

В. М. БАКЛИЦЬКИЙ

ФОРМУВАННЯ КОЕФІЦІЄНТУ НАРОСТАННЯ ШКАЛИ ПОТУЖНОСТЕЙ СИЛОВИХ ТРАНСФОРМАТОРІВ З ВРАХУВАННЯМ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ ПІДСТАНЦІЙ

В статті наведено послідовність формування коефіцієнту наростання шкали потужностей силових трансформаторів з врахуванням експлуатаційних показників підстанцій. Для цього, на основі техніко-економічної моделі витрат на трансформацію електричної енергії розроблено вираз для пошуку оптимальної потужності силових трансформаторів 110 кВ. Розроблений вираз використано для знаходження оптимальної потужності силових трансформаторів 110 кВ в умовних одиницях, з врахуванням завантаженості підстанцій, що являється основою для формування коефіцієнту наростання шкали потужностей силових трансформаторів. Пошук оптимальної потужності виконано на основі відхилень показників максимальної завантаженості силових трансформаторів та часу максимальних витрат. Показники часу максимальних витрат та максимальної завантаженості розраховано згідно даних погодинної завантаженості силових трансформаторів, з врахуванням наявності вузлів генерації на шинах вторинної напруги. Формування коефіцієнту наростання шкали потужностей силових трансформаторів виконано шляхом пошуку математичного очікування оптимальної потужності та його зсуву на основі границь розподілу двох суміжних потужностей силових трансформаторів. Обґрунтування сформованого коефіцієнту наростання шкали потужностей силових трансформаторів виконано за критерієм мінімуму технологічних витрат електричної енергії, шляхом зіставлення добових графіків витрат в силових трансформаторах. За результатами досліджень слідує, що застосування отриманого коефіцієнту дозволяє зменшити рівень технологічних витрат. Дослідження виконано на прикладі діючих підстанцій з двообмотковими трансформаторами 110 кВ з використанням схеми встановленого режиму роботи електричної мережі.

Ключові слова: добовий графік навантаження, електрична мережа, коефіцієнт наростання шкали потужностей, критеріальний метод, оптимізація, підстанція, силовий трансформатор, техніко-економічна модель.

V. M. BAKLYTSKYI

FORMATION THE COEFFICIENT OF GROWTH FOR THE POWER SCALE OF TRANSFORMERS TAKING INTO ACCOUNT THE OPERATIONAL INDICATORS OF SUBSTATIONS

The article describes the sequence of formation of the growth coefficient of the transformers power scale, taking into account the operational indicators of substations. For this purpose, an expression for finding the optimal power of 110 kV transformers has been developed on the basis of a technical-economic model of costs for the transformation of electrical energy. The developed expression is used to find the optimal power of transformers of 110 kV in conventional units, taking into account the load of substations, which is the basis for the formation of the growth coefficient of the transformers power. The search for optimal power was performed on the basis of deviations of the indicators of the maximum load of transformers and the time of maximum losses. The time indicators of maximum losses and maximum load are calculated according to the hourly load data of transformers, taking into account the presence of generation nodes on the secondary voltage buses. The formation of the growth coefficient of the scale of transformers is performed by finding the mathematical expectation of the optimal power and its shift based on the boundaries of the distribution of two adjacent powers of transformers. The substantiation of the formed coefficient of growth of the transformers power was performed according to the criterion of minimum technological losses of electrical energy, by comparing the daily losses schedules in transformers. According to the research results, it follows that the application of the obtained coefficient allows to reduce the level of technological losses. The study was carried out on the example of operating substations with two-winding transformers of 110 kV using the scheme of the established mode of operation of the electric network.

Keywords: daily load schedule, electric network, power growth coefficient, criterion method, optimization, substation, transformers, technical and economic model.

Постановка проблеми. Силове обладнання на більшості підстанцій електричних мереж прийнято стратегій розвитку, які на сьогодні є застарілими. Тенденції щодо енергоспоживання змінилися, що призвело до зміни ключових показників на підставі яких приймається рішення про застосування того чи іншого обладнання- це стосується і силових трансформаторів електричних мереж (ЕМ) [1].

