

АКАДЕМИЯ НАУК СОЮЗА ССР
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ
АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНСКОЙ ССР
ОТДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ ЭНЕРГЕТИКИ

ЭЛЕКТРОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

1982

(отдельный оттиск)

КИЕВ «НАУКОВА ДУМКА»

О математическом описании циклических технологических процессов в аппаратах периодического действия

В. Г. Трегуб

Состояние вопроса. При реализации циклических технологических процессов в аппаратах периодического действия (АПД) переход от одной стадии цикла к другой часто изменяет целевое назначение процесса и закономерности, которым он подчиняется, что в некоторых случаях требует изменения структуры математической модели, описывающей технологический процесс. Это дает возможность классифицировать АПД как объекты управления с переменной структурой. Такие объекты так же, как объекты системного проектирования [1] или объекты непрерывного действия с ограничениями [2], относятся к сложным; для их математического описания необходимо использовать аналитические и логические зависимости [3].

Логико-динамическая модель, как наиболее полная форма математического описания АПД, может трансформироваться в логическую модель при описании безынерционных АПД или в динамическую модель при описании одной стадии АПД или отсутствии переключательных операций.

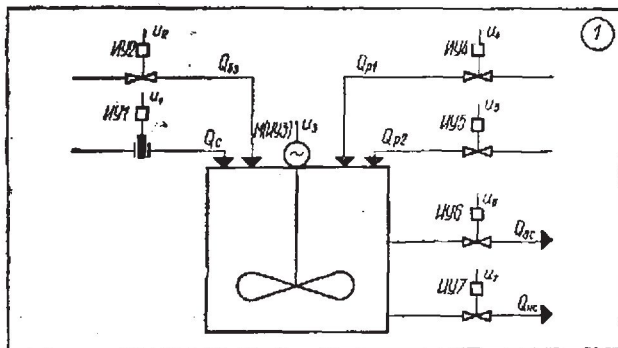
Логическая часть модели АПД определяет последовательность переключений исполнительных органов АПД, необходимых для нормального функционирования объекта на разных стадиях его цикла. В автоматическом или автоматизиро-

ванном режиме эти переключения происходят под воздействием команд — выходных сигналов управляющего устройства (конечного автомата). Так как для задания его алгоритма функционирования в инженерной практике наиболее часто используются логические схемы алгоритмов (ЛСА) [4], формулы языка циклических процессов (ЯЦП) [5] или граф-схемы алгоритмов (ГСА) [6], то данный аппарат может быть использован для разработки логической части модели АПД.

Динамическая часть модели описывает реакцию инерционного объекта на управляющие сигналы (команды), поступающие в начале операции или стадии, и возмущающие воздействия. Учитывая, что в большинстве АПД распределенность переменных по пространственной координате либо отсутствует, либо незначительна, динамическая часть модели АПД может быть представлена в виде

$$\dot{x} = f \left[x(\tau), u(\tau), z(\tau), a \left(\tau + \sum_{i=1}^n \tau_{ci} \right), \tau + \sum_{i=1}^n \tau_{ci} \right],$$

где f — вектор-функция; x — вектор выходных координат объекта; u, z — векторы координат соответственно управляющих и возмущающих воздействий; a — вектор параметров модели; τ — время; $i = 1, 2, \dots, n$ — номер цикла после восстановительного ремонта аппарата; τ_{ci} — длительность цикла.



Зависимость f и a от $\tau + \sum_{i=1}^n \tau_{ик}$ связана с од-

ним или обоими видами нестационарностей, прису- щих АПД: внутрицикловой и межцикловой.

Существуют различные формы сочетаний ло- гической и динамической составляющих при об- разовании логико-динамической модели (ЛДМ). Одно из направлений связано с использованием специальных функций: гибридных [7] и прямо- угольных или селектирующих [2]. Возможны и другие направления в создании ЛДМ при раз- работке математических моделей АПД, связан- ные, например, с расширением логической со- ставляющей модели.

Метод сочетания логической и динамической составляющих при образовании ЛДМ. Данный метод предусматривает трансформацию логиче- ской части модели за счет введения в нее дина- мического оператора объекта (ДОО). Полученные таким образом ЛДМ циклических технологиче- ских процессов удобно использовать при анализе свойств АПД как объекта логико-динамиче- ского управления.

