

МЕТОД МОДИФИКАЦИИ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ УПРАВЛЯЮЩИХ МОДЕЛЕЙ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

М.П. МАСЛАКОВ, А.Г. ДЕДЕГКАЕВ

*ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)», г. Владикавказ*

Ключевые слова и фразы: граф активности переходов; модификация сетей Петри; сложный технологический процесс; управляющая модель.

Аннотация: В работе представлен метод модификации сетей Петри для построения управляющих моделей сложных технологических процессов. Отличие представленного метода модификации от известного [5] заключается в том, что граф активности переходов строится относительно всего множества реализуемых на технологическом объекте процессов.

Существующие технологические объекты (ТО) металлургии, энергетики, стекольной промышленности и т.п., на которых реализуются сложные технологические процессы (СТП), характеризуются большим разнообразием режимов работы. В свою очередь, модели этих многорежимных технологических объектов должны отображать все переходы от режима к режиму для каждого технологического параметра, учитывая при этом всевозможные значения управляющих воздействий и технологических условий. Управляющие модели СТП, реализуемых на данных технологических объектах, должны отображать все многообразие взаимосвязей между режимами объекта и все переходы между операциями при конкретном поведении объекта.

Традиционные методы и модели не позволяют полностью учитывать динамику, характер и особенности процесса оперативного (ежедневного) управления режимами многорежимных объектов. Основной проблемой, возникающей в процессе проектирования эффективных систем управления, является построение такой управляющей модели процесса (УМП), которая оперативно реагировала бы на все изменения технологических параметров на ТО и сохраняла эффективность управления процессом. Ко всему прочему, УМП должна обеспечивать такую степень синхронизации технологических операций процесса, которая бы позволила

устранить всевозможные аварийные режимы на ТО и реализовать управление всем многообразием СТП.

В настоящее время наиболее эффективным с точки зрения адекватности описания динамики работы, особенностей функционирования и управления, а также возможности описания всего многообразия взаимодействий между технологическими операциями процесса (в том числе всевозможных способов синхронизации технологических операций процесса) является аппарат сетей Петри и их модификаций [1–3].

Однако недостатком традиционного аппарата сетей Петри является невозможность применения построенных на их основе моделей в качестве управляющих. Это обусловлено тем фактом, что указанные модели обладают асинхронностью функционирования самой сети и невозможностью реализации на них конкретно заданной последовательности срабатывания переходов (заданного режима работы ТО – техрегламента работы).

В работах [4–6] предложен метод модификации сетей Петри, позволяющий устранить проблему асинхронности функционирования сети и получить заданную последовательность срабатывания переходов. Для реализации заданного техрегламента процесса рассмотрены вопросы автоматизации управления процессами, а также приведены примеры построения управляющих моделей СТП на разработанном

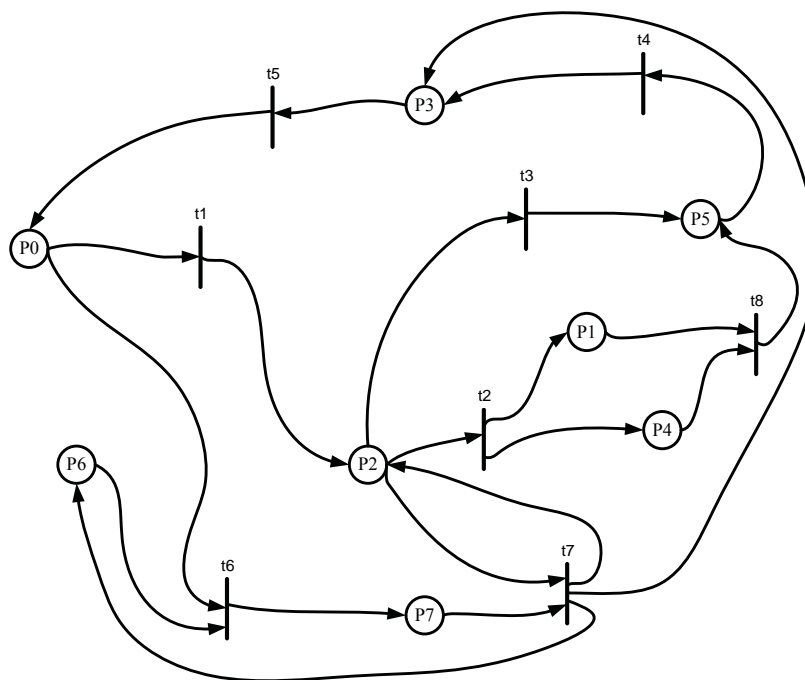


Рис. 1. Сеть $N = \langle P, T, I, O, \mu_0 \rangle$

Таблица 1. Результаты моделирования сети ($T_1 T_2 T_8 T_4 T_5$)

