

## РЕЖИМИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕНЕРГОБЛОКА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ З ДОДАТКОВИМ РОБОЧИМ ТРАНСФОРМАТОРОМ ВЛАСНИХ ПОТРЕБ

<sup>1</sup>Національний університет «Львівська політехніка»

*Узагальнено результати досліджень режимних властивостей і характеристик енергоблока електростанції з додатковим робочим трансформатором власних потреб, який працює в режимі заданого навантаження енергоблока струму. Показано, що така схема має низку суттєвих переваг порівняно з традиційними схемами електропостачання власних потреб першого ступеня трансформації.*

**Ключові слова:** електростанція, енергоблок, генератор, трансформатор, власні потреби, напруга живлення, режим, стійкість.

### Вступ

Відомо, що в традиційних схемах електропостачання (СЕР) власних потреб (ВП) енергоблоків (ЕБ) ТЕС та АЕС регулювання напруги на шинах розподільних устав ВП (РУВП) першого ступеня трансформації під час усталених робочих режимів здійснюють за допомогою пристроїв РПН робочих трансформаторів ВП (РТВП). Під час аварійних режимів для забезпечення електропостачання ВП застосовують системи резервного живлення їх електроприймачів.

Природною властивістю традиційних СЕР ВП ЕБ є суттєве зниження напруги на шинах розподільних устав вищої напруги електростанцій (РУЕС) та на шинах РУВП першого ступеня трансформації як під час зовнішніх стосовно блочних трансформаторів (БТ) коротких замикань (к. з.), у тому числі й на шинах РУЕС, так і в разі глибоких і тривалих знижень рівня напруги в прилеглих до БТ електричних мережах (ЕМ) електроенергетичної системи (ЕЕС). В обох випадках для запобігання перервам електропостачання приймачів ВП ЕБ чи зменшення їх тривалості в системах живлення таких електроприймачів відбуваються перемикання відповідних електромеханічних пристроїв і апаратів, що за відмови останніх чи помилкових дій оперативного персоналу може спричинити порушення роботи механізмів ВП з подальшим аварійним вимкненням ЕБ від РУЕС і, як наслідок, недовідпуск електроенергії генераторами (Г) таких ЕБ та зниження рівня стійкості роботи ЕЕС в цілому. Для усунення згаданих недоліків в [1, 2] були запропоновані сфо-технічні рішення СЕР ВП ЕБ з додатковим робочим трансформатором власних потреб (ДРТВП), а в [3—5] наведені результати досліджень окремих ситуацій.

*Метою роботи є узагальнення результатів досліджень режимних властивостей і характеристик енергоблока електростанції з додатковим робочим трансформатором власних потреб, який працює в режимі заданого навантаження енергоблока струму, та їх порівняння з відповідними характеристиками традиційної схеми електропостачання власних потреб.*

### Результати досліджень

На відміну від традиційної схеми електропостачання ВП першого ступеня трансформації, зображеної на рис. 1а, в схемі на рис. 1б живлення електроприймачів ВП здійснюється як через РТВП, так і через ДРТВП, який працює в режимі заданого навантаження ЕБ струму.

Під час обтяжених і аварійних режимів у прилеглий до ЕБ електричній мережі, які супроводжуються глибоким зниженням рівня напруги на шинах РУЕС, суттєво зростає струмове навантаження генератора Г, знижується рівень напруги на його виводах і, як наслідок, зменшуються струм через РТВП та рівень напруги на шинах РУВП в традиційній схемі рис. 1а.

На відміну від цього в схемі електропостачання з ДРТВП на рис. 1б струм від генератора Г до БТ протікає первинною обмоткою ДРТВП і його збільшення приводить до зростання струму також у вторинній обмотці ДРТВП та компенсації зменшення струму до ВП через РТВП. Отже, за певних значень параметрів додаткових елементів схеми рис. 1б рівень напруги на шинах РУВП буде достатнім для надійної роботи механізмів ВП. В [1] показано, що такими параметрами є коефіцієнт трансформації  $K_{T3} = I_{T3ном(Г)}/I_{T3ном(ВП)}$  ДРТВП та підсумковий реактанс  $x_2$  гілки з РТВП, значення яких практично забезпечать під час усталених режимів трифазних к. з. ( $K^{(3)}$ ) як на шинах РУЕС так і в прилеглий ЕМ дотримання умови  $U_{ВП} = U_6 = \text{const} \neq f(x_{к.з.})$ , якщо між параметрами елементів схеми рис. 1б матиме місце співвідношення:

$$x_2 / K_{T3} = K_{T2} \cdot x_G, \quad (1)$$

де  $x_{к.з.} \geq 0$  — еквівалентний реактанс від шин РУЕС до місця  $K^{(3)}$ ;  $K_{T2} = U_{T2ном(ВП)} / U_{T2ном(Г)}$  — коефіцієнт трансформації РТВП;  $x_G$  — відповідний реактанс генератора.

