

ОПТИМІЗАЦІЯ ПОТУЖНОСТІ ПЛАВЛЕННЯ ОЖЕЛЕДІ НА ПЛ 6–10 КВ РОЗПОДІЛЬНИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖ

Білаш І. П., Савченко О. А.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Розроблено техніко-економічну модель плавлення ожеледі на ПЛ 6–10 кВ розподільних електричних мереж, на основі якої проведено оптимізацію потужності плавлення ожеледних відкладень.

Постановка проблеми. Історичний розвиток розподільних електричних мереж 6–10 кВ привів до суттєвого скорочення їх довжини. У зв'язку з цим, використання методу штучного к.з. для плавлення ожеледі на існуючих повітряних лініях електропередавання (ПЛ) 6–10 кВ в переважній більшості випадків стало неможливим, оскільки струми плавлення перевищують максимальні допустимі значення [1]. Виходом з даної ситуації є застосування спеціальних електросилових установок плавлення ожеледі, які узгоджують параметри енергосистеми з параметрами ліній (струмообмежуючі реактори, знижувальні автотрансформатори [2], трансформатори захисту від ожеледі [3]). В цьому випадку перед проектувальником виникає проблема вибору оптимальної за певними критеріями величини втрат активної потужності на одиниці довжини проводу в режимі плавлення відкладень – потужності плавлення, яка повинна забезпечуватись електросиловою установкою. Вирішення даної проблеми пов'язане з питаннями вибору оптимальної пропускної здатності районних трансформаторних підстанцій (РТП) 110–35/6–10 кВ з врахуванням плавлення ожеледі на відхідних ПЛ 6–10 кВ, питаннями конструювання електросилових установок плавлення ожеледі, їх уніфікації та впровадження серійного виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Аналіз підходів у проектуванні плавлення ожеледі на ПЛ 6–10 кВ розподільних електричних мереж [4] показав, що існуючі техніко-економічні моделі не дозволяють врахувати вплив потужності плавлення на надійнісно-вартісні характеристики схем плавлення відкладень та здійснити вибір оптимального значення потужності плавлення.

Мета статті. Метою досліджень було розроблення техніко-економічної моделі плавлення ожеледі на ПЛ 6–10 кВ розподільних електричних мереж з врахуванням впливу потужності плавлення ожеледі на технічні та економічні показники схем плавлення та оптимізація потужності плавлення відкладень.

Основні матеріали дослідження. На першому етапі для вирішення задачі оптимізації потужності плавлення ожеледі було використано критерій приведених витрат на схему плавлення ожеледних відкладень. При цьому використано детерміновану постановку задачі, що спростило пошук її рішення.

В загальному вигляді однокритеріальна задача оптимізації потужності плавлення ожеледі P_{0vi} формується таким чином: для електросилової установки плавлення ожеледі, що використовується на РТП 110–35/6–10 кВ з кількістю відхідних ПЛ 6–10 кВ n

та довжиною ліній l_i ($i \in 1 \dots n$), знайти такі значення P_{0vi} для ліній, при яких сумарні середньорічні приведені витрати на плавлення ожеледі на цих лініях $Z_{c.p.}$ будуть мінімальними. Одночасно потужність плавлення для кожної лінії P_{0vi} повинна бути більшою за деяке мінімальне значення P_{0vmin} , визначене за умовою забезпечення необхідної швидкості знімання відкладень на групі взаємозв'язаних ПЛ, та меншою від деякого максимального значення $P_{0vmax1i}$, яке визначається за умовою максимального допустимого нагрівання проводу [1]. Верхня межа регулювання потужності плавлення відповідає значенню $P_{0vmax2i}$, яке пов'язане з технічними обмеженнями електросилової установи плавлення ожеледі (див. наприклад [3]). Умовою доцільності впровадження плавлення ожеледі на групі ПЛ 6–10 кВ даної підстанції в порівнянні з варіантом, коли плавлення відсутнє, є неперевищення приведеними витратами на плавлення сумарних середньорічних збитків внаслідок пошкодження даних ПЛ під дією ожеледі $U_{c.p.}$ в математичній формі

$$\begin{cases} Z_{c.p.} \rightarrow \min; \\ Z_{c.p.} - U_{c.p.} < 0; \\ P_{0vmin} \leq P_{0vi} \leq P_{0vmax1i} \quad (i \in 1 \dots n); \\ P_{0vi} \leq P_{0vmax2i} \quad (i \in 1 \dots n). \end{cases} \quad (1)$$

