



DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-2-11

УДК 621.311:502.22

О. Ю. Савойський¹, ст. викладач

ORCID: 0000-0002-6459-4931

В. Ф. Сіренко¹, канд. техн. наук

ORCID: 0000-0003-0831-6563

Т. С. Вольвач¹, асистент

ORCID: 0000-0002-8890-6901

Ю. В. Сіренко¹, PhD

ORCID: 0000-0003-1818-3653

¹ Сумський національний аграрний університет

e-mail: o.savoiskyi@gmail.com, тел.: +380976553778

ПІДВИЩЕННЯ НАДІЙНОСТІ РАЙОННИХ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ ЗА РАХУНОК ОРНІТОЛОГІЧНОГО ЗАХИСТУ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

Анотація. В роботі проведено аналіз аварійних відключень районних трансформаторних підстанцій напругою 35/10 кВ. Виявлено характерні причини на частку яких припадає найбільша кількість пошкоджень та аварійних відключень системи електропостачання. Встановлено, що близько 11 % від сумарної тривалості аварійних відключень досліджуваних підстанцій припадає на вплив птахів, що значно погіршує загальні показники надійності їх роботи. З метою зменшення аварійних відключень, які виникають внаслідок життєдіяльності птахів, розглянуто типи сучасних птахозахисних пристроїв та можливість їх застосування для ліній електропередачі. Таке рішення дозволить значно підвищити надійність роботи систем електропостачання при мінімальних грошових витратах.

Ключові слова: система електропостачання, аварійні відключення, тривалість відключень, повітряна лінія електропередачі, механізми впливу птахів на повітряні лінії, птахозахисний пристрій.

Постановка проблеми. Насьогодні електроенергія є однією з найважливіших складових життя суспільства, оскільки вона використовується практично у всіх сферах господарської діяльності. Трансформаторні підстанції відіграють ключову роль у постачанні електроенергії від джерела генерації до кінцевих споживачів. Районні трансформаторні підстанції напругою (РТП) є важливими ланками в цій системі, оскільки вони відповідають за розподіл і зниження напруги для подальшого постачання електроенергії до міст, сіл, та промислових підприємств.

У зв'язку зі зростаючими потребами в електроенергії та змінами в структурі електричних навантажень, а також впровадженням нових технологій, трансформаторні підстанції стають більш завантаженими та вимагають постійного підвищення їхньої надійності та ефективності. Такі заходи необхідні для запобігання аваріям,



мінімізації перерв у постачанні електроенергії та забезпечення якісного обслуговування споживачів [1, 2].

Аналіз та оцінка надійності роботи районних трансформаторних підстанцій вимагає детального розгляду різних аспектів, що включають в себе технічний стан обладнання, ефективність системи управління, планування профілактичних робіт та реагування на аварійні ситуації [3, 4]. Підвищення надійності роботи РТП є важливою задачею для забезпечення стабільності електромереж та надійного постачання електроенергії споживачам. Тому проведення досліджень, які направлені на підвищення надійності функціонування систем електропостачання є актуальною задачею.

Аналіз останніх досліджень. Серед найпоширеніших причин аварійних відключень систем електропостачання, таких як атмосферні перенапруги, вітрові та ожеледні навантаження, значний відсоток становить вплив птахів на роботу електротехнічного обладнання та лінії електропередачі [5–7].

Окрім негативного впливу птахів на систему, що тягне за собою відключення як силових трансформаторів, так і повітряних ліній електропередачі, питання взаємодії птахів та систем електропостачання також розглядається з екологічної точки зору. Електроустановки часто виступають як аналоги природних субстратів, які необхідні для життєдіяльності птахів. Результатом такої взаємодії птахів і систем електропостачання можуть бути «біоушкодження» електроенергетичного обладнання, що викликається діями організмів, а також «біоцидна» дія електротехнічних пристроїв на живі організми [8–10].

Вартість заміни, ремонту та технічного обслуговування пошкодженого обладнання, недовідпущеної електричної енергії та збитки виробництва від перерв в електропостачанні обумовлюють обґрунтування належних заходів щодо запобігання аварійних відключень, пов'язаних із життєдіяльністю птахів.

