

---

---

## УПРАВЛЕНИЕ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

УДК 519.95

### АЛГОРИТМ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ГИБКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ И ЕГО ИССЛЕДОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫМИ ЭКСПЕРИМЕНТАМИ

**Х.М. Магомедли**

*На примере конкретного объекта рассматриваются вопросы разработки алгоритма функционирования гибкой производственной системы (ГПС) с использованием производственной модели. В результате анализа основных свойств сети Петри проведены компьютерные эксперименты.*

**Ключевые слова:** *гибкая производственная система, моделирование, логико-лингвистические модели, производственная система, сетевые модели.*

**Key words:** *flexible manufacture system, simulation, logical-and-linguistical models, production system, net models.*

Как показано [2, с. 371–378], при сложных структурах ГПС непосредственное моделирование системы сетями Петри затруднительно, а в некоторых случаях становится даже невозможным. Отметим, что в настоящее время разработаны различные программные средства для анализа основных свойств сетей Петри и их расширения [1, с. 144]. Следовательно, целесообразно использование сетей Петри как основного моделирующего аппарата, при этом в качестве исходной информации для описания функционирования ГПС можно использовать знания, представленные в виде логико-лингвистических моделей (ЛЛМ), конечных автоматов, параллельно функционирующих асинхронных процессов и т.п. Все это позволит автоматизировать моделирование и исследование ГПС на этапе системотехнического проектирования.

В данной статье на примере производства насосно-компрессорных труб рассматривается автоматизированное моделирование и исследование мехотронных устройств гибкого производственного модуля (ГПМ). При этом для представления знаний о функционировании ГПМ используется производственная система.

По существующей технологии натяг муфты на насосно-компрессорные трубы выполняется следующим образом: муфта, внутри которой установлен сальник, берется рабочим, устанавливается на конец трубы и заворачивается специальным ключом до конца резьбы. До автоматизации процесса натяга муфты на производственном участке работало трое рабочих, которые выполняли монотонно повторяющиеся операции.

Схема автоматизации ГПМ представлена на рис. и функционирует следующим образом: трубы и муфты посредством соответствующих транспортных систем ТС1 и ТС2 последовательно поступают к позициям ПОУ1 и ПОУ2 соответственно; ПОУ1 и ПОУ2 перемещают трубы и муфты к позициям их рабочих зон; ПР2 берет сальник из накопителя, перемещает к позиции рабочей зоны муфты и устанавливает ее внутри муфты; по завершении данной операции ПР1 берет муфту из общей рабочей зоны, перемещает к позиции рабочей зоны трубы, устанавливает на конец трубы, заворачивает муфту до конца резьбы и возвращается к исходной позиции. Аналогичным образом ГПМ работает в циклическом режиме.