Слід зауважити, що потужність силових трансформаторів на підстанціях приймалася на основі прогнозування значних обсягів споживання електроенергії в промислову секторі, яке на даний час зменшується. Це дає підстави для аналізу показників завантаженості силових трансформаторів з метою оптимізації і зменшення технологічних витрат активної потужності. Зокрема є доцільним приведення коефіцієнту наростання шкали потужностей трансформаторів у відповідність до експлуатаційних параметрів та діапазонів переданої потужності.

При пошуку оптимальної потужності силових трансформаторів для ряду підстанцій постає необхідність в аналізі великої кількості інформації, варіювання якої знаходиться в широкому діапазоні. Це призводить до необхідності застосування методів комплексного аналізу, або збільшення кількості розрахунків з заданням достовірних початкових даних.

Для реалізації комплексних задач раціонально застосовувати критеріальний метод, який дозволяє проводити аналіз інформації шляхом введення критеріїв подібності, оскільки вони можуть бути прийнятими для широкого ряду параметричних інтервалів. Також, застосування критеріального методу дає можливість відслідковувати зміни цільової функції при варіюванні вихідних даних [2].

Аналіз публікацій. У 80–90-х роках наводилися роботи із застосуванням критеріального методу спрямовані на аналіз техніко-економічної моделі витрат на трансформацію електричної енергії для мереж електропостачання сільськогосподарської

© В. М. Баклицький, 2024

сфери. Роботи висвітлювали можливість застосування критеріального методу, але не були спрямовані на вирішення оптимізаційних задач.

Застосування критеріального методу для оптимізації керування режимами електроенергетичних систем при вирішенні конкретних проектних задач описано в [3].

Використання критеріального методу висвітлено в роботах, які успішно застосовуються для оптимізації параметричних інтервалів перерізів проводів повітряних ліній електропередачі [4].

Щодо вирішення оптимізаційної задачі покращення показників енергоефективності ЕМ шляхом зменшення рівня технологічних втрат активної потужності в діючих силових трансформаторах, то на сьогодні вона являється актуальною для електроенергетичної галузі.

Мета статті. Сформувані коефіцієнт наростання шкали потужностей силових трансформаторів з врахуванням експлуатаційних показників підстанцій і обґрунтувати його за критерієм мінімуму технологічних втрат електричної енергії для покращення показників енергоефективності ЕМ.

Розроблення виразу для пошуку оптимальної потужності силових трансформаторів 110 кВ. Техніко-економічна модель витрат на трансформацію електричної енергії має вигляд [2]:

$$Z_{\text{тр}} = (P_{\text{н}} + P_{\text{тр}})K_{\text{тр}} + \delta \Delta P_{\text{хх}} C_{\text{T}} T_{\text{в}} + \delta \Delta P_{\text{кз}} C_{\text{т}} \left(\frac{S_{\text{max}}}{S} \right)^2, \quad (1)$$

де $P_{\text{н}}$ – коефіцієнт ефективності;

$P_{\text{тр}}$ – сумарний коефіцієнт щорічних відрахувань на амортизацію, ремонт і обслуговування;

$K_{\text{тр}}$ – вартість трансформатора;

δ – коефіцієнт, що враховує збільшення вартості електроенергії в залежності від відстані мережі до джерела живлення;

S – потужність трансформатора;

S_{max} – максимальне завантаження трансформатора

$\Delta P_{\text{хх}}$ – втрати потужності холостого ходу трансформатора;

$\Delta P_{\text{кз}}$ – втрати потужності трансформатора під навантаженням при номінальних режимах роботи;

$T_{\text{в}}$ – річна тривалість роботи;

τ – час максимальних втрат;

C_{T} , $C_{\text{т}}$ – приведена вартість 1 МВт·год втрат електроенергії при тривалості $T_{\text{в}}$, τ ;

Для пошуку оптимальної потужності силових трансформаторів техніко-економічна модель (1) наводиться у спрощеній формі з застосуванням алгоритмів апроксимації та має вигляд [2]:

$$Z_{\text{тр}} = A_1 S^b + A_2 S^{-b_1}. \quad (2)$$

де A_1 , A_2 – узагальнені константи, до складу яких входять: апроксимаційні коефіцієнти витрат на втрати холостого ходу, апроксимаційні коефіцієнти втрат під навантаженням та початкові параметри, необхідні для

визначення витрат на втрати під навантаженням;

$$A_1 = a, A_2 = \delta \Delta P_{\text{кз}} C_{\text{т}} \tau S_{\text{max}}^2;$$

b , b^{-1} – апроксимаційні коефіцієнти ступеню оптимізаційного параметру, отримані методом найменших квадратів;

Формування базової техніко-економічної моделі виконується для ряду двообмоткових силових трансформаторів, характеристики яких наведено в табл. 1 [5].

