2. Подання води	τ_6	$V5^{(0)}, V4^{(1)}, V6^{(1)}$
4.3. Закінчення циклу	τ_7	$V6^{(0)}, V4^{(0)}$

жено прямокутником, що поділений горизонтальними лініями на три секції (рис. 2): верхня містить ім'я класу, середня — перелік атрибутів (інкапсульовані дані класу), нижня — перелік операцій (описують поведінку об'єктів класу).

Controller	Apparatus	Part 1_Control	Part 3_Control	Part 4_Control
"inputs" h: double C: double "outputs" VXOn: signal VXOff: signal M1On: signal M1Off: signal "state" Time1: double Time2: double h_0 : double h_1 : double h_2 : double C_x : double send_VXOn: () send_VXOff: () send_M1On: () send_M1Off: ()	"inputs" VXOn: signal VXOff: signal M1On: signal M1Off: signal "outputs" h: double C: double "state" H: double A: double Q_x : double open_VX () close_VX () on_M1 () off_M1 ()	"inputs" h: double "outputs" V1On: signal V1Off: signal V2On: signal V3On: signal M1On: signal V2Off: signal "state" h_0 : double h_1 : double h_2 : double open_V1 () close_V1 () open_V2 () open_V3 () on_M1 () close_V2 ()	"inputs" h: double C: double "outputs" V4On: signal M1Off: signal V3Off: signal V4Off: signal "state" C_x : double h_2 : double h_1 : double h_0 : double open_V4 () off_M1 () close_V3 () close_V4 ()	"inputs" h: double "outputs" V5On: signal V5Off: signal V6On: signal V6Off: signal V4On: signal V4Off: signal "state" h_0 : double t_6 : double t_7 : double open_V5 () close_V5 () open_V4 () open_V6 () close_V6 () close_V4 ()
a	б	в	г	д

Рис. 2

Щоб побудувати діаграму, виділимо в системі окремі відносно незалежні компоненти і визначимо, яким чином вони взаємозв'язані. Двома основними компонентами комплексу, що розглядається, є АПД та контролер, який надсилає об'єкту сигнали керування $V_1, V_2, V_3, V_4, V_5, V_6$ та M_1 . Щоб правильно керувати, об'єкту треба мати рівні h_0, h_1, h_2 , концентрації C_k та інтервали часу τ_6 (для миття) і τ_7 (для ополіскування). Так, контролер представлено класом Controller (рис. 2, а), який містить атрибути, згруповані за принципом: "вхід—вихід—стан" ("inputs—outputs—state"). До атрибутів групи "inputs" належать рівень і концентрація продукту в АПД, до атрибутів групи "outputs" — сигнали на відкривання (закривання) вентилів V_1 – V_6 та ввімкнення (вимкнення) двигуна M_1 . Враховуючи позиційність дії вентилів V_1 – V_6 , в секціях "атрибути" і "операції" їх позначено через VX . Атрибути, що визначають тривалість окремих стадій роботи АПД ($h_0, h_1, h_2, C_k, \text{Time1}, \text{Time2}$), об'єднано в групу "state". Секція операцій описує поведінку об'єктів V_1 – V_6 та M_1 цього класу.

У свою чергу, власне об'єкт представлено класом Apparatus (рис. 2, б). В групу "inputs" його атрибутів включено функції, що керують вхідними і вихідними потоками АПД, а також перемішуванням; у групу "outputs" — рівень і концентрація, значення яких використовують при переходах від однієї стадії до другої, в групу "state" — геометричні параметри АПД (висота H , площа поперечного перерізу A) і вхідні Q_1 – Q_2, Q_5, Q_6 та вихідний Q_4 потоки. Також цей клас містить операції, що керують вхідними і вихідними потоками та перемішуванням.

Враховуючи багатостадійність технологічного процесу в АПД, проведено декомпозицію системи на кілька частин, кожна з яких буде відповідати за керування технологічним процесом на певній стадії (див. таблицю).