Як об'єкт дослідження був взятий ЕБ з генератором ТГВ-200М і БТ типу ТДЦ-250000/220, який через двоколову повітряну лінію Л з проводами АС-240/32 і довжиною 100 км працює на ЕЕС (балансувальний вузол). Типи і параметри основних елементів СЕП ВП: ВП —  $U_{ВПном} = 6$  кВ,  $P_{ВПном} = 0,08 \cdot P_{Гном}$ ,  $\cos\phi_{ВПном} = 0,7$ ; РТВП — ТРДНС-25000/35 (навантаження частин розщепленої вторинної обмотки приймалося однаковим, що дозволило розглядати його як звичайний двообмотковий трансформатор з еквівалентною вторинною обмоткою); параметри ДРТВП взяті на основі трансформатора типу ТДНС-16000/20 з урахуванням особливостей його увімкнення і режиму роботи;  $P$  — здвоєний реактор типу РБСГ-10-2×1600-0,20УЗ. Для обох схем за вихідні приймалися усталені режими ЕБ, близькі до номінальних. Розрахунки виконувались з використанням програмних комплексів RE [6] і ДАКАР [7].

### Усталені режими енергоблоків

У табл. 1 наведені характерні результати розрахунку для обидвох схем на рис. 1 нормального режиму й усталених режимів трифазного  $K^{(3)}$ , двофазного  $K^{(2)}$ , однофазного  $K^{(1)}$  та двофазного на землю  $K^{(1,1)}$  коротких замикань на шинах РУЕС. У вихідному нормальному режимі значення напруги (у відносних одиницях) на виводах генератора  $U_{Гф*}$  і шинах РУВП  $U_{ВПф*}$  для обох схем, відповідно, практично однакові, що підтверджує коректність умов подальших розрахунків режимів к. з. Під час режимів к. з. рівень фазних напруг генератора в схемі з ДРТВП є дещо вищим ніж в традиційній, але в обох схемах значно менший за номінальне значення. При цьому, рівень струмів від генератора під час к. з. в схемі з ДРТВП на 5—7,5 % менший порівняно з традиційною схемою. Однак, рівень фазних напруг на шинах РУВП в схемі з ДРТВП є значно вищим ( $U_{ВПф*} \geq 0,898$ ), ніж в традиційній схемі, тобто є достатнім для роботи електроприймачів ВП.

Окрім того, схемі з ДРТВП притаманна природна симетрувальна властивість, що підтверджується даними табл. 1. В традиційній схемі значення складових зворотної послідовності фазних напруг генератора і на шинах РУВП лежить в межах 20...30 %. В схемі ж з ДРТВП, незважаючи на значну несиметрію фазних напруг генератора, значення складових зворотної послідовності фазних напруг на шинах РУВП становлять всього 3,5...5,4 %.

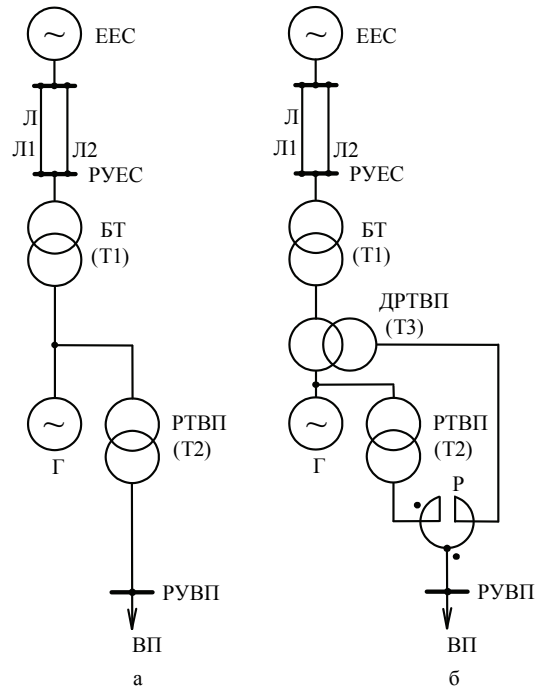


Рис. 1. Узагальнені принципові схеми електропостачання ВП першого ступеня трансформації ЕБ: а — традиційна; б — з ДРТВП і реактором  $P$