При введении ДОО общая формула ЯЦП при- мет вид

$$\left\{ A_i \rightarrow \bigvee_{j=1}^q Q_{i+1,j} A_{i+1,j} \right\} \rightarrow f_{i+1,j}(x_{i+1,j}; A_{i+1,j}; z_{i+1,j}; \tau),$$

где $i = 0, 1, 2, \dots, s$ — номер элемента в цепочке последовательных переходов формулы; $j = 1, 2, \dots, q$ — число строк формулы, начинающихся знаком разветвления; A_i — включающий оператор; $\rightarrow$ обозначает знак следования; $Q_{i+1,j}$ — логиче- ское условие; $A_{i+1,j}$ — включаемый оператор; $f_{i+1,j}$ — динамический оператор объекта (ДОО), описывающий реакцию инерционного объекта на управляющие сигналы, поступающие через $A_{i+1,j}$ и возмущения $z_{i+1,j}$.

Подобным образом ДОО может быть введен в ЛСА и ГСА, причем последняя, кроме начальной, конечной, операторной и условной вершин, будет содержать динамическую вершину, соот- ветствующую ДОО. Динамический оператор

объекта вводят в логическую часть модели, учи- тывая следующие положения:

динамический оператор объекта записывают для каждой инерционно изменяющейся управ- ляемой переменной, от которой зависит выпол- нение логических условий;

динамический оператор объекта помещают после включаемого оператора перед логически- ми условиями;

логические условия, следующие за ДОО, яв- ляются логическими функциями дискретных зна- чений их управляемых переменных;

последовательно записанные ДОО и логиче- ские условия или ждущие логические условия могут быть заменены временными логическими условиями, используя при этом заменяемый ДОО для расчета задержек временных логиче- ских условий.

Последнее положение применяют при отсут- ствии измерительных преобразователей, необ- ходимых для получения информации об управ- ляемых переменных.

Пример логико-динамической модели АПД. Получим рассмотренным методом ЛДМ одного из типовых АПД — мешалки периодического действия, используемой в химико-технологиче- ском производстве для приготовления раствора солей с нерастворимым осадком [8]. Мешалка является многофункциональным АПД и может работать в одном из трех режимов получения: неосветленного раствора, осветленного раство- ра после отстаивания и дополнительного неос- ветленного раствора.

Функционирование мешалки, технологическая схема которой представлена на рис. 1, связано со следующими материальными потоками: су- хой соли (расход Q_c ; шибер ИУ1 (исполнитель- ное устройство); команда на изменение положе- ния шибера u_1); возврата раствора солей ($Q_{вз}$; ИУ2, u_2); первого растворителя (Q_{p1} , ИУ4, u_4); второго растворителя (Q_{p2} , ИУ5, u_5), осветленно- го раствора солей ($Q_{ос}$, ИУ6, u_6) и неосветлен- ного раствора солей ($Q_{нс}$, ИУ7, u_7).

Частичный возврат раствора необходим для лучшего перемешивания раствора при выгрузке его из мешалки и согласования работы отделения приготовления раствора солей, содержащего дан- ные мешалки, с работой отделения — потреби- теля раствора. Кроме того, на рисунке показан двигатель мешалки M (ИУ3) и команда на его включение (отключение) u_3 .

Параметрическая логико-динамическая мо- дель мешалки для двух режимов функциониро- вания приведена в таблице, где использованы следующие обозначения: $p_{1,1}, p_{1,2}, \dots, p_{2,1}, p_{2,2}, \dots$ — логические условия; $u_1^0, u_2^0, \dots$ — ко- манды на открытие (включение) соответствую- щих исполнительных устройств; $u_1^1, u_2^1, \dots$ — ко- манды на закрытие (отключение) соответствую-

