

## МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ РОЗПОДІЛУ ТОЧОК ОБЛІКУ В ДОМЕНІ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

**Abstract.** In this article author describes a way of modeling of distribution of registration equipment metering of electricity for domain of Smart Grid. During of modeling the author has used two-dimensional normal distribution as basis of normalized additive function of distribution. The results which have been obtained by modeling can be implemented for different purposes.

### Актуальність

На поточний момент в світі проводяться роботи щодо стандартизації в галузі Smart Grid [1], зокрема, такі роботи проводяться за Технічним завданням Європейської організації зі стандартизації (ЄОС) на розробку стандартів для забезпечення впровадження європейської інтелектуальної електромережі. Одним з питань, які вирішуються протягом виконання робіт за вище вказаним технічним завданням, є надійність функціонування Smart Grid, яка пов'язана з визначенням показника напрацювання на відмову, який залежить від структури домену (розподілу точок обліку) та вирішенням задачі масового обслуговування.

### Постановка задачі

Моделювання динаміки розподілу точок обліку в домені споживання електроенергії як сукупності систем масового обслуговування без конкуренції в домені з нестационарним процесом приросту точок обліку.

### Вирішення задачі

*Марковські процеси* переважно використовують для моделювання енергосистем, в яких генерація відбувається за рахунок енергії вітру. Автономне зберігання, мінливість вітру, пропозиції та попит, ціни та інших фактори можуть бути змодельовані як математична гра. Тут метою є розробка виграної стратегії. Марківські процеси були використані для моделювання і вивчення цього типу систем [2].

Предмет теорії масового обслуговування [3]– встановлення залежності між характером потоку замовлень, продуктивністю окремого каналу (канал обслуговування – сукупність усіх технічних пристроїв, необхідних для обслуговування одного замовлення), кількістю каналів і ефективністю обслуговування. Залежно від умов задачі і мети дослідження характеристиками ефективності обслуговування вважають: середній відсоток замовлень, які будуть обслужені (відносна пропускну здатність системи); середній час простою окремих каналів і системи загалом; середній час повного завантаження системи; середній час неповного завантаження системи; середній час перебування замовлення в системі; середня кількість

замовлень, які перебувають у черзі та ін.

Багаточисельні розрахунки, здійснені під час розв'язування задач теорії масового обслуговування, засвідчують, що здебільшого задовільний за точністю розв'язок можна отримати припустивши, що всі потоки, які діють на систему, – пуассонівські, тобто процес функціонування системи є марковським випадковим процесом з неперервним часом.

Теорія систем масового обслуговування може бути застосована до моделювання процесів технічного супроводження та обслуговування енергетичних мереж.

Припустимо, що домен уявляє собою площину (територію), яка може бути розбита на рівні за геометричними розмірами квадранти.

Припустимо, що:

- кількість квадрантів по ширині домену складає  $\varphi$  одиниць;
- кількість квадрантів по довготі домену складає  $\lambda$  одиниць;
- квадрант з найменшою кількістю точок обліку (далі - ТО) складається з

*Min* ТО;

- на початок впровадження концепції Smart Grid загальна кількість ТО в домені складала  $\Sigma$ ;

- розподіл ТО в домені визначається нормованою адитивною функцією декількох двомірних нормальних розподілів, де кожен розподіл задається вектором  $\Phi = [\varphi_c \ \lambda_c \ D_\varphi \ D_\lambda \ \rho]$ ,

де  $\varphi_c$  – координата центру розподілу по широті;

$\lambda_c$  – координата центру розподілу по довготі;

$D_\varphi$  – дисперсія (розкид ТО) по широті;

$D_\lambda$  – дисперсія (розкид ТО) по довготі;

$\rho$  – коефіцієнт кореляції між розподілом ТО по довготі та широті.