Перша стадія (Part 1_Control) відповідає завантаженню апарата (рис. 2, в). Послідовність завантаження апарата залежить від значень рівня, тому атрибутом групи "inputs" є рівень, а його конкретні значення h_0, h_1, h_2 утворюють групу атрибутів "state". Група "outputs" містить об'єкти, які керують подаванням напівпродуктів А і Б, теплоносія і включенням мішалки, а також припиненням подавання напівпродукту А, коли він досягає рівня h_1 , і напівпродукту Б — в разі досягнення рівня h_2 . Крім того, цей клас містить операції, що керують відповідними потоками і двигуном мішалки.

Друга, робоча стадія (клас Part 2_Control) пов'язана з досягненням певної концентрації готового продукту і має тільки один атрибут групи "inputs" — C і один атрибут групи "state" — C_k , тому цей клас рисунком не зображено.

Третій стадії — вивантаженню — відповідає клас Part 3_Control (рис. 2, г), який містить атрибути h і C , об'єднані у групу "inputs", та атрибути V_4, V_3 , що описують вихідний потік і надходження теплоносія, і разом з об'єктом M_1 об'єднані у групу "outputs". Група "state" містить атрибути, що відповідають пев-

ним значенням рівня і концентрації. Клас також містить операції, що керують вихідним потоком, подаванням теплоносія і двигуном мішалки.

Четвертій стадії — очищення — відповідає клас Part 4_Control (рис. 2, д), який у групі "inputs" містить атрибут h , а в групі "outputs" — атрибути V_5 і V_6 , що описують подавання мийного розчину і води на цій стадії. Значення інтервалів часу τ_6 і τ_7 , які регламентують миття та ополіскування апарата, об'єднано в групу "state". Клас також містить операції, що керують подаванням мийного розчину і води.

Класи Part 1–4_Control виділено як елементи класу Controller, який у даному разі є складеним класом, що перебуває у композиційному відношенні до своїх складових. У свою чергу, клас Controller і клас Apparatus логічно зв'язати відношенням композиції з класом System, який відповідає автоматизованому технологічному комплексу.

Діаграма взаємодії (interaction diagrams) визначає часову послідовність використання об'єктів під час реалізації конкретного сценарію, і повідомлень, якими вони обмінюються. Є дві форми зображення цих діаграм: *діаграма послідовності* (sequence diagrams), яка має дві осі — вертикальну часу і горизонтальну об'єктів, і *корпоративна діаграма* (collaboration diagrams) у формі графа, на якому зображують об'єкти, їхні операції, зв'язок і послідовність появи. Враховуючи, що цей об'єкт є динамічним, обрану діаграму послідовності наведено на рис. 3.

Інтервали часу діаграми розраховують з допомогою таких співвідношень:

$$\begin{aligned}\tau_1 &= Ah_1/Q_1; \tau_2 = A(h_2-h_1)/Q_2; \\ \tau_4 &= A(h_2-h_1)/Q_4; \tau_5 = Ah_1/Q_4.\end{aligned}$$

Щоб розрахувати τ_3 , необхідно використати кінетичне рівняння, що описує процес накопичення готового продукту C , як з латентним періодом, так і без нього

$$C = C_m \{1 - \exp[-(\tau/\Theta)^n]\},$$

де C_m — максимальна концентрація продукту C ; Θ, n — кінетичні параметри. Тоді

$$\tau_3 = \Theta [\ln C_m / (C_m - C)]^{-n}.$$

Часові інтервали τ_6 і τ_7 задаються технологічним регламентом. З допомогою цієї діаграми можна проаналізувати часову послідовність стадій і операцій циклу та залежність їх від характеристик АПД і його регламенту.

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 відповідає деякому інтервалу часу в житті об'єкта і зображується прямокутником із закругленими кутами, який може мати одну або кілька секцій. В них наводять ім'я стану, змінні стану, внутрішню поведінку тощо. Остання найчастіше містить такі дії: entry — дія на вході у стан; exit — дія на виході із стану; do — дія під час перебування у стані. Для класу Controller діаграму стану наведено на рис. 4.

