

### ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА И ИЗМЕНЕНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА РЕГИОНА

В статье определено понятие энергетического потенциала региона. Подробно рассмотрены составляющие этого понятия. Проанализированы существующие методы оценки составляющих энергетического потенциала региона. Определены общие особенности приведенных методов оценки энергетического потенциала региона. Рассмотрена возможность повышения энергетического баланса региона путем привлечения возобновляемых источников энергии.

**Ключевые слова:** энергетический потенциал региона, топливно-энергетические ресурсы, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии, распределенная генерация.

УДК 621.314.212

І.В. ПРИТИСКАЧ

### ВИБІР СИЛОВИХ МАСЛЯНИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ ЗА ВИПАДКОВОГО НЕПЕРІОДИЧНОГО ХАРАКТЕРУ ЕЛЕКТРИЧНОГО НАВАНТАЖЕННЯ

На відміну від детермінованих моделей вибору, що призводить часто до значних похибок, стохастичні моделі вибору дозволяють використовувати модель більш адекватну моделі ЕН як випадковий процес, який може бути як періодичним, так і неперіодичним. В роботі наведено методику вибору силових масляних трансформаторів за критеріями допустимого їх нагрівання та зносу ізоляції на основі термічної моделі згідно МГОСТ14209-97 з використанням статистичних характеристик електричного навантаження як неперіодичного випадкового процесу. Для цього виконувалося імітаційне моделювання температур масла і ННТ обмотки трансформатора, а також відносного зносу його ізоляції, з одержанням їх статистичних характеристик, насамперед, детермінованих функцій квантилів за відповідними ймовірностями. Також проведено порівняння даного підходу з вибором, за якого навантаження розглядається як стаціонарний випадковий процес.

**Ключові слова:** електропостачальна система, електричне навантаження, трансформатор, стохастична модель, термічна модель.

Сучасні принципи побудови електроенергетичних систем передбачають створення інтегрованої системи енергозабезпечення з поступовим підвищенням рівня децентралізації енергозабезпечення. Їх застосування потребує ретельного контролю для забезпечення досконалої експлуатації електричних мереж та створення нових моделей для енергетичного розподілення в умовах недостатньої пропускної спроможності місцевих систем електропередач, що обумовлює великі витрати на модернізацію ліній передачі та трансформаторів [3]. Виникає необхідність якомога точнішого визначення параметрів цих елементів і параметрів їх режимів роботи.

Детерміновані моделі вибору, які зараз використовують в інженерній практиці, часто призводять до неефективного використання ресурсу таких елементів ЕПС, як трансформатори та кабелі. Загально визнано, що найбільш точними моделями вибору трансформаторів є стохастичні моделі, які базуються на моделюванні випадкових фізичних процесів в трансформаторі з використанням ймовірнісної вихідної інформації [1]. На відміну від детермінованих моделей вибору, в яких за основу приймають детермінований аналог електричного навантаження (ЕН) – розрахункові (еквівалентні) навантаження, що призводить часто до значних похибок, стохастичні моделі вибору дозволяють використовувати модель більш адекватну моделі ЕН як випадковий процес, який може бути як періодичним, так і неперіодичним.

Графіки  $H(t)$  ЕН більшості електроустановок різного призначення мають більшу або меншу регулярність, яка обумовлена повторенням операцій технологічного процесу їх роботи. В такому випадку ми можемо розглядати графіки ЕН як реалізації певного періодичного випадкового процесу. Проте існують споживачі, які не мають вираженої циклічності у роботі. Їх навантаження може розглядатися як неперіодичний випадковий процес. Тоді виникає доцільність оцінити результати вибору трансформаторів за критеріями допустимої температури та зносу ізоляції з використанням характеристик такої моделі ЕН та порівняти їх з результатами отриманими з використанням моделі навантаження як стаціонарного випадкового процесу.

