

## УСТАЛЕНІ РЕЖИМИ КОМПЛЕКСУ «СИСТЕМА ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ – ПОМПОВА СТАНЦІЯ»

**В. Г. Лисяк, Ю. Л. Шелех, М. Б. Сабат**

*Національний університет "Львівська політехніка"*

**Анотація.** На підставі результатів математичних експериментів обґрунтовано доцільність покращення усталених режимів комплексу «система електропостачання – помпова станція». Синтезовано структуру і розроблено математичну модель енергоефективної системи живлення та дискретно-неперервного автоматичного керування усталеними режимами такого комплексу.

**Ключеві слова:** помпа, станція, система, електропостачання, двигун, керування, усталений.

### Вступ

Однією з актуальних задач сучасної прикладної науки є підвищення ефективності функціонування, оптимізація режимів і вирішення питань енергоощадності потужних електротехнічних комплексів. До таких відносяться електротехнічні комплекси помпових (ПС) станцій нафтогонів і водогонів.

### 1. Постановка проблеми

ПС характеризуються високою вартістю устаткування, значною встановленою потужністю одиничних агрегатів, відносною віддаленістю агрегатів від джерел живлення, що ставить особливі вимоги до ефективності електропостачання та систем керування їх режимами. Значна потужність одиничних агрегатів і віддаленість від джерел живлення спричиняють як взаємний вплив окремих агрегатів, так і взаємний вплив ПС у цілому та її системи електропостачання (СЕ). Зростання вартості енергоносіїв, а також народногосподарське значення потужних ПС вимагають створення нових та вдосконалення наявних теоретичних засад для ефективного дослідження таких об'єктів з метою підвищення їхньої енергоефективності. Внаслідок широкого застосування таких систем, значного споживання ними електроенергії та наявності проблем енергоощадності в них, актуальним є розвиток нової та вдосконалення наявної наукової бази.

Рівень енергоощадності ПС залежить від низки чинників, зокрема від гідравлічного навантаження самих помп. У загальних рисах суть керування зазвичай полягає у необхідності підтримання сталого напору в заданому вузлі гідравлічної мережі за різних значень витрати робочої рідини в залежності від певного критерію. Енергетично найефективнішим є застосування комбінованого (дискретно-неперервного) керування

витратою ПС, оскільки в цьому разі агрегати працюють з мінімальними втратами енергії в їхніх елементах та усуваються гідравлічні удари в гідравлічній системі.

### 2. Аналіз останніх досліджень

Математична модель (ММ) усталених режимів узагальненого електротехнічного комплексу "система електропостачання – помпова станція" (надалі – ЕТК) [1] з електроприводними відцентровими помповими агрегатами (ВПА) дозволяє здійснювати розрахунки усталених режимів такого комплексу як з некерованими, так і з керованими агрегатами, безпосередньо враховуючи взаємний вплив гідравлічних і електромагнітних параметрів елементів і координат режиму, оперуючи безпосередньо їхніми внутрішніми фізичними параметрами. Її можна застосувати для вибору доцільного варіанту виконання ЕТК, покращення показників його режимів, а також для розроблення енергоефективних систем автоматичного керування (САК).

Згідно [1] на рис. 1 ЕТК представлено узагальненою структурною схемою, на якій його умовно розділено на дві частини: СЕ та групу блоків ВПА (ПЧ, ПКРП, Тр, АД, ВП) і ГМ (ронного двигуна (АД) і відцентрової помпи (ВП)).



Рис. 1. Структурна схема узагальненого ЕТК

Таке представлення є необхідним у зв'язку з тим, що різні агрегати групи можуть отримувати живлення від одних і тих же шин чи від шин з

різним рівнем напруги (наприклад, двигуни підпірної й основної pomp мають різні номінальні напруги). Ця інформація стає відомою під час аналізу схеми СЕ конкретної ПС.

ММ узагальненого ЕТК складається з математичних моделей СЕ та блоків ВПА з гідромережею, об'єднаних за допомогою рівнянь, які описують електричні і гідравлічні сполучення відповідних його елементів. Удосконалена математична модель ВП [1], розроблена на підставі [2] з використанням принципу електрогідродинамічної аналогії, дозволяє враховувати вплив фізичних властивостей робочої рідини та кутової швидкості обертання робочого колеса помпи на її внутрішні параметри, що суттєво підвищує точність моделювання.

### 3. Виділення невіршеної раніше частин загальної проблеми

Аналіз експериментальних записів координат режимів ПС, проведений у [3, 4, 5, 6], показав, що поточна продуктивність pomp досить повільно змінюється в часі (за винятком пуску, зупинки устаткування й аварійних процесів). Наприклад, за даними добового графіка споживання води у водопровідній мережі [5] найбільша швидкість наростання чи спадання споживання не перевищує 0,1% за секунду. Останнє обґрунтовує виокремлення таких тривалих режимів ПС та їхніх СЕ і дозволяє класифікувати їх як квазіусталені, аналіз яких вимагає створення відповідних засобів. Саме в цих режимах споживаються основні обсяги та виникають значні втрати енергії, і саме для них застосування заходів з енергоощадності дає найвідчутніший ефект.

Відомо, що вибір того чи іншого методу аналізу, моделі та ступеня її деталізації визначаються, зокрема, особливостями задач, які необхідно вирішити. Моделювання перехідних процесів, що виникають під час роботи потужних електротехнічних комплексів, перш за все необхідно для дослідження показників динаміки та енергоефективності швидкодіючих автоматичних систем керування (САК) їх режимами, вибору комутаційного устаткування, виявлення типу, місць, причин і прогнозування ушкоджень устаткування [7, 8], тощо. Незважаючи на універсальність динамічного моделювання, його не завжди однаково доцільно застосовувати для розрахунку й аналізу показників усталених режимів.

### 4. Постановка завдання

Постановка натурних експериментів на діючих потужних ЕТК є кошовною і ризикованою. Для вирішення задачі комплексного поліпшення показників електротехнологічної ефективності

ЕТК доцільним є використання підходу, що ґрунтується на виконанні низки математичних експериментів із використанням створеної математичної моделі усталених режимів ЕТК за різних схемних та алгоритмічних рішень і дії відповідних до реальних збурювальних та керуючих впливів. На основі аналізу отриманих результатів математичних експериментів на цифровій моделі необхідно обґрунтувати раціональну структуру схеми живлення і сполучення ВПА, а також структуру й алгоритм мікроконтролерної САК режимами помпування рідини у повному діапазоні зміни продуктивності помпової станції.

