

УДК 621.315.1.015.532

О.Р. Проценко, Є.О. Троценко

**СТО РОКІВ ФОРМУЛИ ПІКА  
ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ПОЧАТКОВОЇ НАПРУЖЕНОСТІ КОРОННОГО РОЗРЯДУ**

This article is dedicated to the memory of well-known electrical engineer Frank William Peek, Junior, who estimated the corona inception electric field on the surface of electrodes with a small radius of curvature which allows for corona discharge inception and also known as the “Peek’s law”. Analyzing Peek’s first publications dated 1911–1915, we have seen that he has elaborated and summarized the laws, which describe the phenomenon of corona discharge in gas on the wires of power transmission line. In particular, Peek presented the final version of the half-empirical formula in 1915, which allows estimating the voltage under which a corona appears on high-voltage wires, as well as estimating the power loss caused by this phenomenon. Attention has been drawn to the unrenowned facts related to Peek’s discovery of the formula. It has been discovered that the scientist was using the mean-value method when working on the formula. Also, attention has been drawn to the reasons of difference in indices (coefficients) in Peek’s formula, which can be seen in literature and publications of different authors in our country, as well as other countries. Based on the results of the research of Peek’s successors, it has been shown that all new charts repeat his formula and differ from it only by the value of numeric coefficients and, sometimes, the exponent in the denominator. Three ways of using his formula have been summarized; its direct application in electric power industry has been shown.

**Keywords:** Frank William Peek, Peek’s law, corona, corona inception electric field, transmission line.

**Вступ**

На проводах ліній електропередавання високої напруги може виникати і виникає коронний розряд, або просто корона. Це один з видів самостійного розряду в повітрі, який з’являється на поверхні електродів з малими радіусами кривизни при досягненні напруженості електричного поля на їх поверхні деякого початкового значення. До таких електродів, зокрема, належать і проводи повітряних ліній електропередавання. Атмосферні опади істотно знижують значення початкової напруженості електричного поля, при якому виникає коронний розряд. Тому зовнішні прояви коронного розряду на проводах повітряних ліній, якими є характерне потрескування та світіння в окремих місцях на їх поверхні [1], особливо помітно саме при атмосферних опадах та, зрозуміло, краще спостерігаються в темний час доби.

Коронний розряд на проводах ліній електропередавання в цілому є негативним явищем, оскільки призводить до появи додаткових втрат електроенергії та радіоперешкод [1, 2]. Хоча він може мати і позитивний ефект, знижуючи амплітуду імпульсних перенапруг [2].

У 1911 р. Франк Вільям Пік на основі аналізу й узагальнення експериментальних даних запропонував у статті “Закон корони та діелектрична міцність повітря” [3] напівемпіричну формулу для визначення початкової напруженості електричного поля або, іншими словами, початкового градієнта корони змінного струму для

гладких циліндричних проводів. Формула мала велике практичне значення для енергетики та техніки високих напруг і в подальшому отримала назву формула Піка. В англійській літературі вона називається закон Піка (Peek’s law) [4, 5] і дає можливість встановити значення тих напруг, при яких на лініях електропередавання з’являється корона, та розрахувати зумовлені нею втрати потужності. В 1915 р. вийшло в світ перше видання книги Ф.В. Піка “Діелектричні явища в техніці високих напруг” [6]. Унаслідок узагальнення подальших досліджень формула Піка набула остаточного вигляду, а саме врахувала негладкість проводів та відносну щільність повітря. Отже, в 2015 р. виповнюється сто років як формула Піка використовується в розрахунках задач енергетики. В Сполучених Штатах Америки книга Ф.В. Піка [6] була ще кілька разів перевидана – в 1920 [7] та 1929 [8] рр. В колишньому СРСР ця праця вийшла в перекладі російською в 1934 р. [9].

Розвиток енергетики в світі та в Україні продовжується. Особливої актуальності набувають питання енергетичної безпеки та зменшення шкідливого впливу об’єктів енергетики на навколишнє середовище. З’являються нові рішення та концепції створення енергетичного обладнання. Але разом з новими майбутньому інженеру-електрику необхідні знання питань, що вже стали класичними. Це стосується й інформації про видатних вчених та їх фундаментальні праці, зокрема в галузі техніки високих напруг. Однак, якщо, наприклад, праці Н. Тес-

ла, які безсумнівно мали значний вплив на сучасну енергетику, відомі доволі добре [10], то відомості про інших вчених, внесок яких не менш значний, практично невідомі широкому загалу інженерно-технічних працівників.