Таблиця 1 – Технічні характеристики силових трансформаторів на підстанціях

Тип	$S_{\text{ном}}$, МВА	Напруга, кВ		$P_{\text{хх}}$, кВт	$P_{\text{кз}}$, кВт
		ВН	НН		
ТМН 2500/110	2,5	115	10,5	5,5	22
ТМН 6300/110	6,3	115	10,5	10	44
ТДН 10000/110	10	115	10,5	14	58
ТДН 16000/110	16	115	10,5	18	85

Для техніко-економічної моделі (1) приймаються наступні показники параметрів, які є оптимальними:

- $\delta = 1,1$,
- $S_{\text{max}} = 0,7 \cdot S$,
- $T_{\text{в}} = 8760$ год,
- $\tau = 2800$ год,
- $C_{\text{T}} = 0,034$ грн./МВт,
- $C_{\text{т}} = 0,042$ грн./МВт.

Вартість втрат під навантаженням приймається відповідно до показників: середньорічної вартості електричної енергії на ринку на добу, тарифу на розподіл електричної енергії, націнки ринку, тарифу на передачу, маржі постачальнику та коефіцієнту приведення за термін служби силового трансформатора [6–8]. Вартість втрат холостого ходу приймається шляхом множення вартості втрат під навантаженням на коефіцієнт наведений в [9].

Після апроксимації техніко-економічна модель, отримана з застосуванням вищенаведених параметрів, буде мати наступні показники ступенів:

$$Z_{\text{тр}} = A_1 S^{0,8} + A_2 S^{-1,25}. \quad (3)$$

Для виконання пошуку оптимальної потужності з врахуванням експлуатаційних параметрів модель (3) представляється в критеріальній формі:

$$\dot{Z}_{\text{тр}} = \pi_1 S^{0,8} + \pi_2 S^{-1,25}, \quad (4)$$

де π_1 , π_2 – критерії подібності, які відображають співвідношення складових витрат техніко-економічної моделі.

Вираз для пошуку оптимальної потужності знаходиться на основі рівняння [10]:

$$\frac{dZ_{\text{тр}}}{dS} = 0. \quad (5)$$

Виходячи з отриманої техніко-економічної моделі в критеріальній формі (4) та рівняння (5) вираз для пошуку оптимальної потужності силового трансформатора буде мати вигляд:

$$S_{\text{ек}} = \sqrt[2,05]{\frac{1,25A_2}{0,8A_1}} = \left(\frac{1,25A_2}{0,8A_1}\right)^{0,49} = \left(\frac{\pi_1 A_2}{\pi_2 A_1}\right)^{0,49}. \quad (6)$$

Знаходження оптимальної потужності силових трансформаторів 110 кВ з врахуванням завантаженості підстанцій. Для подальших розрахунків, пошук оптимальної потужності силових трансформаторів виконується в умовних одиницях на основі відхилень експлуатаційних показників від прийнятих оптимальних, при цьому за базову приймається потужність існуючого трансформатора на підстанції. Показниками на основі яких виконуються розрахунки є час максимальних втрат, τ , та максимальна завантаженість силового трансформатора, S_{max} , всі інші параметри приймаються оптимальними. Алгоритм пошуку оптимальної потужності ототожнює показники витрат на трансформацію електричної енергії з експлуатаційними показниками до показників витрат техніко-економічної моделі (1), при цьому критерії подібності залишаються незмінні [11]. За правильного вибору оптимальних показників застосування оптимальної потужності призводить до зменшення витрат в силових трансформаторах.

