

РОЗРОБКА ДИНАМІЧНИХ МОДЕЛЕЙ ВІТРЯНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ СИСТЕМОЮ GPSS

Розроблена динамічна модель роботи вітряної електростанції, яка враховує технічні характеристики станції, погодні умови, графік завантаження основного споживача та прихід незапланованого споживача. Програмним середовищем є мова моделювання GPSS.

Ключові слова вітряна електроустановка; вітряні електростанція; моделювання; GPSS.

Вступ. У зв'язку з енергетичною кризою пошук альтернативних джерел енергії, стає все більш необхідним. Найбільш популярними є вітряні електростанції (ВЕС), що складаються з вітряних електроустановок (ВЕУ) одного типу або різних типів. Для того, щоб бути в змозі аналізувати та керувати ситуації в їх роботі, потрібно мати адекватну модель ВЕС. У ряді робіт запропонована модель ВЕС, як системи масового обслуговування за допомогою мережі Петрі. Однак мережі Петрі мають можливість розглянути тільки просту структуру системи в зв'язку з громіздким виглядом моделі. Для моделювання систем масового обслуговування міста зручніше користуватися системою моделювання GPSS, яка дозволяє розглядати складні структури у динамічних режимах, врахувати такі випадкові події, як відмови окремих вітрових електроустановок, прихід незапланованих замовлень.

Мета дослідження. Розробка та дослідження GPSS моделі ВЕС, яка включає однотипні вітрові електроустановки підключені паралельно до споживача в залежності від графіка навантаження. У моделі повинні бути враховані такі випадкові події, як прихід незапланованих замовлень, погодні умови та відмови окремих вітрових електроустановок.

Основний матеріал Для розробки моделі роботи ВЕУ потужність, необхідна основному споживачу може бути представлена у вигляді функції погодинного навантаження протягом доби.

Потужність окремої ВЕУ може бути отримана з наступного виразу [1]:

$$P = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot F \cdot k \cdot \xi \quad (1)$$

де F – площа сліду обертання лопаток повітряного ротора визначають [2]:

$$F = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2), \quad (2)$$

де D – зовнішній діаметр повітряного ротора, м; d – внутрішній (по кінцям махів) діаметр повітряного ротора, м; k – коефіцієнт, який враховує втрати потужності під час перетворення механічної енергії ротора в електричну, $k \approx 0,9$ (це добуток коефіцієнтів корисної дії генератора – $\eta_g \sim 0,95$ і редуктора – $\eta_p \sim 0,9$); ξ – коефіцієнт використання енергії вітру, який залежить від профілю лопаток і інших параметрів режиму 0,4-0,45 [1]; ρ густина повітря. При зовнішній температурі $t = +10^\circ\text{C}$ та нормальному атмосферному тиску $B = 101,3$ кПа, $\rho = 1,25 \text{ кг/м}^3$ (для інших умов густина рівна

$$\rho = 1,25 \cdot \frac{B}{760} \cdot \frac{288}{273+t}).$$

Технічні характеристики наведені у паспорті ВЕУ, дані о швидкості та напрямку вітру можна отримати з прогнозу погоди на відповідні проміжки доби з мережі INTERNET.

Для того, щоб краще зрозуміти представлення роботи ВЕС у вигляді системи масового обслуговування звичайною мовою та мовою GPSS можна навести таку таблицю відповідності опису роботи ВЕУ на звичайній мові і мові GPSS.