### Постановка задачі

За сто років з моменту відкриття Ф.В. Піком закономірності виникнення коронного розряду на поверхні електродів з малим радіусом кривизни, відомої під назвою формула Піка, вона не тільки не втратила своєї актуальності, а й активно використовується в інженерних розрахунках при проектуванні сучасного високовольтного обладнання. Протягом цього часу вченими й інженерами з різних країн світу виконані додаткові дослідження, метою яких були уточнення коефіцієнтів формули та умов її використання. Ця стаття має на меті висвітлити особливості отримання вказаної залежності, пояснити розходження у коефіцієнтах, які трапляються в літературних джерелах різних авторів, й узагальнити способи використання формули Піка.

### Про Ф.В. Піка

Американський електротехнік Франк Вільям Пік молодший (рисунок) народився в Каліфорнії в 1881 р. [11]. В 1905 р. він закінчив Університет ім. Леланда Стенфорда молодшого, або просто Стенфордський університет, та отримав ступінь бакалавра гуманітарних наук [11]. У тому ж 1905 р. був запрошений на роботу в компанію Дженерал Електрик. Пізніше, в 1911 р., закінчив Юніон Коледж в місті Скенектаді й отримав ступінь магістра електротехніки [11].

Приблизно в 1906 р. Ф.В. Пік почав цікавитися проблемами, пов'язаними з роботою ліній електропередавання високої напруги. То був час, коли саме починався розвиток техніки передавання електричної енергії за допомогою повітряних ліній високої напруги. В Каліфорнії вже була обладнана перша лінія напругою 40 кВ [9]. Працюючи в Дженерал Електрик Ф.В. Пік періодично обговорював результати своїх експериментів з відомим американським інженером-електриком, доктором Чарльзом Протеусом Штейнмецем. Адже саме за його пропозицією розряд, який виникає навколо електрода при дії високої напруги та спричиняє характерний ореол видимого світіння, отримав назву корони [12]. Ф.В. Пік вивчав усі фактори, що могли впливати на явище корони: розмір про-



Франк Вільям Пік (1881–1933) [9]

водів, відстань між ними, стан їхньої поверхні, тиск і температуру повітря, атмосферні умови [9]. У результаті ним були виведені перші закони, що описують явище корони.

У 1916 р. Ф.В. Пік був переведений в місто Пітсфілд, де роботи з дослідження явищ, які виникають при високій напрузі, перейшли в стан практичної реалізації. Незабаром, після того як доктор Штейнмець побудував свій перший імпульсний генератор напругою 120 кВ в Скенектаді [13], Ф.В. Пік побудував подібну установку в Пітсфілді, але на значно більшу напругу. Цей імпульсний генератор отримав назву генератор блискавки. В 1923 р. установка давала можливість генерувати штучні блискавки з амплітудою електричного імпульсу до 2 МВ, а в 1928 р. – амплітудою до 3,6 МВ. У 1929 р. Ф.В. Пік побудував імпульсний генератор напругою 5 МВ, а в 1932 – напругою 10 МВ [13]. Проводилися дослідження впливу штучних грозових розрядів спочатку на окремі проводи, а згодом на моделі ліній передавання та будівель [9]. Практичні результати цієї роботи незабаром були використані в методах блискавкозахисту як ліній електропередавання, так і окремих споруд.

У 1931 р. Ф.В. Піка було призначено на посаду головного інженера лабораторії. На жаль, в 1933 р., подорожуючи під час відпустки, Ф.В. Пік загинув в автомобільній катастрофі в Канаді. Йому виповнилося на той час 52 роки [11, 13].

### Початковий градієнт корони змінного струму

Найбільш відомі дослідження Ф.В. Піка стосуються визначення початкових градієнтів корони змінного струму. В [6] було запропоновано дві напівемпіричні формули, побудовані на статистичному аналізі експериментальних даних. Формули визначають максимальні (амплітудні) значення напруженості електричного поля у кВ/см на поверхні електродів.