Координати усталених симетричних і несиметричних режимів

Схема		Традиційна, рис. 1а					З ДРТВП, рис. 1б				
Величина	Фаза або складова	$H^*$	$K^{(3)}$	$K^{(2)}$	$K^{(1)}$	$K^{(1,1)}$	$H^*$	$K^{(3)}$	$K^{(2)}$	$K^{(1)}$	$K^{(1,1)}$
$U_{Г\Phi}^*$	А	0,998	0,363	0,858	0,719	0,675	1,003	0,418	0,868	0,745	0,702
	В	0,998	0,363	0,363	0,998	0,363	1,003	0,418	0,418	1,003	0,418
	С	0,998	0,363	0,907	0,677	0,716	1,003	0,418	0,918	0,763	0,742
	$C_{(1)}^*$	—	—	0,679	0,781	0,568	—	—	0,709	0,803	0,607
	$C_{(2)}^*$	—	—	0,320	0,218	0,209	—	—	0,295	0,201	0,192
$I_{Г^*}$	А	0,998	3,716	2,566	2,077	2,725	0,995	3,449	2,441	1,915	2,569
	В	0,998	3,716	3,716	0,998	3,716	0,995	3,449	3,449	0,995	3,449
	С	0,998	3,716	1,346	2,751	2,077	0,995	3,449	1,214	2,593	1,917
	$C_{(1)}^*$	—	—	2,223	1,775	2,695	—	—	2,085	1,680	2,549
	$C_{(2)}^*$	—	—	1,569	1,069	0,908	—	—	1,448	0,986	0,944
$U_{В\Phi}^*$	А	0,969	0,353	0,833	0,698	0,655	1,005	0,898	0,972	0,956	0,946
	В	0,969	0,353	0,353	0,969	0,353	1,005	0,898	0,898	1,005	0,898
	С	0,969	0,353	0,881	0,657	0,695	1,005	0,898	0,987	0,946	0,956
	$C_{(1)}^*$	—	—	0,660	0,758	0,552	—	—	0,952	0,969	0,933
	$C_{(2)}^*$	—	—	0,311	0,212	0,202	—	—	0,054	0,037	0,035

Примітка.  $H^*$  — нормальний режим;  $C_{(1)}$ ,  $C_{(2)}$  — складові систем прямої та зворотної послідовностей відповідних координат режиму.

### Статична стійкість режимів

Дослідження статичної стійкості режимів здійснювалося із застосуванням динамічного методу для одержання граничних щодо коливної статичної стійкості режимів ( $P_{гр.к}$ ), оскільки попередні розрахунки показали, що їх значення є меншими граничних значень, отриманих щодо аперіодичної статичної стійкості режимів ( $P_{гр.а}$ ), тобто  $P_{гр.к} < P_{гр.а}$ . Отримані значення характерних координат і показників вихідних, граничних і допустимих режимів подані у табл. 2.

Таблиця 2

Координати і показники статичної стійкості режимів

Режими	Схема	Традиційна, рис. 1а			З ДРТВП, рис. 1б		
	Величина	$U_{Г^*}$			$U_{Г^*}$		
		0,95	1,00	1,05	0,95	1,00	1,05
Вихідний	$U_{РУЕС}^*$	1,033	1,057	1,082	1,037	1,058	1,08
	$U_{В\Phi}^*$	0,954	1,012	1,069	0,897	1,015	1,126
	$k_p$	0,6298	0,6326	0,6299	0,6267	0,6302	0,6296
Граничний та допустимий	$U_{РУЕС}^*$	1,025	1,051	1,078	1,022	1,046	1,075
	$U_{В\Phi}^*$	0,953	1,012	1,069	1,079	1,166	1,252
	$P_{гр.к}^*$	2,701	2,722	2,702	2,679	2,704	2,7
	$P_{доп}^*$	2,161	2,178	2,162	2,143	2,163	2,16

Порівняльний аналіз результатів показав, що обидві схеми характеризуються практично однаковим і достатньо високим запасом статичної стійкості за активною потужністю  $k_p$  вихідних усталених режимів, коефіцієнти якого обчислюються за відомою формулою

$$k_p = (P_{гр} - \Delta P - P) / P_{гр}, \quad (2)$$

де  $\Delta P = 0$  — нерегульовані перетоки активної потужності,

а також практично однаковими властивостями щодо граничних ( $P_{гр.к}$ ) і допустимих ( $P_{доп}$ ) режимів. Значення останніх обчислюються за відомою формулою

$$P_{доп} = (1 - k_{p\ доп}) P_{гр} - \Delta P, \quad (3)$$

де  $k_{p\ доп} = 0,2$  — допустиме значення коефіцієнта запасу для нормальних схем і режимів.