Відповідно до прийняти обмежень функція щільності двомірного нормального розподілу має вигляд:

$$f(i, j, \varphi_c, \lambda_c, D_\varphi, D_\lambda, \rho) = \frac{e^{-\frac{1}{2(1-\rho^2)} \left( \frac{(i-\varphi_c)^2}{D_\varphi} - \frac{2\rho(i-\varphi_c)(j-\lambda_c)}{\sqrt{D_\varphi D_\lambda}} + \frac{(j-\lambda_c)^2}{D_\lambda} \right)}}{2\pi\sqrt{D_\varphi D_\lambda}(1-\rho^2)} \quad (1)$$

Припустимо, що в домені визначено  $k$  локальних максимумів розподілу ТО, які задаються сукупністю векторів  $\Phi = [\varphi_c \ \lambda_c \ D_\varphi \ D_\lambda \ \rho]$ , що утворюють матрицю  $D$  розміру  $k \times 5$ . З урахуванням (1) нормована адитивна функція розподілу ТО буде визначатися в квадранті домену за формулою:

$$M(i, j) = \text{Min} + \text{round}((\Sigma - \text{Min} \cdot \varphi \cdot \lambda) \cdot \left( \frac{1}{k} \sum_{l=1}^k f(i, j, D_{l,1}, D_{l,2}, D_{l,3}, D_{l,4}, D_{l,5}) \right)) \quad (2)$$

В рівнянні (2) оператор *round*() використовується для отримання цілого значенні кількості ТО в квадранті.

Рівняння (2) можна проілюструвати прикладом одного з багатьох варіантів моделювання домену (з 6 локальними максимумами) на момент початку впровадження концепції Smart Grid (моделювання проводилося в системі комп'ютерної алгебри з класу автоматизованого проектування MathCad Prime 2.0.).

Моделювання приросту кількості ТО за час проекту впровадження концепції Smart Grid вимагає від нас введення наступних параметрів (обмежень):

$Td$  – час проекту, за який постійно нерівномірно зростає кількість ТО в домені;

$\Delta\Sigma$  – математичне очікування приросту ТО за час проекту.

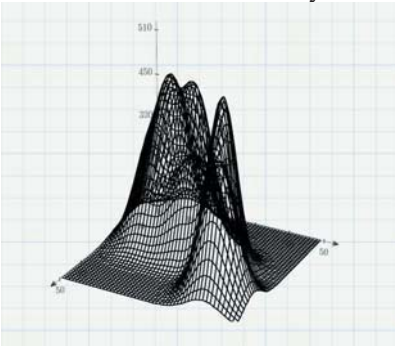


Рис.1а. – трьохмірна модель розподілу ТО в домені розміром 50x50

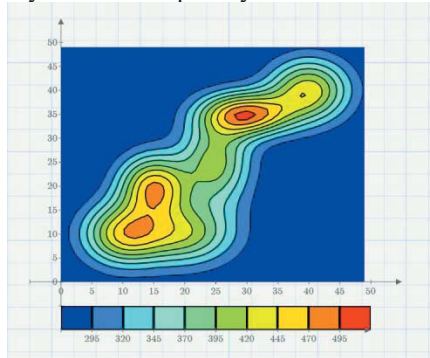


Рис.1б. – Лінії контуру розподілу ТО в домені розміром 50x50

Припустимо, що приріст ТО носить випадковий характер з рівномірним розподілом по квадрантах. Проілюструємо цей процес:

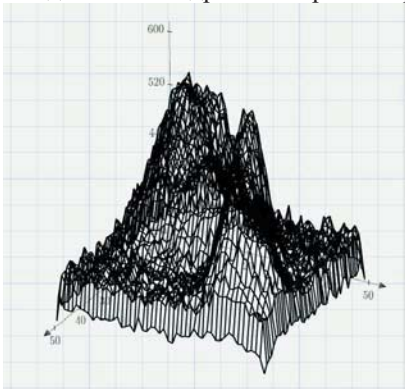


Рис.2а. – трьохмірна модель розподілу ТО в домені розміром 50x50 на кінець проекту