Перша формула призначена для коаксіальних циліндрів, з радіусом внутрішнього циліндра  $r_0$ :

$$E_0 = 31,0 m_0 \delta \left( 1 + \frac{0,308}{\sqrt{r_0 \delta}} \right); \quad (1)$$

друга – для паралельних проводів однакового радіуса  $r_0$ :

$$E_0 = 29,8 m_0 \delta \left( 1 + \frac{0,301}{\sqrt{r_0 \delta}} \right), \quad (2)$$

де  $m_0$  – коефіцієнт негладкості проводів. Для гладких полірованих проводів  $m_0 = 1$ . Для кручених сталевих алюмінієвих проводів значення коефіцієнта зменшується, наприклад до 0,88–0,91 [14];  $\delta$  – відносна щільність повітря. Радіуси проводів  $r_0$  необхідно підставляти у формули в сантиметрах.

У [14] зазначено, що при використанні формули (2) похибка визначення початкової напруженості електричного поля менша, ніж для формули (1). Тому саме формула (2) набула значного поширення в інженерних розрахунках і часто наводиться в різноманітних підручниках та наукових статтях.

Формули (1) і (2) отримані для відносної щільності повітря  $\delta = 1$  при тиску 760 мм рт. ст. і температурі 25 °С. Оскільки в колишньому СРСР як стандартне значення температури прийнято значення 20 °С, то необхідно було провести перерахунок, після якого формула (2) набула такого вигляду [14]:

$$E_0 = 30,3 m_0 \delta \left( 1 + \frac{0,298}{\sqrt{r_0 \delta}} \right). \quad (3)$$

Для узагальнення інформації можна зазначити, що позначення  $E_0$  використовується в формулах (1)–(3) з тих пір, як напруженість електричного поля почали позначати літерою  $E$ . В першоджерелах [3, 6] замість  $E_0$  використовувалось позначення  $g_v$ , де  $g$  – вказівка на градієнт,  $v$  – на те, що це градієнт саме видимої корони. В свою чергу нуль в позначенні  $E_0$  вказує на те, що це початкова напруженість коронного розряду. Також в [3, 6] замість  $r_0$  використовувалось позначення  $r$ . Позначення коефіцієнта негладкості проводів  $m_0$  та відносної щільності повітря  $\delta$  в (1)–(3) залишилися без змін. Зрозуміло, що зміни не вплинули на структуру формул.

### Статистична обробка результатів спостережень

Ф.В. Пік експериментально шукав зв'язок між напруженістю електричного поля  $E$ , при досягненні якої на поверхні провідника виникає корона, і радіусом цього провідника  $r$ . Перевіряючи різні функції зв'язку, Ф.В. Пік нарешті встановив, що між  $E$  і  $1/\sqrt{r}$  існує лінійний зв'язок (4):

$$E = A + B \frac{1}{\sqrt{r}}. \quad (4)$$

Для визначення параметрів цієї залежності Ф.В. Пік надав перевагу не громіздкому [3, 6] методу найменших квадратів, а методу, що в його працях зазначений, як метод  $\Sigma \Delta$ , а нам відомий, як метод середніх [15]. Згідно з методом середніх параметри емпіричної формули визначають з однієї умови – умови рівності нулю суми всіх відхилень спостережуваної величини від середнього значення [15]. Зважаючи на важливість методів математичної статистики для дослідження ізоляційних конструкцій високої напруги, зупинимось на цьому методі детальніше. До того ж в [3, 6–9] стиль викладення методу відрізняється від прийнятого тепер (позначення сум, відсутність індексів у формулах тощо).

Далі нам необхідно використовувати позначення  $i$ -го спостереження. Для того, щоб не перевантажувати вирази індексами, в подальшому перейдемо від позначення  $E_0$  до  $E$  та від  $r_0$  до  $r$ .