Режим	Стадия и операция	Логическое условие	Управление		Реакция объекта
			оператор	команды	
1	1.1. Загрузка				
	1.1.1. Начало загрузки растворителя	$p_{1.1}(\beta_1 \wedge \bar{h}_0 \wedge \bar{u}_1 \wedge \bar{u}_2 \wedge \bar{u}_3 \wedge \bar{u}_4 \wedge \bar{u}_5 \wedge \bar{u}_6 \wedge \bar{u}_7)$	$A_{1.1}$	$u_4^1 u_5^1$	$h = f_1(Q_{p1}, Q_{p2}, \tau)$
	1.1.2. Начало загрузки сухих солей и включение двигателя мешалки	$p_{1.2}(h_1)$	$A_{1.2}$	$u_1^1 u_3^1$	$h = f_2(V_1, Q_{p1}, Q_{p2}, Q_c, \tau)$
	1.2. Основная				
	1.2.1. Окончание загрузки и начало основной стадии	$p_{1.3}(h_2)$	$A_{1.3}$	$u_1^0 u_4^0 u_5^0$	$C_1 = f_3(V, m_{c1}, k_{c1}, \tau)$ $C_2 = f_4(V, m_{c2}, k_{c2}, \tau)$
	1.3. Выгрузка				
2	1.3.1. Окончание основной стадии и начало выгрузки	$p_{1.4}[\gamma_1 \wedge D^{\tau_1}(h_2)]$	$A_{1.4}$	$u_2^1 u_7^1$	$h = f_5(V_2, Q_{nc}, Q_{v3}, \tau)$
	1.3.2. Окончание перемешивания и прекращение возврата раствора	$p_{1.5}(\bar{h}_0)$	$A_{1.5}$	$u_3^0 u_2^0$	$h = f_6(V_c, Q_{nc}, \tau)$
	1.3.3. Окончание выгрузки раствора	$p_{1.6}[D^{\tau_1}(\bar{h}_0)]$	$A_{1.6}$	u_7^0	
	2.1. Загрузка				
	2.1.1. Начало загрузки растворителя	$p_{2.1}(\beta_2 \wedge \bar{h}_0 \wedge \bar{u}_1 \wedge \bar{u}_2 \wedge \bar{u}_3 \wedge \bar{u}_4 \wedge \bar{u}_5 \wedge \bar{u}_6 \wedge \bar{u}_7)$	$A_{2.1}$	$u_4^1 u_5^1$	$h = f_1(Q_{p1}, Q_{p2}, \tau)$
	2.1.2. Начало загрузки сухих солей и включение двигателя мешалки	$p_{2.2}(h_1)$	$A_{2.2}$	$u_1^1 u_3^1$	$h = f_2(V_1, Q_{p1}, Q_{p2}, Q_c, \tau)$
	2.2. Основная				
	2.2.1. Окончание загрузки и начало основной стадии	$p_{2.3}(h_2)$	$A_{2.3}$	$u_1^0 u_4^0 u_5^0$	$C_1 = f_3(V, m_{c1}, k_{c1}, \tau)$ $C_2 = f_4(V, m_{c2}, k_{c2}, \tau)$
	2.2.2. Окончание перемешивания и начало осветления	$p_{2.4}[D^{\tau_1}(h_2)]$	$A_{2.4}$	u_3^0	$\varphi = f_7(C_1, C_2, z, \tau)$
	2.3. Выгрузка				
	2.3.1. Окончание осветления и начало выгрузки раствора	$p_{2.5}[\gamma_2 \wedge D^{\tau_1}(h_2)]$	$A_{2.5}$	u_6^1	$h = f_8(V_2, Q_{oc}, \tau)$
	2.3.2. Окончание выгрузки осветленного раствора	$p_{2.6}(\bar{h}_1)$	$A_{2.6}$	u_6^0	

щих исполнительных устройств; $\bar{u}_1, \bar{u}_2, \dots$ — инверсные значения логических переменных; h_0, h_1, h_2 — соответственно минимальный, средний и максимальный уровни раствора в мешалке; $\beta_1, \gamma_1, \beta_2, \gamma_2$ — ручные команды на загрузку и выгрузку соответственно в первом и втором режимах работы мешалки; V — объем раствора в мешалке; V_1, V_2, V_0 — объем раствора в мешалке при определенных значениях h_1, h_2, h_0 ; C_1, C_2 — концентрация соответственно первого и второго компонентов в растворе; m_{c1}, m_{c2} — масса солей соответственно первого и второго компонентов; k_{c1}, k_{c2} — содержание водорастворимой части в солях первого и второго компонентов; $D^{\tau_1}(h_2), D^{\tau_1}(\bar{h}_0), D^{\tau_1}(h_2)$ — функция задержки соответственно на время τ_1 после достижения уровня h_2 , на время τ_2 после снижения уровня ниже h_0 и т. д.; φ — осветленность раствора; z — неучитываемые факторы, влияющие на осветленность раствора.