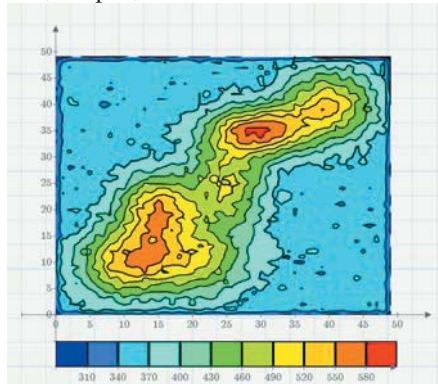


Рис.2б. – Лінії контуру розподілу ТО в домені розміром 50x50 на кінець проекту

Будемо рахувати, що приріст ТО за час проекту впровадження концепції Smart Grid носив нормальних характер, яких міг би бути заданий функцією щільності:

$$g(t) = \frac{1}{2} \cdot (1 + \operatorname{erf}(\frac{t - Tm}{\sqrt{2DTm}})) \quad (3)$$

де  $\operatorname{erf}()$  – функція Лапласа (функція похибки);

$Tm$  – момент максимального приросту ТО;

$DTm$  – розкид моменту максимального приросту ТО.

Функція (3) та модель (2) дають змогу описати рівняння кількості розподілу ТО по квадрантам на момент часу  $t$ :

$$FM(i, j, t) = M(i, j) + \operatorname{round}(g(t) \cdot (MT(i, j) - M(i, j))) \quad (4)$$

де  $FM(i, j, t)$  – кількість ТО в квадранті з координатами  $i, j$  на момент часу  $t$ ;

$M(i, j)$  – кількість ТО в квадранті з координатами  $i, j$  на момент початку проекту (див.: рис.1а, рис.1б);

$MT(i, j)$  – кількість ТО в квадранті з координатами  $i, j$  на момент завершення проекту (див.: рис.2а, рис.2б);

$\operatorname{round}()$  – функція, що повертає округлене ціле значення кількості ТО.

Проїлюструємо нестационарний процес приросту ТО.

Передбачається, що домен не обладнаний на момент початку проекту впровадження концепції Smart Grid обладнанням, що підтримують жадану функціональність (автоматизоване подання показників тощо). Як наслідок, завдання моделювання процесу заміни «старого» обладнання на обладнання з новою функціональністю є актуальним завданням.

Припустимо, що домен обслуговують  $q$  сервісних організацій, які не конкурують одна з одною. Таке припущення є закономірним, якщо домен обслуговує природна монополія, де сервісні організації є її структурні підрозділи.

Припустимо, що кожна сервісна організація задається вектором  $serv = [S_\varphi \ S_\lambda \ DS_\varphi \ DS_\lambda \ S\rho \ \lambda_{serv}]$ , де  $S_\varphi$  – координата широти квадранта, який є центром обслуговування;  $S_\lambda$  – координата довготи квадранта, який є центром обслуговування;  $DS_\varphi$  – розкид (дисперсія) квадрантів обслуговування по широті;  $DS_\lambda$  – розкид (дисперсія) квадрантів обслуговування по довготі;  $S\rho$  – коефіцієнт кореляції розподілу території обслуговування по широті та довготі;  $\lambda_{serv}$  – інтенсивність заміни обладнання на всій сукупності квадрантів, що обслуговуються певною сервісною організацією.

Обрана форма представлення дає можливість гнучкого описання сукупності сервісних організацій та моделювання обслуговування по заміні обладнання.

Будемо вважати, що потоки обслуговування є однорідними стаціонарними [3] без наслідків або найпростішими потоками (Пуассона). На практиці, найпростіші потоки не використовуються, однак припустимо використання пуассоновського потоку для моделювання.