№	1	2	3	4	5
Последовательность срабатывания	T_1	T_2	T_8	T_4	T_5
Одновременно активные переходы	T_1 T_6 T_2 T_3	T_2 T_3	T_8 T_2 T_3	T_4 T_2 T_3	T_5 T_2 T_3

Таблица 2. Распределение входных P_i и выходных P_o позиций

Множество P_i	Множество P_o^*	Переходы сети Петри
P_{i1}	P_{o1}	T_4, T_6, T_8
P_{i2}	P_{o2}	T_1, T_5
P_{i3}	P_{o3}	T_2, T_7
P_{i4}	P_{o4}	T_3

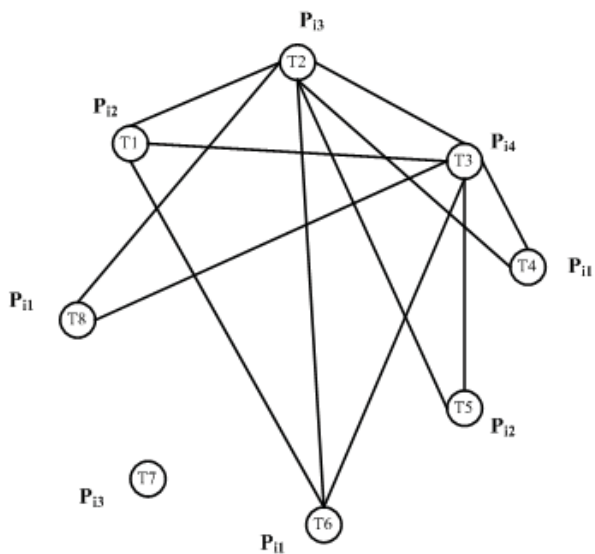


Рис. 2. Раскраска графа активности переходов

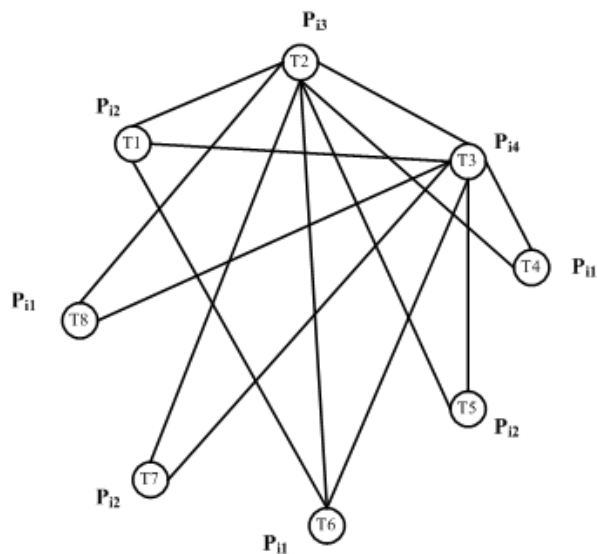


Рис. 4. Раскраска графа активности переходов

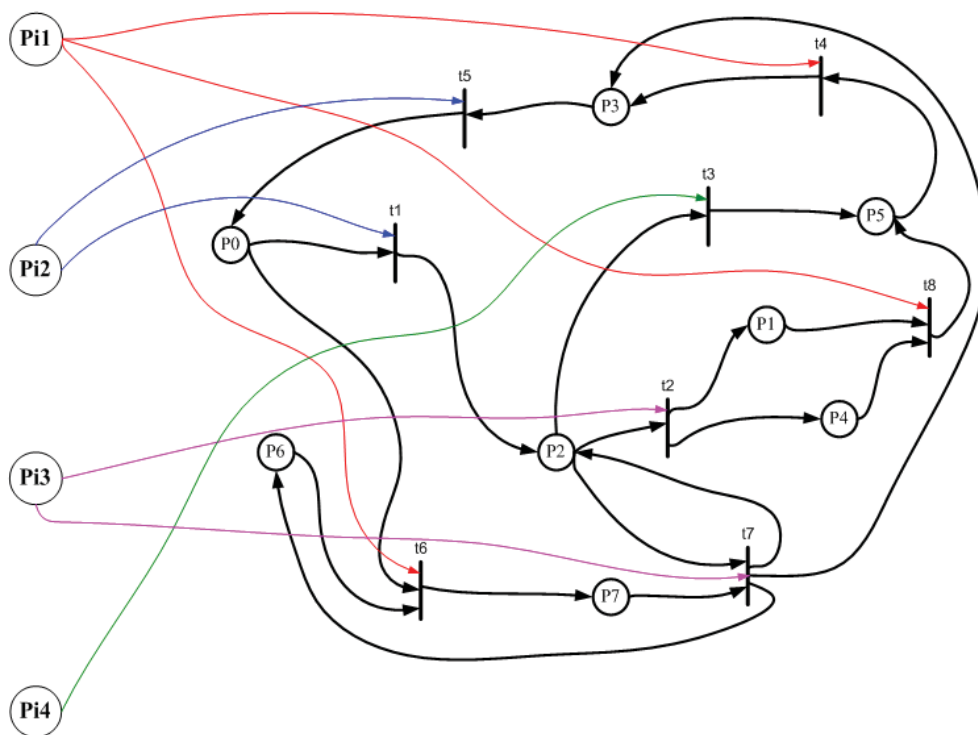


Рис. 3. Модифицированная сеть

аппарате модифицированных сетей Петри.

Предложенная модификация сетей Петри [5] основана на построении графа активности переходов. Причем одновременно активные

переходы определялись относительно одной последовательности срабатывания переходов (конкретного техрегламента работы), тем самым практически исключая возможность реа-

Таблица 3. Результаты моделирования сети ($T_1 T_2 T_8 T_4 T_5$)

№	1	2	3	4	5
Последовательность срабатывания	T_1	T_2	T_8	T_4	T_5
Одновременно активные переходы	T_1 T_6 T_2 T_3	T_2 T_3	T_8 T_2 T_3	T_4 T_2 T_3	T_5 T_2 T_3