Для отримання необхідної кількості рівнянь потрібно вибрати із загальної кількості

пар спостережень  $(1/\sqrt{r_i}, E_i)$  половину (або приблизно половину, якщо кількість пар спостережень непарна) і суму їх відхилень прирівняти нулю. Потім потрібно прирівняти нулю суму відхилень другої половини. Таким чином, отримуємо систему рівнянь (5):

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^m \left( A + B \frac{1}{\sqrt{r_i}} - E_i \right) = 0, \\ \sum_{i=m+1}^n \left( A + B \frac{1}{\sqrt{r_i}} - E_i \right) = 0. \end{cases} \quad (5)$$

Після всіх перетворень системи рівнянь (5) матимемо

$$\begin{cases} m A + B \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{r_i}} = \sum_{i=1}^m E_i, \\ (n - m) A + B \sum_{i=m+1}^n \frac{1}{\sqrt{r_i}} = \sum_{i=m+1}^n E_i. \end{cases} \quad (6)$$

Складемо обидва рівняння системи рівнянь (6) почленно:

$$\begin{aligned} n A + B \left( \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{r_i}} + \sum_{i=m+1}^n \frac{1}{\sqrt{r_i}} \right) &= \\ &= \sum_{i=1}^m E_i + \sum_{i=m+1}^n E_i, \end{aligned}$$

звідки отримуємо, що

$$A = \frac{\left( \sum_{i=1}^m E_i + \sum_{i=m+1}^n E_i \right) - B \left( \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{r_i}} + \sum_{i=m+1}^n \frac{1}{\sqrt{r_i}} \right)}{n}.$$

Помножимо перше рівняння системи (6) на  $\frac{n-m}{m}$ :

$$\begin{cases} (n - m) A + B \frac{n - m}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{r_i}} = \frac{n - m}{m} \sum_{i=1}^m E_i, \\ (n - m) A + B \sum_{i=m+1}^n \frac{1}{\sqrt{r_i}} = \sum_{i=m+1}^n E_i. \end{cases} \quad (7)$$

Віднімемо від першого рівняння системи (7) друге почленно:

$$B \frac{n - m}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{r_i}} - B \sum_{i=m+1}^n \frac{1}{\sqrt{r_i}} =$$

$$= \frac{n - m}{m} \sum_{i=1}^m E_i - \sum_{i=m+1}^n E_i,$$

звідки отримуємо

$$B = \frac{\frac{n - m}{m} \sum_{i=1}^m E_i - \sum_{i=m+1}^n E_i}{\frac{n - m}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{r_i}} - \sum_{i=m+1}^n \frac{1}{\sqrt{r_i}}}, \quad (8)$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n E_i - \frac{\frac{n - m}{m} \sum_{i=1}^m E_i - \sum_{i=m+1}^n E_i}{\frac{n - m}{m} \sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{r_i}} - \sum_{i=m+1}^n \frac{1}{\sqrt{r_i}}} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{r_i}}}{n}. \quad (9)$$

Таким є порядок визначення невідомих параметрів  $A$  і  $B$  лінійної залежності  $E$  від  $1/\sqrt{r}$  в загальному вигляді.

Необхідно зазначити, що в [3, 6] кількість пар спостережень була парна, а саме,  $n = 10$ ,

$m = 5$ , відповідно,  $\frac{n - m}{m} = \frac{10 - 5}{5} = 1$ . Тому розрахунок параметрів  $A$  і  $B$  проводився не по (8), (9), а безпосередньо по формулах (10) і (11), але, як вже було зазначено, в іншій формі запису

$$B = \frac{\sum_{i=1}^m E_i - \sum_{i=m+1}^n E_i}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{r_i}} - \sum_{i=m+1}^n \frac{1}{\sqrt{r_i}}}, \quad (10)$$

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n E_i - \frac{\sum_{i=1}^m E_i - \sum_{i=m+1}^n E_i}{\sum_{i=1}^m \frac{1}{\sqrt{r_i}} - \sum_{i=m+1}^n \frac{1}{\sqrt{r_i}}} \sum_{i=1}^n \frac{1}{\sqrt{r_i}}}{n}. \quad (11)$$

У [3, 6–9] вирази (5)–(11) не наведені, подані лише (12), (13) з фактичними числовими значеннями сум з наступними позначеннями:

$$B = \frac{\Delta \sum E}{\Delta \sum \frac{1}{\sqrt{r}}}, \quad (12)$$

$$A = \frac{\sum \sum E - \frac{\Delta \sum E}{\Delta \sum \frac{1}{\sqrt{r}}} \sum \sum \frac{1}{\sqrt{r}}}{n}. \quad (13)$$

Вираз (12) відповідає виразу (10), а вираз (13) – виразу (11).