В Україні були розроблені засоби захисту від птахів та проведено їх встановлення на кількох лініях електропередачі, але результатів їх функціонування з точки зору підвищення надійності системи електропостачання поки що не отримано [11].

Формулювання мети статті (постановка завдання). Метою роботи є обґрунтування заходів щодо підвищення надійності роботи районних трансформаторних підстанцій.

Для досягнення мети поставлені наступні завдання:

- провести статистичний аналіз аварійних відключень районних трансформаторних підстанцій на прикладі регіональних РТП 35/10 кВ;
- обґрунтувати заходи, спрямовані на забезпечення орнітологічної безпеки повітряних ліній для підвищення надійності роботи РТП 35/10 кВ.



Основна частина. Дослідження аварійних відключень районних трансформаторних підстанцій проводили на двох РТП 35/10 кВ регіональної електропостачальної компанії. Досліджувані РТП призначені для живлення побутових та виробничих споживачів Сумського регіону всіх трьох категорій по надійності електропостачання.

Для аналізу аварійних відключень РТП 35/10 кВ використовувалися акти розслідування аварій, які були проведені відповідними районами електричних мереж (РЕМ) протягом 2021-2023 років.

Результати дослідження загальної кількості аварійних відключень та сумарна їх тривалість для досліджуваних підстанцій наведені в таблиці 1.

Таблиця 1

Показники аварійності досліджуваних підстанцій

Досліджувана РТП	2021 рік		2022 рік		2023 рік	
	К-ть аварій	Тривалість відкл., год	К-ть аварій	Тривалість відкл, год	К-ть аварій	Тривалість відкл, год
РТП 35/10 кВ №1	13	16,25	6	4,51	3	2,23
РТП 35/10 кВ №2	12	17,57	18	17,25	5	3,8

Аналіз отриманих результатів дослідження дозволив виявити характерні причини на частку яких припадає найбільша кількість пошкоджень та аварійних відключень РТП. Для обох підстанцій найбільше аварій стається через атмосферні перенапруги, тривалі вітрові перевантаження та вплив на роботу повітряних ліній (ПЛ) птахів. Водночас близько 65 % всіх пошкоджень та аварій стається в весняно-літній період з травня по серпень.

На рис. 1 показано структуру сумарної тривалості аварійних відключень, виражених у відсотках, в залежності від виду пошкоджень для обох досліджуваних підстанцій.

Найбільший відсоток технологічних порушень роботи РТП мають лінії електропередачі (близько 73 %), порушення роботи безпосередньо обладнання підстанцій становить близько 9 %. Інші аварії пояснюються пошкодженням обладнання споживачів електричної енергії. Водночас слід відмітити, що згідно даних РЕМ 39 % всіх аварій не призводили до перерв в електропостачанні за рахунок правильного резервування та роботи апаратів автоматики.

Близько 11 % від сумарної тривалості аварійних відключень досліджуваних підстанцій припадає на вплив птахів, що досить значно впливає на загальні показники роботи РТП.

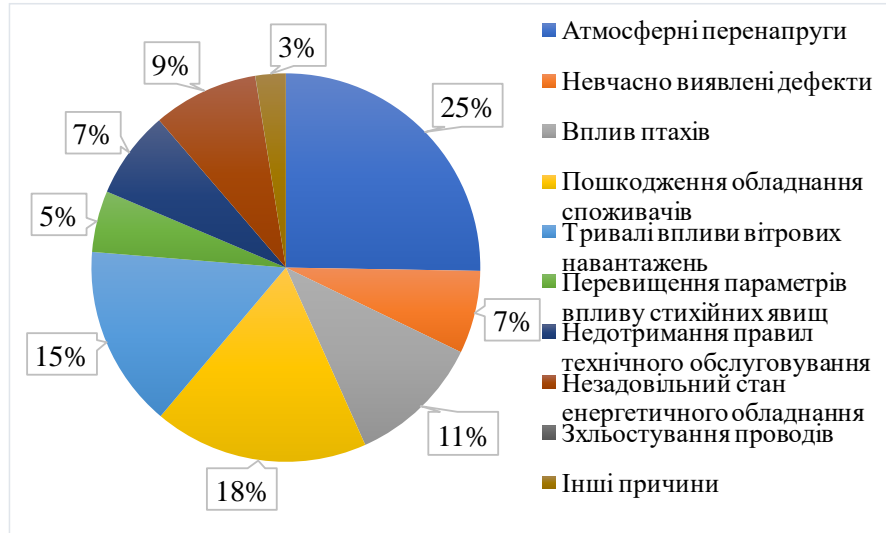


Рис. 1. Структура сумарної тривалості аварійних відключень для досліджуваних РТП 35/10 кВ, виражених у відсотках

