



УДК 621.311.1

**CALCULATION METHOD OF INDUCED VOLTAGE OF OVERHEAD  
POWER LINES****МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ НАВЕДЕНОЇ НАПРУГИ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ  
ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ****Fedoriv M./ Федорів М.Й.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0002-8917-4159

**Kurlyak P./ Курляк П.О.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0001-8113-5211

**Batsala I./ Бацала Я.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.*

ORCID: 0000-0003-4964-407X

**Mykhailiv I./ Михайлів І.М.***assistant / асистент*

ORCID: 0000-0001-9215-8654

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**15 Karpatska Str, Ivano-Frankivsk, Ukraine, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**вул. Карпатська, 15, м. Івано-Франківськ, Україна, 76019*

**Анотація.** В статті розглянуто деякі аспекти моделювання ліній електропередачі. Окреслено етапи розрахунку наведеної напруги. Розроблено моделі повітряних ліній з урахуванням просторового розташування, фазування, розщеплення фаз і грозозахисних тросів при різних способах, що застосовуються на практиці, заземлення тросів. Встановлено, що заземлення грозозахисного троса на кожній опорі суттєво знижує рівень наведеної напруги.

**Ключові слова:** моделювання лінії електропередачі; наведена напруга; розрахунок наведеної напруги; заземлення.

**Вступ.** Наведена напруга виникає на виведені у ремонт та знеструмлені повітряній лінії електропередачі, внаслідок впливу на неї електромагнітного поля розташованої в безпосередній близькості працюючої електроустановки або іншої повітряної лінії, що знаходиться під напругою.

Офіційна термінологія наведеною напругою називає потенціал, небезпечний для життя, що виникає в результаті електромагнітних впливів паралельної повітряної лінії або електрики, що циркулює в контактних мережах.

Не втрачає актуальності розробка заходів, спрямованих на зниження рівня наведеної напруги.

**Основний текст.** Значення наведених напруг на фазах і грозозахисних тросах відключеної ПЛ залежать від багатьох факторів. Найбільш значущими з них є: величина струму на ПЛ, що впливають, геометричні відстані між відключеною і впливаючими лініями, відсутність або наявність заземлення ПЛ по кінцях у розподільних пристроях ПС, кількість заземлених фаз і грозозахисних тросів і опір контуру заземлення опори в місці проведення робіт, спосіб заземлення грозозахисного троса по довжині лінії.



При розрахунку наведеної напруги необхідний точний облік всіх перерахованих факторів. Фактори, пов'язані з параметрами ПЛ, дозволяють врахувати описаний вище метод моделювання лінії. Забезпечення необхідних значень струмів на всіх впливаючих лініях, здійснюється шляхом розрахунку встановленого несиметричного режиму для схеми, що включає всі аналізовані ПЛ.

Методика розрахунку наведеної напруги включає наступні етапи:

1. Для повітряної лінії визначається перелік сусідніх впливаючих ліній і складається схема мережі, що розглядається, до якої включаються початкові та кінцеві підстанції всіх розглянутих ПЛ [1, 2, 3, 4].

2. Вимкнена та сусідні ПЛ розбиваються на однорідні ділянки для яких залишається незмінною кількість фаз і тросів ПЛ, геометричне розташування та параметри фаз та тросів, а також характер заземлення тросів. Межами між ділянками можуть бути передбачувані місця вимірювання наведеної напруги.

3. Ділянки моделюється залежно від способу заземлення грозозахисних тросів на її протяжності:

- якщо є хоча б один грозозахисний трос, заземлений на кожній проміжній опорі,
- якщо всі грозозахисні троси заземлюються лише на анкерних опорах,
- якщо всі грозозахисні троси використовуються для високочастотного (ВЧ) зв'язку та заземлюються тільки по кінцях ділянки. З отриманих у п. 3 матриць, що моделюють однорідні ділянки, складається загальна матриця вузлових провідностей схеми. Відключена ПЛ заземляється по кінцях і в місці вимірювання шляхом приєднання фаз до вузлів, що заміщають контур заземлення ПС і опори [5].

4. У матрицю вузлових провідностей вводяться еквіваленти, що заміщають примикаючі до ПС енергосистеми.

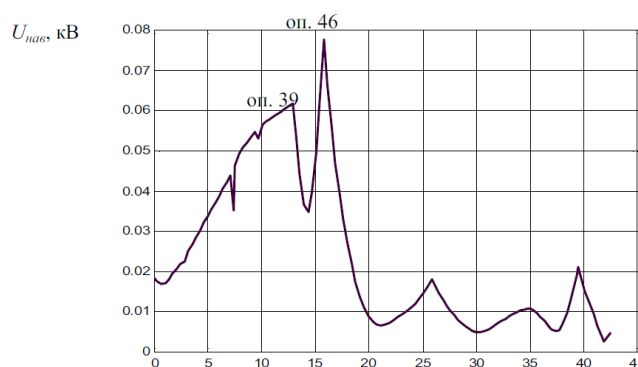
5. Один з вузлів схеми приймається за балансуєчий (зазвичай як балансуєчий вузол приймається найбільш потужна ПС, що видає потужність схемі і має засоби регулювання напруги), для решти вузлів задаються активна і реактивна потужності.