Після обробки експериментальних даних, наприклад для системи гладких паралельних проводів при  $\delta = 1$ , Ф.В. Піком було встановлено, що  $A = 29,8$ ;  $B = 9$  [3, 6]:

$$E = A + B \frac{1}{\sqrt{r}} = 29,8 + \frac{9}{\sqrt{r}} = 29,8 \left( 1 + \frac{0,301}{\sqrt{r}} \right).$$

Автори приділили увагу цьому розділу, оскільки вважають, що для сучасного науковця важливо розуміти шлях отримання тих чи інших виразів, які лежать в основі кінцевих формул, що дасть можливість більш усвідомлено їх використовувати в практичній діяльності.

### Інші аналогічні дослідження

Пізніше багато авторів (наприклад, Д. Таунсенд, Г.М. Олександров, О.М. Залеський, А. Енгель, М. Штенбек) запропонували ще кілька подібних формул для розрахунку початкових градієнтів корони [14, 16]. Всі ці формули повторюють структуру формули Піка та відрізняються від неї лише значеннями числових коефіцієнтів та інколи показником ступеня в знаменнику [12, 14, 16]. Порівняння експериментальних даних з розрахунками за цими формулами описані в літературі неодноразово [12, 14, 16] і не є предметом цієї статті. Але необхідно зазначити, Ф.В. Пік більше за все експериментував з проводами малих радіусів, наприклад 0,0098–0,464 см для системи паралельних проводів [6]. Тому формула Піка дає найбільше наближення до експерименту саме в області малих значень радіусів проводів [12]. Але розрахунки показали, що її можна використовувати впритул до  $r_0 = 1,6–1,8$  см [12], тобто для проводів, що застосовуються на лініях електропередавання з напругою 750 кВ (наприклад для сталюалюмінієвого проводу марки АС 550/71, що має розрахунковий радіус 1,62 см [17]). Тому для випадків, де трапляються провідники більших діаметрів, наприклад ошинування електричних підстанцій, в російськомовній нормативно-технічній документації віддають перевагу формулі Залеського [12, 18]:

$$E_0 = 24,5 m_0 \delta \left( 1 + \frac{0,613}{(r_0 \delta)^{0,4}} \right). \quad (14)$$

Але в іноземній літературі найбільш вживаною залишається формула Піка.

### Застосування формули Піка

Формула Піка безпосередньо стосується коронного розряду. Найбільше значення коронний розряд має в передаванні електричної енергії на проводах повітряних ліній електропередавання, спричиняючи додаткові втрати електроенергії та створюючи значні електромагнітні завади в широкому діапазоні радіочастот, якщо мати на увазі величезну протяжність та кількість цих об'єктів у світі. Власне з появою перших повітряних ліній електропередавання високої напруги і почалося вивчення коронного розряду як явища. Згодом люди навчилися використовувати це негативне явище в корисних цілях, наприклад в електрофільтрах для очищення димових газів теплових електростанцій. Аналіз області застосування коронного розряду в науково-технічній літературі висвітлений достатньо. Стосовно формули Піка доцільним було б розглянути способи її найбільш часто вживаного використання. На основі проведеного аналізу автори виділили наступні три основні способи.

**Спосіб 1.** Використання формули Піка для розрахунку початкової напруги.

Початкова напруга корони  $U_0$ , так само як і початкова напруженість корони  $E_0$ , є характеристикою коронуючих електродів. На відміну від початкової напруги  $U_0$ , початкова напруженість корони  $E_0$ , як це видно з формули (3), не залежить від відстані між електродами. А отже, при зміні міжелектродних відстаней  $E_0$  буде залишатися незмінною на відміну від  $U_0$ . Тому початкова напруженість корони  $E_0$  є більш загальною характеристикою коронуючих електродів, ніж початкова напруга корони  $U_0$  [14], і на практиці  $U_0$  знаходять через  $E_0$ .

Наприклад, для системи коаксіальних циліндрів з радіусами  $r_0$  та  $R$  маємо

$$U_0 = E_0 r_0 \ln \frac{R}{r_0}. \quad (15)$$

Для проводу радіуса  $r_0$ , розташованого на відстані  $h$  над землею, отримаємо

$$U_0 = E_0 r_0 \ln \frac{2h}{r_0}. \quad (16)$$

У формулах (15) і (16)  $E_0$  визначають за формулою Піка (3).