Таблиця відповідності

ОПИС РОБОТИ ВЕС НА ЗВИЧАЙНОЇ МОВІ	ВІДПОВІДНИЙ ОПЕРАТОР GPSS	ОПЕРАНД 1, ОПЕРАНД 2, ОПЕРАНД 3								
Приход замовлення на електропостачання	GENERATE	(закон розподілу ймовірності інтервалу часу між замовленнями (номер датчику випадкових чисел, параметри закону розподілу)) Приклад: GENERATE (Exponential(1,0,20))								
Вихід замовлення з системи	TERMINATE	кількість замовлень Приклад: TERMINATE 1								
Завдання спеціальних параметрів замовленню (потужність; число ВЕУ потрібне замовнику; час обслуговування; скільки ВЕУ ще потрібне, якщо не вистачало одразу; тип замовлення (основний або додатковий))	ASSIGN	номер параметру, значення параметру формат даних Приклад: ASSIGN 1,2 ASSIGN 2,\$NVEU2 ASSIGN 3,(UNIFORM(1,4,6)) У інших операторах ці параметри визначаються як P1,P2,P3								
Підключення ВЕУ в групу для паралельного споживання	ENTER	Ім'я групи, або номер групи, число одиниць ВЕУ Приклад: ENTER Nak1,1								
Відключення ВЕУ з групи для паралельного споживання	LEAVE	ім'я групи, або номер групи, число одиниць ВЕУ. Приклад: LEAVE Nak1,1								
Можлива чисельність групи для паралельного споживання	Ім'я, або номер групи STORAGE	максимальне число одиниць у групі. Приклад: Nak1 Storage 10								
Термін надання електроенергії (обслуговування)	ADVANCE	(закон розподілу ймовірності інтервалу часу (номер датчику випадкових чисел, параметри закону розподілу)) Приклад: ADVANCE (Normal(1,20,2))								
Вхід замовлення в індивідуальний пристрій (ВЕУ) для обслуговування (надання електроенергії)	SIEZE	Номер пристрою (ВЕУ), або ім'я пристрою Приклад: SEIZE K1								
Вихід замовлення з індивідуального пристрою (ВЕУ) після обслуговування (надання електроенергії)	RELIASE	Номер пристрою, або ім'я пристрою Приклад: RELEASE K1								
Перехід замовлення по мітці	TRANSFER	Режим вибору напрямку, перший можливий блок, останній можливий блок, індекс в зміні номеру блоків від першого до останнього РЕЖИМ ВИБОРУ НАПРЯМКУ <table style="margin-left: 20px;"> <tr> <td style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td style="padding-left: 5px;">All - по усім можливим напрямкам</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td style="padding-left: 5px;">Both - по обом можливим</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td style="padding-left: 5px;">Sim - по одному з можливих</td> </tr> <tr> <td style="font-size: 3em; vertical-align: middle;">}</td> <td style="padding-left: 5px;">, мітка - безумовний перехід</td> </tr> </table> Приклад: TRANSFER BOTH,CHAN_AB1,CHAN_AB2	}	All - по усім можливим напрямкам	}	Both - по обом можливим	}	Sim - по одному з можливих	}	, мітка - безумовний перехід
}	All - по усім можливим напрямкам									
}	Both - по обом можливим									
}	Sim - по одному з можливих									
}	, мітка - безумовний перехід									

Умовний оператор	TEST умова { NE - умова : не рівно EQ - умова : рівно LE - умова : менше, або дорівнює LT - умова : менше GE - умова : більше, або дорівнює GT - умова : більше }	аргумент1 умови, аргумент2 умови, куда ідти, якщо умова не виконується (якщо умова виконується, то переходимо на наступний оператор) Приклад: TEST LE s\$stb,20,reserve_equipment
Копіювання замовлення	SPLIT	кількість копій, мітка оператора, куди послати копії, оригінал іде на наступний блок, параметр нумерації копій
Збір замовлень у групу	ASSEMBLE	кількість n ,(чекає n, пропускає 1) Приклад: Assemble 2
Збір замовлень у групу	GATHER	кількість n, (чекає n, пропускає всі n) Приклад: Gather 3
Визначення змінної (швидкості вітру, температури, тиску та іншого)	Ім'я змінної VARIABLE	[значення, або вираз] Приклад: time_m variable (ac1@24)
Визначення комірки пам'яті (лічильник)	Ім'я комірки пам'яті SAVEVALUE	занесене значення та, якщо потрібно, модифікатор (+ або -) Приклад: ОТК SAVEVALUE 1+,1
Визначення функції користувача	Ім'я FUNCTION	Аргумент функції, якщо Rn1 - то вихід і –го датчика випадкових чисел, тип функції (С-безперервна, D-дискретна) та число точок. Далі через “ /” ідуть пари значень аргументу та функції Приклад: Exp Function Rn1,C8 0,0/0.1,0.104/0.2,0.222/0.3,0.335/0.4,0.509/,0.5,0.69/0.6,0.915/,0.7,1.2
Побудова гистограми дослідної змінної (запис у таблицю)	TABULATE	Ім'я таблиці, або номер Приклад: TABULATE GIST
Опис гистограми	Ім'я таблиці table	Табулюємий аргумент, верхня межа першого інтервалу, довжина інтервалу, кількість інтервалів випадкової величини Приклад: GIST TABLE M1,1,1,20
Системний атрибут: терміну обслуговування замовлення	M1	У наведеному вище прикладі M1- системний атрибут, який пов'язаний з існуванням замовлення
Системний атрибут: абсолютний час	AC1	AC1- не відновляється після команди RESET
Системний атрибут: відносний час	C1	C1- відновляється після команди RESET
Встановлення таймера	GENERATE 480 TERMINATE 1	480 – термін роботи системи. У всіх інших блоках TERMINATE в моделі використовується значення операнда A за замовчуванням (A =0).

