

С. И. Акунович, доцент; А. А. Дятко, доцент; А. А. Гончаров, директор (ГТПК)

## РАСПРЕДЕЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

The method of the distributed modelling of technological machines is considered on the basis of systems of predicate formulas.

### 1. Концептуальная модель ТМ

В соответствии с системным подходом рассмотрение проблемы распределенного моделирования систем управления технологических машин (ТМ) начнем с концептуальной модели, представленной на рис. 1.

**Внешний алгоритм управления** определяет в графо-аналитическом виде взаимодействие между внешней средой (оператором) и управляемым объектом (технологической машиной).

**Внутренний алгоритм управления** определяет в графо-аналитическом виде взаимодействие между системой управления (управляющим устройством (УУ)) и управляемыми исполнительными механизмами (ИМ) (рабочими органами).

Внешний и внутренний алгоритмы управления представляются в виде единой графо-аналитической модели (ГАМ). Оба этих алгоритма определяют соответствия между управляющими воздействиями (УВ) и контрольными воздействиями (КВ) (обратными связями).

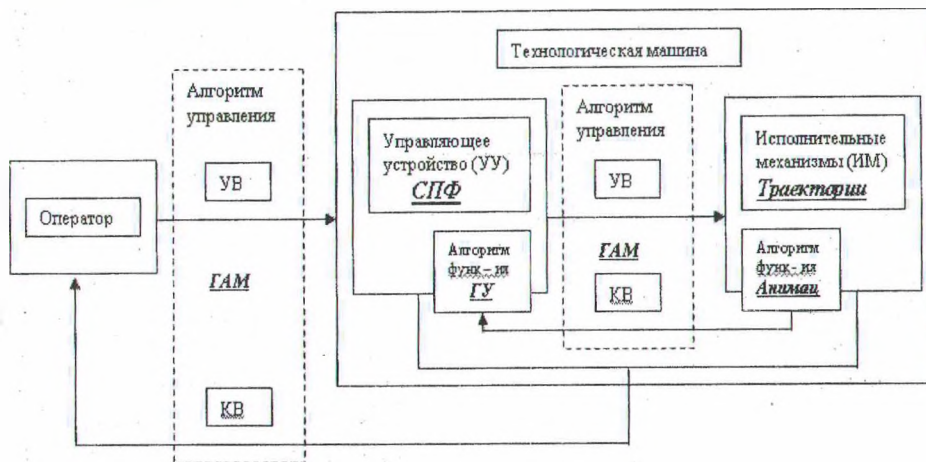


Рис. 1. Концептуальная модель технологической машины

**Алгоритм функционирования УУ** отражает в виде иерархического графа (графа управления (ГУ)) причинно-следственные отношения действий элементов управляющего устройства.

**Алгоритм функционирования ИМ** отражает в виде иерархического графа ГУ причинно-следственные отношения действий ИМ, а также перемещения ИМ по заданным траекториям в пространстве состояний. При этом в качестве причин перемещений выступают действия выходов УУ, а в качестве следствий – воздействия ИМ на входы УУ (датчики).

**Система предикатных формул (СПФ)** определяет в виде логико-предикатных формул связи элементов УУ с внешними (от оператора) и внутренними (от датчиков) входами, внешними (для оператора) и внутренними (для ИМ) выходами, а также связи элементов УУ между собой (включая элементы памяти, таймеры и счетчики).

**Система исполнительных механизмов (СИМ)** определяет в виде совокупностей траекторий (несколько траекторий для каждого ИМ) и списков (несколько списков для каждого ИМ) связи выходов УУ с ИМ, а также связи ИМ с входами УУ.

### 2. Агрегативная модель ТМ

Структура системы управления ТМ зависит от специфики управляемого оборудования и структурно-функциональной организации средств управления и может быть представлена следующим общим перечнем:

- Алгоритмы управления.
- Принципиальные электрические схемы.
- Схемы и таблицы электрических соединений.
- Схемы расположения элементов автоматики и управления.
- Схемы входов / выходов программируемых логических контроллеров (ПЛК).

- Программы управления ПЛК.
- Конструктивные узлы и приборы управления.
- Кинематические, структурные и др. схемы узлов и механизмов.
- Табличная документация различного назначения и форм.
- Текстовая документация.