Спираючись на вищенаведене, вираз для пошуку оптимальної потужності буде мати вигляд:

$$\dot{S}_{\text{ек}} = (\tau \dot{S}_{\text{max}}^2)^2. \quad (7)$$

Таблиця 2 – Експлуатаційні показники силових трансформаторів на підстанціях

№ ПС	Потужність існуючого трансформатора, кВа	Розраховані експлуатаційні показники		Відхилення експлуатаційних показників та оптимальна потужність		
	S, кВа	τ , год	S_{max} , кВа	$\dot{\tau}$	\dot{S}_{max}	$\dot{S}_{\text{ек}}$
ПС1	10000	6178,4	2912	2,21	0,42	0,6
ПС2	6300	6178,5	1087,7	2,21	0,25	0,4
ПС3	10000	4798,9	376,9	1,71	0,05	0,1
ПС4	6300	4908	729,93	1,75	0,17	0,2
ПС5	6300	7742,6	816	2,77	0,19	0,3
ПС6	6300	5404,3	1123,5	1,93	0,25	0,4
ПС7	6300	5580	536,7	1,99	0,12	0,2
ПС8	6300	7444,1	984,1	2,66	0,22	0,3
ПС9	10000	5148,5	4147	1,84	0,59	0,8
ПС10	6300	6530,6	679,7	2,33	0,15	0,2
ПС11	6300	6120,6	290,5	2,19	0,07	0,1
ПС12	6300	4829,4	795,4	1,72	0,18	0,2
ПС13	6300	2001,8	2979,1	0,71	0,68	0,6
ПС14	10000	1919,5	8166,6	0,69	1,17	1,0
ПС15	6300	5590,3	467,84	2,00	0,11	0,2
ПС16	6300	5590	1316,9	2,00	0,30	0,4
ПС17	10000	5623,4	9338,1	2,01	1,33	1,9
ПС18	6300	5417,2	361,1	1,93	0,08	0,1
ПС19	6300	5253,4	1109,3	1,88	0,25	0,3
ПС20	6300	6444,4	523,9	2,30	0,12	0,2
ПС21	10000	3989,6	4772,6	1,42	0,68	0,8
ПС22	6300	6149	1579,9	2,20	0,36	0,54
ПС23	6300	5673,8	1444,4	2,03	0,33	0,47

Пошук експлуатаційних показників τ і S_{max} виконується на основі добових графіків завантаженості діючих підстанцій ЕМ [12]. Знайдені показники τ і S_{max} та їхні співвідношення в умовних одиницях $\dot{\tau}$ і \dot{S}_{max} та оптимальна потужність $\dot{S}_{\text{ек}}$ для підстанцій, що аналізуються, наведені в табл. 2.

Формування коефіцієнту наростання шкали потужностей двообмоткових трансформаторів 110 кВ. Формування коефіцієнту наростання шкали потужностей силових трансформаторів виконується шляхом пошуку математичного очікування оптимальної потужності та його зсуву на основі границь розподілу двох суміжних потужностей силових трансформаторів.

Для знаходження значення математичного очікування використовується вираз [13]:

$$M(x) = \sum_{i=1}^n x_i p_i, \quad (8)$$

де n – загальна кількість можливих значень оптимальної потужності;

x_i – оптимальна потужність для певної підстанції;

p_i – вірогідність появи оптимальної потужності.

Вірогідність появи оптимальної потужності знаходиться за виразом [13]:

$$p_i = \frac{m}{n}, \quad (9)$$

де m – кількість появ розрахункового значення оптимальної потужності.

Результати розрахунків вірогідності появи оптимальних потужностей наведено в табл. 3.

Таблиця 3 – Вірогідності появи оптимальних потужностей

Величина оптимальної потужності, S_{ec}	Кількість появ розрахункового значення оптимальної потужності, m	Вірогідність появи оптимальної потужності, p_i
1,9	1	0,04
1	1	0,04
0,8	2	0,09
0,6	2	0,09
0,5	2	0,09
0,4	5	0,22
0,3	1	0,04
0,2	6	0,26
0,1	3	0,13

Спираючись на значення вірогідностей появи потужностей (табл. 3), згідно виразу (6), математичне очікування оптимальної потужності буде становити: $M(x) = 0,45$.

На основі граничних значень розподілу потужності та отриманої величини математичного очікування, коефіцієнт наростання оптимальної потужності буде складати $K_n = 2,25$, в той час як існуючий коефіцієнт наростання потужності становить $K_n = 1,6$. Зсув математичного очікування двох суміжних потужностей відображено на рис. 1.