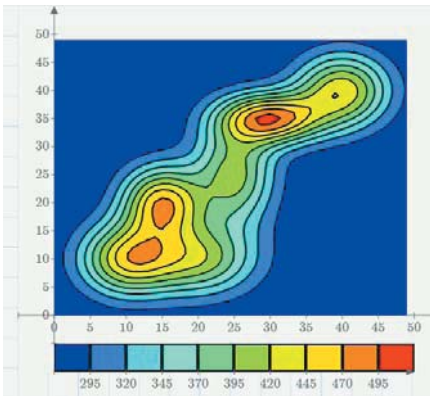


Рис.3а. – Лінії контуру розподілу ТО в домені на початку проекту

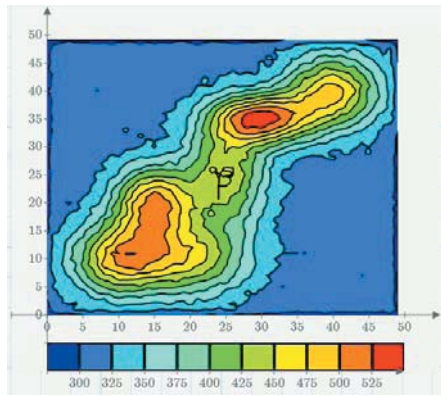


Рис.3б. – Лінії контуру розподілу ТО в домені (40% часу проекту)

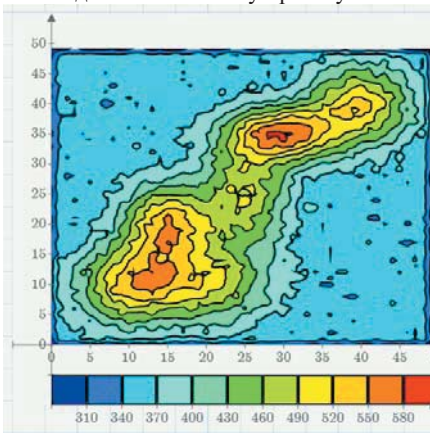


Рис.3в. – Лінії контуру розподілу ТО в домені (50% часу проекту)

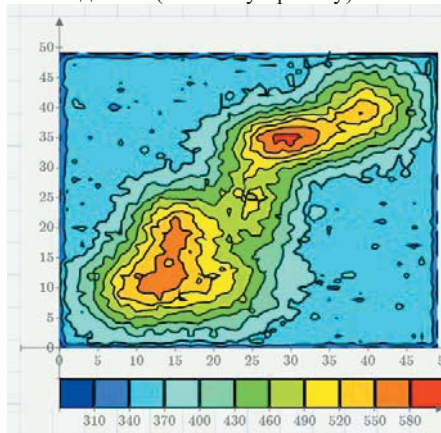


Рис.3г. – Лінії контуру розподілу ТО в домені на кінець проекту

Кількість подій  $n$  найпростішого потоку на інтервалі часу  $t$  розподілено за законом Пуассона:

$$P(n, t) = \frac{(\lambda_{serv} \cdot t)^n}{n!} \cdot e^{-\lambda_{serv} \cdot t} \quad (5)$$

Розподілення Пуассона має необхідні нам властивості – сума незалежних випадкових величин, що розподілені за законом Пуассона, має розподілення Пуассона.

Математичне очікування кількості запитів на обслуговування (заміну ТО) на момент часу  $t$ , обмежене загальною кількістю ТО на цей момент часу (4), є фундаментальним результатом моделювання.

В процесі моделювання в домені, що наводився в якості прикладу вище, проведено моделювання розподілу щільності розподілу «інтересу» декількох сервісних організацій в домені по аналогії з (1).

Для моделювання процесу заміни ТО достатньо було б визначити математичне очікування по закону Пуассона (5). Але, вочевидь є проблема розрахунку через складність обчислення факторіалу від великого числа. Розв'язання цієї проблеми пропонує Закон великих чисел, окремим випадком якого є закон Пуассона. В сучасному глумаченні Закон великих чисел визначає, що за декількох умов, що підлягають визначенню, середнє досить великого числа випадкових величин з ймовірністю, що наближується до одиниці, мало відрізняється від свого математичного очікування.