### 5. Виклад основного матеріалу

Розроблення раціональної схеми живлення та енергоефективної системи автоматичного керування режимами узагальненого ЕТК виконаємо на основі аналізу результатів моделювання його усталених режимів [1]. Типову схему електричних та гідравлічних сполучень ЕТК показано на рис. 1. У наведеній схемі комплексу послідовно працюють група з двох однакових паралельно сполучених підпірних і група з трьох однакових паралельно сполучених основних ВПА.

Проведений у [9] аналіз застосування різних функцій скалярного частотного керування асинхронним двигуном (АД) помпи показав доцільність реалізації моделі керування:

$$U_1 / U_2 = (f_1 / f_2) / \sqrt{M_1 / M_2}.$$

Такий закон частотного керування асинхронним двигуном реалізовано лише для агрегату №3. Керування роботою інших агрегатів є дискретним і здійснюється шляхом їхнього вмикання чи вимикання. Живлення комплексу здійснюється від повітряної лінії з  $U_c=110$  кВ,  $S_k^{(3)}=100$  МВ·А через трансформатор Тс типу ТД-16000/110. Перелік іншого силового устаткування наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Перелік силового устаткування

Устаткування	Підпірний агрегат	Основний агрегат
Трансформатор	ТС3-400/10	ТМ-2500/10
Двигун	4АН355М6У3	4А3МВ-1600/6000У2-5
Помпа	QG 300/2/100 (б)	14 НДсН

Керування режимами роботи ЕТК виконується за критерієм підтримання незмінного значення напору  $H_d = 470$  м робочої рідини на вході трубопроводу. Воно реалізується шляхом зміни кількості увімкнених некерованих ВПА й

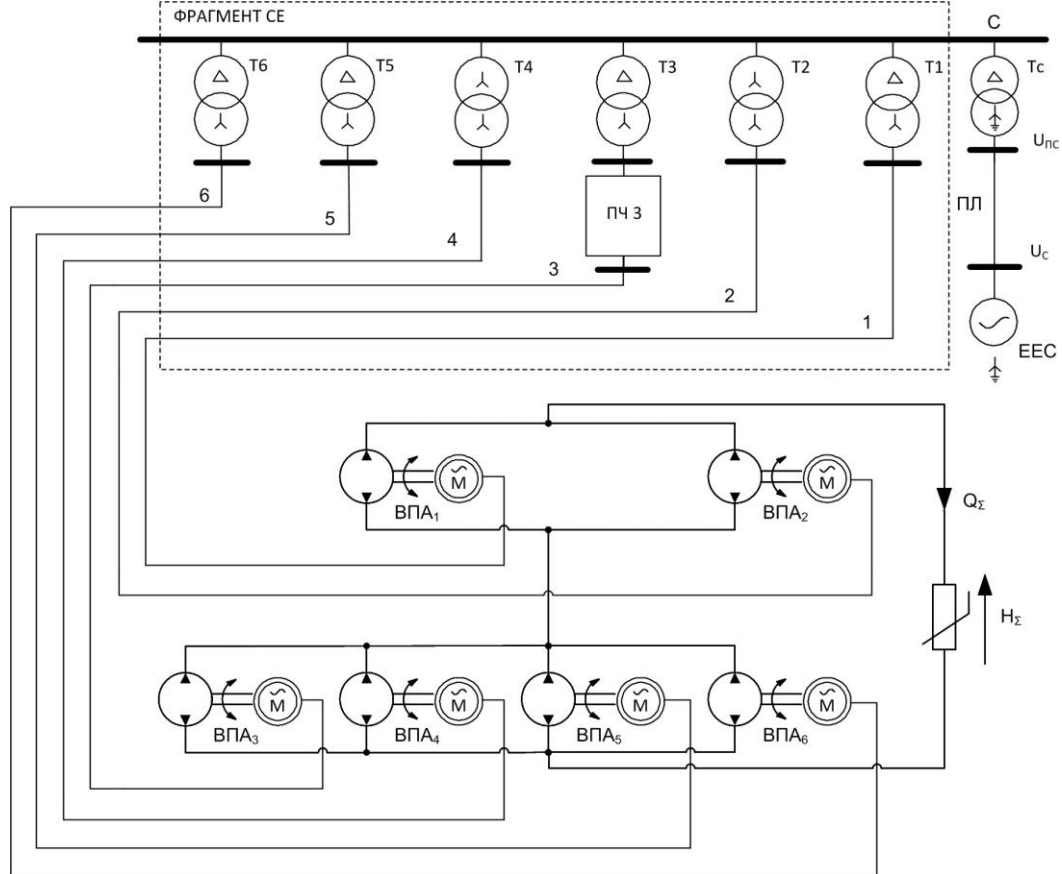


Рис. 2. Схема електричних і гідравлічних сполучень ЕТК (варіант В0)

застосування частотного керування швидкістю обертання ротора асинхронного двигуна керованого агрегату № 3 в залежності від об'ємного споживання робочої рідини  $Q_{\Sigma}$  на вході трубопроводу. Досліджувана помпові станція забезпечує зазначений напір у діапазоні зміни витрат рідини від нуля до 3200 м<sup>3</sup>/год. Після перевищення цього значення напір буде зменшуватись, оскільки всі агрегати будуть увімкнені й робочі колеса pomp обертаються з максимальними кутовими швидкостями.

Отримані результати модельних досліджень (без урахування компенсації реактивної потужності) показали, що ефективна робота досліджуваного ЕТК можлива з п'ятьма комбінаціями одночасно увімкнених агрегатів. Аналіз витрати електроенергії, необхідної для pompування 1 м<sup>3</sup> робочої рідини, показав, що варіанти з трьома й чотирма одночасно працюючими ВПА є енергетично подібними. Перелік і номери одночасно увімкнених ВПА в різних діапазонах витрат робочої рідини наведені в таблиці 2.

Застосування чотирьох одночасно увімкнених ВПА може виникнути лише в дуже вузькому діапазоні витрат (1597 – 1588 = 9 м<sup>3</sup>/год). Уникнути цього можна за рахунок дуже незначного (на 1,3% понад номінальне значення) збільшення кутової швидкості обертання АД агрегату №3, що дасть можливість підняти продуктивність до

1597 м<sup>3</sup>/год. Це обґрунтовує використання варіантів одночасної роботи двох, трьох, п'яти чи шести агрегатів для реалізації дискретно-неперервного регулювання продуктивності ПС на повному діапазоні її зміни.