Розрахунок початкової напруги ізоляційних проміжків потрібний при проектуванні електричних апаратів високої напруги з газовою ізоляцією.

Хочемо зазначити, що аналітичне визначення початкової напруги можливе тільки в кількох простих випадках і загалом являє собою доволі складну задачу, яка, зрозуміло, в межах однієї статті повністю не може бути розкрита. В цьому та наступних прикладах автори мають на меті тільки звернути увагу на безпосереднє використання формули Піка.

**Списіб 2.** Використання формули Піка для перевірки провідників за умовами виникнення корони.

Згідно з [19] за напруги 35 кВ і вище провідники мають бути перевірені за умовами утворення корони. При цьому найбільша напруженість поля біля поверхні будь-якого з провідників, визначена за середньої експлуатаційної напруги, має бути не більшою, ніж 0,9 початкової напруженості електричного поля, яка відповідає появі загальної корони:

$$E_{\max} < 0,9E_0, \quad (17)$$

де  $E_0$  визначають за формулою Піка (3).

Причому провідники, зазначені вище, можуть мати різноманітне призначення. Наприклад, критерій (17) використовують при виборі конструкції фази повітряної лінії електропередавання. Оскільки максимальна напруженість електричного поля буде на проводах середньої фази за рахунок впливу фаз крайніх [20], як  $E_{\max}$  в (17) фігурує максимальна напруженість поля проводу середньої фази.

**Списіб 3.** Використання формули Піка у функціональних залежностях.

Наприклад, втрати потужності  $P$  на місцеву корону для одиночних проводів повітряних ліній електропередавання виражаються функціональною залежністю [2]:

$$\frac{P}{r_0^2 E_{\max}} = f\left(\frac{E_{\max}}{E_0}\right), \quad (18)$$

де  $r_0$  – радіус коронуючого провідника;  $E_{\max}$  – максимальна напруженість електричного поля на поверхні коронуючого провідника;  $E_0$  – початкова напруженість, що визначається за формулою Піка (3). При  $E_{\max} / E_0 \geq 1$  на лінії електропередавання виникає загальна корона. При  $E_{\max} / E_0 < 1$  корона називається місце-

вою. Зазвичай при виборі проводів ліній електропередавання дозволяється місцева корона [2]. Це приклад прямого використання формули Піка, але можливе і непряме використання, наприклад у вольт-амперній характеристиці уніполярного коронного розряду [21]:

$$I = k G U (U - U_0),$$

де  $I$  – струм коронного розряду на одиницю довжини;  $k$  – рухливість іонів;  $G$  – геометричний коефіцієнт, що має різний вигляд для різних систем електродів;  $U$  – напруга;  $U_0$  – початкова напруга коронного розряду, визначена через початкову напруженість  $E_0$ .

## Висновки

Звертаючись до історії наукових досліджень, необхідно зазначити, що формула Піка мала велике практичне значення перш за все для електроенергетики, оскільки давала можливість встановити значення тих напруг, при яких на лініях електропередавання з'являється корона, та розрахувати зумовлені нею втрати потужності.

Формула Піка не втратила своєї актуальності і донині. Протягом двадцятого століття було запропоновано ряд аналогічних виразів, які переважним чином повторювали структуру формули Піка та відрізнялися від неї лише значеннями числових коефіцієнтів та інколи показником ступеня в знаменнику [12, 14, 16]. Останнім часом для вирішення окремих прикладних задач з'являються різні модифікації формули Піка, які вже супроводжуються суттєвою зміною структури формули. Сюди належить запропонований у 2004 р. вираз для розрахунку початкової напруженості коронного розряду при малих міжелектродних відстанях до 5–6 мм [16] або запропонована у 2012 р. модифікована формула Піка для розрахунку початкової напруженості позитивної уніполярної корони на проводах ліній електропередавання, прокладених в районах з високою вологістю повітря [22].

На момент написання статті у міжнародному проекті Вікіпедія про Ф.В. Піка була тільки сторінка німецькою мовою [23]. Ця стаття також має на меті прискорення появи відповідної сторінки й українською мовою. Це, а також висвітлення внеску в розвиток електроенергетики та техніки високих напруг інших видатних вчених минулого, можна вважати метою подальших досліджень.