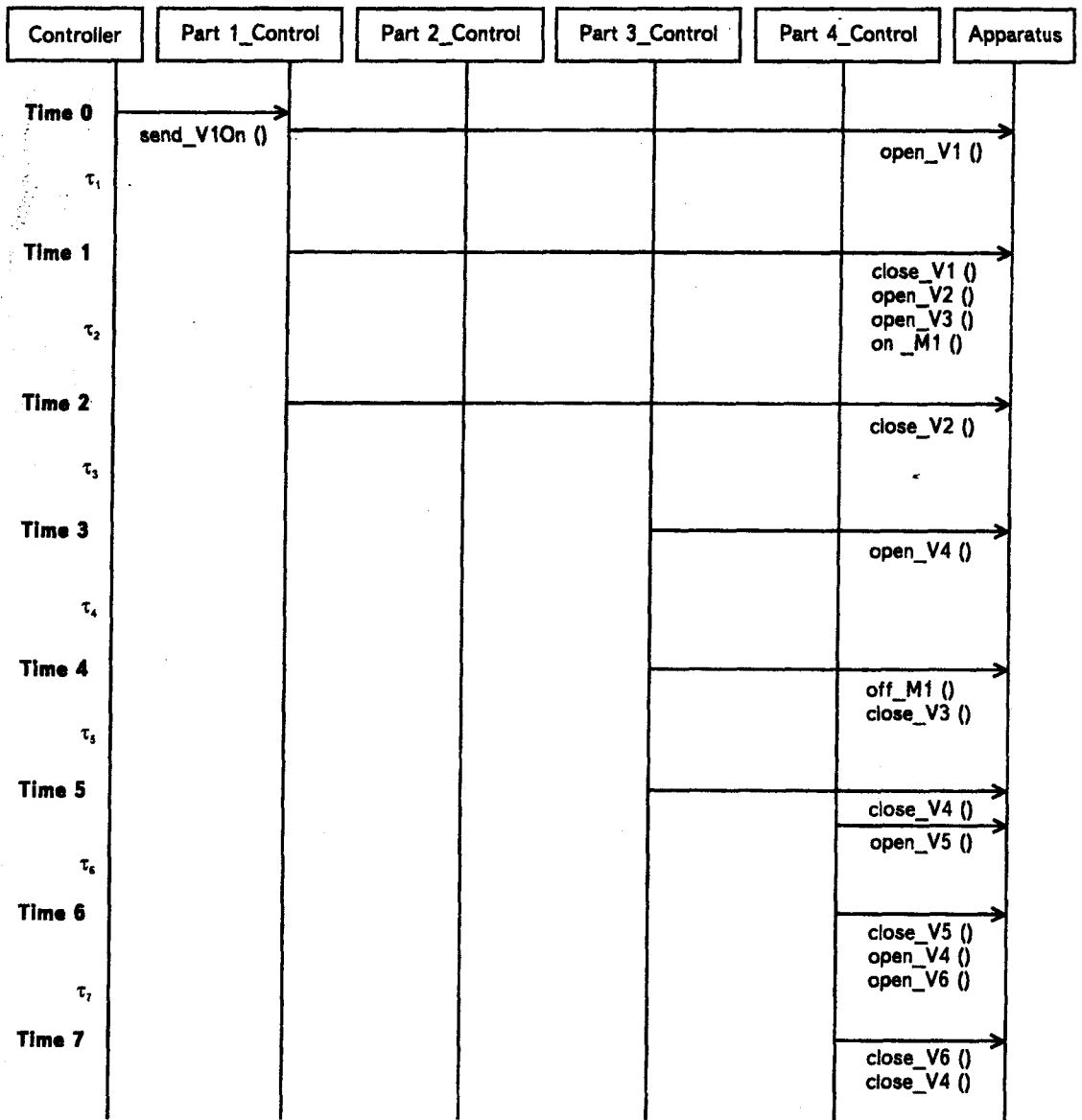


Рис. 3

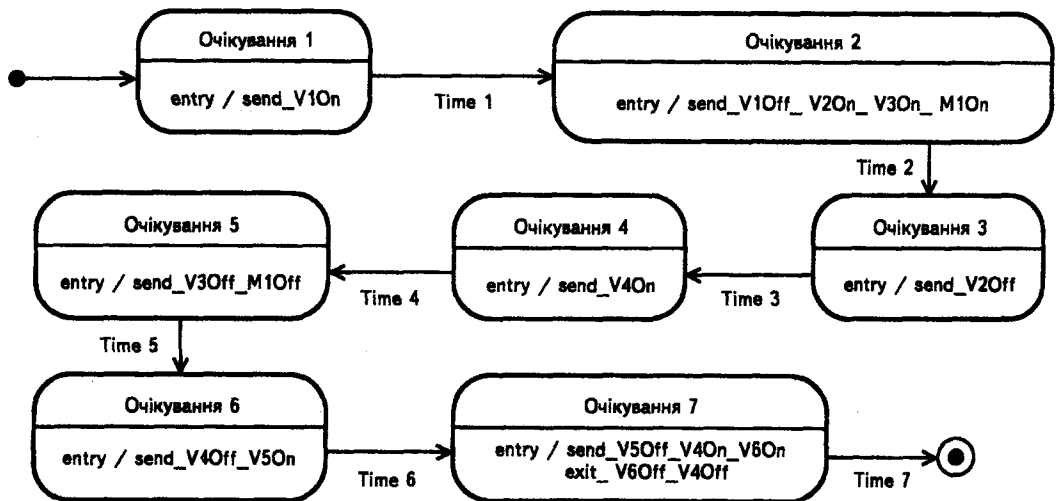


Рис. 4

Фактично у даному разі стан характеризує ситуацію очікування під час інтервалів часу $\tau_1 - \tau_7$, які починаються зміненням положення виконавчих органів. Діаграму стану можна використати для мінімізації тривалості циклу АПД.

Діаграма діяльності (activity diagrams) призначена, щоб описувати зміни стану об'єкта під дією внутрішніх наперед визначених послідовно чи паралельно подовжених дій. На відміну від діаграми стану основним елементом цих діаграм є дія, причому перехід від дії до дії відбувається при виконанні умов такого переходу. Дію зображують прямокутником із