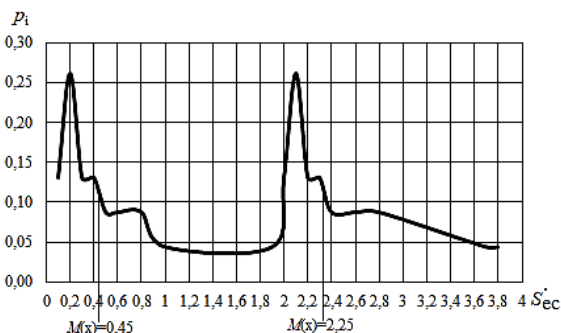


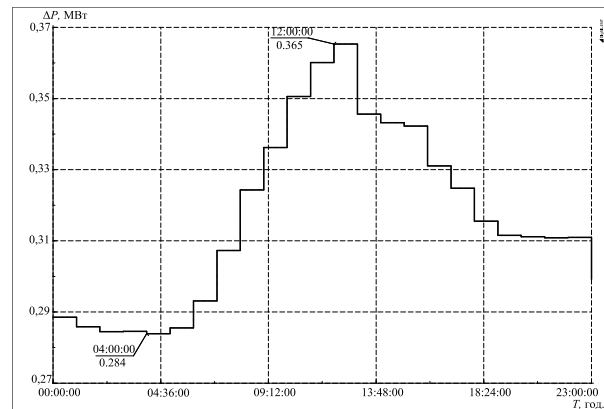
Рисунок 1 – Зсув математичного очікування суміжних потужностей

Обґрунтування коефіцієнту наростання шкали потужностей двообмоткових трансформаторів 110 кВ. Існуючий номенклатурний ряд двообмоткових силових трансформаторів 110 кВ складається з 8 трансформаторів [5]: ТМН 2500/110, ТМН 6300/110, ТДН 10000/110, ТДН 16000/110, Т(Р)ДН 25000/110, Т(Р)ДН 40000/110, ТДН 63000/110, Т(Р)ДН 80000/110.

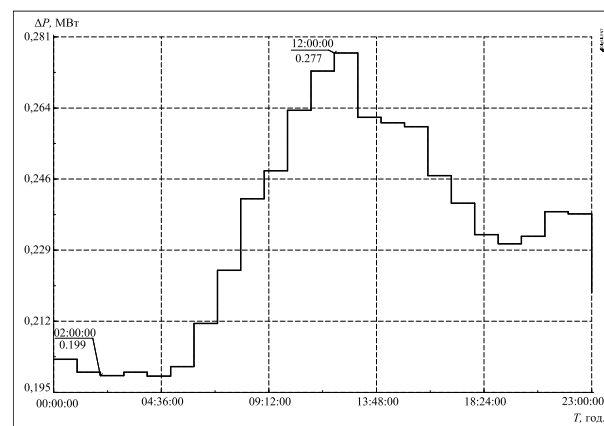
Сформований коефіцієнт наростання шкали потужностей силових трансформаторів дозволяє оптимізувати цей ряд з врахуванням діапазонів максимального завантаження. Відповідно до вище наведеного, з рішення оптимізаційної задачі слідує, що в подальших дослідженнях має сенс використовувати наступні силові трансформатори: МН 2500/110, ТДН 10000/110, ТДН 25000/110.

Обґрунтування сформованого коефіцієнту наростання шкали потужностей двообмоткових трансформаторів 110 кВ виконується за критерієм мінімуму технологічних втрат електричної енергії,

шляхом зіставлення добових графіків втрат підстанцій. Для цього використовуються типи трансформаторів які визначено з застосуванням сформованого коефіцієнту і виконується порівняння рівня втрат на підстанціях до та після зміни потужності трансформаторів. Розрахунки виконані в програмному комплексі PowerFactory шляхом квазідинамічного моделювання і наведені на рис. 2 а та б.



а



б

Рисунок 2 – Добові графіки активних втрат в силових трансформаторах до застосування (а) та після застосування (б) отриманого коефіцієнту наростання потужності

Відповідно графіку наведеного на рис. 2 а загальний рівень активних втрат в силових трансформаторах становить 7,6 МВт год, а для графіку наведеного на рис. 2 б ця величина становить 5,6 МВт год, що на 2 МВт год менше. Вищенаведене свідчить про зменшення рівня активних втрат електричної енергії після застосування отриманого коефіцієнту наростання потужності.