Таблица 4. Результаты моделирования сети ($T_1 T_3 T_4 T_5$)

№	1	2	3	4
Последовательность срабатывания	T_1	T_3	T_4	T_5
Одновременно активные переходы	T_1 T_6 T_2 T_3	T_2 T_3	T_4 T_2 T_3	T_5 T_2 T_3

Таблица 5. Результаты моделирования сети ($T_6 T_7 T_5$)

№	1	2	3
Последовательность срабатывания	T_6	T_7	T_5
Одновременно активные переходы	T_1 T_6 T_2 T_3	T_7 T_2 T_3	T_5 T_2 T_3

Таблица 6. распределение входных P_i и выходных P_o позиций

Множество P_i	Множество P_o^*	Переходы сети Петри
P_{i1}	P_{o1}	T_4, T_6, T_8
P_{i2}	P_{o2}	T_1, T_5, T_7
P_{i3}	P_{o3}	T_2
P_{i4}	P_{o4}	T_3

лизации иных последовательностей срабатывания переходов, возможных при данной структуре первично построенной сети Петри, описывающей всевозможные СТП, реализующиеся на данном ТО.

Для построения управляющих моделей, способных реализовывать конкретно заданные

СТП на одном ТО, необходимо усовершенствование метода модификации сетей Петри работы [5]. Усовершенствование метода заключается в том, что построение графа активности переходов производится относительно всех необходимых к реализации СТП. Для реализации усовершенствованного метода модификации сетей