**Постановка задачі досліджень:** виконати імітаційне моделювання температур та термічного зносу ізоляції трансформатора згідно термічних моделей нагрівання і зносу ізоляції, наведених в МГОСТ14209-97 [3] з використанням вихідної інформації про ЕН як неперіодичного випадкового процесу.

На основі отриманих результатів оцінити навантажувальну здатність трансформаторів, порівняти результати виконаного вибору з тими, які отримані з використанням моделі навантаження як стаціонарного випадкового процесу.

**Розв'язання задачі досліджень.** По-перше необхідно обробити дані вимірів електричного навантаження для отримання його статистичних характеристик. У разі нерегулярного характеру ЕН виконується наступна послідовність дій:

– Знаходяться інтервали стаціонарності (ІС)  $\Delta t_{\mu}$  нестационарного випадкового процесу ЕН  $H(t)$ .

– Будується функція розподілу та визначається закон розподілу на кожному з отриманих інтервалів стаціонарності.

– На кожному ІС знаходяться оцінки математичного очікування  $\bar{H}_{\mu}$ , середньоквадратичного відхилення  $\tilde{\sigma}_{\mu} [H]$ , коефіцієнта варіації  $\tilde{v}_{\mu} [H]$  та нормованої автокореляційної функції (НАФ)  $\tilde{\rho}_{\mu}(\tau)$ .

– Виконується кластеризація одержаних ІС за значеннями параметрів розподілу ЕН у цих інтервалах. Таким чином визначаються інтервали, які відповідають однаковим режимам роботи досліджуваного споживача.

– Визначаються параметри розподілу ЕН, а також відносні тривалості, які відповідають певним режимам роботи.

Наприклад, для електроприймача на основі даних, отриманих за два місяці, одержано 4 кластери, що відповідають різним режимам роботи з параметрами, наведеними в таблиці 1.

За кожного з кластерів (режимів роботи) ЕН можна вважати стаціонарним випадковим процесом з нормальним законом розподілу, який характеризується певними параметрами розподілу.

Наступним кроком одержуємо сукупність реалізацій температур масла  $\theta_o(t)$  і ННТ обмотки  $\theta_h(t)$  трансформатора, відносного зносу його ізоляції  $L$

Табл. 1. Параметри розподілу ЕН

№ кластеру	Сумарна тривалість, хв	Відносна тривалість, в.о.	$\bar{I}$ , А	$v[I]$ , в.о.	Закон розподілу
1	870	0,020	143,207	0,042	нормальний
2	25110	0,585	177,821	0,045	нормальний
3	4680	0,109	221,883	0,037	нормальний
4	12240	0,285	99,612	0,057	нормальний

– Імітуємо ансамбль реалізацій  $I_v(t)$  навантажувального струму  $I(t)$  на інтервалі часу, рівному тривалості режиму роботи згідно [1]. При цьому може бути використана як більш складна, так і спрощена імітація струму, який підкоряється нормальному закону розподілу.

– Для кожної реалізації навантажувального струму обчислюємо реалізації  $\theta_{o,v}(t)$  і  $\theta_{h,v}(t)$  з використанням термічної моделі трансформатора, а також реалізації його відносного зносу  $L$  згідно МГОСТ14209-97.

Для  $i$ -го моменту часу температури  $\theta_o(t_i)$  та  $\theta_h(t_i)$  знаходимо за виразами:

$$\theta_o(t_i) = \theta_o(t_{i-1}) + \delta\theta_o(\delta t_i); \quad (1)$$

$$\theta_h(t_i) = \theta_o(t_i) + \delta\theta_{h-o}(\delta t_i), \quad (2)$$

де  $\theta_o(t_{i-1})$  – значення температури масла в кінці попереднього  $i-1$  часового інтервалу;

$$\delta t_i = t_i - t_{i-1};$$

$\delta\theta_o(\delta t_i)$  – зміна температури масла на інтервалі  $\delta t_i$ ;

$\delta\theta_{h-o}(\delta t_i)$  – зміна перевищення температури ННТ обмотки над температурою масла на інтервалі  $\delta t_i$ .

