

ЕКОНОМІЧНА ДОЦІЛЬНІСТЬ ВСТАНОВЛЕННЯ ФІЛЬТРОКОМПЕНСУЮЧИХ ПРИСТРОЇВ НА ШИНАХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ

В. Ю. Ноженко, О. В. Бялобржеський, А. І. Гладир

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ORCID: 0000-0003-0126-6970; 0000-0003-1669-4580; 0000-0002-3521-9112

Проведено дослідження режиму енергоспоживання трансформаторної підстанції ТП 6/0,4 кВ у разі зниження якості електричної енергії. Виявлено, що струм, який протікає в лінії, значно менший від номінального, що свідчить про недовантаженість лінії. Визначено рівень збільшення додаткових втрат активної потужності для контрольованого (поточного) та розрахункового режимів, до яких належать: втрати в кабелі, втрати в обмотці вторинної напруги та втрати холостого ходу трансформатора. Розраховано економічні збитки, що обумовлені зниженням якості електричної енергії для контрольованого та розрахункового режимів на десять років з урахуванням зростання вартості електричної енергії. Для покращення якості електричної енергії запропоновано встановлення фільтрокомпенсуючих пристроїв на шинах вторинної напруги трансформаторної підстанції. За допомогою методів, які засновані на дисконтованих оцінках, проведено визначення економічної доцільності проведення запропонованого заходу. За результатами розрахунку дисконтованого періоду окупності для контрольованого режиму встановлення фільтрокомпенсуючих пристроїв є недоцільним, а для розрахункового навпаки.

Ключові слова: трансформаторна підстанція, якість електричної енергії, економічні збитки, фільтрокомпенсуючі пристрої.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. На сьогодні однією з основних проблем електроенергетики є високий рівень втрат електроенергії в електричних мережах [1–4], які пов'язані із застарілими фондами об'єктів електроенергетики, недостатнім використанням засобів оптимізації режимів регулювання напруги, низьким рівнем компенсації реактивної потужності та якості електричної енергії. Відповідно до [1, 2, 4] проблема якості електроенергії визнана на світовому рівні та відноситься до числа найважливіших проблем сучасної електроенергетики, яка безпосередньо впливає на рівень енергоефективності та енергозбереження.

Проведений аналіз літературних джерел [1, 4, 5] показав, що зниження якості електроенергії призводить до економічних збитків, пов'язаних з передчасним виходом із ладу електроустаткування, збоями у технологічних процесах, збільшенням втрат потужності та ін.. Крім цього, постійне підвищення вартості електроенергії для промислових підприємств обумовлює необхідність підтримання показників якості електроенергії у допустимих нормах. На даний час для вирішення цієї проблеми енергоємні підприємства все більше вкладають коштів для придбання фільтрокомпенсуючих пристроїв.

Однак, слід зазначити, що значна кількість промислових підприємств знаходиться у складній економічній ситуації, працює не на повну потужність та має нестабільне фінансове становище. Тому, обґрунтування економічної доцільності встановлення пристроїв для покращення якості електричної енергії в умовах недовантаження трансформаторних підстанцій електропостачання промислових підприємств являється своєчасною та актуальною задачею.

Мета роботи – визначення економічної доцільності встановлення фільтрокомпенсуючих пристроїв на шинах 0,4 кВ трансформаторної підстанції в умовах недовантаження та сталого росту вартості енергоносіїв.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Проектування трансформаторних підстанцій у більшості випадків виконується без урахування генера-

ції споживачами вищих гармонік струму, які певним чином впливають на спотворення напруги. За умови суттєвого впливу на спотворення напруги використовують пристрої фільтрації. Рациональність використання зазначених пристроїв залежить від поточного навантаження трансформаторної підстанції та відповідно дольового складу вищих гармонік струму відносно фундаментальної, та відносно проектного значення струму підстанції. Розвиток виробництва інколи вимагає збільшення кількості навантажень, які отримують живлення від шин вторинної напруги трансформаторної підстанції. Це потребує комплексного аналізу поточної ситуації.