Модель роботи ВЕС як системи масового обслуговування наведена нижче.
 DEXTEN VARIABLE 17 ;зовнішній діаметр повітряного ротора

DINTER VARIABLE 16.64 ; внутрішній діаметр повітряного ротора
 ROVARIABLE 1.25 ; густина повітря
 FFVARIABLE 0.785#(V\$DEXTEN^2-V\$DINTER^2)

;графік залежності швидкості вітру від часу прогноз INTERNET

```
WIND FUNCTION FV$TIME_M,C24
0,2.8/1,2.8/2,2.8/3,2.8/4,2.8/5,2.8/6,2.8/7,2.7/8,2.7/9,2.7/10,2.7/11,2.7/12,2.7/13,6.2/14,6.2/15,6.2/16,6.2/17,6.2/18,6.2/19,7.4/20,7.4/21,7.4/22,7.4/23,7.4/24
```

;графік добового навантаження необхідної споживачу 1 в залежності від часу

```
NAGRUF FUNCTION FV$TIME_M,D24
0,200/1,200/2,200/3,200/4,200/5,300/6,500/7,700/8,700/9,700/10,700/11,500/12,500/13,300/14,300/15,300/16,300/17,300/18,300/19,400/20,500/21,500/22,500/23,400/24
```

TIME_M VARIABLE (AC1@24) ; час доби
NVEU1 VARIABLE (FN\$NAGRUF/V\$POWVEU)
;кількість BEU необхідне споживачу 1 в залежності від часу

```
NVEU2 VARIABLE ((UNIFORM (1,30,50))\V$POWVEU)+1;кількість BEU необхідна споживачу 2
```

USER1 TABLE V\$NVEU1,0,1,10 ;опис гістограми кількості BEU необхідної споживачу 1

USER2 TABLE V\$NVEU2,0,1,10 ;опис гістограми кількості BEU необхідної споживачу 2

ZAG_NAK1 TABLE S\$NAK1,1,2,10 ;опис гістограми кількості використаних BEU у BEC

NAK1 STORAGE 7 ;число BEU в BEC

GENERATE 1 ;погодинний прихід замовлення від споживача 1 згідно графіку

```
POWVEU VARIABLE 0.5#V$RO#FN$WIND^3#V$FF#0.9#0.45 ; залежність потужності BEU від вітру
```

NVEU1 VARIABLE (FN\$NAGRUF/V\$POWVEU)+1
;кількість BEU необхідне споживачу 1 в залежності від часу

ASSIGN 1,V\$NVEU1 ;кількість BEU необхідне споживачу 1 в залежності ;від часу заносимо у параметр 1

ASSIGN 2,1 ; часовий крок заносимо у параметр 2

ASSIGN 3,0 ;скільки BEU ще треба підключити, якщо відразу не ;вистачило? (заносимо в параметр 3)