Таблиця 2

Продуктивність помпової станції за різних комбінацій увімкнених ВПА

Кількість ВПА	Номери ВПА	Діапазони зміни $Q_{\Sigma}$ , м <sup>3</sup> /год
2	1, 3	0..798
3	1, 3, 4	798..1588
4	1, 2, 3, 4	910..1597
5	1, 2, 3, 4, 5	1597..2370
6	1, 2, 3, 4, 5, 6	2370..3200

Керування усталеними режимами роботи досліджуваної структури ЕТК здійснюється шляхом увімкнення чи вимкнення агрегатів №2, №4, №5 і №6 за умови постійно увімкненого агрегату №1 та частотного керування двигуном агрегату №3 в залежності від зміни об'ємної витрати рідини на вході трубопроводу. Увімкнення чи вимкнення агрегатів повинно здійснюватися під час переходу витрати через значення  $Q_{\Sigma 1}=798$  м<sup>3</sup>/год,  $Q_{\Sigma 2}=1597$  м<sup>3</sup>/год і  $Q_{\Sigma 3}=2370$  м<sup>3</sup>/год. Зважаючи на те, що зменшення об'ємної витрати робочої рідини нижче 10% номінального значення ЕТК призводить до багаторазового збільшен

ня питомої витрати електроенергії на помпування рідини, надалі не аналізуємо роботу ЕТК у цих неефективних режимах.

Показаний на рис. 2 варіант виконання схеми електропостачання ЕТК (надалі – "В0"), не є найкращим з міркувань кількості та встановленої потужності електротехнічного обладнання. Для визначення раціональної конфігурації схеми електропостачання ПС порівнюємо між собою два її варіанти виконання, які відрізняються між собою кількістю та встановленою потужністю живильних трансформаторів. Схемні зміни відбуваються у виділеному на рис. 2 пунктирною лінією "Фрагменті СЕ". Трансформатор Тс головної знижувальної підстанції однаковий для всіх варіантів.

У першому варіанті виконання схеми електропостачання ЕТК (надалі "В1") живлення підпірних ВПА 1 і 2 здійснюється від одного трансформатора Т1-2 ТСЗ-630/10. Живлення некерованих основних ВПА 4, 5 і 6 здійснюється від одного трансформатора Т4-6 ТМ-6300/10. Керований основний ВПА<sub>3</sub> живиться окремо – від трансформатора ТМ-2500/10. Встановлена потужність 6-и трансформаторів у В0 складає 10,8 МВ·А, а для варіанту В1 встановлена потужність 3-х трансформаторів складає 9,43 МВ·А.

В другому варіанті (надалі – "В2") живлення підпірних ВПА 1 і 2 здійснюється так само, як у варіанті В1. Живлення всіх основних ВПА здійснюється від одного трансформатора Т3-5 ТДНС-10000/35. Встановлена потужність 2-х трансформаторів у В2 складає 10,63 МВ·А.

Аналіз отриманих результатів показує, що внаслідок переходу від В0 до В2 усі показники дещо погіршуються, а саме:

- знижуються коефіцієнт потужності й напруга  $U_{\text{пс}}$  на шинах ВН Тс ЕТК;
- зростають питомі витрати електроенергії на помпування рідини, споживана потужність.

Натомість, внаслідок переходу від В0 до В1 ці показники покращуються (деякі – суттєво):

- зростають коефіцієнт потужності й напруга  $U_{\text{пс}}$  на шинах ВН Тс ЕТК,
- знижуються питомі витрати електроенергії на помпування рідини, споживана потужність.

Лише в області витрат робочої рідини менше 458 м<sup>3</sup>/год (14,3% від номінального значення ПС) спостерігається деяке (до 0,9%) зростання питомої витрати електроенергії на помпування рідини. Однак, в цілому, це компенсується покращенням інших показників.

Порівняння між собою варіантів В1 і В2 остаточно визначає варіант В1 як кращий. Тому можна зробити висновок про доцільність застосування варіанту В1 виконання схеми електро-

постачання, що дає можливість зменшити з 6-ти до 3-х кількість трансформаторів, і, відповідно, з 10,8 МВ·А до 9,43 МВ·А (майже на 12,7%) – їхню встановлену потужність з одночасним відчутним покращенням режимів ЕТК у цілому.

На обраному варіанті В1 виконання схеми електропостачання ЕТК визначимо доцільні місця увімкнення пристроїв поперечної компенсації реактивної потужності (ППК), оцінимо їхні необхідні параметри й перевіримо ефективність компенсування реактивної потужності (РП).

Під час визначення доцільних місць увімкнення ППК враховувалися обсяги споживання РП, необхідний рівень компенсації, а також залежність її величини від витрати робочої рідини. Із урахуванням цих факторів виділено 3 доцільні місця приєднання ППК:

- ППК<sub>1-2</sub> – напругою 0,4 кВ на шинах НН трансформатора Т1-2 живлення підпірних ВПА 1 і 2 (доцільність цього ППК потребує окремого техніко-економічного обґрунтування, оскільки вплив малопотужних підпірних ВПА на загальне споживання електроенергії є незначний);

- ППК<sub>4-6</sub> – напругою 6 кВ на шинах НН трансформатора Т4-6 живлення некерованих ВПА 4, 5 і 6;

- ППК<sub>3</sub> – напругою 6 кВ на виході ПЧ 3 основного керованого ВПА 3 (можливість встановлення ППК в цьому місці обґрунтовано в [10]); у випадку застосування ємності позитивну роль відіграватиме її регулювальний ефект, завдяки якому генерування РП буде зменшуватись зі зниженням напруги й частоти.

У зв'язку з тим, що доцільність застосування ППК<sub>12</sub> потребує додаткового обґрунтування, було розглянуто два варіанти. У першому варіанті (надалі – "В1.1") реактивна потужність, що генерована ППК<sub>12</sub> дорівнює нулю. У другому варіанті (надалі – "В1.2") ППК<sub>12</sub> генерує ненульову РП.

Вибір необхідних параметрів ППК передбачав недопущення перекомпенсації РП на всьому діапазоні зміни витрат робочої рідини під час роботи ЕТК згідно розробленого алгоритму керування. Перелік і номери одночасно увімкнених в роботу ВПА й необхідна встановлена реактивна потужність ППК для різних діапазонів витрат робочої рідини наведені в таблиці 3.