Досліджувана трансформаторна підстанція ТП 6/0,4 кВ серед іншого має у складі силовий трансформатор TRINAL 1600 кВА 6кВ/0,4 кВ та забезпечує живлення цеху ремонту гірничого обладнання кабелем 9(4x15x70) типу YnKY номінальним струмом 2090 А. У складі навантаження домінують трифазні та однофазні електродугові зварювальні агрегати інвенторного типу.

Для вимірювання режимних параметрів використано аналізатор якості електричної енергії FLUKE 434, який підключений за схемою наведеною на рис. 1. Навантаження цеху умовно згруповано в три категорії: трифазні вентиляторні установки (*3 ph load heating fans*); трифазні зварювальні машини (*3 ph load welding machine*); однофазне освітлювальне навантаження (*1 ph load technological lighting*).

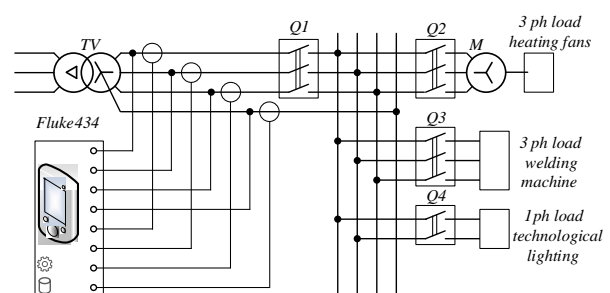


Рисунок 1 – Схема підключення аналізатора якості електричної енергії

У результаті проведених вимірювань зафіксований масив даних, якій відбиває добовий графік енергоспоживання за активною, реактивною та повною потужностями, з контролем рівня напруги та струму. Особливу увагу зосереджено на різкозмінний характер навантаження у часі, зокрема повної потужності (рис. 2), а також на гармонійний склад струму, який протікає контрольованою лінією (рис. 3) та на момент фіксації досяг рівня загальних гармонійних спотворень у 58,2%. Відзначається досить високий показник «крест-фактору», що відповідає співвідношенню пікового значення параметру до діючого. Для струму цей показник складає в середньому 2,1 в.о. При цьому аналіз параметрів режиму показує, що навантаження лінії ($I_{nav} = 816 \text{ A}$) суттєво

відрізняється від проектного навантаження ($I_{nom} = 2090 \text{ A}$). Тому умовно прийнято перший режим – «контрольованим», а другий – «розрахунковим». Відповідно до методики використаної у роботі [6] для визначення рівня збільшення втрат у лінії та трансформаторі проведено розрахунки для контрольованого та розрахункового режимів. Отримано наступні показники втрат активної потужності:

- додаткові втрати потужності в кабелі (ΔP_{lin}), які для контрольованого режиму становлять 0,4295 кВт, а для розрахункового – 2,8175 кВт;
- додаткові втрати в обмотці вторинної напруги (ΔP_{dod}), які для обох режимів складають – 0,06328 кВт;
- додаткові втрати холостого ходу трансформатора (ΔP_{xx}), які для обох режимів становлять 3,3 кВт.