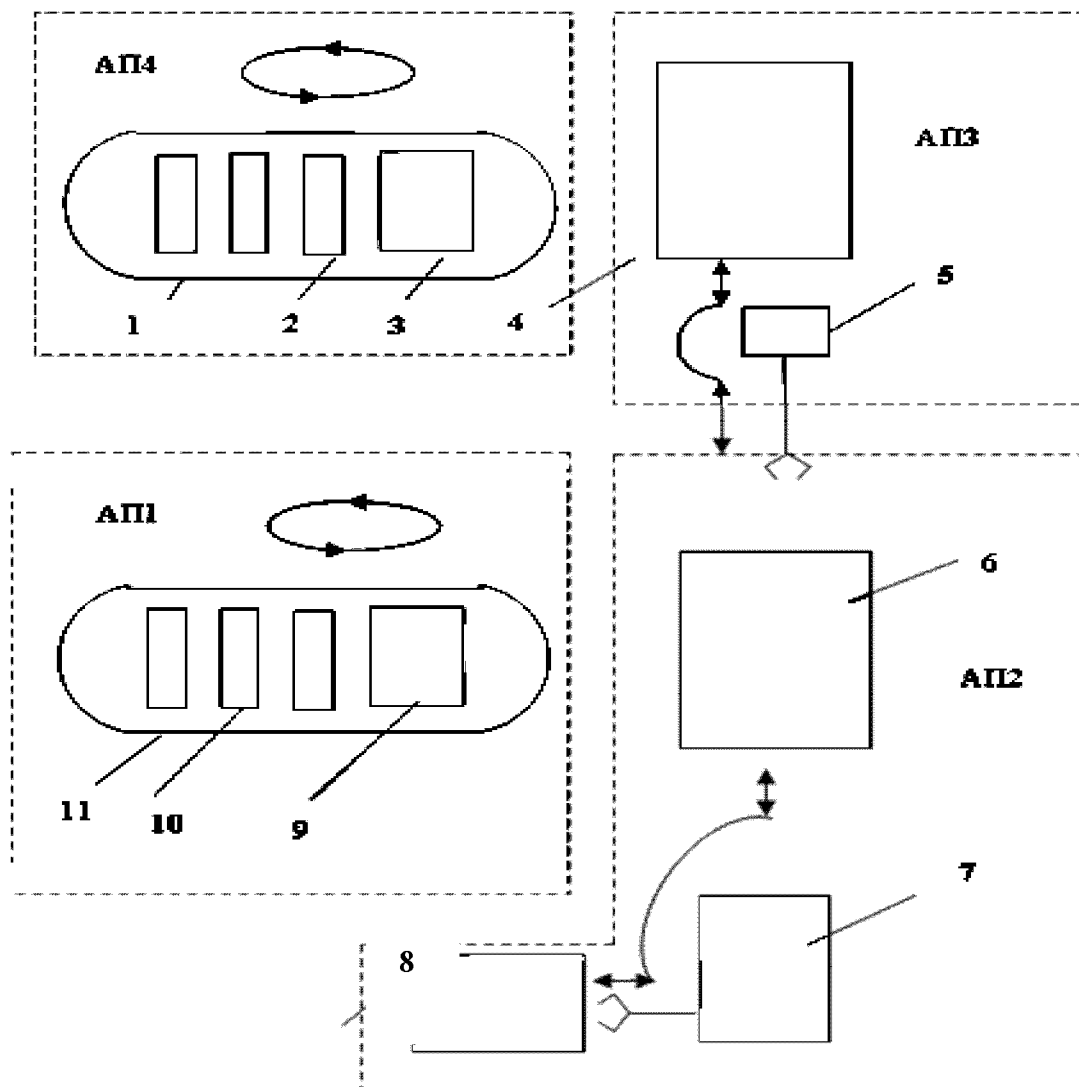


Рис. Схема автоматизации ГПМ: 1 – ТС1; 2 – труба;  
 3 – подъемно-ориентирующее устройство (ПОУ1); 4 – рабочая зона трубы;  
 5 – промышленный робот (ПР1); 6 – рабочая зона муфты; 7 – ПР2;  
 8 – накопитель сальников; 9 – ПОУ2; 10 – муфты; 11 – ТС2

Условно ГПМ можно рассматривать в виде четырех параллельно функционирующих асинхронных процессов (АП), работающих во взаимодействии для достижения конечной цели – установка муфты на конец трубы и перемещение ее к следующей позиции. Следовательно, каждая АП имеет соответствующие мехатронные устройства и транспортные системы для достижения своей цели.

Для описания функционирования АП ГПМ с использованием продукционной модели определим позиции для установки сенсорных устройств и двигатели для формирования управляющих воздействий на мехатронные устройства (табл. 1, 2).