6. Проводиться розрахунок усталеного режиму та перевіряється відповідність знайдених значень струмів у лініях. Якщо дані вимірювання та розрахунку відрізняються, то коригуються значення потужностей у вузлах і проводиться повторний розрахунок режиму, що встановився.

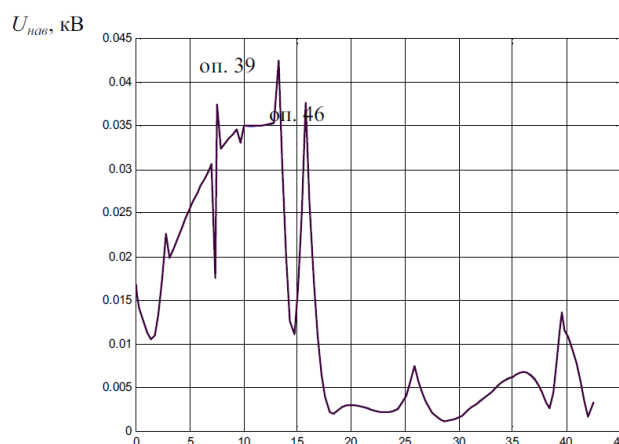
7. При досягненні необхідної точності поточкорозподілу у схемі розрахунок закінчується. Фіксуються розраховані фазні напруги на вимкненій ПЛ у місці проведення вимірювання [6].

Апробація описаної вище методики моделювання ПЛ та розрахунку наведених напруг проводилася на прикладі ПЛ Івано-Франківськ 330 кВ (рисунок 1). На цій лінії були виконані натурні вимірювання наведених напруг при відключенні ПЛ та заземленні її по кінцях (у розподільних пристроях ПС «Івано-Франківськ-330» та ПС «Богородчани-330»). Вимірювання проводилися у чотирьох точках лінії. При вимірі всі фази лінії приєднувалися до тіла опори. Перед заземленням фаз вимірювався опір контуру заземлення опори. Під час





**Рисунок 2. Розподіл потенціалу наведеної напруги на ПЛ 330 ( $R_3 = 10 \text{ Ом}$ ) при максимальній напрузі сусідніх ліній, що впливають**



**Рисунок 3. Розподіл потенціалу наведеної напруги на ПЛ 330 ( $R_3 = 2 \text{ Ом}$ ) при максимальній напрузі сусідніх ліній, що впливають**

Для визначення ділянок ПЛ з неприпустимим рівнем наведеної напруги на рисунках 2 і 3 наведені епюри напруги при накладенні трифазних заземлень у місці виконання робіт.

Прийнято, що опір заземлення на кожній опорі 10 Ом (рисунок 2) та 2 Ом (рисунок 3). Точка заземлення пересувається вздовж усієї довжини відключеної лінії.

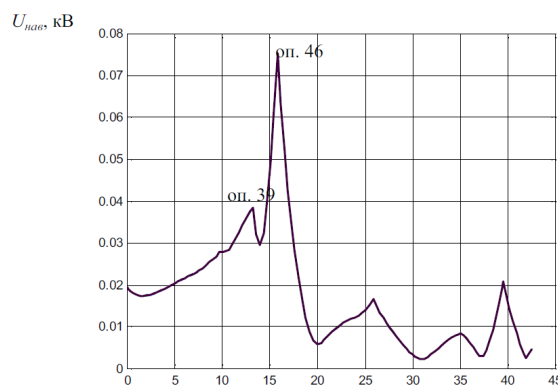
При цьому навантаження на ПЛ, що впливають, максимальні. Епюри напружень разом з горизонтальною лінією, що відповідає напрузі 25 В, показують межі ділянок ПЛ, де можливі ремонтні роботи на відключеній лінії звичайними методами при заземленні лінії по кінцях (РП) і в місці виконання робіт.

На графіках чітко простежуються два максимуми, що відповідають опорам №39 та №46. На ПЛ від ПС «Івано-Франківськ-330» до опори №39 (ділянка I) підвішено звичайний грозозахисний трос, а від опори №39 до ПС «Богородчани-330» (ділянка II) у грозозахисний трос, заземлений на кожній опорі, вбудований ВОК. На опорі №46 здійснюється транспозиція фаз.