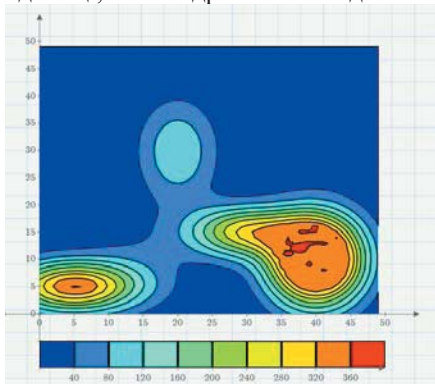


Рис.4а. – Лінії контуру розподілу заміненних ТО в домені (50% часу проекту)

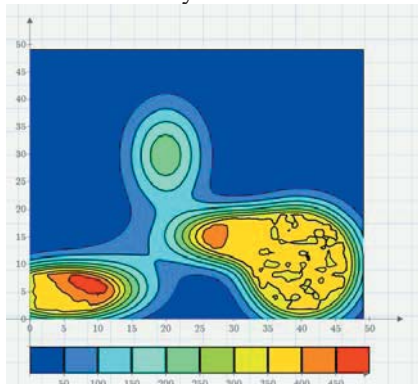


Рис.4б. – Лінії контуру розподілу заміненних ТО в домені на кінець проекту

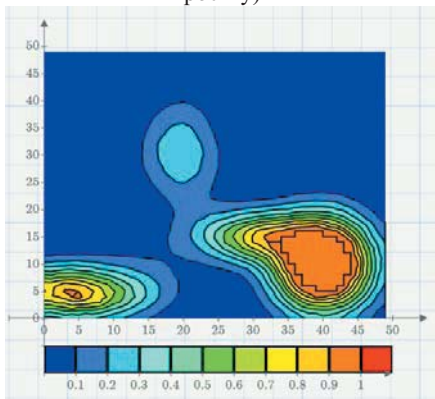


Рис.4в. – Лінії контуру розподілу заміненних ТО в домені (50% часу проекту, частка)

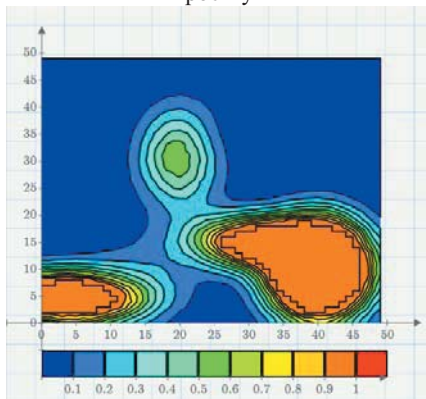


Рис.4г. – Лінії контуру розподілу заміненних ТО в домені на кінець проекту (частка)

Як слід, кількість замовлень на обслуговування в довільно обраному квадранті пропорційна інтенсивності заявок для обраної організації на щільність розподілу «інтересу» обслуговування.

Моделювання процесу заміни ТО з розрахунку на сім сервісних організації в домені, де виявляється шість локальних максимумів та нестационарний процес приросту, проілюструємо контурними діаграмами (рис.4).

Отримана математична модель надає змогу розрахувати кількість заміненого обладнання на момент часу, але математична модель є складною та вимагає значних обчислювальних потужностей для розрахунку. Гістограма кількості заміненого обладнання може мати вигляд (один з варіантів численного моделювання):