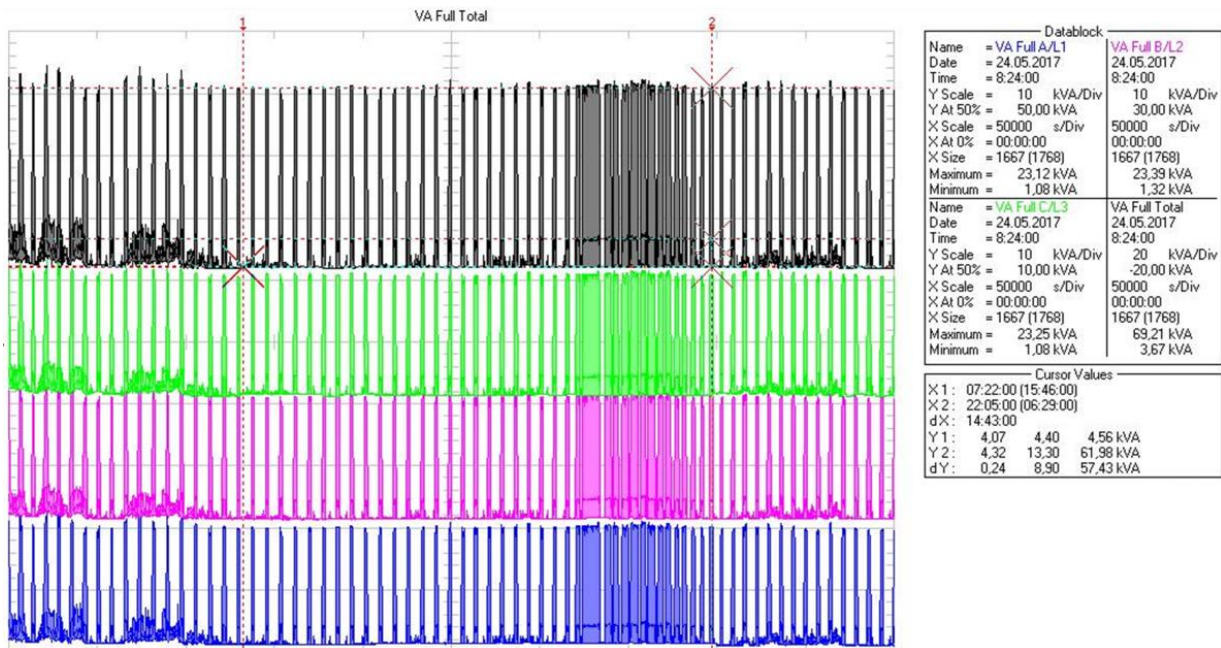


Рисунок 2 – Діаграма зміни повної потужності контрольованої лінії у часі

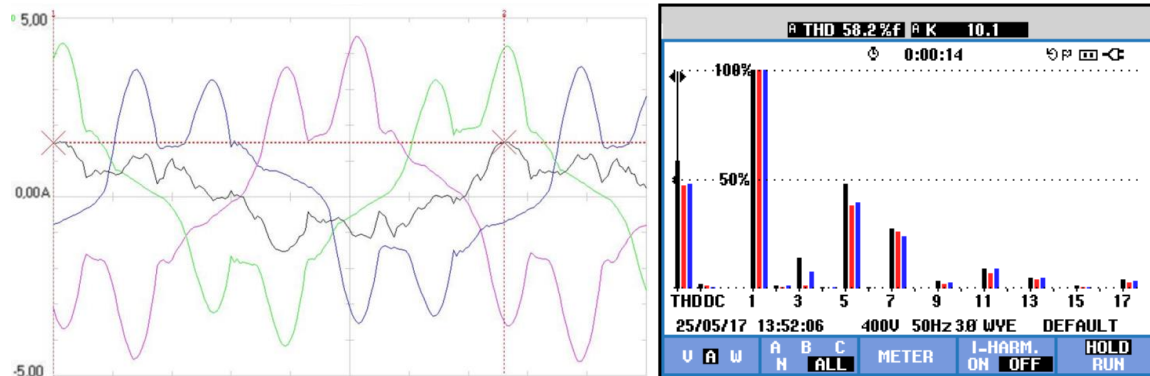


Рисунок 3 – Часова діаграма та спектральний склад струму контрольованої лінії

Для визначення збитків, що обумовлені зниженням якості електричної енергії, для обох режимів була використана методика [1, 2], відповідно до якої економічні збитки поділяють на дві складові: електромагнітну (Z_{em}) та технологічну (Z_t):

$$Z = Z_{em} + Z_t \quad (1)$$

Електромагнітна складова викликана, в основному, збільшенням втрат активної потужності й пов'язаним з цим зниженням терміну служби обладнання. Технологічна складова збитку обумовлена

впливом якості напруги на продуктивність технологічного устаткування та собівартість продукції, що випускається. Розмір технологічних збитків можливо визначити тільки на підставі зібраних на підприємстві статистичних даних про зниження ефективності роботи основного виробничого обладнання.

Електромагнітна складова економічних збитків, викликана впливом несинусоїдального струму на обладнання визначається за виразом [1]:

$$Z_{em} = Z_1 + Z_2 + Z_3, \quad (2)$$

де Z_1 – збиток, обумовлений додатковими втратами активної потужності в обладнанні; Z_2 – збиток, обумовлений зниженням ефективності використання передавальних елементів електричної мережі і пов'язаний з недовикористанням обладнання; Z_3 – збиток через зменшення терміну служби обладнання.

