

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ИМИТАЦИОННЫХ МОДЕЛЯХ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

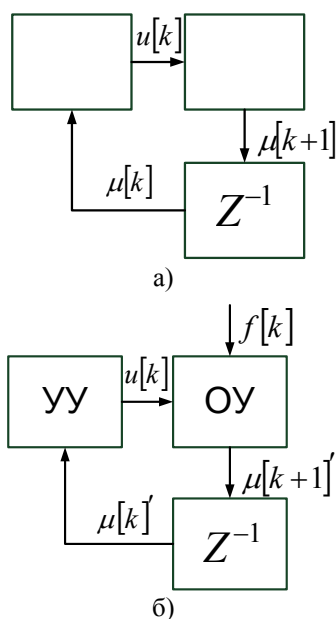
А.Н. Сочнев

В статье приведена классификация основных видов возмущений, воздействующих на производственную систему. Описаны основные методы представления возмущений в имитационных моделях на основе сетей Петри и выбран наиболее рациональный из них для задач моделирования производственных систем. Рассмотрен пример модели системы, в которую добавлена модель детерминированного возмущения. Разработана модель механизма компенсации влияния возмущения

Ключевые слова: сеть Петри, возмущающие воздействия, компенсация, инвариантность

Сети Петри являются удобным инструментом для моделирования дискретных систем любой природы. Они позволяют представлять последовательные, ветвящиеся, параллельные и циклические процессы [1].

Процесс функционирования сети Петри может быть представлен функциональной схемой, приведенной на рис. 1 а.



ОУ – модель объекта управления

УУ – модель устройства управления

Z^{-1} – блок временной задержки

$\mu[k]$ – маркировка (состояние) сети Петри на k -м такте управления

$f[k]$ – вектор возмущающих воздействий

$u[k]$ – вектор управления

Рис. 1. Схема функционирования сети Петри

Под моделью объекта управления (ОУ) понимается структура сети Петри: набор позиций, переходов, и соединяющих их дуг. Устройство управления (УУ) содержит правила изменения состояния сети Петри. Обычное правило изменения состояния сети запускает выполнение переходов сети, во всех входных позициях которых имеются маркеры.

Подавляющее большинство реальных процессов подвержены влиянию возмущающих воздействий, которые необходимо отобразить в модели. Это позволит учесть их влияние или компенсировать его (рис.1.б) [2]. Без этого невозможно создание качественной, обладающей требуемой степенью инвариантности, системы управления.

Первым шагом исследования возмущающих воздействий является определение их природы. Принято различать следующие виды возмущений.

1) Детерминированная возмущающая среда. Закон изменения составляющих вектора $e(t)$ известен, и можно рассчитать значения возмущений в будущие моменты времени.

2) Полудетерминированная возмущающая среда или возмущения волновой структуры. В этом случае возмущение можно выразить уравнением

$$e_i(t) = c_1 f_1(t) + c_2 f_2(t) + \dots + c_l f_l(t), \quad (1)$$

где $f_i(t)$ – известные функции некоторого базиса функционального пространства;

c_i – кусочно-постоянные весовые коэффициенты, которые неизвестны и могут изменяться случайным кусочно-постоянным образом.

3) Стохастическая возмущающая среда. Изменение вектора $e(t)$ носит случайный характер, т. е. $e(t)$ – есть случайный процесс. При этом ОУ находится в стохастической возмущающей среде. На практике широко используют представления вектора $e(t)$ в виде многомерного случайного процесса, как реакцию динамической системы на действие белого шума.

УУ

ОУ

4) Целенаправленная возмущающая среда. «Выбор» возмущения $e(t)$ осуществляется средой (противником) в соответствии с некоторой целью, не всегда совпадающей с целью управления. Система управления находится в конфликтной среде.

Приведем обобщенный перечень факторов, которые можно классифицировать как возмущающие в производственной системе: неисправность оборудования, неисправность оснастки, сбой в работе устройства ЧПУ, отсутствие рабочего, неисправность транспорта, брак производимой продукции и другие.