Процесс проектирования системы логического управления является сложным творческим процессом, а перечисленные основные части проекта (проектные среды) имеют разнородный информационный состав и разный уровень формализации, но в любом случае недостаточный для непосредственного компьютерного моделирования.

В настоящей работе будут рассмотрены средства системного комплексного моделирования различных проектных сред на базе единой агрегативной модели и метода распределенного моделирования.

Предлагается подход, суть которого можно сформулировать следующим образом.

➤ Ядром модели проекта технологической машины выбирается система предикатных формул (СПФ) [1], как единое формализованное представление основных структурно-функциональных компонент проекта (алгоритм управления, управляющая программа, принципиальная схема, схема расположения электрооборудования, схемы исполнительных механизмов и т. п.).

➤ Процесс функционирования резидентной модели отображается в виде причинно-следственных отношений в графе управления.

➤ При таком подходе моделирование выполняется на базе формальной части ТМ (СПФ), а результаты отображаются на неформализованных частях проекта. Будем называть такое моделирование распределенным.

Сложная система  $S$  содержит элементы  $C_1, C_2, \dots, C_n$ .

Входной сигнал  $X(t)$ , имеющий компоненты  $X_1, X_2, \dots, X_m$ , можно рассматривать как совокупность сигналов.  $X_1 X_2(t), X_2(t), \dots, X_m(t)$ .

Элементарные сигналы передаются по элементарным каналам.

Каждый  $l$ -й элементарный канал, подключенный к выходу элемента  $C_j$ , способен передавать только элементарные сигналы  $y^{(l)}(t)$ , имеющие фиксированный индекс  $l$ .

Вход элемента  $C_j$  состоит из  $m_j$  входных контактов.

Контакт  $X_i^{(j)}$  принимает элементарные сигналы  $X_i^{(j)}(t)$ ;  $i = 1, 2, \dots, m_j$ ;  $j = 1, 2, \dots, N$ .

Аналогично выход элемента  $C_j$  состоит из  $r_j$  выходных контактов.

Контакт  $Y_i^{(j)}$  выдает элементарные сигналы  $Y_i^{(j)}(t)$ ;  $i = 1, 2, \dots, r_j$ .

Элементарные сигналы, выдаваемые данным выходным контактом, передаются некоторому входному контакту другого или того же элемента или во внешнюю среду.

Внешнюю среду можно представить в виде фиктивного элемента  $C_0$  системы  $S$ , вход которого содержит  $m_0$  входных контактов  $X_i^{(0)}$ , а выход –  $r_0$  выходных контактов  $Y_i^{(0)}$ .

Каждый элемент  $C_j$  (вкл.  $C_0$ ) системы  $S$  характеризуется множеством входных контактов  $X_1^{(j)}, X_2^{(j)}, \dots, X_{m_j}^{(j)}$ , которые обозначены  $[X_i^{(j)}]_i^m$ , и множеством выходных контактов  $Y_1^{(j)}, Y_2^{(j)}, \dots, Y_{r_j}^{(j)}$ , которые обозначены  $[Y_r^{(j)}]_r^m$ , где  $m = m_j$ ;  $r = r_j$ ;  $j = 0, 1, \dots, N$ .

Математической моделью элемента  $C_j$ , используемой для формального описания его сопряжения с другими элементами и внешней средой, является пара множеств:

$$[X_i^{(j)}]_i^m \text{ и } [Y_r^{(j)}]_r^m.$$

Модель исполнительного механизма (ИМ) состоит из трех разнородных компонент:

- вид ИМ;
- траектория процесса;
- сценарий функционирования ИМ.

Вид ИМ определяет его визуальное представление как одного базового графического объекта или иерархической структуры из группы базовых объектов.

Траектория процесса ИМ отображает его перемещение в различных пространствах параметров (механические движения, деформации, изменение видимости, изменение характеристик и т. д.).

В приложении «Гиперсистема» [1] при подаче на систему управления управляющего воздействия выполняется его моделирование, а полученные выходные сигналы интерпретируются как события, сообщения о которых передаются соответствующим исполнительным механизмам (ИМ).