На рис. 2 наведено дані щодо частки відключень РТП 35/10 кВ Сумського регіону через птахів від загальної кількості аварій.

Авізуючи отримані дані (рис. 2), можна зробити висновок, що кількість аварійних відключень через життєдіяльність птахів в системі з кожним роком зростає. В 2021 році даний показник був на рівні 3 %, а в 2023 році – виріс практично в 3 рази.



Рис. 2. Частка відключень через птахів від загальної кількості аварій підстанцій Сумського регіону

На рис. 3. наведено дані щодо частки відключень через птахів на досліджуваних РТП №1 та №2 від загальної кількості аварій по підстанціям Сумської області за останні три роки.

Аналіз даних рис. 3 показує, що частка відключень через птахів на РТП №1 дещо більша в порівнянні з досліджуваною РТП №2. Загальний відсоток аварій досліджуваних підстанцій через птахів в 2021 році склав 49,4 % від загального числа відключень по РТП 35/10 кВ Сумської області, в 2022 році – 19,2 %, а в 2023 році – 5,2 %.

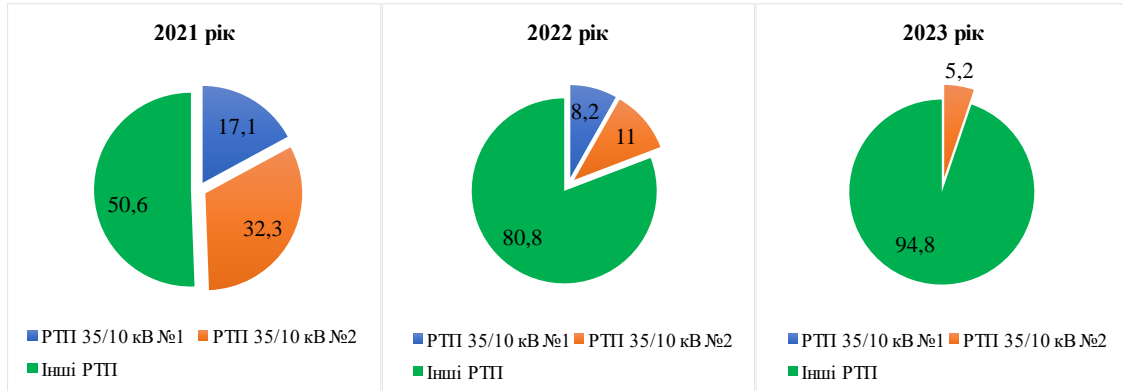


Рис. 3. Частка відключень досліджуваних РТП через птахів від загальної кількості аварій підстанцій Сумського регіону

Встановлено, що за останні роки спостерігається тенденція щодо зниження аварій на досліджуваних РТП через птахів, однак даний відсоток має достатньо високе значення. Тому розробка заходів щодо зменшення кількості відключень РТП через життєдіяльність птахів є важливим питанням для надійного функціонування РТП.

Можливі механізми ураження електричним струмом птахів на лініях електропередачі наведені на рис. 4 [12].