Каждое из вышеперечисленных возмущающих воздействий может быть определено более подробно для синтеза индивидуального управления для элементов производственной системы. Для задач производственного планирования и группового управления достаточно описания данных воздействий в форме «действует», «не действует».

Количество бракованных изделий при предварительном планировании, как правило, задается в процентном соотношении от общего количества. Очевидными путями восполнения бракованных изделий является производство заведомо большего объема продукции или определение в конце периода управления (смены) количество бракованных изделий с увеличением плана на последующие периоды.

Возмущения моделируются дискретным изменением элементов вектора возмущений

$$f = \{f_i\}, i = 1, m, \quad (2)$$

где m – количество возмущений.

Точки приложения возмущающих воздействий в модели производственной системы, как правило, определить нетрудно т.к. переходы соответствуют операциям производственного процесса.

На основе анализа перечня перечисленных выше возмущений классифицируем их следующим образом.

1) Детерминированные возмущения.

Плановые ремонты оборудования, плановые отпуска исполнителей и т.п.

2) Полудетерминированные возмущения.

Отказы технологического оборудования, транспорта, устройств ЧПУ, внеплановое отсутствие исполнителей, брак продукции, заготовок, оснастки, инструмента и т.д. в среднесрочном и долгосрочном периоде.

3) Стохастические возмущения. Перечень возмущающих воздействий аналогичен предыдущему, но в краткосрочном периоде.

4) Целенаправленные возмущения. В случае исследования производственных систем, целенаправленные возмущающие воздействия могут формироваться некоторыми компонентами внешнего рынка (конкурентами, потребителями). Стратегическое моделирование деятельности предприятий в данной работе не рассматривается, следовательно, данный тип возмущений – также.

Исходными данными для представления в модели возмущающих воздействий является накопленная статистическая информация о них за предыдущий период. Подобная информация представляется в виде таблиц (графиков) отсутствия исполнителей, управляющих программ, данных об отказах оборудования, о процентном выходе бракованной продукции и т.д.

Следующим шагом является формирование на основе этой информации прогнозных моделей полудетерминированных возмущающих действий, а также параметров генераторов случайных чисел, представляющих стохастическую среду. Первоначально задается вид математической модели каждого возмущения, исходя из характера данных о них. Так как он в большинстве случаев двоичный, то предлагается описывать их действие на основе выражения

$$f_i(t) = c_i,$$

где $c_i \in \{0,1\}$.

Идентификация параметров модели возмущений в общем случае должна осуществляться на основе процедуры оценивания, например методом наименьших квадратов. Другим, более рациональным путем является определение оценок, характеризующих реализацию возмущения. На базе статистических данных может быть определена эмпирическая функция плотности распределения вероятности. Предполагается, что возмущение определяется как стационарный равномерный случайный процесс

Стандартным методом учета возмущений является использование стохастических и нечетких сетей Петри, но в этом случае возможны затруднения. Механизм срабатывания и изменения состояния в стохастической сети Петри сложнее, чем в обычной. При использовании маркеров с атрибутами эта проблема порождает большие вычислительные затраты [3, 4]. Кроме того, не все системы могут быть адекватно представлены стохастическими сетями Петри.

Другой возможный путь для учета влияния контролируемых возмущений – использование дуг с переменной нагрузкой (кратностью). Использование этого класса сетей приближает методику моделирования возмущающих воздействий к определенной в классической теории управления (фактически вводится понятие переменной передаточной функции), однако вычислительные затраты на моделирование в данном случае тоже велики, поскольку на каждом такте кратность всех дуг пересчитывается в соответствии с заранее определенным или с определяемым на текущем такте управления правилом.