Додаткові втрати активної потужності в обладнанні – це втрати, обумовлені наявністю вищих гармонік струму, тому збитки, які спричинені цими втратами, розраховуються за наступним виразом [2]:

$$Z_1 = k_{ee} \sum_{i=1}^n \Delta P_i T_i, \quad (3)$$

де k_{ee} – вартість 1 кВт·год електричної енергії; ΔP_i – додаткові втрати активної потужності в i -му елементі; T_i – кількість годин використання i -го обладнання протягом року; n – кількість обладнання.

Під час визначення величини економічного збитку Z_1 керуємося інформацією про обсяги втрат через вищі гармоніки у кожному елементі електричної мережі для обох режимів, які наведено вище.

Враховуючи те, що режим роботи підприємства безперервний, тому річний час використання обладнання беремо рівним 8760 год. Вартість електричної енергії приймається згідно базового діючого тарифу (з ПДВ) без урахування послуги на розподіл – 2,88 грн за 1 кВт·год [7].

Тоді величина збитків від живлення обладнання неякісною електричною енергією протягом 2021 року становитиме для контрольованого режиму $Z_1^k = 95687,29$ грн, а для розрахункового – $Z_1^r = 155933,66$ грн.

Аналіз зміни величини тарифу на електроенергію для промислових споживачів протягом останніх шести років показав динаміку зростання вартості енергії в межах від 5,65 % до 24,4 % щороку, тобто в середньому на 16,11 % за рік, тому доцільно розраховувати збитки Z_1 з урахуванням цього факту. У табл. 1 наведено результати розрахунків на десять років.

Таблиця 1 – Збитки, обумовлені додатковими втратами активної потужності в обладнанні

Рік	Величина збитку, грн	
	Контрольований режим	Розрахунковий режим
2021	95687,29	155933,66
2022	111102,51	181054,58
2023	129001,12	210222,47
2024	149783,21	244089,31
2025	173913,28	283412,09
2026	201930,71	329069,78
2027	234461,75	382082,92
2028	272233,53	443636,48
2029	316090,36	515106,32
2030	367012,51	598089,95
2031	426138,23	694442,24
Всього	2477354,50	4037139,81

Збитки, що обумовлені зниженням ефективності використання передавальних елементів електричної

мережі Z_2 , визначаються зниженням пропускної здатності, і, як наслідок, обмеженням на технологічне підключення нових споживачів [2]. Ця складова збитків не розраховувалася.

Економічний збиток від зниження терміну служби обладнання Z_3 визначається згідно виразу [1, 2]:

$$Z_3 = \sum_{i=1}^n \frac{K_i}{T_i} (L_j - 1), \quad (4)$$

де K_i – балансова вартість i -го обладнання; T_i – номінальний встановлений термін експлуатації i -го обладнання; L_j – зниження терміну служби ізоляції в j -й день, при якому відмічалось перевищення температури вище допустимого рівня.

Оскільки у процесі експлуатації устаткування зношується і, відповідно, його поточна вартість зменшується на величину амортизаційних витрат, то для розрахунків норму амортизації прийнято на рівні 5 %. Вартість нового трансформатора TRINAL 1600 кВА 6 кВ/0,4 кВ для розглянутої трансформаторної підстанції становить 981096,05 грн за даними [8]. Під час розрахунків враховано балансову вартість трансформатора з урахуванням амортизаційних відрахувань за 3 роки фактичної експлуатації. Аналогічним чином визначено ступінь зносу кабельної лінії з урахуванням поточної вартості кабелю УпКУ 3х150 2293,22 грн за 1 погонний метр [9].

Таким чином, економічні збитки, обумовлені зниженням терміну служби обладнання Z_3 для розрахункового режиму на десять років наведено у табл. 2. Для контрольованого режиму розрахунок Z_3 не виконувався через недовантаження обладнання.