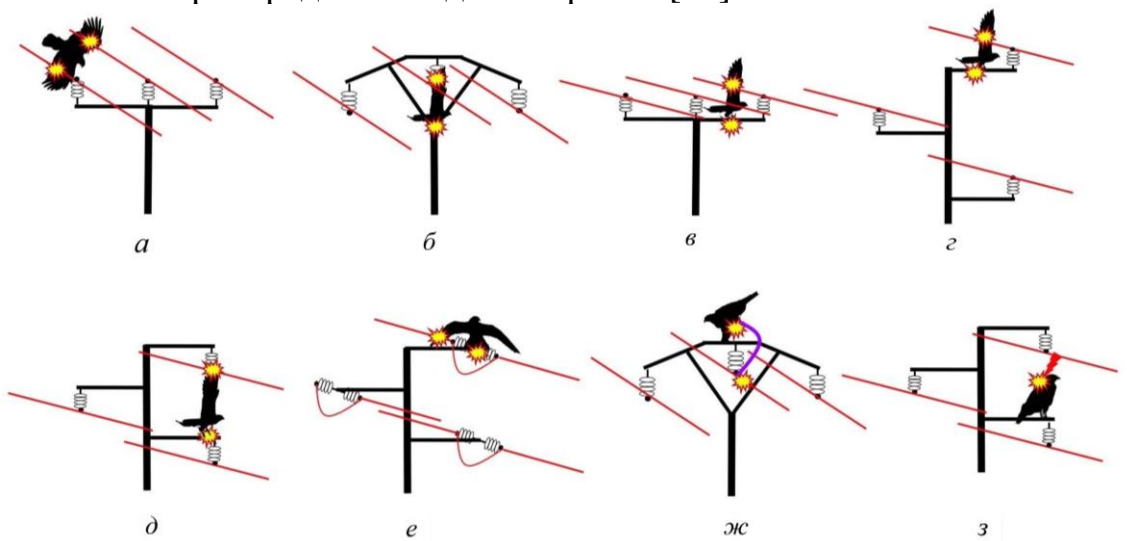


Рис. 4. Механізми ураження електричним струмом птахів на лініях електропередачі: а – закорочування тілом птаха проміжку між двома фазовими провідниками; б–е – замикання в результаті розташування птахів між заземленим елементом опори та проводом; ж – перекриття ізоляції в результаті випорожнень птахів; з – електричний пробій через наближення сидячого на заземленій конструкції птаха до фазного провідника

Потенційна небезпека ураження птахів електричним струмом на ЛЕП та супутніх електроустановках полягає в наявності доступних для птахів неізольованих струмопровідних елементів (проводів) та



заземлених конструкцій (опорних стійок, траверс та ін.). При цьому вирішальну роль відіграють габарити та взаємне розташування зазначених конструктивних елементів.

Ураження електричним струмом може відбуватися в момент замикання ланцюга в результаті розташування птахів між заземленим елементом і проводом (рис. 4, б–е) або в момент, коли птах закорочує своїм тілом проміжок між двома фазними струмоведучими провідниками (рис. 4, а). Забруднення ізоляторів, а також випорожнення результатів життєдіяльності птахів призводять до перекриття ізоляції (рис. 4, ж) та відключень ПЛ, що тягне за собою великі збитки від перерв в електропостачанні споживачів, пошкодження електрообладнання. Причинами міжфазного короткого замикання та перегорання дротів можуть бути перекриття ізолюючого повітряного проміжку через коливання проводу, які викликані одночасним злетом з нього зграї птахів. Також в результаті цього може виникати зхльостування провідників через створені коливання проводів різних фаз. Іноді великі зграї птахів спричиняють обрив і падіння проводів на землю.

Орнітологічна безпека електропостачання визначається відсутністю негативної взаємодії між птахами та електроенергетичними об'єктами. Заходи, які спрямовані на забезпечення орнітологічної безпеки, впроваджуються з метою захисту електроустановок від негативного впливу птахів, скорочення тривалості перерв у електропостачанні та збереження рідкісних та зникаючих видів птахів. Прогресивним способом модернізації об'єктів електропостачання є застосування самонесучих ізольованих проводів, які суттєво знижують ризик ураження птахів електричним струмом. Але враховуючи значну протяжність побудованих ПЛ, даний метод економічно необґрунтований.

Простим та дешевим варіантом вирішення даного питання є використання спеціальних птахозахисних пристроїв, що являють собою діелектричний виріб, який призначений для запобігання ураження птахів електричним струмом на повітряних лініях від 6 кВ та вище. Слід зауважити, що птахозахисні пристрої, насамперед, є засобом захисту саме птахів, а не повітряних ліній. Різновиди птахозахисних пристроїв наведені нижче на рис. 5.