Использование понятие переменной нагрузки нередко приводит к определению нового класса сетей с переменной структурой из-за того, что на практике чаще всего нагрузка дуг сети принимает либо нулевое значение либо номинально определенное. Исследование сетей Петри данного типа показывает, что такая имитационная модель

наиболее адекватна реальной системе такие как дополнительные вычислительные затраты и проблемы, связанные с объединением фрагментов сети: необходимость введения атрибутов отдельных элементов сети для их идентификации. В практике применения подобных сетей в процессе имитации могут возникать тупиковые ситуации в связи с выключением (включением) отдельных фрагментов [5].

Наиболее рациональной следует признать возможность формирования вектора возмущений в имитационной модели путем добавления в исходную сеть дополнительных позиций, которые оказывают влияние на ход выполнения имитации необходимым заданным заранее способом или в реальном времени по информации с датчиков. Автоматический или автоматизированный алгоритм создания этих позиций позволяет разделить структуру сети на две части, которые могут рассматриваться как вместе, так и по отдельности. Изменение маркировки позиций, моделирующих возмущения, производится путем помещения в позицию генератора случайной величины с требуемым законом распределения либо модели волновой функции.

Рассмотрим на примере производственной системы особенности моделирования возмущающих факторов.

Пример. Два робота переключают детали из общего накопителя на два конвейера (рис.2). Рабочие зоны роботов имеют общую точку в накопителе, которая является опасной зоной. Если один из роботов находится в опасной зоне, второй ожидает её освобождения.

Представим имитационную модель системы на основе временной сети Петри (рис.3а).

Для каждого робота определены два состояния: робот в зоне накопителя и робот в зоне конвейера. Эти состояния соответствуют двум позициям. Алгоритм функционирования роботов построен так, что они никогда не оказываются в зоне накопителя одновременно. Для этого введены две дополнительные позиции $p1$ и $p2$. Каждый переход отмечен временем выполнения. Данная модель позволяет провести несложные исследования функционирования системы, например определить устойчивый режим работы, в котором роботы справляются с требованиями по отправке деталей на конвейеры, а также оптимально настроить их на совместную работу.

В рассматриваемой системе возможно появление следующих возмущений: отказ робота 1, отказ робота 2, отказ конвейера 1, отказ конвейера 2. Представим перечисленные возмущающие воздействия в виде дополнительных позиций сети Петри $p3$, $p4$, $p5$ и $p6$ (рис.3б). Наличие маркеров в

(производству). Однако имеются и недостатки, указанных позициях моделирует исправность соответствующего оборудования.

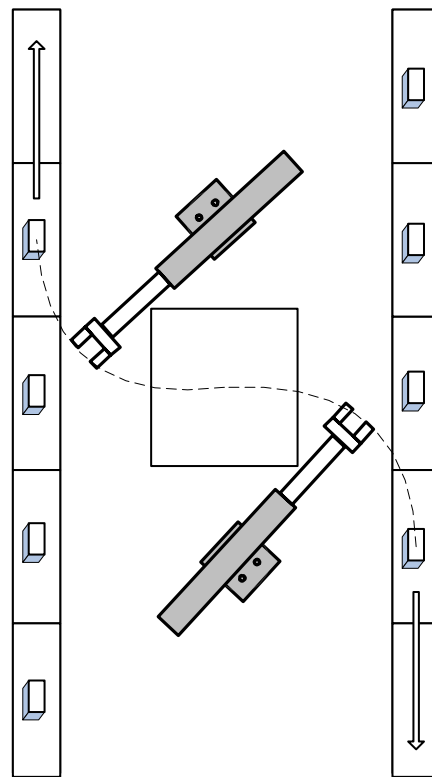


Рис.2. Структура производственной системы

В имитационной модели можно описать правила и механизмы компенсации действия возмущений. В рассматриваемой производственной системе при поломке и связанной с ней ремонтом одного из роботов, его функции может выполнять второй робот. При этом быстродействие системы падает, но в меньшей степени нарушается ход процессов на смежных производственных участках.