– Проводимо статистичну обробку ансамблів реалізацій кожної з характеристик з одержанням їх статистичних характеристик, насамперед, детермінованих функцій квантилів  $\theta_{o,\alpha_0}(t)$ ,  $\theta_{h,\alpha_0}(t)$ ,  $L_{\beta}$  за відповідними ймовірностями  $\alpha_0$  (імовірність перевищення температурою масла або ННТ обмотки певного її значення) та  $\beta$  (імовірність перевищення зносом ізоляції певного значення).

В дослідженнях прийняті наступні спрощення і допущення:

1. Електричний струм  $I(t)$  кожного кластеру розглядався як випадковий стаціонарний процес з еквівалентними параметрами розподілу  $\bar{I}$ ,  $v[I]$  і нормованою АФ  $\rho(\tau)$ .
2. Застосовувалася спрощена імітація реалізацій навантажувального струму з дискретністю  $\delta t_i = 15$  хв.
3. Температура охолодження трансформатора  $\theta_a$  приймалась постійною в часі і рівною  $20^\circ\text{C}$ .
4. Кількість реалізацій  $N$  прийнята рівною 300.

Еквівалентний загальний відносний знос ізоляції трансформатора пропонується визначати як середньозважене значення, яке враховує відносні тривалості кожного кластеру ЕН, за наступною формулою

$$L_{\max \Sigma} = \sum_{i=1}^m L_{\max i} \frac{T_i}{T_{\Sigma}}, \quad (3)$$

де  $T_i$  – загальна тривалість  $i$ -го кластеру;

$T_{\Sigma}$  – сумарна тривалість всіх кластерів;

$L_{\max i}$  – максимальне значення квантиля відносного зносу для  $i$ -го кластеру;

$m$  – кількість кластерів.

В таблиці 2 наведено максимальні значення квантилів температур та відносного зносу ізоляції для розподільних трансформаторів різної потужності з типом охолодження ONAN, які отримано ІМ за  $\alpha_0 = 0,05$  та  $\beta = 0,05$  з параметрами розподілу ЕН, наведеними в таблиці 1.

Табл. 2. Максимальні значення квантилів температур та відносного зносу ізоляції

№ кластеру	$S_{\text{ном}} = 1600 \text{ кВ}\cdot\text{А}$			$S_{\text{ном}} = 2500 \text{ кВ}\cdot\text{А}$		
	$\theta_{o,\alpha_0 \text{ max}},$ °C	$\theta_{h,\alpha_0 \text{ max}},$ °C	$L_{\beta \text{ max}},$ в.о.	$\theta_{o,\alpha_0 \text{ max}},$ °C	$\theta_{h,\alpha_0 \text{ max}},$ °C	$L_{\beta \text{ max}},$ в.о.
1	75,899	100,701	0,812	52,130	64,476	0,016
2	96,155	133,838	23,312	61,937	80,419	0,080
3	121,354	170,374	2383,848	74,122	97,937	0,736
4	55,813	70,601	0,029	43,284	50,421	0,003

На основі цих значень можна зробити висновок про допустимість використання трансформаторів відповідної потужності для живлення даного споживача. Для цього потрібно порівняти отримані значення температур з їх допустимими значеннями, а також обчислити еквівалентний загальний відносний знос ізоляції трансформатора, який повинен бути менший 1.