закругленими кутами, а умови переходу записують у квадратних дужках біля стрілок, що зображують переходи. Для класу Controller діаграму діяльності наведено на *рис. 5*. Ця діаграма фактично є алгоритмом логічного керування АПД.

Висновок. Побудова математичної моделі автоматизованого апарата періодичної дії в термінах UML з допомогою діаграм класів, взаємодії, стану та діяльності дає можливість проаналізувати часову послідовність стадій і операцій циклу та залежність їх від характеристик АПД і його регламенту,

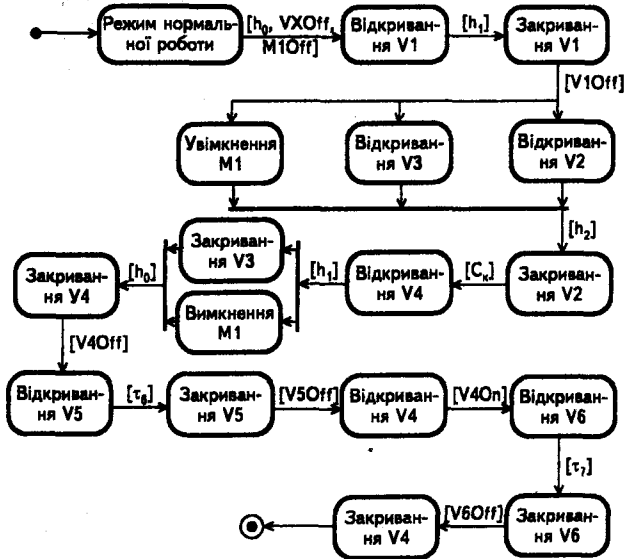


Рис. 5

мінімізувати тривалість циклу АПД, розробити алгоритм логічного керування АПД.

Одержана редколегією 20.03.04 р.