Сумарні середньорічні приведені витрати на плавлення ожеледі

$$\begin{aligned} Z_{c.p.} = & (p_a + p_e + E_n)(K_{nn} + K_{oc} + K_{acm} + \\ & + \Delta K_{mn} + \sum_{i=1}^n (K_{kai} + \Delta K_{пров i})) + \Delta I_{mn} \\ & + \left(\frac{\sum_{t=1}^{T_p} \sum_{i=1}^n (I_{eeti} + U_{naiti} + I_{неуспiti})}{T_p} \right), \end{aligned} \quad (2)$$

де p_a – коефіцієнт річних амортизаційних відрахувань;

p_e – коефіцієнт річних експлуатаційних витрат на електротехнічний комплекс плавлення ожеледі;

E_n – норматив ефективності капіталовкладень;

K_{nn} , K_{oc} , K_{acm} , ΔK_{mn} , K_{kai} , $\Delta K_{пров i}$ – капіталовкладення, відповідно в пристрій плавлення ожеледі, обідну систему шин, автоматизовану систему моніто-

рингу за утворенням ожеледі, в додаткову потужність силового трансформатора РТП, в комутаційні апарати та в додаткову вартість проводів на i -ій ПЛ;

$I_{ee\ ti}$ – сумарні для i -ої лінії за рік t витрати на електричну енергію для плавлення ожеледі;

$Y_{nl\ ti}$ – сумарні для i -ої лінії за рік t збитки, нанесені споживачам та системі в результаті недовідпуску електроенергії під час плавлення відкладень;

$Y_{неусп\ ti}$ – сумарні для i -ої лінії за рік t збитки в результаті неуспішних плавлень;

ΔI_{mn} – зміна річних витрат на втрати активної енергії в силовому трансформаторі РТП;

T_p – розрахунковий період, років.

Сумарні середньорічні збитки внаслідок пошкодження ПЛ під дією ожеледі при відсутності пристрою плавлення ожеледі на РТП

$$Y_{c.p.} = \frac{\sum_{t=1}^{T_p} \sum_{i=1}^n (Y_{спож\ ti} + Y_{суст\ ti} + Y_{відн\ ti})}{T_p}, \quad (3)$$

де $Y_{спож\ ti}$, $Y_{суст\ ti}$ – відповідно збитки, нанесені споживачам, та системні збитки;

$Y_{віднов\ ti}$ – збитки, пов'язані з відновленням ПЛ після пошкодження внаслідок дії ожеледі.

Річні витрати на електроенергію для плавлення ожеледі на ПЛ розраховано з використанням таких показників як середньорічна кількість випадків виникнення відкладень різних видів з небезпечними розмірами та середня кількість циклів плавлення відкладень. При визначенні сумарних збитків, що наносяться споживачам та системі в результаті недовідпуску електроенергії під час плавлення відкладень, додатково було використано показники середньодобового (для зимової доби) питомого навантаження ПЛ та середньозважених питомих збитків. В результаті розрахунків було встановлено, що річні витрати на електроенергію для плавлення ожеледі та збитки внаслідок перерв в електропостачанні споживачів під час плавлення відкладень мають зворотній зв'язок із потужністю плавлення, оскільки при збільшенні останньої суттєво

скорочується час плавлення, що сприяє зменшенню витрат енергії на нагрівання повітря та тривалості перерв електропостачання. На рис. 1 наведено графіки залежностей річних витрат на електроенергію для плавлення від потужності плавлення для ПЛ 10 кВ з довжиною магістралі $l=10$ км в четвертому кліматичному районі для тривалого та повторно-короткочасного режимів плавлення.