Пристрої захисту птахів ізолюючого типу (рис. 5, а) ізолюють птахів від прямого контакту з проводами, арматурою ПЛ та іншими елементами обладнання ПЛ, такими як ізолятори, вводи та виводи трансформаторів. Пристрої сідалоподібного типу (рис. 5, б) створюють умови для безпечної посадки птахів та захищають їх від контакту зі струмоведучими та заземленими частинами опор ПЛ. Вони розташовуються на горизонтальних полицях траверс ПЛ. Повітряні кулі-маркери (рис. 5, в) використовуються як візуальні

позначення для проводів і тросів ПЛ, роблячи їх помітнішими для птахів під час польоту.

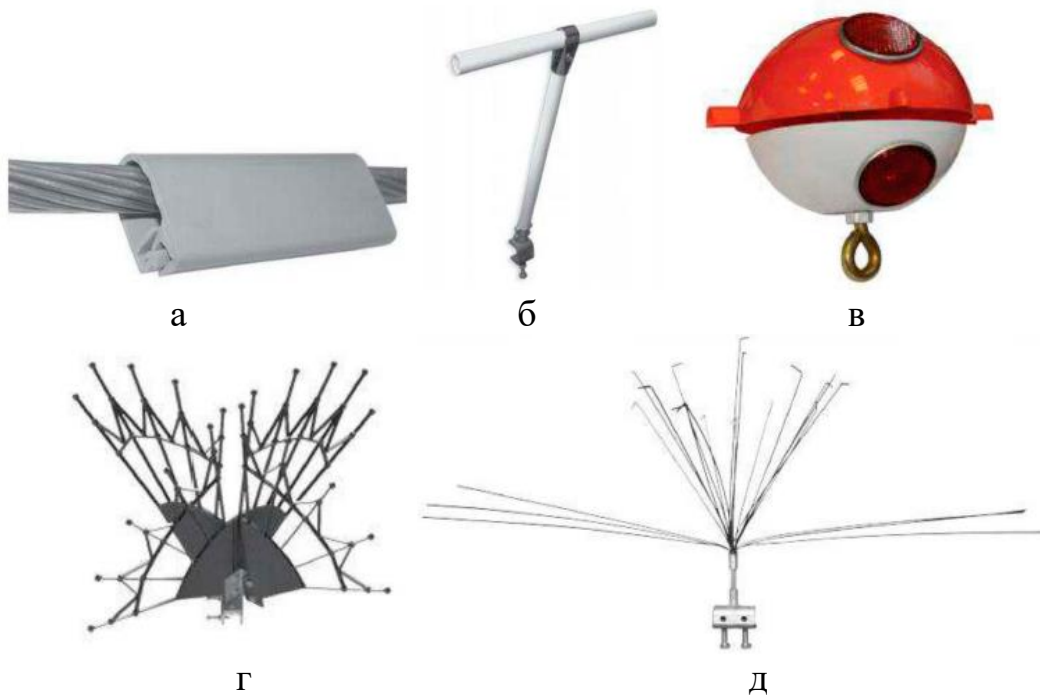


Рис. 5. Різновиди птахозахисних пристроїв:
а – ізолюючого типу; б – сідалоподібного типу; в – маркерного типу; г, д – антипосадкового типу

Пристрої антипосадкового типу (рис. 5, г, д) призначені для захисту гірлянд ізоляторів від забруднення продуктами життєдіяльності птахів і самих птахів від ураження електричним струмом на ПЛ напругою від 6 кВ до 750 кВ. Вони встановлюються на траверсі ПЛ поруч із місцем кріплення ізолятора або гірлянди ізоляторів та заважають птахам сідати на траверсі в зоні захисту.

Для мінімізації аварій, які виникають внаслідок впливу птахів на роботу ліній електропередачі напругою 6-10 кВ, рекомендується використовувати сучасні птахозахисні пристрої ізолюючого типу ПЗУ-6-10кВ (рис. 6).