Таблиця 2 – Збитки від зниження терміну служби обладнання для розрахункового режиму

Рік	Величина збитку, грн		
	Трансформатор	Кабельна лінія	Сумарні збитки
2021	56952,63	22340,98	79293,61
2022	54104,99	21223,93	75328,92
2023	51399,74	20162,73	71562,48
2024	48829,76	19154,60	67984,35
2025	46388,27	18196,87	64585,14
2026	44068,86	17287,02	61355,88
2027	41865,41	16422,67	58288,08
2028	39772,14	15601,54	55373,68
2029	37783,54	14821,46	52605,00
2030	35894,36	14080,39	49974,75
2031	34099,64	13376,37	47476,01
Всього	491159,34	192668,55	683827,89

Виходячи з отриманих даних, які наведено у табл. 1 та табл. 2, визначено сумарні економічні збитки, що обумовлені зниженням якості електричної енергії (табл. 3) з 2021 по 2031 рік.

З метою покращення якості електричної енергії на трансформаторних підстанціях та зменшення економічних збитків пов'язаних з цим на сьогодні встановлюють фільтрокомпенсуючі пристрої. Для розглянутої підстанції для зменшення спотворень струму і проблем, які виникають через вищі гармоніки струму доцільним є використання силового активного фільтру (САФ), зокрема компаній

Schneider electric та APC – AccuSine SWP серії PCS120Y4IP20P, який розрахований на струм 120 А при напрузі 400 В. Вартість такого САФ складає 886747,65 грн [10].

Таблиця 3 – Сумарні економічні збитки від зниження якості електричної енергії

Рік	Величина збитку, грн	
	Контрольований режим	Розрахунковий режим
2021	95687,29	235227,27
2022	111102,51	256386,50
2023	129001,12	281784,94
2024	149783,21	312073,66
2025	173913,28	347997,23
2026	201930,71	390425,66
2027	234461,75	440371,01
2028	272233,53	499010,16
2029	316090,36	567711,32
2030	367012,51	648064,70
2031	426138,23	741918,25
Всього	2477354,50	4720967,70

Задля визначення економічної доцільності встановлення САФ на шинах трансформаторної підстанції проведемо аналіз ефективності інвестицій (капітальних вкладень) за допомогою методів, що засновані на дисконтованих оцінках [11, 12]. Такі методи враховують різні види інфляції, зміни процентної ставки, норми прибутковості і т.д. Одним з най-

більш використовуваних показників оцінки реальних інвестиційних проєктів є чистий дисконтований доход (net present value, *NPV*), який визначається як різниця між дисконтованою вартістю очікуваних грошових потоків від ефективного реалізації інвестиційного проєкту та вартістю вкладення інвестицій:

$$NPV = \sum_{t=1}^n PV_t - I_0C = \sum_{t=1}^n \frac{CF_t}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^t} - I_0C, \quad (5)$$

де PV_t – дисконтований грошовий потік наприкінці періоду t ; CF_t – чистий грошовий потік (надходження грошових засобів) наприкінці періоду t (прибуток); r – дисконтна ставка; n – порядковий номер року; I_0C – початкове укладення засобів (інвестиції).

Під час визначення *NPV* від встановлення САФ на шинах трансформаторної підстанції для контрольованого і розрахункового режимів приймемо:

- величину чистого грошового потоку як величину заощаджень за рахунок виключення економічних збитків від зниження якості електричної енергії (табл. 3);
- величину інвестицій рівну вартості САФ;
- дисконтну ставку для контрольованого режиму 10 %, а для розрахункового – 13 %.

У табл. 4 та табл. 5 наведено результати розрахунків чистого дисконтованого доходу з 2021 по 2031 рік для контрольованого та розрахункового режимів.

Таблиця 4 – Розрахунок чистого дисконтованого доходу для контрольованого режиму

Рік	Інвестиції (I_0C), грн	Чистий грошовий потік (CF_k), грн	Дисконтований грошовий потік (PV_k), грн	Чистий дисконтований доход (NPV_k), грн
2021	886747,65	95687,29	86988,44	-799759,21
2022		111102,51	91820,26	-707938,95
2023		129001,12	96920,45	-611018,50
2024		149783,21	102303,94	-508714,55
2025		173913,28	107986,46	-400728,09
2026		201930,71	113984,62	-286743,47
2027		234461,75	120315,95	-166427,52
2028		272233,53	126998,95	-39428,56
2029		316090,36	134053,17	94624,60
2030		367012,51	141499,21	236123,82
2031		426138,23	149358,85	385482,66
Всього			2477354,50	1272230,31