Як видно з таблиці, для трансформатора з  $S_{\text{ном}}=1600 \text{ кВ}\cdot\text{А}$  як температура масла, так і температура ННТ більші за свої допустимі у нормальному режимі значення, які становлять відповідно  $\theta_{o,r,\text{доп}} = 75^\circ\text{C}$  та  $\theta_{h,r,\text{доп}} = 98^\circ\text{C}$ . Еквівалентний загальний відносний знос ізоляції для цього випадку складе 273,748 в.о., що значно більше одиниці. Навпаки, для трансформатора з  $S_{\text{ном}}=2500 \text{ кВ}\cdot\text{А}$  як температура масла, так і температура ННТ менші за свої допустимі значення за усіх режимів роботи. Еквівалентний загальний відносний знос ізоляції для цього випадку, знайдений за виразом (3), складає 0,128 в.о., що менше одиниці і відповідає терміну служби  $t_c \approx 156$  років за  $t_{c \text{ ном}} = 20$  років.

Отже, можна зробити висновок, що для електропостачання розглянутого споживача необхідно використовувати трансформатор з номінальною потужністю 2500 кВ·А.

Для порівняння виконаємо імітаційне моделювання ансамблю реалізацій температур масла  $\theta_o(t)$  і ННТ обмотки  $\theta_h(t)$ , трансформатора вважаючи ЕН стаціонарним випадковим процесом. Для цього спочатку потрібно отримати його статистичні характеристики, а саме середнє значення  $\bar{I}_{\text{ст}}$  та коефіцієнт варіації  $v_{\text{ст}}[I]$ , використовуючи початкові дані з системи АСКОВЕ.

Розрахунок здійснюємо за виразами:

$$\bar{I}_{\text{ст}} = \frac{\sum_{i=1}^N I_i}{N}; \quad (4)$$

$$v_{\text{ст}} [I] = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^N (I_i - \bar{I}_{\text{ст}})^2}}{\bar{I}_{\text{ст}}}. \quad (5)$$

Використовуючи вище наведений алгоритм одержуємо статистичні характеристики температур  $\theta_{o.a_0}(t)$ ,  $\theta_{h.a_0}(t)$  трансформатора та зносу його ізоляції  $L_{\beta}$  за відповідними ймовірностями  $\alpha_0$  та  $\beta$ . Ці значення для трансформаторів, які розглядалися у першому випадку, наведено в таблиці 3.

Виходячи з даних таблиці 3, також необхідно використовувати трансформатор потужністю 2500 кВ·А. Тобто результати за першим і другим способом співпадають, що пояснюється великою дискретністю шкали номінальних потужностей силових масляних трансформаторів. Однак у другому випадку значно занижений відносний знос ізоляції, а квантілі температур майже рівні значенням, отриманим для другого кластера ЕН першого випадку. Враховуючи це, можна зробити висновок, що у другому випадку значно недооцінюється вплив найбільш завантаженого режиму, якому відповідає третій кластер ЕН. За інших значень ЕН використання другого способу могло б привести до вибору трансформатора з заниженою навантажувальною здатністю.

Табл. 3. Статистичні характеристики температур трансформатора та зносу ізоляції

$S_{\text{ном}} = 1600 \text{ кВ}\cdot\text{А}$			$S_{\text{ном}} = 2500 \text{ кВ}\cdot\text{А}$		
$\theta_{o.a_0 \text{ max}}, ^\circ\text{C}$	$\theta_{h.a_0 \text{ max}}, ^\circ\text{C}$	$L_{\beta \text{ max}}, \text{ в.о.}$	$\theta_{o.a_0 \text{ max}}, ^\circ\text{C}$	$\theta_{h.a_0 \text{ max}}, ^\circ\text{C}$	$L_{\beta \text{ max}}, \text{ в.о.}$
97,375	145,089	42,609	62,792	86,922	0,067

**Висновки.** У разі неперіодичного випадкового процесу електричного навантаження можна скористатись загальним стохастичним підходом до вибору силових масляних трансформаторів за критеріями допустимої температури масла та найбільш нагрітої точки обмотки, а також зносу їх ізоляції, застосувавши методику визначення характеристик процесу електричного навантаження, яка передбачає кластеризацію його інтервалів стаціонарності.