Будова та матеріали даних птахозахисних пристроїв мають декілька важливих переваг:

- дозволяють проводити низовий огляд ліній електропередачі без необхідності демонтажу пристрою;
- надають можливість повертати виріб вздовж поздовжньої осі без демонтажу, що сприяє проведенню повноцінного верхнього огляду лінії, включаючи контроль цілісності ізолятора та стану в'язки дроту;
- запобігають накопиченню льоду, снігу, води, пилу та залишків пташиного посліду як на опорно-підвісному устаткуванні, так і під самим пристроєм;

- можливість встановлення птахозахисних пристроїв на лініях електропередачі з комбінованим використанням натяжних і штирьових ізоляторів;
- мають розрахунковий термін служби приблизно 45 років.

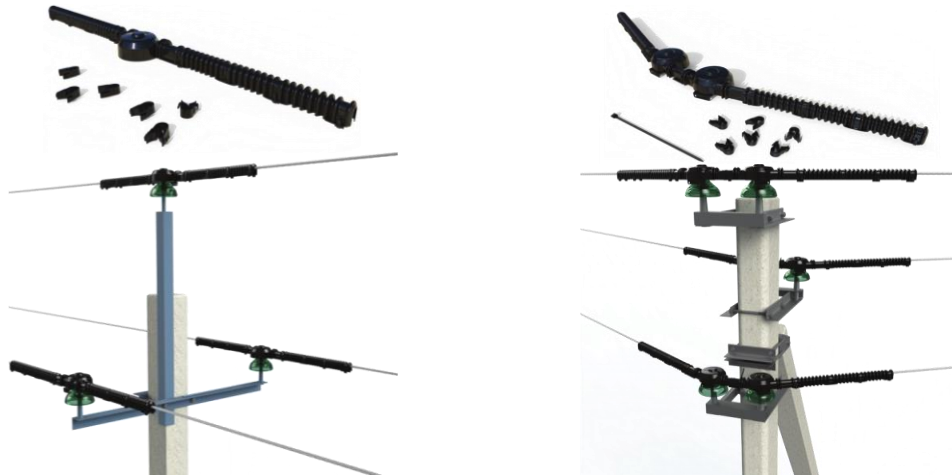


Рис. 6. Птахозахисні пристрої ізолюючого типу ПЗУ-6-10кВ:
а – для проміжних опор; б – для анкерно-кутових опор

Висновки. Аналіз отриманих результатів досліджень дозволив виявити характерні причини, на частку яких припадає найбільша кількість пошкоджень та аварійних відключень районних трансформаторних підстанцій. Встановлено, що близько 11 % від сумарної тривалості аварійних відключень досліджуваних підстанцій припадає на вплив птахів, що досить значно впливає на загальні показники надійності їх роботи.

Для мінімізації аварій, які виникають внаслідок впливу птахів, рекомендується використовувати сучасні птахозахисні пристрої ізолюючого типу для ліній електропередачі напругою 6-10 кВ, які дозволять значно підвищити надійність роботи системи електропостачання при мінімальних грошових витратах.

Список використаних джерел

1. Гриб О. Г., Карпалюк І. Т., Швець С. В., Захаренко Н. С.. Підвищення надійності системи електропостачання за рахунок безпілотних літальних апаратів. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2020. Вип. 2. <https://doi.org/10.31649/2307-5376-2020-2-11-16>.

2. Ахромкін А. О. Сучасні характеристики електричних мереж України: регіональний аспект. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2015. Вип. 6 (223). С. 7–10.

3. Бондаренко Р. В., Довгалюк О. М., Омеляненко Г. В., Піротті О. Є., Сиромятнікова Т. В. *Вісник Харківського національного*



технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2018. Вип. 195. С. 69–71.

4. Буйний Р. О., Діхтярук І. В., Зорін В. В. Застосування роз'єднувачів нового покоління у схемах автоматизованого секціонування розподільних мереж напругою 6–10 кВ. *Технічна електродинаміка*. 2014. Вип. 3. С. 70–75.

5. Polat Ö., Yumak K., Atilla N. E., Bağrıyanık M. An overview of bird related issues in electrical power systems. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2016. Vol. 161. e012091. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/161/1/012091>.

6. Bernardino J., Bevanger K., Barrientos R., Dwyer J. F., Marques A. T., Martins R. C., Shaw J. M., Silva J., Moreira F. Bird collisions with power lines: State of the art and priority areas for research. *Biological Conservation*. 2018. Vol. 222. P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.02.029>.