Таблиця 5 – Розрахунок чистого дисконтованого доходу для розрахункового режиму

Рік	Інвестиції (I_0C), грн	Чистий грошовий потік (CF_r), грн	Дисконтований грошовий потік (PV_r), грн	Чистий дисконтований доход (NPV_r), грн
2021	886747,65	235227,27	208165,72	-678581,04
2022		256386,50	200785,89	-477796,04
2023		281784,94	195291,10	-282504,94
2024		312073,66	191400,62	-91104,32
2025		347997,23	188878,95	97774,63
2026		390425,66	187528,68	285303,31
2027		440371,01	187184,38	472487,70
2028		499010,16	187707,59	660195,29
2029		567711,32	188982,49	849177,78
2030		648064,70	190912,31	1040090,09
2031		741918,25	193416,35	1233506,43
Всього			4720967,70	2120254,08

Аналіз отриманих розрахунків показав, що для контрольованого режиму встановлення САФ є економічно недоцільним, оскільки $NPV_k < 0$, що свідчить про збитковість запропонованого заходу. Для розрахункового режиму застосування фільтрокомпенсуючих пристроїв на шинах трансформаторної підстанції є прибутковим, так як $NPV_r > 0$.

Ще одним важливим показником прийняття чи відхилення інвестиційних проєктів є дисконтований період окупності (discounted payback period, DPP), який дозволяє урахувати зміну вартості грошей у часі та застосовувати різні ставки дисконтування для різних періодів. Цей показник визначається як:

$$DPP = \min n \Rightarrow \sum_{i=1}^n \frac{CF_i}{\left(1 + \frac{r}{100}\right)^i} > I_0 C. \quad (6)$$

На рис. 4 зображені діаграми NPV та DPP для двох режимів роботи трансформаторної підстанції. З рис. 4 видно, що для контрольованого режиму окупність інвестицій відбувається на 9-му році роботи проєкту, а точніше через 8,29 роки, що також свідчить про недоцільність встановлення САФ. За умов розрахункового завантаження обладнання підстанції окупність заходу зі встановлення САФ відбувається на 5-й рік, а саме через 4,48 роки, тобто менше половини прийнятого періоду.

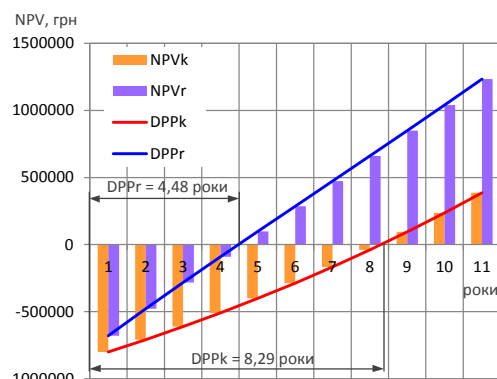


Рисунок 4 – Чистий дисконтований доход та дисконтований період окупності для контрольованого та розрахункового режимів

Оскільки для розрахункового режиму встановлення фільтрокомпенсуючих пристроїв на шинах трансформаторної підстанції є економічно вигідним, тому визначимо також показник внутрішньої норми доходності (internal rate of return, IRR). Мета використання цього показника – вказати на максимально можливу дисконтну ставку, за якої інвестиційний проєкт залишається у межі прибутковості [12].

Показник внутрішньої норми доходності чисельно дорівнює дисконтній ставці, за якої чистий дисконтований доход дорівнює інвестиціям:

$$IRR = r \text{ при } NPV = 0. \quad (7)$$

Залежність чистого дисконтованого доходу від дисконтної ставки для розрахункового режиму приведена на рис. 5. З рис. 5 слідує, що $IRR = 21,07\%$, тобто при дисконтній ставці вище цього значення інвестиційний проєкт буде збитковим та недоцільним.

