

УДК 004.336

О. П. ГОЖИЙ, В. О. ГОЖИЙ

Чорноморський державний університет ім. П. Могили, Миколаїв, Україна

## МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ НА ОСНОВІ КОЛЬОРОВИХ МЕРЕЖ ПЕТРІ

У статті досліджується процес моделювання розподілу енергетичних ресурсів. Завдання моделювання полягає в знаходженні оптимального розподілу енергетичних ресурсів між споживачами. Розглянуто різні типи мереж Петрі. Моделювання здійснюється на основі кольорових мереж Петрі. Розроблено систему моделей, яка моделює розподілення енергетичних ресурсів між групами споживачів в енергетичній системі. Детально розглянуто процес побудови моделей. Представлено модель енергетичної системи і результуюча модель, на основі якої визначається сезонний і помісячний розподіл енергетичних ресурсів між споживачами. Наведено результати моделювання.

**Ключові слова:** кольорові мережі Петрі, розподіл енергетичних ресурсів, сезонний розподіл, модель енергетичної системи.

### Вступ

Розподіл енергії між споживачами є складною та актуальною задачею. Від результатів розподілу залежить якість енергопостачання та оптимальне використання енергоресурсів в системі. Для визначення оптимального розподілу ресурсів використовуються різноманітні методи і алгоритми [1]. Але не всі методи дозволяють отримати оптимальний розподіл. Це обумовлено складністю задачі та великою кількістю факторів, які впливають на отримання остаточного рішення. Для планування розподілу енергетичних ресурсів пропонується використовувати моделі на основі кольорових мереж Петрі [6, 7].

Мережі Петрі це апарат моделювання складних систем і процесів, аналіз яких дозволяє отримати важливу інформацію про структуру та динамічну поведінку модельованої системи [2-4]. Моделювання в мережах Петрі здійснюється на рівні подій. Визначається, які дії відбуваються в системі, які стани передували цим діям і який стан прийме система після виконання дії. Виконання моделі події в мережах Петрі описує поведінку системи. Аналіз результатів виконання може сказати про те, в яких станах перебувала система, а які стани недосяжні.

Можливість модифікації мережі Петрі дозволяє адаптувати її для моделювання будь-яких об'єктів і процесів. Збільшення складності об'єктів, що моделюються, призводить до зростання розмірності мережі Петрі. Щоб спростити процес побудови моделі і підвищити її наочність, використовують різноманітні модифікації мереж Петрі (нечіткі, кольорові мережі Петрі, та інш.) [5, 6, 8].

### 1. Постановка проблеми

Для вирішення завдання розподілу енергії між споживачами за допомогою мереж Петрі необхідно вирішити декілька задач. Перша задача це побудова моделей для розподілу енергії між споживачами на основі мереж Петрі. Друга задача, це моделювання і отримання оптимального сезонного розподілу енергії між споживачами.

### 2. Моделі на основі мереж Петрі

Модель на основі простої мережі Петрі це

$$N_{\text{petry}} = \{S, T, F, M_0\},$$

де  $S = \{S_1, S_2, \dots, S_g\}$  – множина станів;

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_v\}$  – множина переходів;

$F$  – множина дуг, яка включає підмножини вхідних та вихідних дуг по відношенню до переходу;

$M_0$  – множина, в якій задається початкове маркування мережі Петрі.

Для моделювання задач розподілу можливе використання часових мереж Петрі, що є вдосконаленням мережі Петрі і пов'язано з додаванням до кожного з переходів інформації про часові межі. Це дозволяє визначити і детально описати часові проміжки плану. Часова мережа описується за допомогою наступного виразу:

$$N_{\text{time}} = \{S, T, F, Eft, Lft, M_0\},$$

де  $Eft, Lft$  – функції, що ставляться у відповідність кожному з переходів і визначають нижню ( $Eft$ ) та верхню ( $Lft$ ) часові межі, які задовольняють насту-

пним умовам:  $Eft(t) \leq Lft(t)$ . Модель, яка враховує пріоритети, включає множину пріоритетів для кожного з переходів і має наступний вигляд:

$$N_{pr\_time} = \{S, T, F, Eft, Lft, PR, M_0\},$$

де  $PR = \{Pr_1, Pr_2, \dots, Pr_v\}$  – множина пріоритетів, а  $Pr_{1-v}$  – величини пріоритетів.