Время τ_1 соответствует интервалу времени от окончания предыдущей операции до момента достижения концентрациями компонентов в растворе солей своих заданных значений, а τ_2 — временному интервалу от окончания предыду-

щей операции до момента достижения заданной осветленности раствора. В этих случаях выдержка времени используется как логическое условие из-за затруднений, связанных с непосредственным измерением C_1, C_2 и φ в каждой мешалке. Задержка τ_2 характеризуется временем, необходимым для полного опорожнения мешалки, имеющей в конце предыдущей операции минимальный уровень раствора h_0 , который может быть измерен.

Логико-динамическая схема алгоритма (ЛДСА) функционирования мешалки, полученная путем введения в ЛСА динамических операторов $f_1, f_2, \dots$ (приведены в последней колонке таблицы), имеет следующий вид:

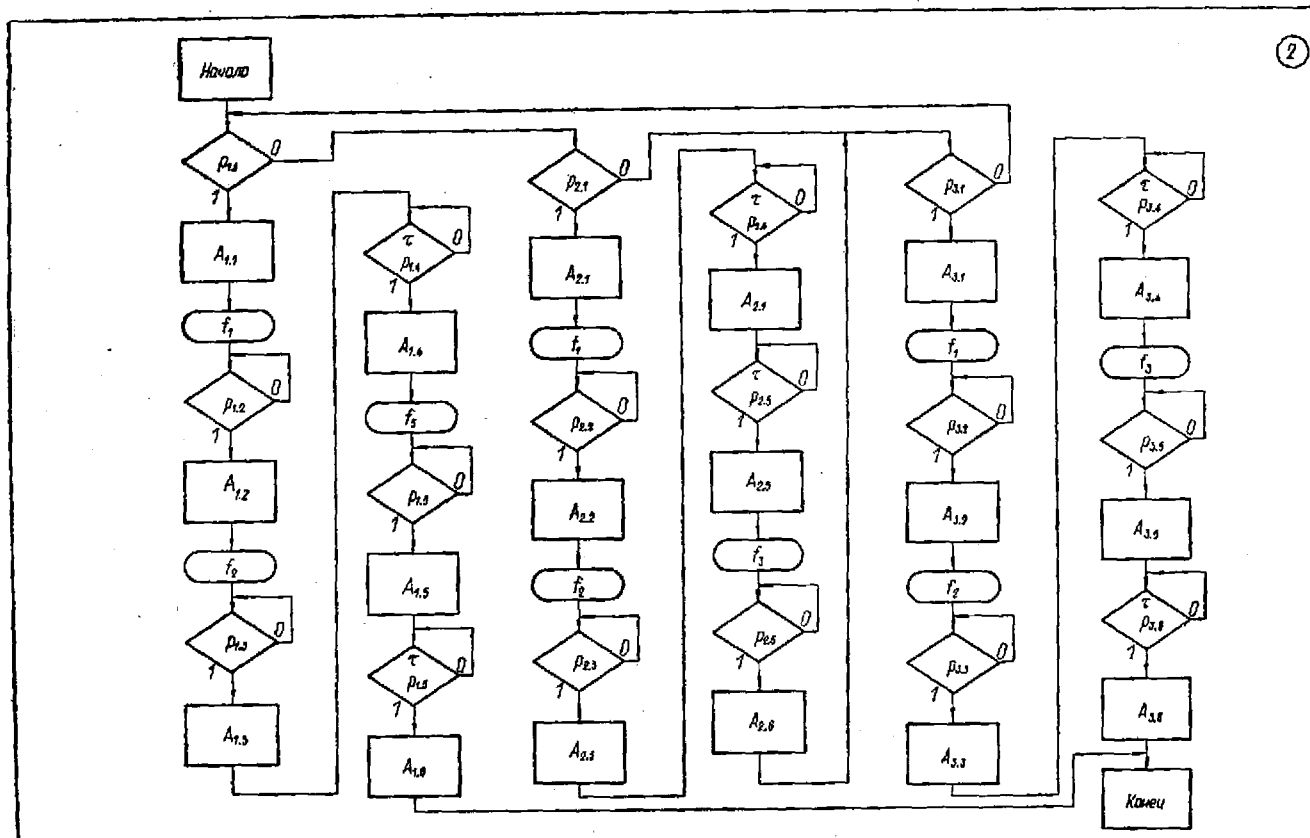
$$\Lambda_d = A_0 \downarrow^4 p_{1.1} \uparrow^4 A_{1.1} f_1 q_{1.2} A_{1.2} f_2 q_{1.3} A_{1.3} q_{1.4} (\tau_1 \leq T)$$