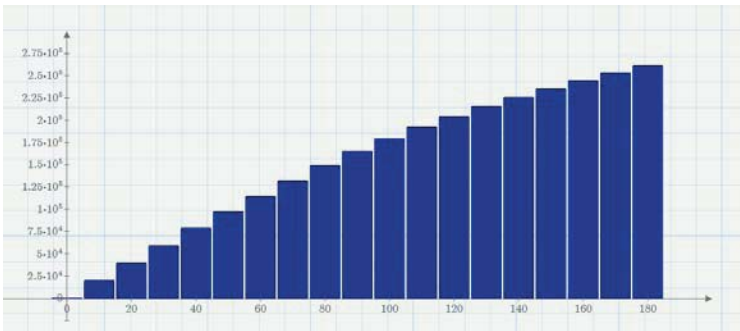


Рис.5. – Гістограма кількості заміненого обладнання від початку проекту

Запропонована модель може бути використана для моделювання розподілу навантаження в SCADA системах (Smart Grid є одним з видів). Враховуючи, що результат моделювання є моделлю системи масового обслуговування в домені з нестационарним процесом приросту точок обліку, що зводиться до квазі-статистик в кожному квадранті, що принципово відрізняє запропонований підхід від результатів дисертаційного дослідження Т.Сомерстада [4].

### **Висновок**

Запропонована модель дає змогу проводити подальші дослідження щодо надійності в SCADA системах, зокрема Smart Grid, та економічної доцільності запровадження будь-яких інструментів або заходів, є гнучким інструментом проведення будь-яких досліджень. Зокрема, запропонована модель дає змогу описувати складні нестационарні процеси динамічних систем та вивчати складні процеси, що відбуваються в енергетичних мережах. За допомогою моделі було проведено розрахунок домену споживання електроенергії в м.Києві, які виявили проблему збереження інформації через потребу в петабайтних розмірах дискових просторів.

1. Европейская комиссия Генерального директората по энергетике. Директорат В. Техническое задание Европейским организациям по стандартизации (ЕОС) на разработку стандартов для обеспечения внедрения европейской интеллектуальной электросети. М/49 EN. – с.10. -2011. – Режим доступа: [http://www.smartgrid.ru/smartgrid/analytics/2012/analytics56/centercolumn/permanent/SmartgridArticleBrief/SmartgridArticleInnerCollection/0/0/text\\_files/file/tech.pdf](http://www.smartgrid.ru/smartgrid/analytics/2012/analytics56/centercolumn/permanent/SmartgridArticleBrief/SmartgridArticleInnerCollection/0/0/text_files/file/tech.pdf) .- Дата доступа: грудень 2012. – Назва з екрану.
2. *M. He, S.Murugesan, J.Zhang*. "Multiple Timescale Dispatch and Scheduling for Stochastic Reliability in Smart Grids with Wind Generation Integration". – 2010. - Режим доступа: <http://arxiv.org/pdf/1008.3932v2.pdf>.- Дата доступа: грудень 2012. – Назва з екрану.
3. *Е.С.Вентцель*. Исследование операций. – М. «Советское радио», 1972, 552 с.
4. *Sommerstad T*. A framework and theory for cyber security assessment./ Submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy. – Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden. – 2012.- 42 p.

*Поступила 25.02.2013р.*

УДК 004.056.5

О.Ю. Юдін, м.Київ

## **АНАЛІЗ МОЖЛИВОСТІ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ ПРИ СТВОРЕННІ SMART GRID СИСТЕМ**

Abstract. The paper describes the determination of concept of the Smart Grid and the analysis of mechanisms of protection of the information which must be used in the Smart Grid.

### **Вступ**

Останнім часом в інформаційному просторі України все частіше з'являються відомості щодо доцільності побудови Smart Grid системи. Актуальність створення такої системи викликана зростаючою необхідністю забезпечення енергетичної безпеки, тобто спроможністю держави забезпечити максимально надійне, технічно безпечне, екологічно прийнятне та обґрунтовано достатнє енергозабезпечення економіки й населення, а також гарантоване забезпечення можливості керівництва держави у формуванні і здійсненні політики захисту національних інтересів у сфері енергетики без надмірного зовнішнього та внутрішнього тиску в сучасних та прогнозованих умовах [1]. Проте в середовищі фахівців досі не сформована єдина думка в визначенні самого поняття Smart Grid. Враховуючи той факт, що це поняття виникло на теренах США пропонується в статті використовувати цей термін в значенні яке використовується в U.S. Department of Energy, а саме: Smart Grid