7. Chevallier C., Hernández Matías A., Real J., Vincent Martin N., Ravayrol A., Besnard A. Retrofitting of power lines effectively reduces mortality by electrocution in large birds: an example with the endangered Bonelli's eagle. *Journal of Applied Ecology*. 2015. Vol. 52(6). P. 1465–1473. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12476>.

8. D'Amico M., Catry I., Martins R. C., Ascensão F., Barrientos R., Moreira F. Bird on the wire: Landscape planning considering costs and benefits for bird populations coexisting with power lines. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*. 2018. Vol. 47(6). P. 650–656. <https://doi.org/10.1007/s13280-018-1025-z>.

9. Loss S. R., Will T., Marra P. P. Refining estimates of bird collision and electrocution mortality at power lines in the United States. *PLOS ONE*. 2014. Vol. 9(7). e101565. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101565>.

10. Silva J., Palmeirim J. M., Alcazar R., Correia R. A., Delgado A., Moreira, F. A spatially explicit approach to assess the collision risk between birds and overhead power lines: A case study with the little bustard. *Biological Conservation*. 2014. Vol. 170. P. 256–263. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2013.12.026>.

11. Пономаренко О. Л. Біологічне обґрунтування «Оцінка впливу ліній електропередач 330 кВ ТОВ «Юрокейп Юкрейн 1» на орнітофауну в межах території біля ріки Молочна, Мелітопольського району Запорізької області та розробка заходів по запобіганню можливості загибелі птахів і внаслідок цього аварійних відключень на лініях електропередач». Дніпро, 2018. 12 с.

12. Ferrer M., Iglesias-Lebrija J., Álvarez E., Morandini V. Wildlife and Power lines. *Electrocutions*. 2022. Ch. 5. <https://doi.org/10.2305/IUCN.CH.2022.10.en>.

Стаття надійшла до редакції 04.04.2024 р.



O. Savoiskyi¹, V. Sirenko¹, T. Volvach¹, Y. Sirenko¹
¹Sumy National Agrarian University

ENHANCING THE RELIABILITY OF DISTRICT TRANSFORMER SUBSTATIONS THROUGH ORNITHOLOGICAL PROTECTION OF POWER LINES

Summary

Due to the increasing needs of electricity and changes in the structure of electrical loads, as well as the introduction of new technologies, transformer substations are becoming more loaded and require constant improvement of their reliability and efficiency. Such measures are necessary to prevent accidents, minimize interruptions in the supply of electricity and ensure high-quality service to consumers. Increasing the reliability of district transformer substations is an important task of ensuring the stability of power grids and reliable supply of electricity to consumers. Therefore, conducting research aimed at increasing the reliability of the operation of power supply systems is an urgent task.

The purpose of the work is the substantiation of measures to increase the reliability of district transformer substations. In the work, an analysis of emergency disconnected district transformer substations with a voltage of 35/10 kV was carried out. The analysis of the research results allowed us to identify the characteristic reasons that account for the largest number of damaged and emergency disconnected district transformer substations. Transmission lines have the highest percentage of technological malfunctions (about 73%), malfunctioning of transformer substation equipment directly accounts for about 9%. The rest of the accidents are explained by damage to the equipment of consumers of electrical energy. It was established that about 11% of the total duration of emergency shut-downs of the investigated substations is due to the influence of birds, which significantly affects the overall reliability of their work.

Ornithological safety of power supply is determined by the absence of negative interaction between birds and power facilities. Measures aimed at ensuring ornithological safety are taken to protect electrical installations from the negative impact of birds, reduce the duration of power supply interruptions and preserve rare and endangered bird species. A progressive way to modernize power supply facilities is the use of self-supporting insulated wires, which significantly reduce the risk of electric shock to birds. But, given the significant length of the constructed power lines, this method is not economically justified.

A simple and cheap solution to this issue is the use of special bird protection devices, which are dielectric products designed to prevent birds from being electrocuted on overhead lines of 6 kV and above. The paper discusses the main types of modern bird protection devices and their application for power lines. This solution will significantly increase the reliability of power supply systems at minimal cost.

Keywords: power supply system, emergency outages, duration of outages, overhead power lines, mechanisms of birds' influence on overhead lines, bird protection device.