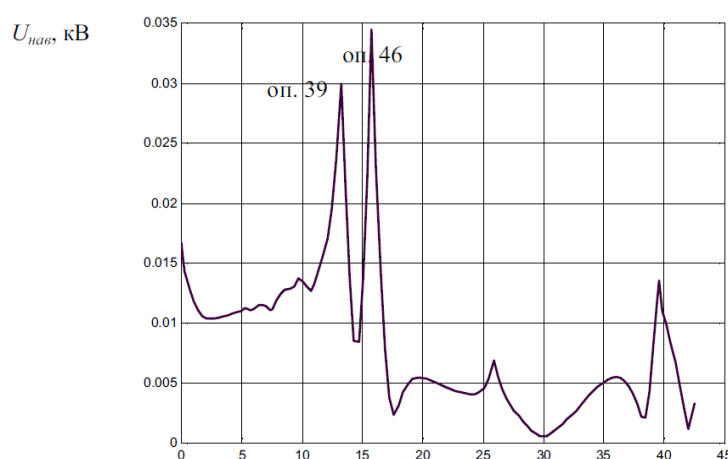
При порівнянні рисунків 2 та 3 можна зробити висновок, що зменшення опору контуру заземлення опор призводить до значного зниження рівня наведених напруг.



Ще більшого зниження рівня наведеної напруги можна досягти шляхом заземлення на ділянці I сталевго грозозахисного троса на кожній проміжній опорі, що підтверджується на рисунках 4 та 5.



**Рисунок 4. Розподіл потенціалу наведеної напруги на ПЛ 330 ( $R_3 = 10$  Ом) при максимальному навантаженні сусідніх ліній, що впливають (на ділянці від ПС «Івано-Франківськ-330» до опори 39 сталевий грозозахисний трос заземлений на кожній опорі)**



**Рисунок 5. Розподіл потенціалу наведеної напруги на ПЛ 330 ( $R_3 = 2$  Ом) при максимальному навантаженні на сусідніх лініях, що впливають (на ділянці від ПС «Івано-Франківськ-330» до опори 39 сталевий грозозахисний трос заземлений на кожній опорі)**

Заземлення грозозахисного троса на кожній опорі необхідне для зниження рівня наведеної напруги, приводить до появи додаткових втрат активної потужності.

Найбільші втрати виникають за умов підвіски грозозахисного троса, найменші втрати виникають при розрізаному грозозахисному тросі по всій довжині лінії [6].

Встановлено, що опори заземлення опор мало впливають на втрати в грозозахисному тросі, заземленому на кожній опорі. Заземлення грозозахисного троса на кожній опорі не тільки на ділянці II ПЛ 330 (ВОК), але й на ділянці I призводить до додаткових втрат потужності на цій лінії близько 10 кВт при максимальній переданій потужності 500 МВт, що становить 0,34% від загальних втрат 3,2 МВт.



## Висновки.

1. Розроблено моделі ПЛ з урахуванням просторового розташування, фазування, розщеплення фаз і грозозахисних тросів при різних способах, що застосовуються на практиці, заземлення тросів: заземлення на кожній опорі; заземлення на анкерних опорах з одного боку та розрив з іншого боку; заземлення тільки по кінцях ПЛ.

2. Встановлено, що заземлення грозозахисного троса на кожній опорі суттєво знижує рівень наведеної напруги.

## Література:

1. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Про затвердження Інструкції про проведення вимірювань наведеної напруги в електроустановках» ГКД 34.03.201-94. від 04.05.1994.

2. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Про Методичні рекомендації визначення технологічних витрат електричної енергії в трансформаторах і лініях електропередавання» від 21.06.2013 № 399.

3. Наказ Міністерства енергетики та вугільної промисловості України «Про затвердження Правил улаштування електроустановок» від 21.07.2017 № 476.

4. Випробування та контроль пристроїв заземлення електроустановок. Типова інструкція. СОУ 31.2-21677681- 19:2009. – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 54 с.

5. Електричні системи та мережі: конспект лекцій / укл.: І.Л.Лебединський, В.І. Романовський, Т.М. Загородня. – Суми : СДУ, 2018. – 214 с.

6. Сучасні проблеми моделювання: зб. наук. праць / МДПУ ім. Б. Хмельницького. – Мелітополь: Видавництво МДПУ ім. Б. Хмельницького, 2020.– Вип. 18. – 199 с.

***Abstract.** The article considers some aspects of modeling power transmission lines. The stages of calculating the applied voltage are outlined. Models of overhead lines have been developed taking into account the spatial location, phasing, splitting of phases and lightning protection cables with various methods of cable grounding used in practice. It has been established that the grounding of the lightning protection cable on each support significantly reduces the level of applied voltage.*

***Keywords:** power transmission line modeling; applied voltage; calculation of the applied voltage; grounding.*