Аналіз отриманих результатів показує, що внаслідок переходу від варіанту В1 схеми електроживлення до варіанту В1.1 усі показники покращуються, а саме:

- зростають коефіцієнт потужності й напруга  $U_{\text{пс}}$  на шинах ВН Тс ЕТК ;
- знижуються питомі витрати електроенергії на помпування рідини, а також реактивна та повна потужності.

Таблиця 3  
Компенсування реактивної потужності

Кількість ВПА	2	3	5	6
Номери ВПА	1, 3	1, 3, 4	1, 2, 3, 4, 5	1, 2, 3, 4, 5, 6
Номінальна реактивна потужність ППК, квар	12	70	90	180
	345	0	650	1260
	3	740	740	740
Діапазони зміни $Q_{\Sigma}$ , м <sup>3</sup> /год	0 ..798	798 ..1597	1597 ..2370	понад 2370

Доцільність застосування ППК<sub>12</sub> виникає під час роботи ЕТК з двома одночасно увімкненими ВПА, коли об'ємна витрата робочої рідини складає менше, ніж 798 м<sup>3</sup>/год (знижується споживання РП). Загалом, суттєве зменшення споживання РП в області малих витрат та покращення цього й решти показників в усіх діапазонах витрат відбувається саме внаслідок переходу від В1 до В1.2. Остаточне порівняння між собою варіантів В1.1 і В1.2 визначає В1.2 як кращий.

Таким чином, можна зробити висновок про технічну доцільність застосування варіанту В1.2 (таблиця 3) схеми електроживлення та компенсації реактивної потужності, що максимально наближає до одиниці коефіцієнт потужності в широкому діапазоні витрат робочої рідини. Загалом, за використання обох варіантів (В1.1 та В1.2) суттєво підвищується коефіцієнт потужності внаслідок зниження споживання РП, а також підвищується напруга  $U_{nc}$  на шинах ВН Тс ЕТК і зменшуються питомі витрати електроенергії на помпування рідини. Проведені на створеній ММ розрахунки усталених режимів для різних варіантів керування, виконання, схеми керування ЕТК і компенсації РП остаточно дають підстави вважати найкращим варіант В1.2.

Спроекований на основі результатів математичних експериментів раціональний варіант схеми електроживлення й компенсації РП та функціональну схему замкненої САК режимами помпування робочої рідини зображено рис. 3.

Комутаційними апаратами (КА) 2.0..6.2 за створеним алгоритмом керування реалізується оперативна комутація електроприводних ВПА і ППК у функції поточного споживання рідини.

У таблиці 4 наведено отриманий на основі комп'ютерних розрахунків за створеною математичною моделлю доцільний закон зміни стану силових КА у функції зміни споживання робочої рідини у чотирьох піддіапазонах.

На підставі розробленої силової схеми живлення електроприводних ВПА, включення комутаційних апаратів і таблиці 4 комутації цих агрегатів і ППК розроблено функціональну схему

замкненої системи автоматичного дискретно-плавного курування режимами помпування робочої рідини (рис. 3) та алгоритм її функціонування (рис. 4). Їх використання дає можливість отримати найкращі з досліджених схем та алгоритмів керування показники електротехнологічної ефективності ЕТК.

Таблиця 4  
Оперативні комутації силових кіл живлення та компенсації реактивної потужності

№ КА	$Q_{\Sigma}$ , м <sup>3</sup> /год			
	0..798	798..1597	1597..2370	понад 2370
Стан КА				
2.0	Вим.	Вим.	Увім.	Увім.
2.1	Вим.	Увім.	Увім.	Увім.
2.2	Вим.	Вим.	Увім.	Увім.
4.0	Вим.	Увім.	Увім.	Увім.
4.1	Вим.	Увім.	Увім.	Увім.
5.0	Вим.	Вим.	Увім.	Увім.
5.1	Вим.	Вим.	Увім.	Увім.
6.0	Вим.	Вим.	Вим.	Увім.
6.1	Вим.	Вим.	Вим.	Увім.

Тут доцільно зазначити, що розроблені схема живлення й алгоритм керування забезпечують ефективну роботу ЕТК у діапазоні витрат 237..3200 м<sup>3</sup>/год. Менша, ніж 237 м<sup>3</sup>/год продуктивність призводить до різкого зростання питомої витрати електроенергії та погіршення інших показників. Зростання витрати понад 3200 м<sup>3</sup>/год призведе до зниження тиску на виході ПС.

Розроблену модель САК помпування робочої рідини запропоновано реалізувати на мікроконтролерному пристрої МКП (рис. 3). Для оперативного непрямого контролю тиску робочої рідини на виході ПС встановлено давач споживання робочої рідини ДСРР. На його виході отримується значення  $Q_i$  поточного споживання робочої рідини, усереднене на  $i-1$  інтервалі часової дискрети  $\Delta t$  формування вектора керування системи, яке подається на аналоговий вхід МКП. У функції цього сигналу на першому та другому виходах МКП формуються неперервні сигнали отриманого на ММ скалярного закону регулювання швидкості (рис. 5 і 6) частотно керованого електроприводного ВПА<sub>3</sub> – сигнали задання напруги  $U_s$  і частоти  $f_s$  відповідно, які поступають на перетворювач частоти й напруги ПЧ 3. Залежності синтезованого раціонального закону скалярного керування відтворюються в двох функціональних перетворювачах ФП1 і ФП2 реалізованого в мікроконтролері регулятора швидкості РШ частотно керованого електроприводного помпувального агрегату ВПА<sub>3</sub>.