ASSIGN 4,1 ;тип споживача(1-основний,2- додатковий заносимо в ;параметр 4)

TRANSFER ,RASPRED ;безумовний перехід по мітці RASPRED

GENERATE 48,0.5 ;прихід замовлення від споживача 2 (випадково)

```
POWVEU VARIABLE UNIFORM(1,0.1,1)#100
POWVEU VARIABLE
```

```
0.5#V$RO#FN$WIND^3#V$FF#0.9#0.45 ;залежність потужності ;BEU від вітру
```

```
NVEU2 VARIABLE ((UNIFORM(1,30,50))\V$POWVEU)+1 ;кількість BEU ;необхідне 2
```

ASSIGN 1,V\$NVEU2 ;кількість BEU необхідне споживачу 2 заносимо у ;параметр 1

ASSIGN 2,4 ; час обслуговування споживача 2 заносимо у параметр 2

ASSIGN 3,0 ;скільки BEU ще треба підключити, якщо відразу не ;вистачило? (заносимо в параметр 3)

ASSIGN 4,2 ;тип користувача(1-основний,2- додатковий)

TRANSFER ,RASPRED ;безумовний перехід по мітці RASPRED

RASPRED TABULATE USER1 ;заповнення гістограми кількості BEU необхідної споживачу 1

TABULATE USER2 ;заповнення гістограми кількості BEU необхідної споживачу 2

TABULATE ZAG_NAK1 ;заповнення гістограми кількості використаних BEU у BEC

GATE SNF NAK1,OTK ;якщо BEC повністю завантажена, то відмова

TEST GE R\$NAK1,P1,MET1 ;чи достатньо вільних BEU у BEC, щоб підключити споживача (якщо ні – на мітку MET1)

PROVERKA ENTER NAK1,P1 ;підключення і повсякчасна перевірка не змінилося число BEU необхідне споживачеві

ADVANC P2 ;затримка на час обслуговування замовлення

LEAVE NAK1,P1 ;вилучаємо старе число BEU з параметру 2

TABULATE USER1 ;заповнення гістограми кількості BEU необхідної споживачу 1

TABULATE USER2 ;заповнення гістограми кількості BEU необхідної споживачу 2

TERMINATE ;вихід замовлення

MET1 ASSIGN 3,(P1-R\$NAK1) ; скільки BEU ще потрібно підключити, якщо відразу не вистачило заносимо у параметр 3

ENTER nak1,r\$nak1 ;підключаємо вільне число BEU r\$nak1

ADVANCE P2 ;зсув у часі на потрібне число

LEAVE NAK1,(P1-P3)

TEST G P3,0,END1 ;чи потрібно ще підключати BEU у BEC, щоб підключити споживача (якщо ні- на мітку end1)

TRANSFER ,RASPRED ;безумовний перехід по мітці RASPRED

OTK SAVEVALUE 1+,1

END1 TERMINATE ;вихід замовлення

GENERATE 100 ;таймер на 100 годин

TERMINATE 1

Нижче наведений графік погодинного завантаження BEC необхідної кількістю BEC

У цьому прикладі у складі BEC знаходиться 7 BEU (Трускавецька (Львівська область)).

Гістограму числа BEU основного споживача наведено на рис.2. Додаткове замовлення приходить від споживача 2 випадково згідно рівномірному закону розподілу ймовірності з математичним сподіванням 48 год.