Висновки. На основі техніко- економічної моделі витрат на трансформацію електричної енергії в критеріальній формі розроблено вираз для пошуку оптимальної потужності двообмоткових силових трансформаторів 110 кВ. З використанням розробленого виразу сформовано коефіцієнт наростання шкали потужностей двообмоткових трансформаторів 110 кВ, який становить $K_n = 2,25$. Обґрунтовано пропонуємої коефіцієнт наростання шкали потужностей трансформаторів 110 кВ за

критерієм мінімуму технологічних втрат електричної енергії. За результатами досліджень слідує, що застосування отриманого коефіцієнту дозволяє зменшити рівень технологічних втрат електричної енергії.

Список літератури

1. Про схвалення Енергетичної стратегії України на період до 2050 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України від 21.04.2023 р. № 373-р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-p#Text>.
2. Черкашина В. В., Баглицький В. М. Формування і аналіз техніко-економічної моделі трансформації електричної енергії із застосуванням критеріального методу. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Серія: Енергетика: надійність та енергоефективність*. 2022. № 1 (4). С. 73–78. DOI: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2022.01.04>.
3. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. О. Оптиміальне керування нормальними режимами електроенергетичних систем критеріальним методом з використанням нейро-нечіткого моделювання. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2012. № 1. С. 127–130.
4. Бондаренко В. О., Черемісін М. М., Черкашина В. В. Системний підхід передпроектної оцінки повітряних ліній в умовах ринкових відносин: монографія. Харків: Факт, 2013. 260 с.
5. ДСТУ 2104-92. Трансформатори силові масляні загального призначення класів напруги 110 і 150 кВ. Технічні умови. На заміну ГОСТ 12965-85; чинний від 1993-07-01. Вид. офіц. Київ, 1993. 41 с.
6. Розрахунок ціни РДН. *Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг*. URL: <https://www.nerc.gov.ua/monitoring-rinku-elektrichnoyi-energiyi/operativnij-monitoring-rinku-elektrichnoyi-energiyi/rozrahunok-cini-rdn>.
7. Про тарифи на електроенергію. *АТ «Вінницяобленерго»*. URL: <https://voe.com.ua/news/pro-taryfy-na-elektroenerhiyu>.
8. Про встановлення тарифу на послуги з передачі електричної енергії НЕК «УКРЕНЕРГО» на 2024 рік: Постанова Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг від 09.12.2023 р. № 2322. URL: <https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-vstanovlennya-taryfu-na-poslugi-z-peredachi-elektrichnoyi-energiyi-nek-ukrenergo-na-2024-rik>.
9. ГКД 340.000.002-97. Визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику. Методика. Енергосистеми і електричні мережі. Чинний від 1997-01-20. Вид. офіц. Київ, 1997. 51 с.
10. Черкашина В. В., Баглицький В. М. Дослідження техніко-економічних показників силових трансформаторів з урахуванням умов експлуатації. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2024. № 1 (172). С. 32–36. DOI: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-172-1-32-36>.
11. Baklytskyi V., Cherkashyna V. Advisability of optimizing the nominal power scale of 110 kilovolt transformers. *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, 2–6 October 2023. DOI: <https://doi.org/10.1109/khpiweek61412.2023.10312971>.
12. План розвитку. *АТ «Вінницяобленерго»*. URL: <https://voe.com.ua/development-plan> (дата звернення: 15.02.2024).
13. Тичинська Л. М., Черепашук А. А. Ч.1 Історичні екскурсії та основні теоретичні відомості. *Теорія ймовірностей: навчальний посібник*. Вінниця, 2010. С. 42–46.
14. *Енергетичної стратегії України на період до 2050 року [On approval of the Energy Strategy of Ukraine until 2050]*. [Online]. Available: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/373-2023-p#Text> (in Ukrainian)