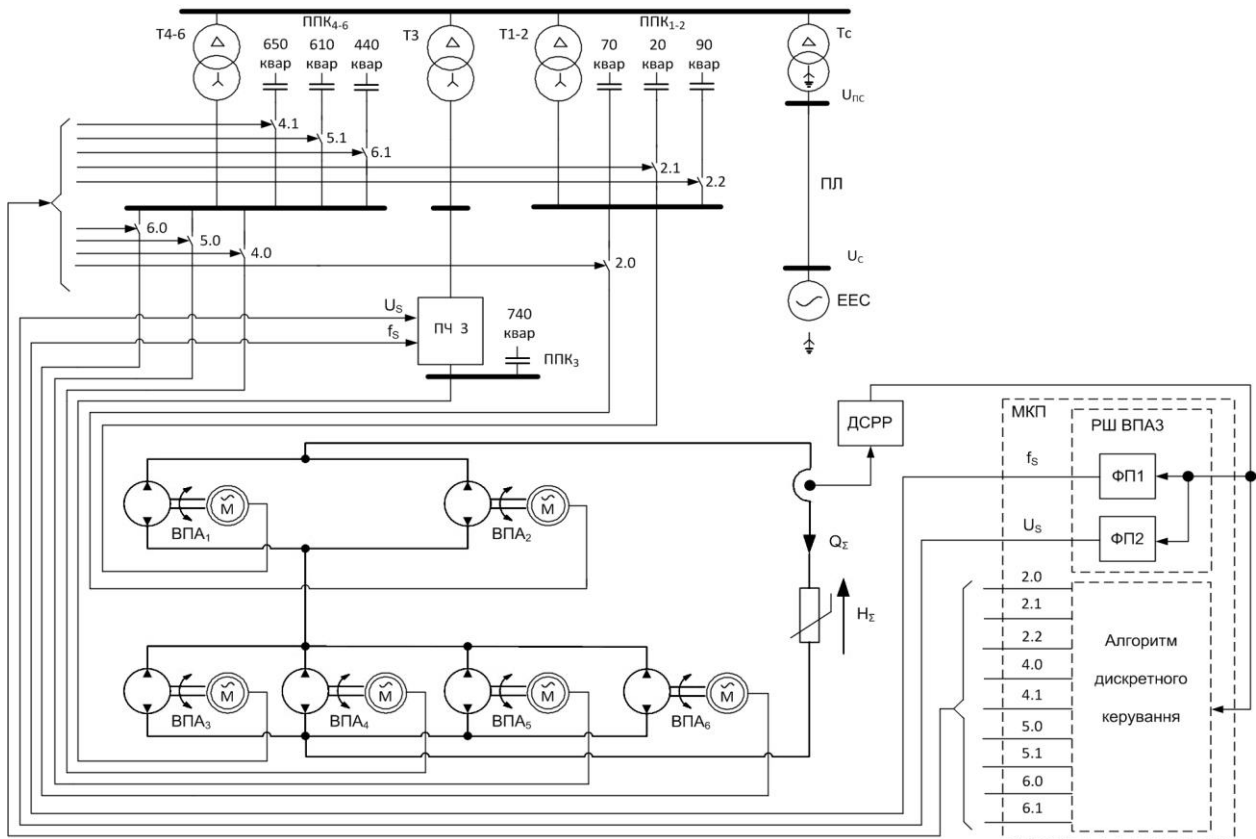


Рис. 3. Рациональна схема силових кіл живлення, компенсації реактивної потужності та функціональна блок-схема САК режимами помпування робочої рідини за варіантом В1.2 ЕТК

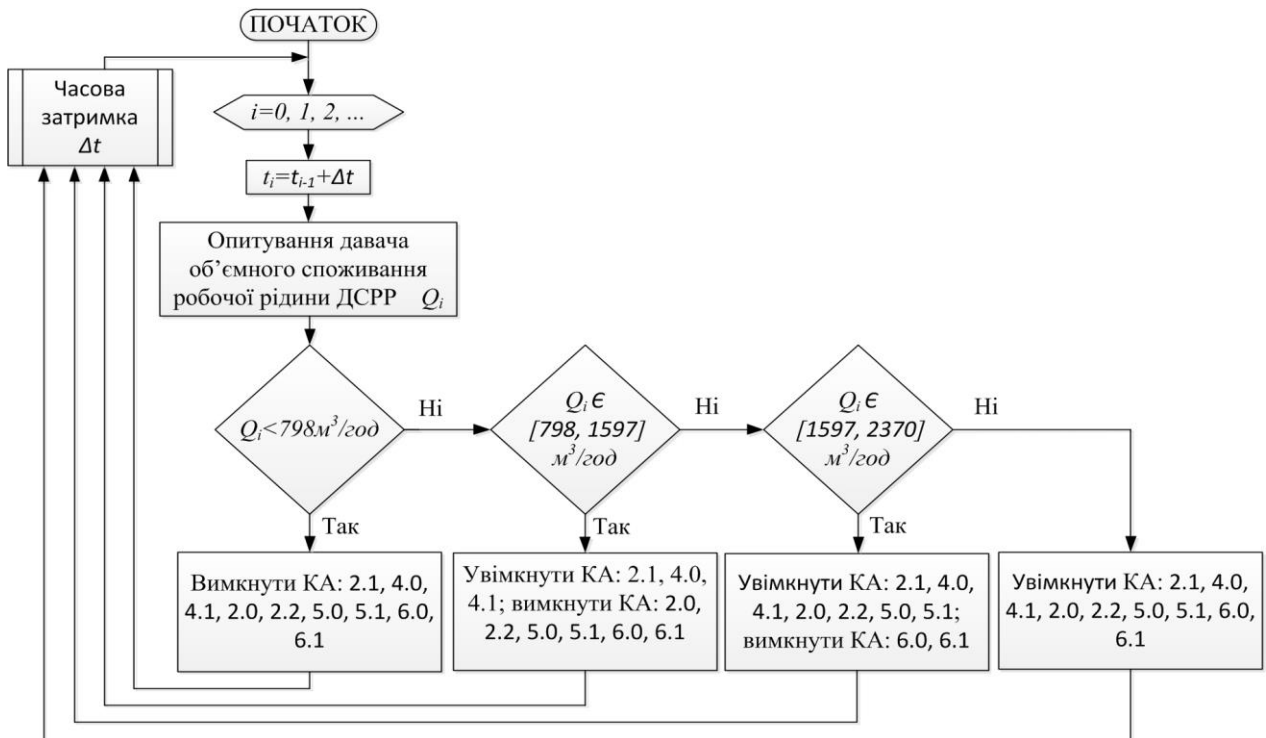


Рис. 4. Алгоритм дискретного автоматичного керування ВПА і ППК за варіантом В1.2 ЕТК

Дискретні керуючі сигнали комутаційних апаратів 2.0, 2.1, 2.2, 4.0, 4.1, 5.0, 5.1, 6.0, 6.1 формуються згідно отриманого алгоритму (рис. 4)

у функції поточної витрати робочої рідини  $Q_i$  в блоці логічного керування МКП, в якому програмно реалізується цей алгоритм.