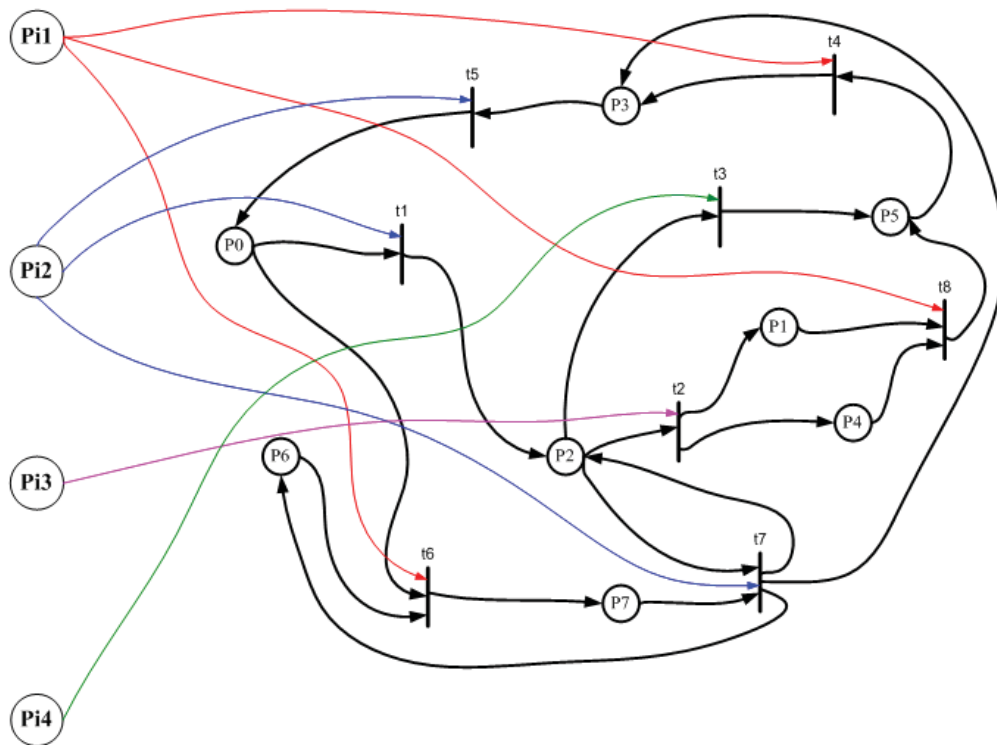


Рис. 5. Модифицированная сеть

выполняются следующие мероприятия.

1. Определяются последовательности срабатывания переходов, соответствующие всем требуемым к реализации СТП.

2. Строятся таблицы результатов моделирования, полученные при реализации всех необходимых последовательностей срабатывания переходов.

3. Строится граф активности переходов ($G = \langle T, S \rangle$) для нахождения расширения сети множеством входных P_i и множеством выходных P_o позиций относительно таблиц результатов моделирования. Мощности множеств P_i и P_o равны друг другу. Элементы P_{ik} и P_{ok} смежны одному и тому же переходу(-ам), причем элемент P_{ik} входит во входную(-ые) функцию(-и) перехода(-ов), а элемент P_{ok} – в выходную(-ые).

4. Производится операция раскраски графа активности переходов G , минимальным спектром красок. Причем каждая краска ассоциируется с одной и только одной входной позицией и соответствующей ей выходной позицией.

Проиллюстрируем отличие усовершенство-

ванного метода модификации сетей Петри от метода модификации работы [5] на следующем примере.

Пусть дана сеть $N = \langle P, T, I, O, \mu_0 \rangle$ (рис. 1), где:

- $P = \{P_0, P_2, \dots, P_7\}$ – множество позиций сети;
- $T = \{T_1, T_2, \dots, T_8\}$ – множество переходов сети;
- $I: P \rightarrow T^\infty$ является входной функцией – отображением из переходов в комплекты позиций;
- $O: P \rightarrow T^\infty$ есть выходная функция – отображение из переходов в комплекты позиций;
- $\mu_0 = \{1, 0, 1, 0, 0, 0, 1, 0\}$ – начальная маркировка сети.

Сеть N описывает три возможных процесса, реализующиеся на ТО. Данные процессы реализуются следующими последовательностями срабатывания переходов: $T_1 T_2 T_8 T_4 T_5$; $T_1 T_3 T_4 T_5$; $T_6 T_7 T_5$.

При модификации сети по методу [5] получаем следующее.

1. Выбираем одну последовательность

срабатывания переходов, реализующую только один ТП: $T_1 T_2 T_8 T_4 T_5$.

2. Таблица результатов моделирования получена при реализации вышеприведенной последовательности срабатывания переходов (табл. 1).

3. Граф активности переходов и его раскраска представлены на рис. 2.

В результате получаем следующее распределение входных P_i и выходных P_o позиций сети рис. 1 (табл. 2).

Модификация сети, заданной на рис. 1, представлена на рис. 3.

На рис. 3 не представлено расширение сети множеством входных P_o позиций в виду отмеченного выше соответствия элементов множеств входных P_i и выходных P_o позиций.