Слід також зазначити, що під час обтяжених режимів рівень напруги на шинах РУВП в схемі з ДРТВП є дещо вищим, ніж в традиційній схемі.

### Динамічна стійкість режимів

Під час дослідження властивостей схем рис. 1 щодо динамічної стійкості режимів враховувалося оснащення генераторів пристроями АРЗ, ФЗ, АРЧП, АРЧО, а також наявність пристроїв протиаварійної автоматики (РЗ, РВВ, АПВ). Результати для найбільш характерних і важких розрахункових збурень подані нижче.

На рис. 2 показані характерні координати режимів виникнення трифазного к. з. з неуспішним АПВ: в момент часу  $t_1 = 0,2$  с на початку кола Л1 лінії Л виникло трифазне к. з., яке після вимкнення вимикачів цього кола через  $0,1$  с, тобто в момент часу  $t_2 = 0,3$  с, не зникло впродовж паузи АПВ тривалістю  $\Delta t_{\text{АПВ}} = 0,4$  с; після неуспішного АПВ в момент часу  $t_3 = t_2 + \Delta t_{\text{АПВ}} = 0,7$  с пристрій РЗ з витримкою часу  $0,1$  с повторно вимикає це коло в момент часу  $t_4 = 0,8$  с. Після успішного вимкнення кола Л1 лінії устанавлюється новий режим, але з більшими кутами вибігу роторів генераторів (рис. 2а). При цьому, кут вибігу ротора генератора в схемі з ДРТВП дещо менший ніж в традиційній схемі. Під час режимів увімкненого кола Л1 з к. з. від  $t_1$  до  $t_2$  та від  $t_3$  до  $t_4$  рівень напруги на шинах РУВП в схемі з ДРТВП становить не менше  $0,8U_{\text{ВПном}}$ , тобто значно вищий, ніж в традиційній схемі (рис. 2б).

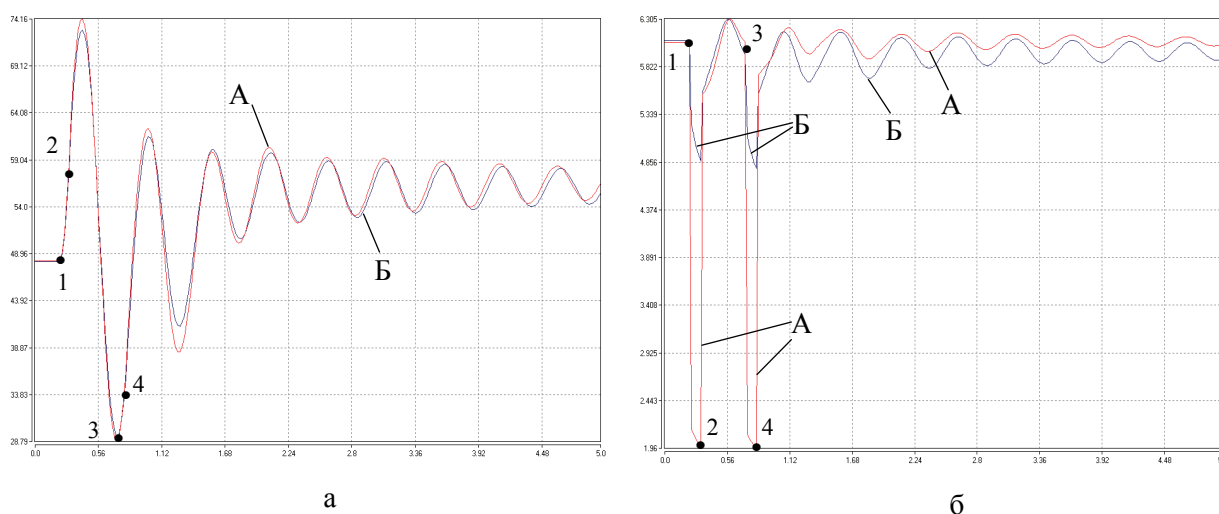


Рис. 2. Координати режимів традиційної схеми (А) та схеми з ДРТВП (Б) під час трифазного к. з. та неуспішного АПВ: а — кути вибігу роторів генераторів; б — напруги на шинах власних потреб

Найбільші відмінності у режимах проявилися під час розрахункового збурення з відмовою вимикачів кола Л1 лінії Л після виникнення на початку трифазного к. з., яке спричинило в обох схемах випадання генераторів з синхронізму та виникнення асинхронних режимів з подальшим відновленням синхронного режиму з електроенергетичною системою (рис. 3).