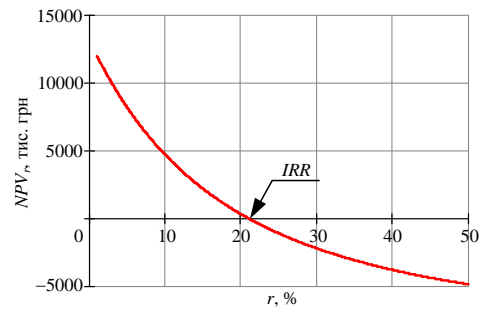


Рисунок 5 – Залежність чистого дисконтованого доходу від дисконтної ставки

ВИСНОВКИ. Дослідження режиму енергоспоживання трансформаторної підстанції ТП 6/0,4 кВ показали, що лінія працює із суттєвим недовантаженням, тому було проведено розрахунки економічних збитків обумовлених зниженням якості електричної для контрольованого (поточного) та розрахункового режимів. Сумарні економічні збитки з 2021 по 2031 рік з урахуванням зростання вартості електричної енергії для контрольованого режиму склали 2477354,50 грн, а для розрахункового – 4720967,70 грн.

Проведений аналіз економічної доцільності встановлення фільтрокомпенсуючих пристроїв на шинах вторинної напруги трансформаторної підстанції за допомогою методів, які засновані на дисконтованих оцінках, показав, що для контрольованого режиму встановлення САФ є економічно недоцільним, оскільки дисконтований період окупності становить 8,29 роки. Для розрахункового режиму окупність інвестицій відбувається через 4,48 роки, тому застосування САФ для покращення якості електричної енергії вважається доцільним.

ЛІТЕРАТУРА

- Півняк Г. Г., Жежеленко І. В., Папаїка Ю. А. Енергетична ефективність систем електропостачання. Дніпро : НТУ «ДП», 2018. 148 с.
- Жежеленко І. В., Саенко Ю. Л. Показатели качества электроэнергии и их контроль на промышленных предприятиях. Москва: Энергоатомиздат, 2000. 252 с.
- Papaika Yu., Lysenko O., Rogoza M., et al. Energy losses within the electric equipment in terms of poor voltage quality. Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2019. Вип. 1 (114). С. 9–13.
- Воронин В. А., Лебедев Г. М. Об экономическом ущербе от снижения качества электроэнергии и источниках его возникновения. Вестник Кузбасского государственного технического университета. 2016. № 3. С. 79–83.
- Гриб О. Г., Довгалюк О. Н., Омеляненко Г. В. Оценка величины экономического ущерба от снижения качества электрической энергии в системах электроснабжения промышленных предприятий. Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education' 2012. URL: <http://www.sworld.education/konfer29/1110.pdf> (дата звернення: 08.09.2021).
- Bialobrzeskiy O., Gladyr A., Yakimets S., Sulym A. Need of technical accounting at electric ener-

gy quality reduction under conditions of ac traction substation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. 2021. № 3. P. 75–80.

7. Полтаваенергозбут. URL: <https://www.energo.pl.ua/kom-propozytsii/> (дата звернення: 08.09.2021).

8. ООО «Северо-Западная Реставрационная Корпорация». URL: <http://www.schneider-spb.ru/trihaltransformatory.html> (дата звернення: 08.09.2021).

9. Компания «УкрПровод». URL: https://ukrprovod.com.ua/kabel_provod/kabel-ynky (дата звернення: 08.09.2021).

10. Электротехническое производственно-торговое предприятие «ЭНЕРГОЗАПАД». URL: www.energozapad.ru (дата звернення: 08.09.2021).

11. Стасюк Н. Р., Гресків І. Р. Методи оцінювання ефективності інвестиційних проєктів: переваги та недоліки. *Глобальні та національні проблеми економіки*. 2015. Вип. 6. С. 306–309.

12. Нестерова С. В. Методи оцінки ефективності інвестицій: сутність та характеристики. *Економіка і суспільство*. 2018. Вип. 19. С. 1105–1110.

ECONOMIC VIABILITY OF FILTER COMPENSATING DEVICES INSTALLATION AT TRANSFORMERS SUBSTATIONS' BUSBARS

V. Nozhenko, O. Bialobrzheskyi, A. Gladyr

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

ORCID: 0000-0003-0126-6970; 0000-0003-1669-4580; 0000-0002-3521-9112

Purpose. The purpose of the paper is to determine the economic viability of filter compensating devices installation at transformers substations' busbars 0.4 kV in conditions of underloading and sustainable growth of energy carriers.