$$A_{1.4} f_5 q_{1.5} A_{1.5} q_{1.5} (\tau_2 \leq T) A_{1.6} \omega \uparrow^2 \downarrow^4 p_{2.1} \uparrow^3 A_{2.1}$$

$$f_1 q_{2.2} A_{2.2} f_2 q_{2.3} A_{2.3} q_{2.3} (\tau_1 \leq T) A_{2.4} q_{2.5} (\tau_3 \leq T)$$

$$A_{2.5} f_8 q_{2.6} A_{2.6} \downarrow^3 p_{3.1} \uparrow^4 A_{3.1} f_3 q_{3.2} A_{3.2} f_2 q_{3.3} A_{3.3}$$

$$p_{3.4} (\tau_1 \leq T) A_{3.4} f_5 q_{3.5} A_{3.5} q_{3.5} (\tau_2 \leq T) A_{3.6} \downarrow^2 A_{3.6}$$



где A_0 — оператор начала; A_k — оператор конца; $\uparrow\downarrow$ — стрелки перехода; ω — тождественно-ложное логическое условие; $q_{1,2}, q_{1,3}, \dots, q_{2,2}, q_{2,3}, \dots$ — ждущие логические условия (приведены с сохранением индексов, присвоенных этим логическим условиям в таблице, за исключением логических условий $p_{1,6}, p_{3,6}$ и $p_{2,4}$, так как $p_{1,6}$ и $p_{3,6}$ можно рассматривать как временные логические условия от уровня $\bar{h}_0$, а $p_{2,4}$ — от уровня h_2 , в то время как логические условия $p_{1,5}, p_{3,5}$ и $p_{2,3}$ являются невременными логическими условиями тех же значений уровня).

На рис. 2 дана граф-схема алгоритма функционирования мешалки с динамическими вершинами, являющаяся аналогом приведенной ЛДСА. Динамические вершины на этой схеме изображены в виде эллипсов с вписанными в них обозначениями динамических операторов объекта. Так как логические условия вне зависимости от того, являются они ждущими или нет, изображаются на ГСА в виде ромба с двумя выходами, то они обозначены так же, как и в таблице. При использовании ГСА имеет значение наличие или отсутствие временных логических условий,

поэтому последние внутри соответствующих условных вершин обозначены p_{ij}^* .

1. Жук К. Д., Тимченко А. А., Доленко Т. И. Исследование структур и моделирование логико-динамических систем. К.: Наук. думка, 1975. 199 с.
2. Какимов Л. Г., Солодовников В. В., Федотов А. И. Современное состояние теории и метод математического описания одного класса логико-динамических систем. — Автомат. упр. и вычисл. техника, 1978, вып. 12, с. 127—146.
3. Трегуб В. Г. О разработке систем автоматизированного управления аппаратами периодического действия. — Изв. вузов. Пищевая технология, 1979, № 3, с. 96—99.
4. Ляпунов А. А. О некоторых общих вопросах кибернетики. — Пробл. кибернетики, 1958, вып. 1, с. 5—22.
5. Язык циклических процессов (ЯЦП) для описания условий работы и синтеза дискретных устройств промышленной автоматики / С. А. Юдицкий, А. А. Тагаевская, Т. К. Берендс, Т. К. Ефремова. — Приборы и системы управления, 1973, № 11, с. 11—15.
6. Калужин Л. А. Об алгоритмизации математических задач. — Пробл. кибернетики, 1959, вып. 2, с. 51—67.
7. Терно О. Р. Гибридные функции — новый метод описания сложных систем. — Изв. АН СССР. Техн. кибернетика, 1965, № 6, с. 13—18.
8. Трегуб В. Г., Веклич Н. П., Городенская В. Я. Автоматическая система управления мешалкой периодического действия. — Механизация и автоматизация производства, 1978, № 1, с. 44—46.

Поступила в редакцию 17.04.80