Для розширення можливостей аналізу складних систем та процесів, в тому числі для моделювання динамічних планів використовується моделювання на основі кольорових мереж Петрі, головною особливістю яких передбачається врахування змінних різного типу та умов спрацювання переходів. Модель на основі кольорової мережі Петрі має наступний вигляд:

$$N_{col} = \{S, T, F, M_0, Type, Type\_S, Type\_F, Con\},$$

де  $Type$  – множина типів;  $Type\_S$  – множина, яка відображає доступну множину типів у позиціях мережі;  $Type\_F$  – множина типів маркерів, що ініціюють перехід та типи маркерів, які будуть згенеровані переходом;  $Con$  – множина умов ініціації переходів.

### 3. Моделювання розподілу на основі кольорових мереж Петрі

Необхідно промоделювати та знайти сезонний розподіл електроенергії між споживачами на основі побудованих моделей. Електроенергію споживають 8 груп споживачів. Електроенергія поставляється 4 окремими джерелами, а саме: – вітряні електростанції (ВЕС); – сонячні батареї; – акумуляторні батареї; – дизель генератор [1].

Слід зазначити, що сонячні батареї, дизель генератор і акумуляторні батареї дають стабільно одне і теж значення видобутої електроенергії щомісяця. Що стосується ВЕС, то інтенсивність, а відповідно і кількість видобутої енергії цим джерелом залежать від пори року і місяця. Необхідно розподілити енергоресурси в залежності від їх потреб і в залежності від пори року. Моделювання здійснюється за допомогою вільно розповсюджуваного пакета CPN Tools v.4.01 [8].

В таблиці 1 представлено споживання ресурсів за групами споживачів:

Таблиця 1  
Споживання ресурсів за групами споживачів

№ з/п	Види споживачів і роботи	Розмірність показника	Період споживання (пора року, місяць)			
			Весна	Літо	Осінь	Зима
1	1	кВт	25	44,2	23	14,2
2	2	кВт	8,0	8,0	8,0	8,0
3	3	кВт	8,0	8,0	8,0	8,0
4	4	кВт	4,0	5,0	4,0	-
5	5	кВт	5,0	18,0	5,0	-
6	6	кВт	1,0	1,0	1,0	1,0
7	7	кВт	2,0	8,0	2,0	-
8	8	кВт	10,0	-	10,0	40,0
ВСЬОГО			63	92,2	61	71,2

Для вирішення поставленої задачі створено модель енергетичної системи, яка зображена на рис. 1.

У поставленій задачі є 4 джерела електроенергії, а тому було створено *colorset* на мові CPN ML для представлення кожного з джерел. Іншими словами, було створено 4 типи фішок, які можуть бути передані з даного стану. Були створені наступні види фішок: *solar\_energy*, *diesel\_energy*, *wind\_energy*,