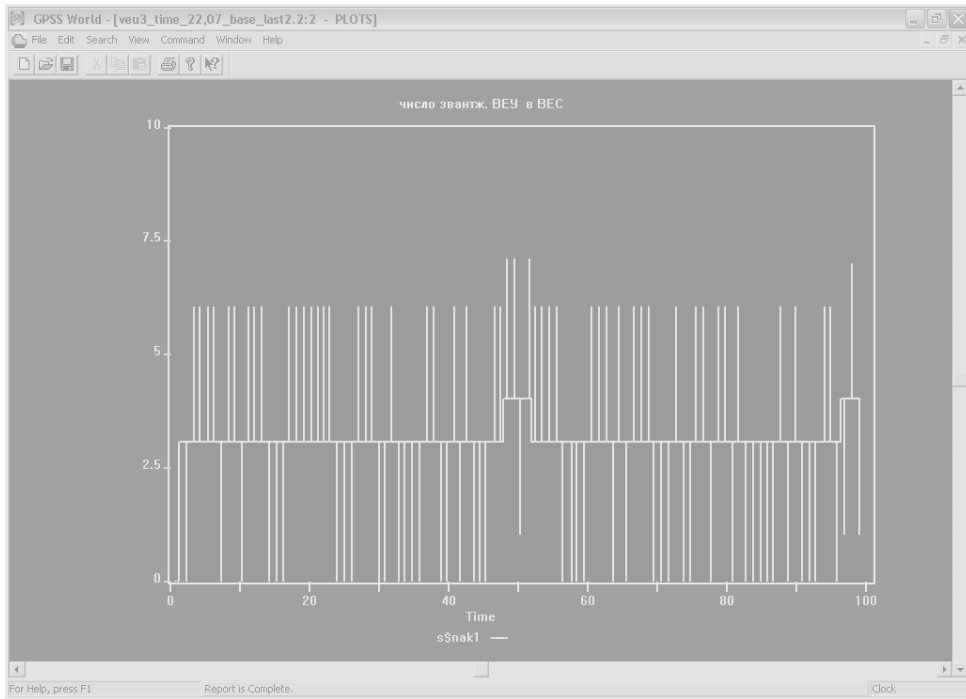


Рис. 1. Графік погодинного завантаження ВЕС необхідної кількістю ВЕУ

У цьому прикладі у складі ВЕС знаходиться 7 ВЕУ (Трускавецька (Львівська область)).

Гістограму числа ВЕУ основного споживача наведено на рис.2. Додаткове замовлення приходить від споживача 2 випадково згідно рівномірному закону

розподілу ймовірності з математичним сподіванням 48 год.

Задачами на майбутнє є розробка компілятора переходу з мови користувача на мову GPSS.

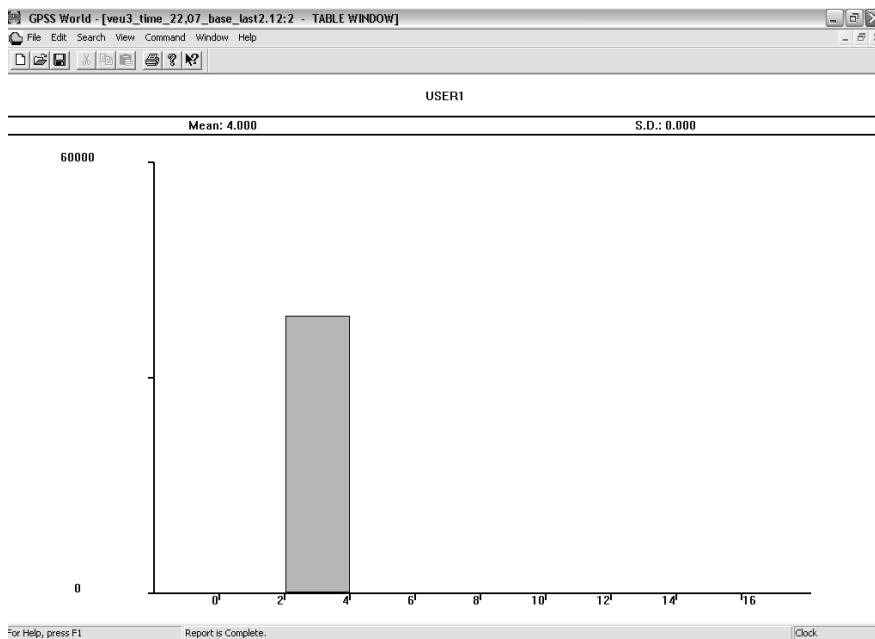


Рис. 2. Гістограма числа ВЕУ основного споживача

Задачами на майбутнє є розробка компілятора переходу з мови користувача на мову GPSS

Висновки. Модель ВЕС може бути представлена у вигляді системи масового обслуговування. При цьому зручніше користуватися системою моделювання GPSS, яка дозволяє розглядати складні структури у динамічних режимах, врахувати такі випадкові події,

як відмови окремих вітрових електроустановок, приход незапланованих замовлень.