В представленной модифицированной сети реализация третьей последовательности срабатывания переходов $T_6 T_7 T_5$ исключена, так как переходы T_7 и T_2 имеют в своих входных функциях одну и ту же входную позицию P_{i3} .

При модификации сети по усовершенство-

ванному методу получаем следующее.

1. Необходимые последовательности срабатывания переходов, реализующие три ТП: $T_1 T_2 T_8 T_4 T_5$; $T_1 T_3 T_4 T_5$; $T_6 T_7 T_5$.

2. Таблицы результатов моделирования получены при реализации вышеприведенных последовательностей срабатывания переходов.

3. Граф активности переходов и его раскраска представлены на рис. 4.

В результате получаем следующее распределение входных P_i и выходных P_o позиций сети рис. 1.

Модификация сети, заданной на рис. 1, представлена на рис. 5.

Полученная управляющая модель (модифицированная сеть) обеспечивает реализацию трех ТП, заданных последовательностями срабатывания переходов: $T_1 T_2 T_8 T_4 T_5$; $T_1 T_3 T_4 T_5$; $T_6 T_7 T_5$. Реализация того или иного процесса осуществляется подачей фишки во входные позиции сети P_i , находящиеся во входной функции тех переходов, которые должны сработать.

Статья подготовлена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 16-38-00551 мол_а.

Литература

1. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем / Дж. Питерсон; пер. с англ. – М., 1984. – 264 с.
2. Котов, В.Е. Сети Петри / В.Е. Котов. – М. : Наука, 1984. – 158 с.
3. Юдицкий, С.А. Логическое управление дискретными процессами. Модели, анализ, синтез / С.А. Юдицкий, В.З. Магергут. – М. : Машиностроение, 1987. – 176 с.
4. Маслаков, М.П. Моделирование сетями Петри технологических процессов приготовления шихты / М.П. Маслаков // Перспективы науки. – Тамбов : ТМБпринт. – 2010. – № 4(06). – С. 78–82.
5. Маслаков, М.П. Автоматизация проектирования технологической подготовки процесса приготовления шихты : дисс. ... канд. технич. наук / М.П. Маслаков. – Владикавказ : Северо-Кавказский горно-металлургический институт, 2013. – 146 с.
6. Маслаков, М.П. Применение модифицированных сетей Петри в качестве управляющих моделей технологического процесса приготовления стекольной шихты / М.П. Маслаков, А.Г. Дедегкаев и др. // Стекло и керамика. – М. – 2015. – № 7. – С. 6–10.

References

1. Piterson, Dzh. Teorija setej Petri i modelirovanie sistem / Dzh. Piterson; per. s angl. – M., 1984. – 264 s.
2. Kotov, V.E. Seti Petri / V.E. Kotov. – M. : Nauka, 1984. – 158 s.
3. Judickij, S.A. Logicheskoe upravlenie diskretnymi processami. Modeli, analiz, sintez / S.A. Judickij, V.Z. Magergut. – M. : Mashinostroenie, 1987. – 176 s.
4. Maslakov, M.P. Modelirovanie setjami Petri tehnologicheskikh processov prigotovlenija shihty / M.P. Maslakov // Perspektivy nauki. – Tambov : TMBprint. – 2010. – № 4(06). – S. 78–82.
5. Maslakov, M.P. Avtomatizacija proektirovanija tehnologicheskoy podgotovki processa

prigotovlenija shihty : diss. ... kand. tehnic. nauk / M.P. Maslakov. – Vladikavkaz : Severo-Kavkazskij gorno-metallurgicheskij institut, 2013. – 146 s.

6. Maclakov, M.P. Primenenie modifitsirovannyh setej Petri v kachestve upravljajushhih modelej tehnologicheskogo processa prigotovlenija stekol'noj shihty / M.P. Maclakov, A.G. Dedegkaev i dr. // Steklo i keramika. – M. – 2015. – № 7. – S. 6–10.

**Method of Modification of Petri Nets to Build Operating Models
of Complicated Technological Processes**

M.P. Maslakov, A.G. Dedegkaev

*North Caucasus Mining and Metallurgical Institute (State Technological University),
Vladikavkaz*

Keywords: activity transitions graph; modification of Petri nets; complicated technological process; operating model.

Abstract: This paper presents a method of modification of Petri nets to build operating models of complicated technological processes. The described method differs from the known one [5] as the activity transition graph is built for the whole set of processes realized on the technological object.

© М.П. Маслаков, А.Г. Дедегкаев, 2016