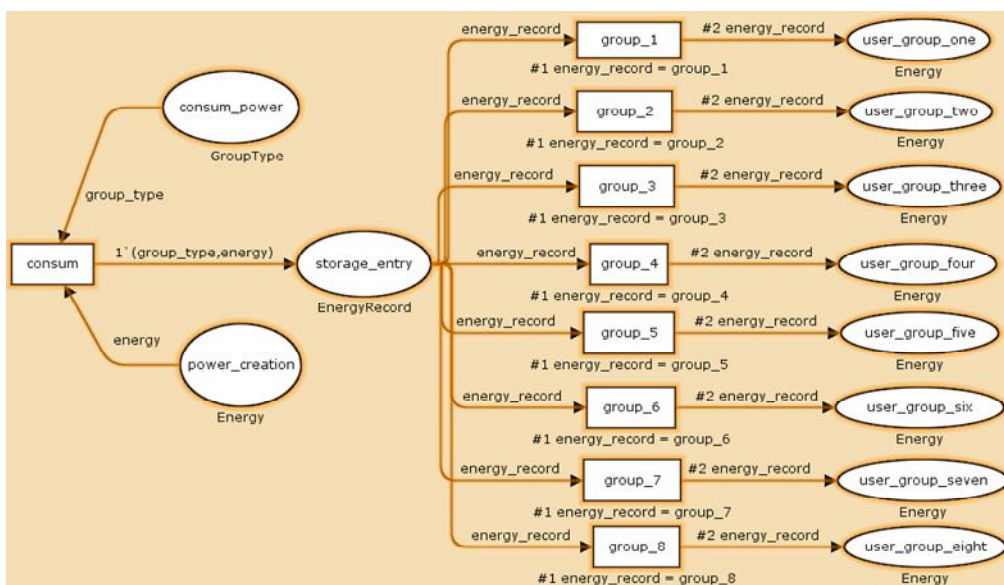


Рис. 1. Модель енергетичної системи

*batar\_energy*, *de solar\_nergy* – представляє собою електроенергію, видобуту сонячними батареями; *diesel\_energy* – електроенергію, вироблену за допомогою дизельних генераторів; *wind\_energy* – електроенергію, вироблену ВЕС та *batar\_energy* – електроенергію, вироблену акумуляційними батареями. Синтаксис об’явлення змінних наведено на рис 2.

Де *Consum\_power* – стан, який зберігає фішки, які відповідають за споживання електроенергії. Тип, який відведено для цього стану, підписаний як *group\_type*.

*Group\_type* – це *colorset*, який відповідає за групу споживачів. Синтаксис можна побачити. Цей колір дозволяє створити 8 видів фішок, для кожної групи споживачів відповідно.

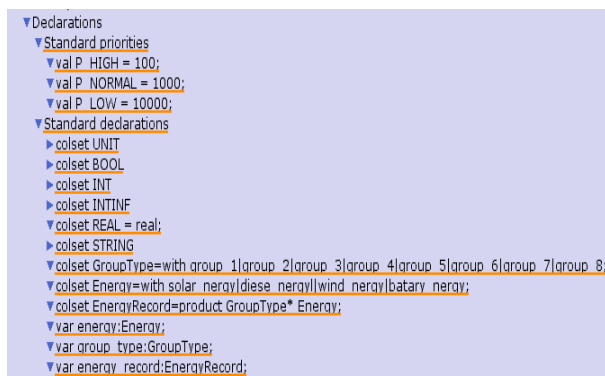


Рис. 2. Синтаксис об’явлення змінних

*Group\_1-group\_8* – переходи фільтрування, які приймають фішки типу *EnergyRecord* та передають тип енергії у стани груп. Кожен з переходів спрацює лише у тому випадку, якщо на вхід прийде фішка з відповідною групою, інакше перехід працювати не буде.

*Storage\_entry* – стан, в якому зберігається тимчасовий запис про *EnergyRecord*. Цей стан необхідний, щоб виконати фільтрування і відповідно розподіл ресурсів на групи. Фішки з цього стану передаються на переходи фільтрування.

*User\_group\_one* – *user\_group\_eight* – стани, у яких відповідно зберігається тип енергії спожитої відповідною групою.

*Consume* – це старт, який приймає фішки двох типів: *Energy*, змінна *energy* та *Group\_type*, змінна *group\_type*. Це означає, що необхідно розподілити відповідний тип енергії відповідній групі. Цей перехід відповідає за об’єднання типу спожитої енергії з групою, яка відповідно його спожила. Деталі роботи мережі Петрі буде наведено нижче. На виході переходу формується одна нова фішка, яка представляє собою запис, цей запис оголошено як *Energy\_Record*.

На наступному етапі оголошуються вхідні дані. Вхідні дані, представляють собою оголошення фішок у вхідних станах. Вхідні стани мережі це стани *consum\_power* та *power\_creation*.

Далі обирається один з видів енергії та група споживачів і здійснюється розрахунок споживання енергії на кожну пору року. Розраховується спожита енергія за кожний сезон. Щоб задати необхідні дані використовуються мультимножини, які в мові CPN ML виглядають так:

Оголошення груп:

- 25`group\_1++;
- 8`group\_2++;
- 8`group\_3++;
- 4`group\_4++;
- 5`group\_5++;
- 1`group\_6++;
- 2`group\_7++;
- 10`group\_8.

Оголошення типів енергії:

- 5`solar\_energy++;
- 90`diesel\_energy++;
- 57`wind\_energy++;
- 4`batar\_energy.

Після 50 циклів моделювання отримуємо результат. Результуюча модель наведена на рис. 3.

На основі результуючої моделі отримано сезонні та місячні розподіли енергетичних ресурсів між споживачами. В таблицях 2, 3, 4, 5 наведено сезонні розподіли.