## Список літератури

1. РД 34.20.172. Руководящие указания по учёту потерь на корону и помех от короны при выборе проводов воздушных линий электропередачи переменного тока 330–750 кВ и постоянного тока 800–1500 кВ. – М.: СЦНТИ, 1975. – 84 с.
2. Долгинов А.И. Техника высоких напряжений в электроэнергетике. – М.: Энергия, 1968. – 464 с.
3. F.W. Peek, “The law of corona and the dielectric strength of air”, Transactions of the American Institute of Electrical Eng., vol. 30, no. 3, pp. 1889–1965, 1911.
4. Peek’s law – Wikipedia, the free encyclopedia [Online]. Available: [http://en.wikipedia.org/wiki/Peek's\\_law](http://en.wikipedia.org/wiki/Peek's_law).
5. G. Hartman, “Theoretical evaluation of Peek’s law”, IEEE Transactions on industry applications, vol. IA-20, no. 6, pp. 1647–1651, 1984.
6. F.W. Peek, Dielectric phenomena in high voltage engineering. First edition. NY: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1915, 266 p.
7. F.W. Peek, Dielectric phenomena in high voltage engineering. Second edition. NY: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1920, 282 p.
8. F.W. Peek, Dielectric phenomena in high voltage engineering. Third edition. NY: McGraw-Hill Book Company, Inc., 1929, 410 p.
9. Пик Ф.В. Диэлектрические явления в технике высоких напряжений / Пер. с англ. под общ. ред. Г.Л. Эпштейна. – М.–Л.: Госэнергоиздат, 1934. – 362 с.
10. Тесла Н. Статьи. – Самара: ИД “Агни”, 2008. – 584 с.
11. Archives: Transformers at Pittsfield, part 1 [Online]. Available: [http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Archives:Transformers\\_at\\_Pittsfield,\\_part\\_1](http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Archives:Transformers_at_Pittsfield,_part_1).
12. Емельянов Н.П., Козлов В.С. Коронный разряд на проводах. – Минск: Наука и техника, 1971. – 240 с.
13. Archives: Transformers at Pittsfield, part 2 [Online]. Available: [http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Archives:Transformers\\_at\\_Pittsfield,\\_part\\_2](http://www.ieeeahn.org/wiki/index.php/Archives:Transformers_at_Pittsfield,_part_2).
14. Левитов В.И. Корона переменного тока. Вопросы теории, методов исследования и практических характеристик. – М.: Энергия, 1975. – 280 с.
15. Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 1988. – 240 с.
16. Нагорный В.С. Начальная напряженность электрического поля коронного разряда при малых межэлектродных промежутках // Электричество. – 2004. – № 12. – С. 8–11.
17. Макаров Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4–35 и 110–1150 кВ. Том 2 / Под ред. И.Т. Горюнова, А.А. Любимова. – М.: Папирус Про, 2003. – 640 с.
18. РД 50–723–93 (СИСПР 18–1). Радиопомехи промышленных от воздушных линий электропередачи и высоковольтного оборудования. Описание физических явлений. – М.: Изд-во стандартов, 1993. – 132 с.
19. Правила устройства электроустановок. – Х.: Форт, 2009. – 704 с.
20. Электротехнический справочник: В 4 т. Т. 3. Производство, передача и распределение электрической энергии / Под общ. ред. профессоров МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – 9-е изд., стер. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 964 с.
21. Электрофизические основы техники высоких напряжений: Учеб. для вузов / И.М. Бортник, И.П. Верещагин, Ю.Н. Вершинин и др.; под ред. И.П. Верещагина, В.П. Ларионова. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 544 с.
22. M. Xu et al., “Modified Peek formula for calculating positive DC corona inception electric field under variable humidity”, IEEE Transactions on dielectrics and electrical insulation, vol. 19, no. 4, pp. 1377–1382, 2012.
23. Frank William Peek – Wikipedia, the free encyclopedia [Online]. Available: [http://de.wikipedia.org/wiki/Frank\\_Wiliam\\_Peek](http://de.wikipedia.org/wiki/Frank_Wiliam_Peek).