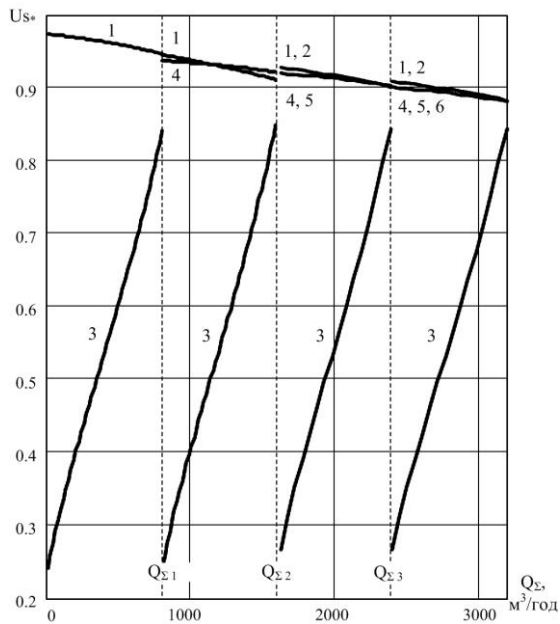


Рис. 5. Напруги обвиток статорів АД

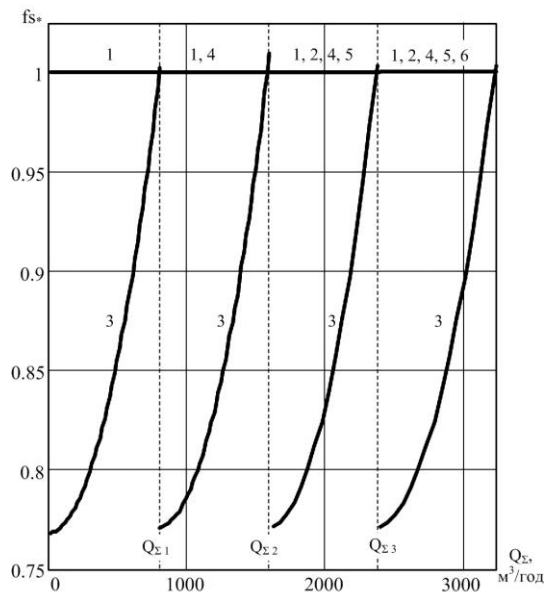


Рис. 6. Частоти напруг обвиток статорів АД

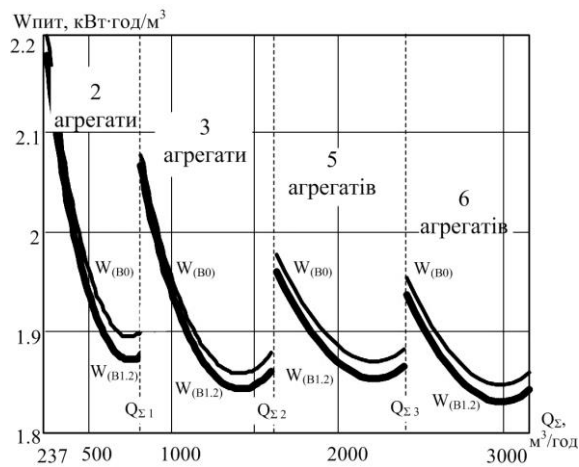


Рис. 7. Питомі витрати електроенергії ЕТК

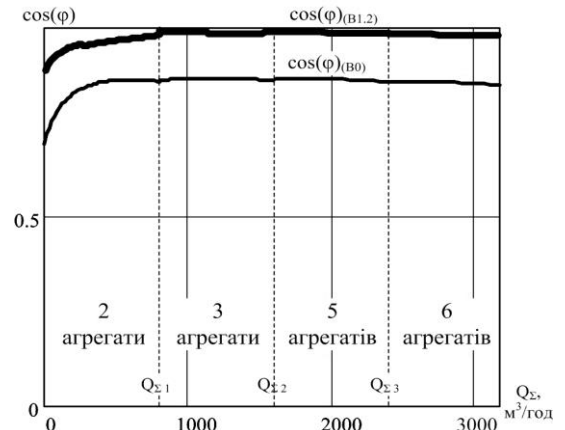


Рис. 8. Коефіцієнт потужності ЕТК

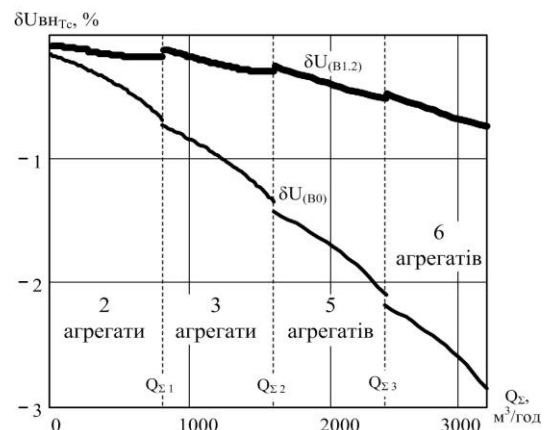


Рис. 9. Відхилення напруги на шинах ВН трансформатора Тс ЕТК

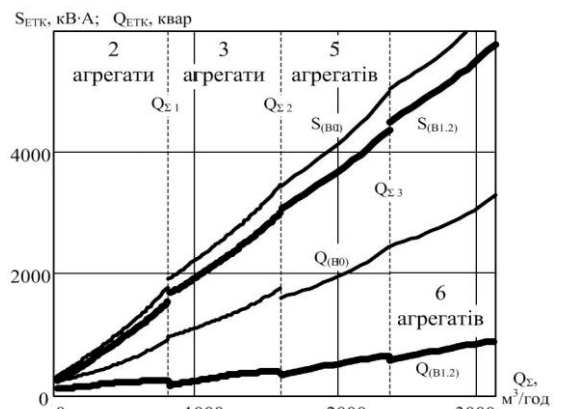


Рис. 10. Повна та реактивна потужності ЕТК

Синтезований раціональний алгоритм дискретного керування помповими агрегатами і ППК реалізує наведені у таблиці 4 оперативні перемикання у функції поточного споживання рідини. Отримання необхідного значення часової дискрети  $\Delta t$  синтезу оперативного циклічного вектора керування є окремою задачею. Воно

здійснюється за результатами дослідження динаміки зміни витрати  $Q_i$ , характерної для конкретної помпової станції.