Таблиця 2

Розподіл ресурсів на зимовий сезон

Група	Сонячні батареї	Дизельний генератор	ВЕС	Акумуляційні батареї
1	-	37	7	-
2	-	1	5	2
3	2	4	2	-
4	-	2	3	-
5	1	10	6	1
6	1	-	-	-
7	1	3	3	1
8	-	-	-	-

Таблиця 3

Розподіл ресурсів на весняний сезон

Група	Сонячні батареї	Дизельний генератор	ВЕС	Акумуляційні батареї
1	1	9	13	2
2	-	4	4	-
3	1	4	2	1
4	1	-	2	1
5	1	2	2	-
6	-	-	1	-
7	1	1	-	-
8	-	4	6	-

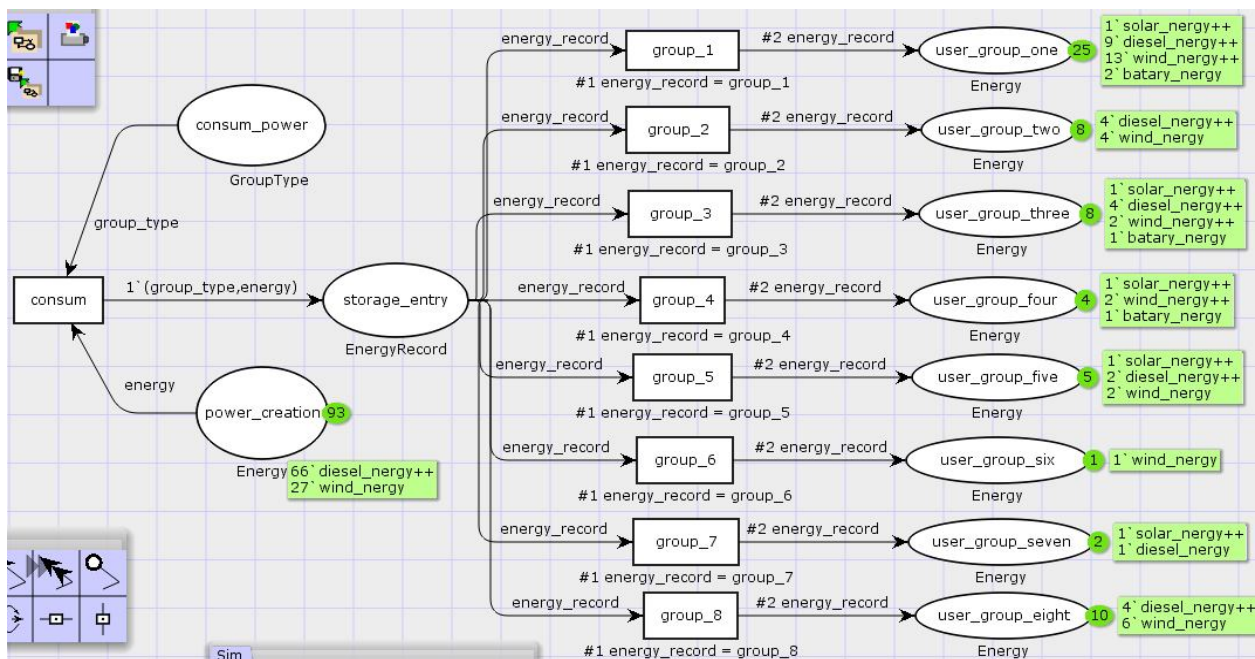


Рис. 3. Резульуюча модель

Таблица 4  
Розподіл ресурсів на літній сезон

Група	Сонячні батареї	Дизельний генератор	ВЕС	Акумуляційні батареї
1	3	5	3	1
2	1	3	3	1
3	1	1	6	-
4	2	-	-	-
5	6	-	-	-
6	4	-	-	1
7	3	-	-	-
8	5	9	20	1

Таблица 5  
Розподіл ресурсів на осінній сезон

Група	Сонячні батареї	Дизельний генератор	ВЕС	Акумуляційні батареї
1	2	17	2	2
2	1	5	2	-
3	-	5	3	-
4	-	1	3	-
5	1	-	4	-
6	1	-	-	-
7	-	-	2	-
8	-	6	2	2

**Висновки**

В результаті моделювання на основі кольорової мережі Петрі були побудовані моделі сезонного розподілу енергетичних ресурсів. Моделювання виконано за допомогою інструменту CPN Tools. Було розроблено систему моделей, яка моделює розподілення енергетичних ресурсів між групами

споживачів. Розроблені моделі були протестовані для розподілення ресурсів сезонно та на кожний місяць і показали свою працездатність. Отримані результати дають можливість зробити висновок, що, незважаючи на випадковий механізм вибору ресурсів, ресурси розподіляються пропорційно в залежності від кількості наявних ресурсів та від потреб відповідної групи споживачів. Результати моделювання ефективні.