**Позиции для установки сенсорных устройств в ГПМ**

Асин-хронные процессы	Сенсорные информации	Назначение
АП1	X <sub>11</sub> X <sub>12</sub> X <sub>13</sub> X <sub>14</sub> X <sub>15</sub>	Наличие муфты на столе ПОУ2. ПОУ2 в исходном состоянии. ПОУ2 в конечном состоянии. Наличие муфты в исходной позиции ТС2. ТС2 включена
АП2	X <sub>21</sub> X <sub>22</sub> X <sub>23</sub> X <sub>24</sub> X <sub>25</sub> X <sub>26</sub> X <sub>27</sub> X <sub>28</sub> X <sub>29</sub> X <sub>210</sub> X <sub>211</sub>	Наличие сальника в накопителе. Рука ПР2 в исходном положении, рука втянута, и захват отключен. Рука ПР2 вытянута, в исходном положении, и захват отключен. Рука ПР2 в исходном положении, рука вытянута, и захват включен. Рука ПР2 в исходном положении, рука втянута, и захват включен. Рука ПР2 в конечном положении, рука вытянута, и захват включен. Наличие муфты в рабочей зоне. Наличие сальника в муфте. Рука ПР2 отсутствует в рабочей зоне. Рука ПР2 в конечном положении. Рука вытянута и захват включен
АП3	X <sub>31</sub> X <sub>32</sub> X <sub>33</sub> X <sub>34</sub> X <sub>35</sub> X <sub>36</sub> X <sub>37</sub> X <sub>38</sub> X <sub>39</sub> X <sub>310</sub> X <sub>311</sub> X <sub>312</sub>	Рука ПР1 в исходном положении, рука вытянута, и захват отключен. Рука ПР1 в исходном положении, рука втянута, и захват отключен. Рука ПР1 в исходном положении, рука вытянута, и захват включен. Рука ПР1 в исходном положении, рука втянута, и захват включен. Рука ПР1 в конечном положении, рука втянута, и захват включен. Рука ПР1 в конечном положении, рука вытянута, и захват включен. Рука ПР1 в конечном положении, рука втянута, и захват отключен. Рука ПР1 в конечном положении, рука вытянута, конец заварачивания муфты . Рука ПР1 в конечном положении, рука вытянута, и захват отключен. Рука ПР1 отсутствует в рабочей зоне муфты. Наличие трубы в рабочей зоне. Рука ПР1 отсутствует в рабочей зоне трубы
АП4	X <sub>41</sub> X <sub>42</sub> X <sub>43</sub> X <sub>41</sub> X <sub>41</sub>	Наличие трубы на столе ПОУ1. ПОУ1 в исходном состоянии. ПОУ2 в конечном состоянии. Наличие трубы в исходной позиции ТС1. ТС1 включена

Глобальная база данных в ГПМ организуется сенсорной информацией, которая поступают от сенсоров, установленных на различных позициях асинхронных процессов ГПМ. Изменение состояния глобальной базы данных осуществляется в результате формирования управляющих воздействий на соответствующие двигатели различного назначения.

На основе опыта и интуиции экспертом формулируется множество продукций (база знаний) с учетом ситуаций, которые определяются множеством абстрактных пространств (сенсорное, ситуационное и т.п.). Следовательно, количество продукций априорных знаний ограничивается количеством сенсоров, установленных в различных позициях проблемной области.

**Позиции для установки двигателей управляющих воздействий**

Асин-хронные процессы	Двигатели управляющих воздействий	Назначение
АП1	U <sub>11</sub> U <sub>12</sub> U <sub>13</sub>	Включение ТС1. Отключение ТС1. Включение ПОУ2
АП2	U <sub>21</sub> U <sub>22</sub> U <sub>23</sub> U <sub>24</sub> U <sub>25</sub> U <sub>26</sub>	Включение руки ПР2. Отключение руки ПР2. Включение захвата ПР2. Отключение захвата ПР2. Включение поворотного устройства ПР2. Отключение поворотного устройства ПР2
АП3	U <sub>31</sub> U <sub>32</sub> U <sub>33</sub> U <sub>34</sub> U <sub>35</sub> U <sub>36</sub> U <sub>37</sub> U <sub>38</sub>	Включение руки ПР1. Отключение руки ПР1. Включение захвата ПР1. Отключение захвата ПР1. Включение поворотного устройства ПР1. Отключение поворотного устройства ПР1. Включение поворотного устройства захвата ПР1. Отключение поворотного устройства захвата ПР1
АП4	U <sub>41</sub> U <sub>42</sub> U <sub>43</sub> U <sub>44</sub>	Включение ТС1. Отключение ТС1. Включение ПОУ1. Отключение ПОУ1

Знания, необходимые для принятия решений по управлению, представляют собой множество продукций, в которой левая часть содержит факты о состояниях ГПМ, а правая – о целенаправленных действиях для достижения конечной цели.

С использованием логических связей типа И, ИЛИ, НЕ ( ) и импликация «ЕСЛИ... ТО...» на примере рассмотрим создание базы знаний в виде продукций. На естественном языке эта продукция представляется в виде:

ЕСЛИ муфта в рабочей зоне АП2,

И имеется сальник в муфте,

И рука ПР1 в исходном положении, рука втянута, захват отключен,

И рука ПР2 отсутствует в рабочей зоне АП2,

ТО выполняется условие для включения руки ПР1.