Каждый ИМ имеет сценарий, в соответствии с которым выполняется обработка полученного сообщения.

Основным свойством исполнительного механизма является тип реализуемого этим механизмом процесса. Предлагается использовать следующие типы процессов:

- 1 – движение (траектория);
- 2 – изменение видимости (состояние);
- 3 – изменение свойств (модификация).

В соответствии с типом механизма определяется набор свойств.



Например, для процессов типа 1 определен набор свойств:

- Движение
- Динамический ранг
- Команды Движение
- Сенсоры Старт
- Сенсоры Стоп

Сценарий ИМ, в соответствии с которым выполняется обработка сообщения о получении выходных сигналов, является общим для всех ИМ ТМ. Специфика каждого отдельного ИМ содержится в вышеописанных свойствах.

Рассмотрим множество входных контактов всех элементов системы и внешней среды:

$$\bigcup_{j=0}^N [X_i^{(j)}]_m,$$

а также всех выходных контактов

$$\bigcup_{j=0}^N [Y_l^{(j)}]_r,$$

где каждому  $X_i^{(j)}$  соответствует  $Y_l^{(k)}$ .

Можно ввести однозначный оператор

$$Y_l^{(k)} = R(X_i^{(j)})$$

с областью определения в множестве

$$\bigcup_{j=0}^N [X_i^{(j)}]_m$$

и областью значений в множестве  $\bigcup_{j=0}^N [Y_l^{(j)}]_r$ , сопоставляющий входному контакту  $X_i^{(j)}$  выходной контакт  $Y_l^{(k)}$ , связанный с ним элементарным каналом.

Если к данному контакту  $X_i^{(j)}$  не подключен никакой элементарный канал, то этот оператор не определен на  $X_i^{(j)}$ .

Оператор  $R$  назван оператором сопряжения, а совокупность множеств  $[X_i^{(j)}]_m$  и  $[Y_l^{(j)}]_r$  и оператора  $R$  – схемой сопряжения.

Нами схема сопряжения представляется как совокупность значений свойств объектов (совокупность множеств  $[X_i^{(j)}]_m$  и  $[Y_l^{(j)}]_r$ ) и совокупность взаимодействий объектов (оператор сопряжения  $Y_l^{(k)} = R(X_i^{(j)})$ ).

Для классов *Вход*, *Формула*, *Таймер*, *Счетчик*, *Сумматор*, *Компаратор*, *Супервизор*, *Инициализация* это совокупность:

- имя объекта;
- событийный список.

Для класса *Потомок* (будет рассмотрен далее):

- команды *Движение*;
- команды *Состояние*;
- команды *Модификация*;
- номер *траектории*;
- сенсоры *Старт*;
- сенсоры *Стоп*.

При этом часть схемы сопряжения, соответствующая резидентной модели – СПФ, формируется автоматически, а другие части – в диалоговом режиме на базе механизма Drag and Drop.

Множества  $\bigcup_{j=0}^N [X_i^{(j)}]_m$  входных  $\bigcup_{j=0}^N [Y_l^{(j)}]_r$  и

выходных контактов агрегатов определяются в зависимости от классов объектов. Например:

- Вход
  - Right Botton Down
  - Begin Drag
  - End Drag
  - Записать действия ИМ.
- Потомок
  - FirstIdle
  - Right Botton Down
  - Begin Drag
  - End Drag
  - Записать вход
- ИМ
  - FirstIdle
  - PlayAnimation
  - anim\_StartPosition
  - Begin Drag
  - End Drag

Очень важно понимать, что входными и выходными контактами агрегатов являются функциональные (события), а не структурные категории.

### 3. Распределенная модель ТМ

В настоящей работе для реализации метода событийного моделирования СПФ представляется в виде совокупности объектов, взаимодействующих на базе механизма передачи сообщений о событиях в соответствии с событийными списками.

Рассмотрим следующие основные классы объектов:

- *Вход*;
- *Формула*.

Класс *Вход* имеет одно свойство – Событийный список.

Класс *Формула* имеет следующие основные свойства:

- Динамический ранг;
- Предыдущее состояние;
- Событийный список;
- Текущее состояние.