**Література**

1. Гожий, О. П. Динамічне планування розподілу ресурсів в автономній енергосистемі [Текст] / О. П. Гожий, І. О. Калініна, Н. Ю. Андреева // *Авіаційно-космічна техніка і технологія*. – 2014. – №10 (117). – С. 131-135.
2. Математичні основи теорії телекомунікаційних систем [Текст] / за заг. ред. В. В. Поповського. – Х. : ТОВ СМІТ, 2006. – 564 с.
3. Питерсон, Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем [Текст] / Дж. Питерсон. – М. : Мир, 1984. – 264 с.
4. Сети Петри [Электронный ресурс] // *Лекции*. – Режим доступа: [http://www.iacp.dvo.ru/lab\\_11/otchet/ot2000/pn3.html](http://www.iacp.dvo.ru/lab_11/otchet/ot2000/pn3.html). – 5.05.2015.
5. Сети Петри – математический аппарат для моделирования [Электронный ресурс] // *Лекции*. – Режим доступа: [http://bourabai.ru/cm/petri\\_nets.htm](http://bourabai.ru/cm/petri_nets.htm). – 5.05.2015.
6. Сети Петри, графы операций и графы переходов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://is.ifmo.ru/books/switch\\_pdf/\\_switch11.pdf](http://is.ifmo.ru/books/switch_pdf/_switch11.pdf). – 5.05.2015.

7. Моделирование телекоммуникационных систем в CPN Tools [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://daze.ho.ua/cpntr-ru.pdf>. – 5.05.2015.

8. CPN Tools [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cpntools.org>. – 5.05.2015.

Надійшла до редакції 25.05.2015, розглянута на редколегії 19.06.2015

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф., декан факультета комп'ютерних наук М. П. Мусієнко, Чорноморський державний університет ім. П. Могили, Миколаїв, Україна.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ НА ОСНОВЕ ЦВЕТНЫХ СЕТЕЙ ПЕТРИ

*А. П. Гожий, В. А. Гожий*

В статье исследуется процесс моделирования распределения энергетических ресурсов. Задача моделирования состоит в нахождении оптимального распределения энергетических ресурсов между потребителями. Рассмотрены различные типы сетей Петри. Моделирование осуществляется на основе цветных сетей Петри. Разработана система моделей, которая моделирует распределение энергетических ресурсов между группами потребителей в энергетической системе. Подробно рассмотрен процесс построения моделей. Представлена модель энергетической системы и результирующая модель, на основе которой определяется сезонное и ежемесячное распределение энергетических ресурсов между потребителями. Приведены результаты моделирования.

**Ключевые слова:** цветные сети Петри, распределение энергетических ресурсов, сезонное распределение, модель энергетической системы.

## DISTRIBUTION OF ENERGY RESOURCES MODELING BASED ON COLOR PETRI NETS

*A. P. Gozhyj, V. A. Gozhyj*

The article examines the process of modeling the distribution of energy resources. The problem of modeling is to find the optimal allocation of power resources between consumers. Various types of Petri nets. Modeling is performed on the basis of colored Petri nets. A system model that simulates the distribution of energy resources between groups of consumers in the energy system. We considered in detail the process of building models. The model of the energy system and the resulting model, which is determined on the basis of seasonal and monthly distribution of energy resources to consumers. The results of the simulation.

**Keywords:** Colored Petri nets, the distribution of energy resources, seasonal distribution, model energy system.

**Гожий Александр Петрович** – канд. техн. наук, доцент, Чорноморський державний університет ім. П. Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: alex\_daos@mail.ru.

**Гожий Віктор Олександрович** – пошукач, Чорноморський державний університет ім. П. Могили, Миколаїв, Україна, e-mail: Victor.Goshyj@gmail.com.