Електротехнологічна доцільність реалізації розробленої моделі САК режимами помпування робочої рідини отриманого раціонального схемного варіанту В1.2 і розробленого алгоритму (рис. 4) підтверджується зображеними на рис. 7..10 функціональними кривими найважливіших показників режимів ЕТК (товсті лінії). На тих же самих графіках наведені аналогічні криві для початкового схемного варіанту В0 (тонкі лінії), що дає можливість порівняти між собою показники ефективності цих варіантів. З наведених графіків можна зробити висновок про покращення цих показників, особливо – з наближенням до номінального режиму (за повного завантаження агрегатів). У середньому з графіків для схемного варіанту В1.2 у порівнянні з варіантом В0 видно, що: питомі витрати електроенергії зменшуються на 0,78-0,84% коефіцієнт потужності ЕТК збільшується на 15-16%, відхилення напруги на шинах ВН трансформатора Тс зменшується на 73-78%, споживані повна й реактивна потужності ЕТК зменшуються на 16% та 77% відповідно.

#### **Висновки та перспективи подальшого розвитку в цьому напрямі.**

1. За результатами досліджень на математичній моделі обґрунтовані доцільність і можливість покращення електротехнологічної ефективності усталених режимів ЕТК.

2. Створена математична модель усталених режимів ЕТК на основі композиції моделей нерозривно пов'язаних між собою його підсистем має широкі функціональні можливості з дослідження показників електротехнологічної ефективності за дії різних збурюючих і керуючих впливів та схемних змін.

3. На основі отриманих результатів математичних експериментів обґрунтовано раціональну структуру схеми живлення та сполучення ВПА, а також структуру й алгоритм мікроконтролерної системи автоматичного керування режимами помпування рідини у повному діапазоні зміни продуктивності помпової станції.

4. Показано, що використання розроблених схемних, системних та алгоритмічних рішень у порівнянні з прийнятим базовим варіантом дає можливість поліпшити показники електротехнологічної ефективності ЕТК, зокрема (в середньому): зменшити питомі витрати електроенергії на 0,78-0,84%, покращити коефіцієнт потужності на 15-16%, зменшити відхилення напруги на шинах ВН трансформатора Тс на 73-78 %, а також зменшити споживання повної та реактивної потуж-

ностей ЕТК на 16% та 77% відповідно.

5. Одержані результати можуть бути використані в подальших дослідженнях з метою розширення функціональних можливостей створеної математичної моделі.

#### **Список використаної літератури**

1. Лисяк, В. Г. Узагальнена математична модель усталених режимів електропостачальної системи помпової станції [Текст] / В. Г. Лисяк, П. Ф. Гоголюк // Праці Інституту електродинаміки Національної академії наук України. – 2015. – Вип. 42. – С. 22–26.

2. Костишин, В. С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогидравлічної аналогії [Текст] / В. С. Костишин. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 163 с.

3. Борисенко, В. П. Реалізація енергозберігаючої системи електроприводу для багатопомпвальної станції ДПВЗ [Текст] / В. П. Борисенко, С. В. Григор'єв, В. П. Овсянніков О. В. Головін // XIII международная науч.-техн. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века»: сб. тр. в 2т. – Севастополь, 2006. – Т. 1. – С. 138–140.

4. Браславский, И. Я. Энергосберегающий асинхронный электропривод [Текст] / И. Я. Браславский, З. Ш. Ишматов, В. Н. Поляков. – М.: Академия, 2004. – 256 с.

5. Куцик, А. С. Математична модель системи "частотно-керований електропривод – насос – водопровідна мережа" [Текст] / А. С. Куцик, А. О. Лозинський, О. Ф. Кінчур // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Електроенергетичні та електромеханічні системи. – 2015.– № 834.– С. 48–55.

6. Николаев, В. Г. Энергосберегающие способы управления лопастными насосными агрегатами в системах водоснабжения при нестационарной нагрузке [Текст] / В. Г. Николаев // Сантехника. Рубрика «Водоснабжение». – 2006. – № 4. – С. 22–28.

7. Harihara, P. Fault Diagnosis of Centrifugal Pumps Using Motor Electrical Signals. Centrifugal Pumps / P. Harihara, A. Parlos, D. Papantonis (Ed.) [Electronic resource] . – InTech. – 2012. – DOI: 10.5772/26439. – Access Mode: <https://www.intechopen.com/books/centrifugal-pumps/fault-diagnosis-of-centrifugal-pumps-using-motor-electrical-signals>.

8. Miedema, S. A. Modeling and Simulation of the Dynamic Behavior of a Pump/Pipeline System [Electronic resource] / S. A. Miedema // 17th Annual Meeting & Technical Conference of the Western Dredging Association. – New Orleans, 1996. – Access Mode: <https://ocw.tudelft.nl/wp-content>

/uploads/Cutting-of-sand-Pipeline-dynamics.pdf.

9. Гоголюк, П. Ф. Вплив функцій частотного керування на ефективність режимів електропостачальної системи помпової станції [Текст] / П. Ф. Гоголюк, В. Г. Лисяк // Вісник Приазовського державного технічного університету. – 2008. – Вип. № 18. – Ч. 2. – С. 76–80.

10. Nakamura, H. Quasi Current Resonant DC Link AC/AC Converter [Text] / H. Nakamura, Y. Murai, T. A. Lipo // IEEE Transactions on Power Electronics, 1994. – Volume: 9. – Issue: 6. – P. 594–600. – DOI: 10.1109/63.334774.

### References

1. Lysiak, V. H. and Hoholiuk, P. F. (2015). Generalized mathematical model of steady-state modes of the electric power distribution systems of the pumping station [Uzahalnena matematychna model ustalenykh rezhymiv elektropostachalnoi systemy pompovoi stantsii]. Proceedings of the Institute of Electrodynamics of the NAS of Ukraine, Issue 42, pp. 22–26.

2. Kostyshyn, V. S. (2000). Simulation mode of centrifugal pumps based on electric-hydraulic analogy [Modeliuvannya rezhymiv roboty vidtsentrovnykh nasosiv na osnovi elektrohidravlichnoi analohii]. Ivano-Frankivsk: Fakel, 163 p.

3. Borysenko, V. P., Hryhoriev, S. V., Ovsianikov, V. P. and Holovin O. V. (2006). Implementation of the energy-saving system of the electric drive for a lot-pump DPVZ station [Realizatsiia enerhozberihaiuchoi systemy elektropyvodu dlia bahatopompuvalnoi stantsii DPVZ]. In XIII international scientific and Technical Conference «Engineering and technosphere of the XXI century », Volume 1, Sevastopol, pp. 138–140.