Рассмотрим концептуальную схему построения распределенной модели технологической машины (ТМ). Модель строится на базе

объектов, представляющих в ней базовые структурные элементы. Эти объекты порождаются в свою очередь из классов базовой инструментальной системы. Концептуальную схему порождения можно представить следующим образом (рис. 2).

Порожденные родительские классы объектов размещаются в различных проектных средах модели ТМ. Из них создаются экземпляры, соответствующие реальным объектам ТМ, а также порождаются новые классы – потомки.

Основной задачей потомков является отображение родительских объектов, изменяющих свои свойства в процессе выполнения резидентной модели, в различных проектных средах. Потомки могут также взаимодействовать с внешней средой и другими объектами, передавая эти взаимодействия родительским объектам.

Распределенное моделирование ТМ также представим в виде концептуальной схемы (рис. 3).

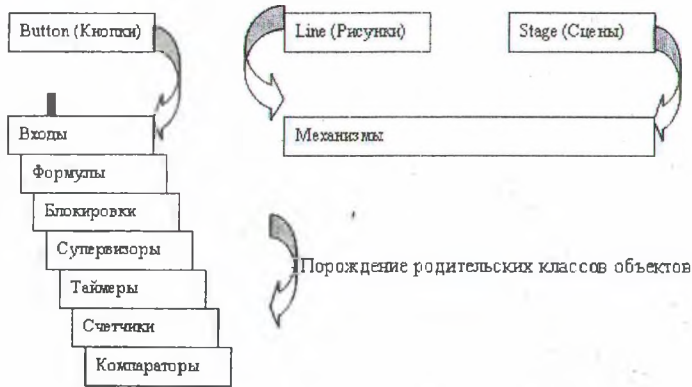


Рис. 2. Схема порождения родительских объектов

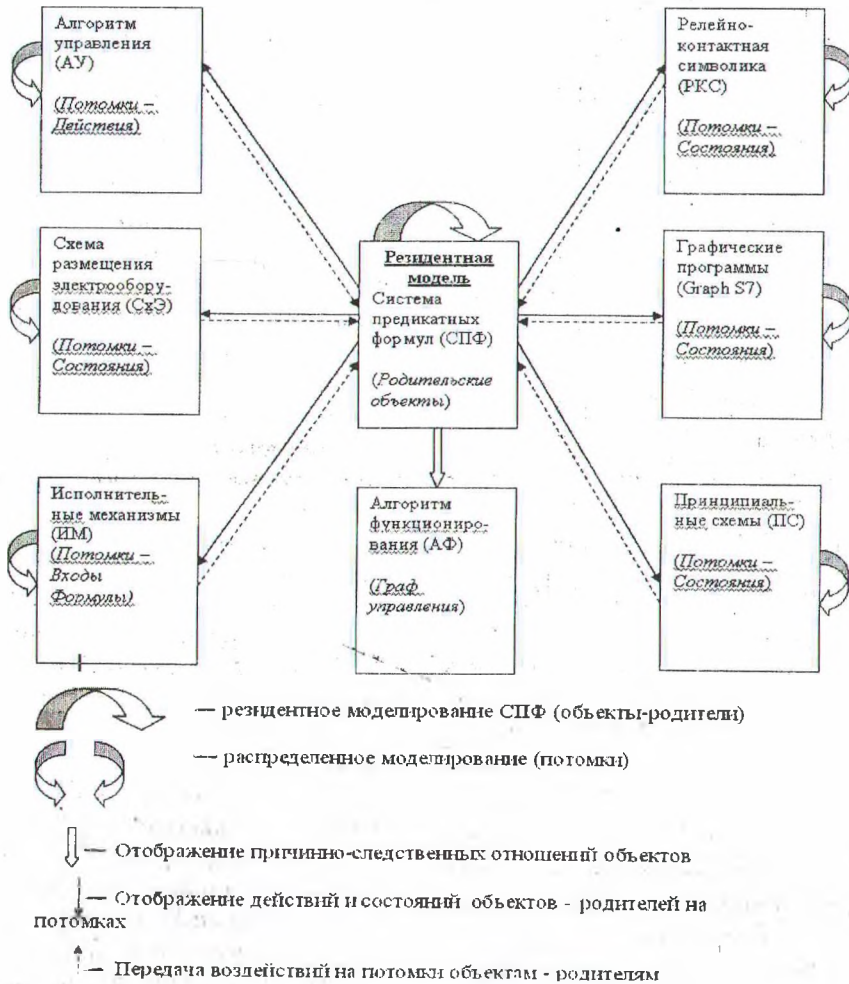


Рис. 3. Схема распределенного моделирования



#### 4. Распределенное моделирование ТМ

Основной целью моделирования СПФ является выявление и устранение ошибок, неизбежных при проектировании сложных систем, имитация сбоев и отказов аппаратуры и оборудования, ошибки управляющего персонала (анализ по принципу «что – если»), а также по-