При проектуванні серії установок плавлення ожеледі на ПЛ 6–10 кВ передбачено три типорозміри, які відрізняються максимальною довжиною лінії, захист якої вони здатні забезпечити – 10, 16 та 25 км. Залежності вартості установок плавлення ожеледі, а також вартості додаткової потужності силового трансформатора РТП при впровадженні схеми плавлення, від потужності плавлення відкладень було отримано на основі аналізу процесів у відповідних пристроях плавлення [2, 3] (рівняння не наводяться по причині їх громіздкості). Розглядалися методи плавлення з використанням струмообмежуючих реакторів, автотранс-

форматора плавлення ожеледі та трансформатора захисту від ожеледі. Аналіз показав, що вартість установок плавлення ожеледі та вартість додаткової потужності силового трансформатора РТП мають прямий зв'язок із потужністю плавлення відкладень.

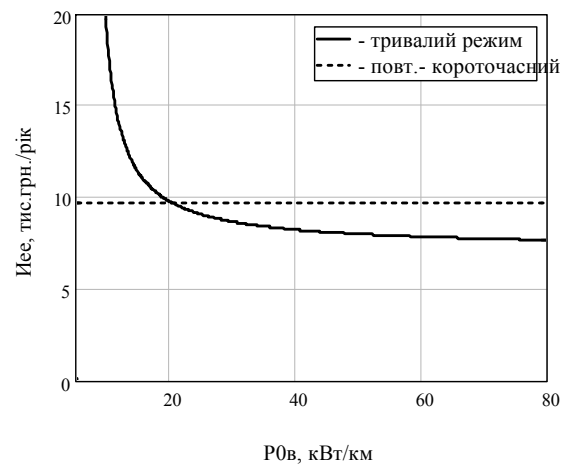


Рисунок 1 – Графіки залежностей річних витрат на електроенергію для плавлення ожеледі від потужності плавлення для ПЛ 10 кВ

На рис. 2 наведено графіки залежностей вартості установок плавлення ожеледі від потужності плавлення відкладень.

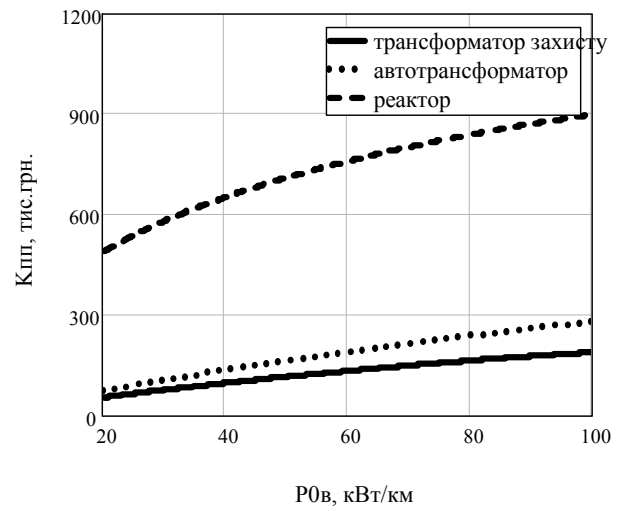


Рисунок 2 – Графіки залежностей вартості установок плавлення ожеледі ($l_{max}=10$ км) від потужності плавлення для ПЛ 10 кВ

Після нескладних перетворень та приймання спрощень, які вносять похибку в розрахунки приведенних витрат на плавлення ожеледі в межах 7–9 %, вихідна система (1) прийме вигляд

$$\begin{cases} Z_{c.p.} = A_1 P_{0e}^{\alpha_1} + A_2 P_{0e}^{\alpha_2} + A_3 P_{0e}^{\alpha_3} + A_4 \rightarrow \min; \\ Z_{c.p.} - Y_{c.p.} < 0; \\ P_{0vmin} \leq P_{0e} \leq P_{0vmax1}; \\ P_{0v} \leq P_{0vmax2} \end{cases} \quad (4)$$

де A_1, A_2, A_3, A_4 – коефіцієнти, які визначаються вихідною інформацією моделі;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – показники степені, які залежать від методу плавлення, табл. 1.

Таблиця 1 – Показники степені незалежної змінної в рівнянні приведених витрат на плавлення

Метод плавлення	Показники степені		
	α_1	α_2	α_3
Трансформатор захисту	1	3/2	-1
Реактор	1/2	1	-1
Автотрансформатор	1	3/2	-1
Повторно-короткочасний режим	0	0	0

На рис. 3 наведено графіки залежностей приведених витрат на плавлення ожеледі від потужності плавлення для різних методів в особливому районі.