На рис.3в представлена модель, в которой представлена модель детерминированного возмущения (плановый ремонт) для робота №2. Наличие ненулевого количества маркеров в позиции $p7$ моделирует работоспособность робота №2, маркер в позиции $p6$ – робот ремонтируется. Переход, соответствующий началу ремонта робота (T1), имеет повышенный приоритет по сравнению с остальными для того, чтобы не допустить продолжения выполнения рабочих операций роботом.

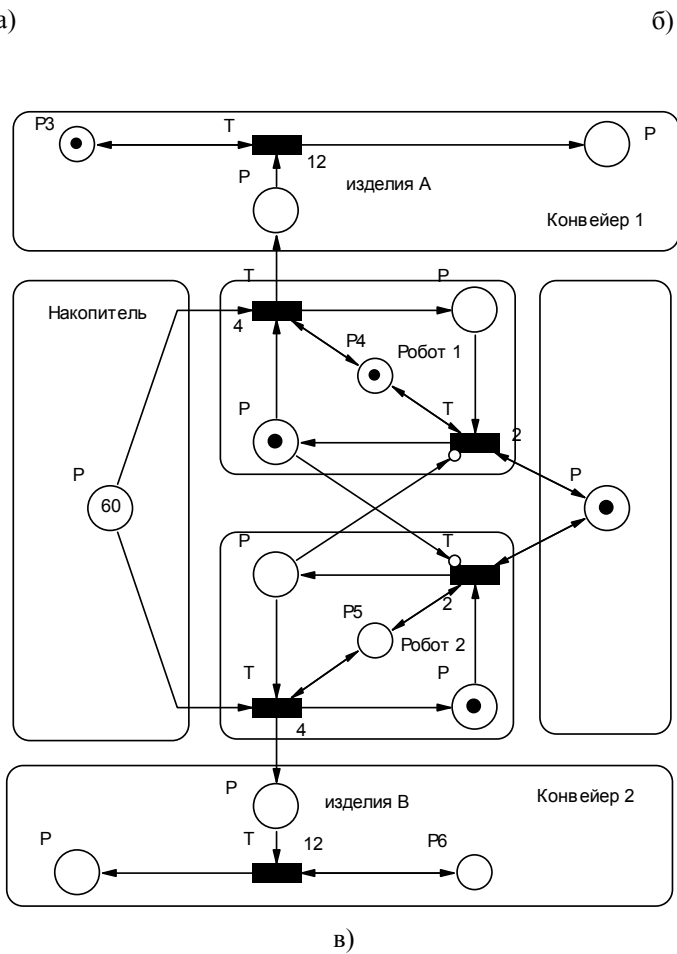
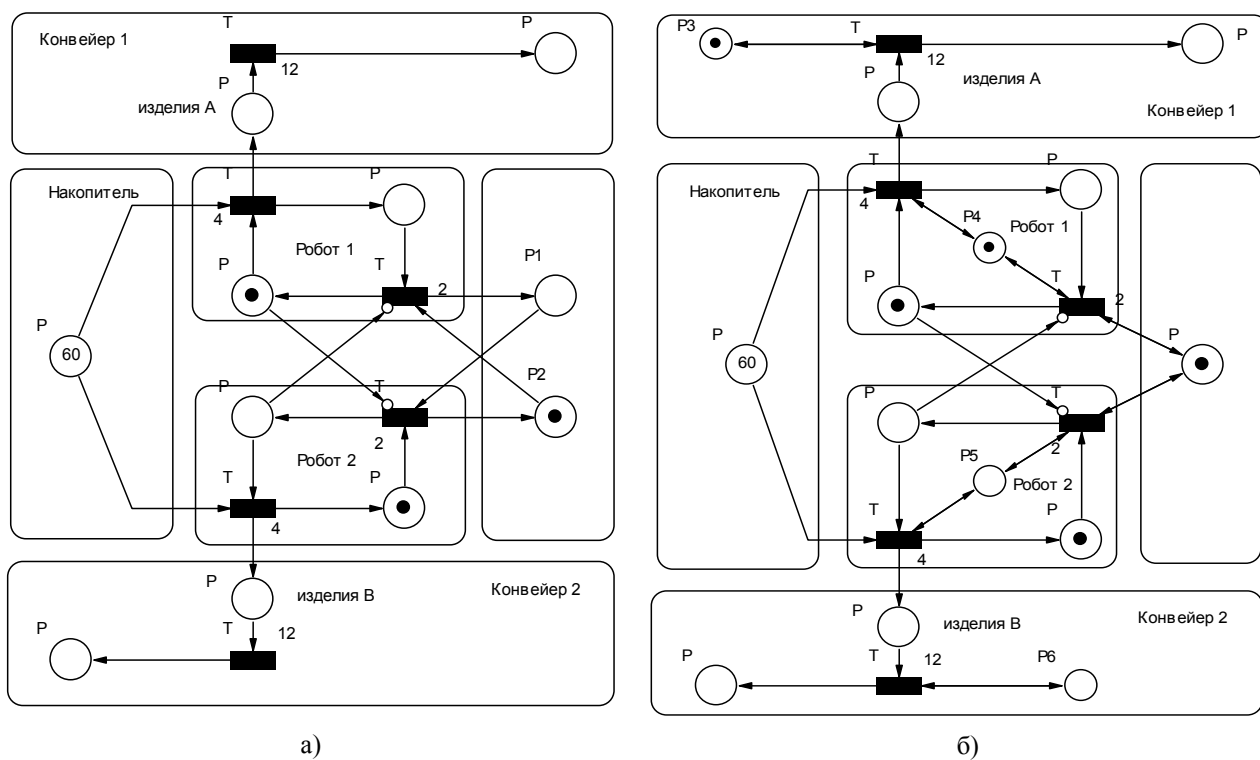