4. Braslavskiy, I. Y., Yshmatov, Z. S. and Poliakov, V. N. (2004). Energy-saving induction motor drive [Nerhosberehaiushchyi asynkhronni elektropyvod]. Moscow: Academia, 256 p.

5. Kutsyk, A. S., Lozynskiy, A. O. and Kinchur, O. F. (2015). Mathematical model of sys-

tem frequency-controlled motor-pump-pipe network [Matematychna model systemy "chastotno-kerovanyi elektropyvod nasos vodoprovodna mreza"]. Herald of Lviv Polytechnic National University. Electrical power and electromechanical systems (834), pp. 48–55.

6. Nikolaev, V. H. (2006). Energy-saving ways to control paddle pumping units for water supply systems under non-stationary load [Nerhosberehaiushchye sposob upravleniya lopastnmy nasosnmy ahrehatamy v systemakh vodosnabzheniya pry nesatsyonarnoi nahruzke]. Plumbing. Rubric «water supply» (4), pp. 22–28.

7. Parasuram P. Harihara and Alexander G. Parlos (2012). Fault Diagnosis of Centrifugal Pumps Using Motor Electrical Signals. Centrifugal Pumps, Dr. Dimitris Papantonis (Ed.). [online] InTech. DOI: 10.5772/26439. Available from: <https://www.intechopen.com/books/centrifugal-pumps/fault-diagnosis-of-centrifugal-pumps-using-motor-electrical-signals>.

8. Miedema, S. A. (1996). Modeling and Simulation of the Dynamic Behavior of a Pump/Pipeline System. In 17th Annual Meeting & Technical Conference of the Western Dredging Association. [online] New Orleans, Available at: <https://ocw.tudelft.nl/wp-content/uploads/Cutting-of-sand-Pipeline-dynamics.pdf>.

9. Hoholiuk, P. F. and Lysiak, V. H. (2008). Influence on efficiency of the functions of the control frequency modes of power distribution system of pumping station [Vplyv funktsii chastotnoho keruvannya na efektyvnist rezhymiv elektropostachalnoi systemy pompovoi stantsii]. Reporter of the Priazovskyi state technical university, Issue 18, Part 2, pp. 76–80.

10. Nakamura, H., Murai, Y. and Lipo, T. A. (1994). Quasi Current Resonant DC Link AC/AC Converter. In IEEE Transactions on Power Electronics, Volume 9, Issue: 6, pp. 594–600, DOI: 10.1109/63.334774.

## THE STEADY-STATE MODES OF THE COMPLEX "ELECTRICAL SUPPLY SYSTEM - PUMPING STATION"

V. H. Lysiak, Y. L. Shelekh, M.B. Sabat

Lviv National Polytechnic University

**Abstract.** The level of energy saving pump stations depends on several factors, including the hydraulic pump load themselves. Energetically the most effective use of combined (discrete-continuous) flow control pumps. Analysis of experimental mode records coordinates powerful pumping stations showed that they slowly change over time (excluding start-up mode, emergency stop equipment and processes). This justifies the separation of long modes and to classify them as quasi-stationary of which requires the establishment of appropriate means. Despite the universality of dynamic modeling, it is not always equally useful for the analysis of steady state regimes. Based on the results of mathematical experiments, the expediency of im-

*proving the steady-state regimes of the complex "power supply system - pump station" is justified. The structure is synthesized and a mathematical model of an energy-efficient power supply system and discrete-continuous automatic control of the steady-state regimes of such a complex is developed. Using the designed of schematic, system and algorithmic solutions makes it possible to improve the performance of complex electro-technological efficiency. Complex mathematical model, based on the composition of models are inextricably linked its subsystems, has powerful functionality for research performance electro-technological efficiency action of various disturbing effects and control and of schematic changes. The results can be used in further studies to expand the functionality mathematical models.*

**Key words:** pump stations, system, power supply, engines, control, steady-state.

## УСТАНОВИВШИЕСЯ РЕЖИМЫ КОМПЛЕКСА «СИСТЕМА ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ - НАСОСНАЯ СТАНЦИЯ»

**В. Г. Лысяк, Ю. Л. Шелех, М. Б. Сабат**

*Национальный университет "Львівська політехніка"*

**Аннотация.** На основании результатов математических экспериментов обоснована целесообразность улучшения установившихся режимов комплекса «система электроснабжения - насосная станция». Синтезирована структура и разработана математическая модель энергоэффективной системы питания и дискретно-непрерывного автоматического управления установившимися режимами такого комплекса.

**Ключевые слова:** насос, станция, система, электроснабжение, двигатель, управление, установившийся.

Отримано 07.04.2017



**Лысяк Владислав Георгійович**, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електропостачання промислових підприємств, міст і сільського господарства Національного університету «Львівська політехніка». Вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, E-mail: Vladyslav.H.Lysiak@lpnu.ua, тел. +38-032-258-25-23

**Vladyslav Lysiak**, Cand. Sci. (Tech.), Senior Lecturer of the Department of Power Supply to Urban Industrial Enterprises and Agriculture, Lviv Polytechnic National University, Bandera str., 12, Lviv, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0002-8371-6455



**Шелех Юрій Леонідович**, кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри електропостачання промислових підприємств, міст і сільського господарства Національного університету «Львівська політехніка». Вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, E-mail: Yurii.L.Shelekh@lpnu.ua, тел. +38-096-03-05-386

**Yurii Shelekh**, Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Power Supply to Urban Industrial Enterprises and Agriculture, Lviv Polytechnic National University, Bandera str., 12, Lviv, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0002-0283-993X



**Сабат Мирослав Богданович**, кандидат технічних наук, старший викладач кафедри електропостачання промислових підприємств, міст і сільського господарства Національного університету «Львівська політехніка». Вул. С. Бандери, 12, Львів, Україна, E-mail: Myroslav.B.Sabat@lpnu.ua, тел. +38-032-258-25-23

**Myroslav Sabat**, Cand. Sci. (Tech.), Senior Lecturer of the Department of Power Supply to Urban Industrial Enterprises and Agriculture, Lviv Polytechnic National University, Bandera str., 12, Lviv, Ukraine

**ORCID ID:** 0000-0001-7448-0615