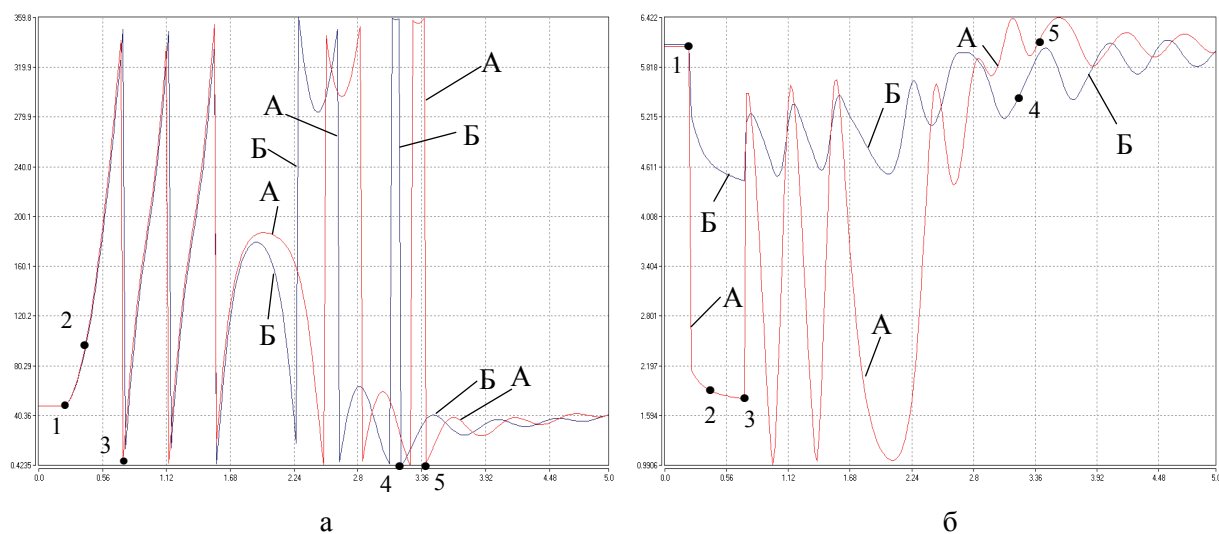


Рис. 3. Координати режимів традиційної схеми (А) та схеми з ДРТВП (Б) під час розрахункового збурення з виникненням асинхронних режимів генераторів: а — кути вибігу роторів генераторів; б — напруги на шинах РУВП

В момент часу  $t_1 = 0,2$  с на початку кола Л1 лінії Л виникло трифазне к. з. У зв'язку з відмовою вимикачів цього кола лінії з моменту часу  $t_2 = 0,4$  с, тобто через 0,2 с після виникнення  $K^{(3)}$ , генератори в обох схемах випадають з синхронізму і виникає асинхронний режим. Режим к. з. існує до вимкнення в момент часу  $t_3 = 0,7$  с вимикачів кола Л1 з к. з. від дії пристроїв РВВ, тобто триває  $\Delta t_{к.з.} = t_3 - t_1 = 0,5$  с. Під час існування режиму к. з. напруга на шинах ВП (рис. 3б) у традиційній схемі знижується орієнтовно до  $0,3U_{ВПном}$ , а в схемі з ДРТВП залишається більшою за  $0,75U_{ВПном}$ . Асинхронний режим припиняється (рис. 3а) в традиційній схемі з моменту часу  $t_5 \approx 3,3$  с, а в схемі з ДРТВП — з  $t_4 \approx 3$  с, тобто раніше ніж в традиційній схемі. Отже, тривалість асинхронного режиму генератора в схемі з ДРТВП становить  $\Delta t_B = t_4 - t_2 = 2,6$  с і є меншою ніж в традиційній схемі, для якої  $\Delta t_A = t_5 - t_2 = 2,9$  с.