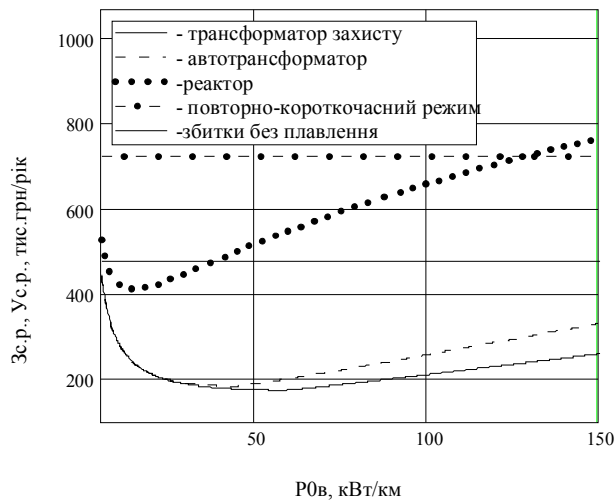


Рисунок 3 – Графіки залежностей приведених витрат на плавлення ожеледі від потужності плавлення та рівень річних збитків при відсутності пристрою плавлення

Для кожного з методів існує оптимальне значення потужності плавлення, для якого приведені витрати є мінімальними.

Мінімізація приведених витрат на плавлення ожеледі проводилась числовим методом Квазі-Н'ютона в рамках Mathcad. Результати розрахунку для особливого району наведені в табл. 2.

Висновки. Оптимальна потужність плавлення відкладень, яка повинна забезпечуватись трансформатором захисту від ожеледі, складає 58,3 кВт/км, для автотрансформатора плавлення – 43,4 кВт/км. Метод з використанням трансформатора захисту від ожеледі має на 5–19 % менші приведені витрати, ніж метод з автотрансформатором плавлення. Подальші дослідження в даному напрямку полягають у вивченні чутливості та стійкості моделі плавлення ожеледі на ПЛ 6–10 кВ до зміни вихідних даних та оптимізації потужності плавлення ожеледних відкладень з врахуванням невизначеності вихідної інформації.

Таблиця 2 – Результати розрахунку оптимальної

потужності плавлення $P_{0в\ opt}$ (кВт/км) та мінімальних приведених витрат на плавлення $Z_{с.р.\ min}$ (тис. грн/рік)

Максимальна довжина ПЛ, на яку розрахована електросилова установка плавлення, км	Метод плавлення			
	з трансформатором захисту від ожеледі		з автотрансформатором плавлення	
	$P_{0в\ opt}$	$Z_{с.р.\ min}$	$P_{0в\ opt}$	$Z_{с.р.\ min}$
10	58,3	195	43,4	204
16	58,3	240	43,4	269
25	58,3	287	43,4	342

Список використаних джерел

1. Молодцов В. С. О плавке гололеда на ВЛ в повторно-кратковременных режимах / [В. С. Молодцов, М. М. Середин, В. Н. Александров] // Электрические станции. – 1996. – № 5. – С. 59-60.
2. Научно-технический отчет по теме "Выбор способов и разработка целесообразных схем плавки гололеда на ВЛ различных классов напряжения в Молдавской энергосистеме" – Кишинев.: НТЦ "Техинформэнерго", 2001.
3. Білаш І. П. Аналіз електричних процесів в пристрої захисту повітряних ЛЕП від відкладень ожеледі та паморозі / І. П. Білаш, О. А. Савченко // Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України. – Харків: ХДТУСГ, 2003.–Т. 1. –С.91-98

Аннотація

ОПТИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ ПЛАВКИ ГОЛОЛЕДА НА ВЛ 6–10 КВ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ

Белаш И. П., Савченко А. А.

Разработана технико-экономическая модель плавки гололеда на ВЛ 6–10 кВ распределительных электрических сетей, на основании которой проведена оптимизация мощности плавки гололедных образований.

Abstract

OPTIMIZATION OF POWER OF MELTING OF ICE-LOADS ON DISTRIBUTIVE POWER LINES 6–10 KV

I. Bylash, O. Savchenko

The economic model of melting of ice-loads on distributive power lines 6–10 kV is worked out, which allowed to optimize power of melting of ice.