15. V. V. Cherkashyna and V. M. Baklytskyi, “Formation and analysis technical-economic model of transformation electricity with applying criterion method”, *Bulletin of the National Technical University “KhPI”. Series: Energy: Reliability and Energy Efficiency*, no. 1 (4), pp. 73–78, Jul. 2022, doi: <https://doi.org/10.20998/2224-0349.2022.01.04> (in Ukrainian)
16. P. D. Lezhniuk and O. O. Rubanenko, “Optimal control of the normal modes of power systems by criterion method with the use of fuzzy modeling”, *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*, no. 1, pp. 127–130, Jul. 2012. (in Ukrainian)
17. V. O. Bondarenko, M. M. Cheremisin, and V. V. Cherkashyna, *Systemnyi pidkhdid peredproektnoi otsinky povitrianykh liniy v umovakh rynkovykh vidnosyn [A systematic approach to pre-design assessment of overhead lines in a market environment]*. Kharkiv: Fakt, 2013. (in Ukrainian)
18. *Transformatory sylovi maslyani zahalnoho pryznachennia klasiv napruhy 110 i 150 kV. Tekhnichni umovy [General-purpose oil-filled power transformers for voltage classes 110 and 150 kV. Technical specifications]*, DSTU 2104-92, Kyiv, 1993. (in Ukrainian)
19. “Rozrahunok tsyny RDN [Calculation of the DAM price].” National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities. [Online]. Available: <https://www.nerc.gov.ua/monitoring-rinku-elektrichnoyi-energiyi/operativnij-monitoring-rinku-elektrichnoyi-energiyi/rozrahunok-cini-rdn> (in Ukrainian)
20. “Pro taryfy na elektroenerhiyu [About electricity tariffs].” JSC “Vinnytsiaoblenergo.” [Online]. Available: <https://voe.com.ua/news/pro-taryfy-na-elektroenerhiyu> (in Ukrainian)
21. Ukraine, National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities. (2023, Dec. 9). *Resolution of the National Commission for State Regulation of Energy and Public Utilities no. 2322, Pro vstanovlennia taryfu na poslugy z peredachi elektrychnoi enerhii NEK «UKRENERHO» na 2024 rik [On setting the tariff for electricity transmission services of NPC Ukrenergo for 2024]*. [Online]. Available: <https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-vstanovlennya-taryfu-na-poslugi-z-peredachi-elektrichnoyi-energiyi-nek-ukrenergo-na-2024-rik> (in Ukrainian)
22. *Vyznachennia ekonomichnoi efektyvnosti kapitalnykh vkladov v enerhetyku. Metodyka. Enerhosystemy i elektrychni merezhi [To determine the economic efficiency of capital investments in the energy sector. Methodology. Energy systems and power grids]*, HKD 340.000.002-97, Ukrenergomerezhproekt Institute, Kyiv, 1997. (in Ukrainian)
23. V. V. Cherkashyna and V. M. Baklytskyi, “Study of technical and economic indicators of power transformers taking into account the conditions of operation”, *Visnyk of Vinnytsia Polytechnical Institute*, vol. 172, no. 1, pp. 32–36, 2024, doi: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-172-1-32-36> (in Ukrainian)
24. V. Baklytskyi and V. Cherkashyna, “Advisability of optimizing the nominal power scale of 110 kilovolt transformers”, in *2023 IEEE 4th KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, Kharkiv, Ukraine, Oct. 2–6, 2023, doi: <https://doi.org/10.1109/khpiweek61412.2023.10312971>
25. “Plan rozvytku [Development plan].” JSC “Vinnytsiaoblenergo.” Accessed: Feb. 15, 2024. [Online]. Available: <https://voe.com.ua/development-plan> (in Ukrainian)
26. L. M. Tychnyska and A. A. Cherepashchuk, “Ch.1 Istorychni ekskursy ta osnovni teoretychni vidomosti [Part 1 Historical excursions and basic theoretical information]”, in *Teoriia ymovirnostei [Probability theory]*. Vinnytsia: VNTU, 2010, pp. 42–46. (in Ukrainian)

References

1. Ukraine, Cabinet of Ministers of Ukraine. (2023, Apr. 21). *Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine no. 373-r, Pro skhvalennia*

Відомості про автора (-is) / About the Author (-s)

Баглицький Владислав Миколайович (Baklytskyi Vladyslav Mykolayovych) – аспірант кафедри передачі електричної енергії, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5210-5563>; e-mail: vlad95415@outlook.com.