### Висновки

Показано, що схема енергоблока електростанції з додатковим робочим трансформатором власних потреб порівняно з традиційною схемою має кращі режимні властивості як за підтриманням бажаного рівня напруги на шинах розподільної устави власних потреб під час зовнішніх коротких замикань в прилеглий до енергоблока електричній мережі, так і за динамічною та результируючою стійкістю режимів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Лисяк Г. М. Методика вибору основних параметрів схеми підвищеної надійності блочних електростанцій з умов підтримання бажаного рівня напруги на шинах власних потреб під час зовнішніх трифазних коротких замикань / Г. М. Лисяк, А. А. Маліновський, О. Р. Пастух // Технічна електродинаміка. — 2000. — № 4. — С. 51—55.
2. Пат. 39640 А Україна. Система електропостачання власних потреб енергоблока електростанції / Г. М. Лисяк, А. А. Маліновський, Л. О. Никонь. — Бюл. № 5. — 2001.
3. Лисяк Г. М. Статична стійкість режимів енергоблока з додатковим робочим трансформатором власних потреб / Г. М. Лисяк, О. Р. Пастух, В. С. Коновал // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». — 2006. — № 563. — С. 56—64.
4. Лисяк Г. М. Динамічна стійкість режимів енергоблока з додатковим робочим трансформатором власних потреб / Г. М. Лисяк, О. Р. Пастух, В. С. Коновал // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». — 2007. — № 587. — С. 43—51.
5. Лисяк Г. М. Режими зовнішніх коротких замикань енергоблока з додатковим робочим трансформатором власних потреб / Г. М. Лисяк, О. Р. Пастух, О. М. Равлик // Вісник Нац. ун-ту «Львівська політехніка». — 2009. — № 654. — С. 125—132.
6. Ravlyk A. Digital complex for modeling of transient processes in electric circuits / A. Ravlyk, T. Grechyn // Metody Matematyczne w elektroenergetyce: III Sympozjum. — Zakopane, Polska. — 1993. — P. 17—20.
7. Скрипник О. І. ДАКАР — обчислювальний комплекс аналізу режимів і процесів електроенергетичних систем / О. І. Скрипник // Технічна електродинаміка. — 1998. — Спец. вип. — С. 56—61.

Рекомендована кафедрою електричних станцій і систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 11.01.2016

**Лисяк Георгій Миколайович** — канд. техн. наук, доцент, завідувач кафедри електричних систем та мереж, e-mail: gmlysiak@gmail.com;

**Пастух Олена Романівна** — старший викладач кафедри електричних систем та мереж.

Національний університет «Львівська політехніка», Львів

**H. M. Lysiak<sup>1</sup>**  
**O. R. Pastukh<sup>1</sup>**

## Operating States and Characteristics of Power Plant Unit Comprising Additional Operating Auxiliaries Transformer

<sup>1</sup>National University «Lviv Polytechnic»

*Research of results generalization of operating indices and characteristics of power plant unit comprising additional operating auxiliaries transformer that operates on load specified current mode has been carried out. It has been shown that the circuit diagram has variety of preferences against traditional diagrams of power supply of auxiliaries on the first step transformation.*

**Keyword:** power plant, power unit, generator, transformer, auxiliaries, supply voltage, operating state.

**Lysiak Heorhii M.** — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor, Head of the Chair of Electrical Systems and Networks, e-mail: gmlysiak@gmail.com;

**Pastukh Olena R.** — Senior Lecturer of the Chair of Power Systems and Networks

**Г. Н. Лысяк<sup>1</sup>**  
**Е. Р. Пастух<sup>1</sup>**

## **Режимы и характеристики энергоблока электростанции с дополнительным рабочим трансформатором собственных нужд**

<sup>1</sup>Национальный университет «Львовская политехника»

*Выполнено обобщение результатов исследований режимных свойств и характеристик энергоблока электростанции с дополнительным трансформатором собственных нужд, который работает в режиме заданного нагрузки энергоблока тока. Показано, что такая схема имеет ряд существенных преимуществ по сравнению с традиционными схемами электроснабжения собственных нужд первой ступени трансформации.*

**Ключевые слова:** электростанция, энергоблок, генератор, трансформатор, собственные нужды, напряжение питания, режим, устойчивость.

**Лысяк Георгий Николаевич** — канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой электрических систем и сетей, e-mail: gmlysiak@gmail.com;

**Пастух Елена Романовна** — старший преподаватель кафедры электрических систем и сетей