Methodology. Measurement of current and voltage at the transformer substation 0.4 kV and monitoring of electric energy parameters were carried out. Based on the discrete current spectrum on the secondary voltage side, the growth of power losses of the cable line and transformer windings is calculated. The economic damage for ten years caused by the decrease in the quality of electricity, taking into account the increase in the cost of electricity, is calculated. Using methods that are based on discounted estimates, the economic feasibility of filter compensating devices installation was determined. **Results.** The total economic damage for ten years, taking into account the increase in the cost of electricity for the studied mode amounted to 2477354.50 UAH, and for the estimated one – 4720967.70 UAH. The analysis of the economic viability of filter compensating devices installation at transformers substations' busbars showed that this measure is appropriate for the estimated mode, but not for the studied one. **Originality.** The approach of determining the economic viability of filter compensating devices installation at transformers substations' busbars takes into account the amount of active power losses due to higher harmonics in each element of the electrical network, line overloading and increasing cost of electricity. **Practical value.** The obtained results can be used to determine the economic viability of filter compensating devices installation depending on the load of the line. References 12. Figures 5. Tables 5.

Key words: transformer substation, quality of electric energy, economic losses, filter compensating devices.

REFERENCES

1. Pivnyak, G. G., Zhezhelenko, I. V., Papayika, Yu. A. (2018). Energetychna efektyvnist system elektropostachannya [Energy efficiency of power supply systems]. Dnipro, 148 p. [in Ukrainian]

2. Zhezhelenko, I. V., Saenko, Yu. L. (2000). Pokazateli kachestva elektroenergii i ikh control na promyshlennykh predpriyatiyakh [Power quality and control of industrial plants]. Moscow, 252 p. [in Russian]

3. Papaika, Yu., Lysenko, O., Rogoza, M., et al. (2019). Energy losses within the electric equipment in terms of poor voltage quality. *Transaction of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. Vol. 1 (114). pp. 9–13.

4. Voronin, V. A., Lebedev, G. M. (2016). Ob ekonomicheskom ushcherbe ot snizheniya kachestva elektroenergii i istochnikakh yego vozniknoveniya [On the economic damage from reduction of power quality and the sources of its origin]. *Vestnik Kuzbasskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. No. 3. pp. 79–83. [in Russian]

5. Grib, O. G., Dovgalyuk, O. N., Omelyanenko, G. V. (2012). Otsenka velichiny ekonomicheskogo ushcherba ot snizheniya kachestva elektricheskoy energii v sistemakh elektrosnabzheniya promyshlennykh predpriyatiy [Estimate of the economic impact of reducing the electric energy quality in supply systems industrial plants]. *Modern problems and ways of their solution in science, transport, production and education*. URL: <http://www.sworld.education/konfer29/1110.pdf>

6. Bialobrzheskyi, O., Gladyr, A., Yakimets, S., Sulym, A. (2021). Need of technical accounting at electric energy quality reduction under conditions of ac traction substation. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*. No. 3. pp. 75–80.

7. Poltavaenerhozbut [Poltava energy sales]. URL: <https://www.energo.pl.ua/kom-propozytsii/>.

8. ООО «Северо-Западная Реставрационная Корпорация» [LLC «North-West Restoration Corporation»]. URL: <http://www.schneider-spb.ru/trihaltransformatory.html>

9. Компания «УкрПровод» [UkrProvod company]. URL: https://ukrprovod.com.ua/kabel_provod/kabel-ynky

10. Elektrotekhnicheskoye proizvodstvenno-torgovoye predpriyatiye «ENERGOZAPAD» [Electrotechnical production and trade enterprise “ENERGOZAPAD”]. URL: www.energozapad.ru

11. Stasyuk, N. R., Greskiv I. R. (2015). Metody otsinyuvannya efektyvnosti investytsiynykh proektiv: perevagy ta nedoliky [Methods of evaluation efficiency of investment projects: advantages and disadvantages]. *Globalni ta natsionalni problemy ekonomiky*. Vol. 6. pp. 306–309. [in Ukrainian]

12. Nesterova, S. V. (2018). Metody otsinky efektyvnosti investytsiy: sutnist ta kharakterystyky [Methods of investment efficiency assessment: essence and characteristics]. *Економіка і суспільство*. Vol. 19. pp. 1105–1110. [in Ukrainian]

Стаття надійшла 08.09.2021