#### Література

1. МГОСТ 14209-97. Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов. Дата введения 2002.01.01.
2. Денисенко М.А. Специальные вопросы электроснабжения. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 288 с.
3. Праховник А. В. Від управління електроспоживанням до енергетики сталого розвитку // Вісник НТУУ «КПІ». Серія «Гірництво». – 2010. – Вип. 19.

I. PRYTYSKACH

### SELECTION OF POWER OIL TRANSFORMERS WITH RANDOM NON-PERIODIC NATURE OF ELECTRIC LOAD

Unlike deterministic selection models, which often leads to significant errors, stochastic selection models can use more adequate model of electrical load as a random process that can be both periodic and non-periodic. In this paper presented the method of oil transformers power selection according to the criteria of their heating and acceptable insulation wear from thermal model according MGOST 14209-97 using statistical characteristics of the electric load as a non-periodic random process. This simulation was carried out by modelling oil and most heated point temperature of the transformer and the relative deterioration of its insulation to provide their statistical characteristics primarily determined by the quantile function with corresponding probabilities. Also presented a comparison of this approach with a selection in which the load is considered as stationary random process.

**Keywords:** power supply system, electrical load, transformer, stochastic model, thermal model.

#### References

1. MGOST 14209-97. Guide to load of power oil transformers. Introduction date – 2002.01.01.
2. Denysenko M.A. Special aspects of electric power supply. - K.: NTUU "KPI", 2009. – 288 p.

3. Prakhovnik A.V. From the power consumption control to sustainable energy development // News of NTUU «KPI». Seriya "Girnistvo." - 2010. - №. 19.

УДК 621.314.212

И.В. ПРЫТЫСКАЧ

### ВЫБОР СИЛОВЫХ МАСЛЯНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ПРИ СЛУЧАЙНОМ НЕПЕРИОДИЧЕСКОМ ХАРАКТЕРЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

В отличие от детерминированных моделей выбора, использование которых часто приводит к значительным погрешностям, стохастические модели выбора позволяют использовать модель более адекватную модель ЕН как случайный процесс, который может быть как периодическим, так и непериодическим. В работе приведена методика выбора силовых масляных трансформаторов по критериям допустимого их нагрева и износа изоляции на основе термической модели согласно МГОСТ14209-97 с использованием статистических характеристик электрической нагрузки как непериодической случайного процесса. Для этого выполнялось имитационное моделирование температур масла и ННТ обмотки трансформатора, а также относительного износа его изоляции, с получением их статистических характеристик, прежде всего, детерминированных функций квантилей по соответствующим вероятностям. Также проведено сравнение данного подхода с выбором, при котором нагрузка рассматривается как стационарного случайный процесс.

**Ключевые слова:** системы электроснабжения, электрическая нагрузка, трансформатор, стохастическая модель, термическая модель.

УДК 621.316.1

О.В. СКАЧОК

### АКТУАЛЬНІСТЬ СТВОРЕННЯ СУЧАСНИХ МЕТОДІВ ОЦІНКИ НЕРІВНОМІРНОСТІ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

Зроблений загальний аналіз стану енергетики України. Проведений порівняльний аналіз методів оцінки нерівномірності електроспоживання класичного та сучасного підходів. Виявлені ряд недоліків в критерії рівномірності графіку електричного навантаження вище наведених підходів. Зроблені відповідні висновки.

**Ключові слова:** електропостачання, графік електричного навантаження, критерій рівномірності.

**Вступ.** Добовий графік електричного навантаження (ГЕН) об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України має характерну нерівномірність у часі (рисунок 1), що поділяється на три частини: зони піку, напівпіку та провалу [6].



Рис. 1. Типовий добовий графік навантаження енергосистеми України

Наведена нерівномірність ГЕН енергосистеми ускладнює забезпечення балансу попиту і пропозиції на електроенергію у вузлах її споживання та недопущення зміни частоти мережі змінного струму і