Рис.3. Модели системы на основе сети Петри (а), с возмущениями (б), с компенсацией возмущений (в)

Эффект от использования модели компенсации возмущения можно оценить величиной общего времени производственного процесса.

Результаты моделирования

	Время процесса (такты)
Исходная модель	460
Модель с возмущениями	660
Модель с компенсацией возмущений	560

Описанный механизм моделирования возмущающих воздействий дополнительными позициями сети можно применить практически для всех видов возмущений. Модель при этом получается достаточно компактной и вычислительные затраты на моделирование увеличиваются незначительно по сравнению с исходной моделью. Недостатком рассмотренного подхода можно назвать дискретный (двоичный) характер изменения возмущений, что связано с

дискретной природой классических сетей Петри. Кроме того, как указывалось выше, для производственных систем подавляющее большинство возмущений можно описать двоичным законом.

Литература

1. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон. – М.: Мир, 1984. – 264 с.
2. Солодовников, В. В. Теория автоматического управления техническими системами / В. В. Солодовников, В. Н. Плотников, А. В. Яковлев. – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1993. – 493 с.
3. Михайличенко, А. М. Управление ГПС в условиях действия возмущений / А. М. Михайличенко. – М.: ВНИИТЭМР, 1989. – 32 с.
4. Иванов, Н. Н. Обобщенные временные стохастические сети Петри / Н. Н. Иванов // Автоматика и телемеханика. – 1996. - №10. – с.156-167.
5. Юдицкий, С. А. Логическое управление дискретными процессами. Модели, анализ, синтез / С. А. Юдицкий, В. З. Магергут. – М.: Машиностроение, 1987. – 176 с.

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

DISTURBANCES PRESENTATION IN PETRI NET BASED MANUFACTURING SYSTEMS MODELS

A.N. Sochnev

The article describes the classification of the main types of disturbances that affect the production system. The basic methods of reporting disturbances in the simulation models based on Petri nets and choose the most rational of them to the problems of modeling production systems. An example of a model system, which is added a model of deterministic disturbances. Developed a model of the of influence disturbance compensation mechanism

Key words: Petri net, the disturbing influence, compensation, invariance