На языке внутреннего представления эта запись примет вид:

$$(P_{31}) (X_{27} \& X_{28} \& X_{32} \& X_{29}) \Rightarrow U_{31};$$

где P<sub>i</sub> – номер продукции.

Остальные продукции АП3 примет вид:

$$(P_{32}) (X_{27} \& X_{28} \& X_{31} \& X_{29}) \Rightarrow U_{33}; (P_{33}) (X_{33} \& X_{27} \& X_{29}) \Rightarrow U_{32};$$

$$(P_{34}) (X_{34} \& X_{311}) \Rightarrow U_{35}; (P_{35}) (X_{35} \& X_{311} \&) \Rightarrow U_{31};$$

$$(P_{36}) (X_{36} \& \& X_{311}) \Rightarrow U_{37}; (P_{37}) (X_{38} \& \& X_{311}) \Rightarrow U_{38};$$

$$(P_{38}) (X_{36} \& X_{311}) \Rightarrow U_{34}; (P_{39}) (X_{39} \& X_{311}) \Rightarrow U_{32};$$

$$(P_{310}) (X_{37}) \Rightarrow U_{36}.$$

Аналогичным образом формируются продукции для других АП ГПМ.

Продукции АП2:

$$(P_{21}) (X_{27} \& \neg X_{28} \& X_{21} \& X_{22}) \Rightarrow U_{21};$$

$$(P_{22}) (X_{23} \& X_{21}) \Rightarrow U_{23}; (P_{23}) (X_{24} \& \neg X_{28}) \Rightarrow U_{22};$$



свойств сети Петри. При положительных результатах основных свойств сети Петри выводится граф-схема соответствующей сети.

Таблица 3

**Структура модели в виде СП**

Переходы	Позиции (входы)	Позиции (выходы)
$U_{11}$	(1,4), (1,5);	(1,5), (2,1);
$U_{12}$	(1,1)	(1,2)
$U_{13}$	(1,2)	(1,3)
$U_{14}$	(1,3)	(1,4)
$U_{21}$	(2,1), (2,5);	(2,2), (2,6);
$U_{22}$	(2,3), (2,6);	(2,4), (2,7);
$U_{23}$	(2,2)	(2,3)
$U_{24}$	(2,7)	(3,1)
$U_{25}$	(2,4)	(2,5)
$U_{31}$	(3,1), (3,5);	(3,2), (3,6);
$U_{32}$	(3,3), (3,9);	(3,4), (3,10);
$U_{33}$	(3,2)	(3,3)
$U_{34}$	(3,8)	(3,9)
$U_{35}$	(3,4)	(3,5)
$U_{36}$	(3,10)	(4,1)
$U_{37}$	(3,6)	(3,7)
$U_{38}$	(3,7)	(3,8)
$U_{41}$	(4,4), (4,5);	(4,5), (1,1)
$U_{42}$	(4,1)	(4,2)
$U_{43}$	(4,2)	(4,3)
$U_{44}$	(4,3)	(4,4)

В статье на примере конкретного объекта ГПМ производства насосно-компрессорных труб разработана глобальная база данных и база знаний производственной системы, обеспечивающая функционирование ГПМ в реальном масштабе времени. В качестве основного моделирующего аппарата предложено использование сети Петри.

При исследовании алгоритма функционирования компьютерными экспериментами по рекомендациям моделирующего аппарата скорректирован разработанный алгоритм, сформулирован его окончательный вариант и приведена граф-схема сети Петри.

Показано, что предложенный подход может быть использован на этапе системотехнического проектирования динамических технических систем, в частности ГПС, также при оценке эффективности алгоритмического и программного обеспечения ГПС в действующих производствах.

#### **Библиографический список**

1. *Ахмедов М. А.* Автоматизация моделирования с применением сетей Петри / М. А. Ахмедов, В. А. Мустафаев. – Баку : Элм, 2007. – 144 с.
2. *Кязимов Н. М.* Архитектура инструмента автоматизированного проектирования гибких производственных систем / Н. М. Кязимов, Х. М. Магоммедли // Информационные технологии моделирования и управления. – 2010. – № 3 (62). – С. 371–378.