Розроблена модель роботи ВЕС, яка враховує технічні характеристики ВЕУ, погодні умови, графік завантаження основного споживача та прихід незапланованого споживача.

Задачами на майбутнє є розробка компілятора переходу з мови користувача на мову GPSS.

ЛІТЕРАТУРА

1. Шуневич О. Б. «Інформаційна технологія формування динамічного складу вітрової електростанції» Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук : Львів – 2013
2. Томашевський В. «Моделювання систем» – К. : Видавнича група BHV, 2005.
3. Томашевский В., Жданова Е. «Имитационное моделирование в среде GPSS» – М. : Бестселлер , 2005.
4. М. О. Медиковський, О. Б. Шуневич. Метод визначення структури вітрової електростанції з врахуванням динаміки навантаження // Моделювання та інформаційні технології : зб. наук. праць. – К. : ІПМЕ НАНУ. – Київ. – 2009. – Вип. 53. – С. 175–181.
5. Medykovsky M. Optimal Choice of Wind Turbines Combination Based on Customer's Requirements // «Сучасні проблеми радіоелектроніки, телекомунікацій та комп'ютерної інженерії» : 10-та міжнар. наук.-техн. конф, 23–27 лют. 2010 р., Львів-Славсько : тези доп. / Нац. ун-т «Львівська політехніка», 2010. – С. 319.
6. М. О. Медиковський, О. Б. Шуневич Моделювання енергодинамічних процесів у системах відновлюваної енергетики / М. О. Медиковський, О. Б. Шуневич // Автоматика-2010 : 17 міжнар. конф. з авт. управ, 27–29 вер. 2010 р., Харків : тези доп. / Харківський нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків. – 2010. – С. 56-58.
7. М.О. Медиковський, В.М. Теслюк, О.Б. Шуневич. The Gomory method applying for wind farm structure determination // Комп'ютерні науки та інформаційні технології CSIT'2011 : матеріали VI міжнар. конф, 16–19 лист. 2011 р., Львів : тези доп. / Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Львів. – 2011. – С. 290-291.
8. R. Martsyshyn, M. Medykovsky, L. Sikora, Y. Miyushkovych, O. Shunevych Cognitive Aspects of the Voice Modality in Multimodal Interfaces Automated Systems // Комп'ютерні науки та інформаційні технології CSIT'2012 : матеріали VII міжнар. конф, 20–24 лист. 2012 р., Львів : тези доп. / Нац. ун-т «Львівська політехніка». – Львів. – 2012. – С. 82–83.

**Е. Ю. Горшеньова,
И. А. Кравець,**
Черноморский национальный университет
им. П. Могилы,
г. Николаев, Украина

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ВЕТРЯНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ СИСТЕМОЙ GPSS

Разработана динамическая модель работы ветряной электростанции, которая учитывает технические характеристики станции, погодные условия, график загрузки основного потребителя и приход неза-планируемого потребителя. Программой среды является язык моделирования GPSS.

Ключевые слова: ветряная электроустановка; ветряная электростанция; моделирование; GPSS.

**K. Y. Gorshenjova,
I. O. Kravets,**
Petro Mohyla Black Sea National University,
Mykolaiv, Ukraine

DYNAMIC MODELLING OF WIND ELECTRICAL POWER STATION IN GPSS SYSTEM

The dynamic model of wind electrical power station on the GPSS system is developed. The model takes into account the technical characteristics of the station, weather conditions, schedule download the main user and the arrival of unplanned users. The program environment is GPSS modeling system.

Key words: electrical windy installation; wind power; simulation; GPSS.

Рецензенти: д. т. н., проф. **М. Т. Фісун;**
д. пед. н, проф. **О. П. Мещанінов.**