лучение наглядного, подробного и точного описания процесса работы.

Входная последовательность (ВП), СПФ и ГУ представлены на рис. 4.

На рис. 5 даны состояния потомков и перемещения ИМ на схеме расположения электрооборудования.

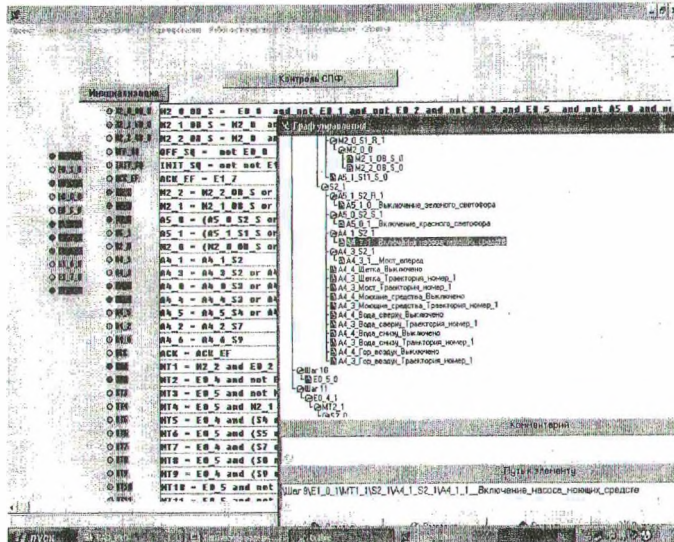


Рис. 4. ВП, СПФ и ГУ моечной машины

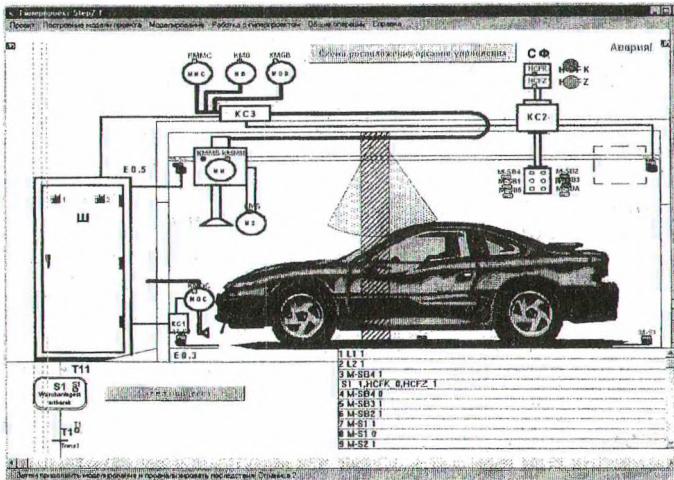


Рис. 5. Состояния потомков и перемещения ИМ

Граф управления используется как основное средство наглядного графического представления структур объектов и процессов. Он обеспечивает динамическое представление информации с возможностью свертывания и развертывания любых фрагментов, позволяет получить путь к любой выбранной вершине, а также создавать пояснения (справки) для выбранных объектов. Граф управления соответствует наиболее современному уровню

представления сложных информационных объектов.

#### Литература

Акунович С. И., Гончаров А. А., Дятко А. А. Моделирование и анализ проектов систем дискретного управления. В кн.: Основы построения комплексной САПР систем дискретного управления технологическим оборудованием и процессами: Учеб. пособие: В 2 ч. – Мн.: БГТУ, 2002. – Ч. 2. – 38 с.