

UDC 621:311

DOI 10.52171/herald.252

Modeling of Electric Field Strength Around High Voltage Overhead Line

A.B. Balametov

JSC «Azerenergy», LLC Azerbaijan Scientific Research and Design and Survey Institute of Power Engineering» (Baku, Azerbaijan)

For correspondence:

Balametov Ashraf / e-mail: balametov.azniie@gmail.com

Abstract

Calculation of line dimensions largely determines its design features during design. Electromagnetic field has a negative impact on the correct operation of communication lines and high-frequency electrical appliances, as well as human health and the state of the environment. Research conducted by physiologists prove the harmful effects of low-frequency electromagnetic fields on all living organisms and plants. The danger is confirmed by sanitary and hygienic standards for maximum permissible levels of electric and magnetic fields of industrial frequency for zones of various purposes, as well as by limiting the time of personnel stay in the zone with electromagnetic radiation. Determining the exact values of electric and magnetic field strengths allows developing a full set of measures to mitigate their harmful effects on humans and objects of the bio- and technosphere. A method for calculating the electric field at a distance from a high-voltage overhead power line has been developed. The calculation results are demonstrated using the example of a 500 kV power line depending on the overall dimensions.

Keywords: electric field, high-voltage overhead line, modeling, phase splitting, strength.

Submitted 19 Apr 2024

Published 17 Mar 2025

For citation:

A.B. Balametov

[Modeling of Electric Field Strength Around High Voltage Overhead Line]

Herald of the Azerbaijan Engineering Academy, 2025, vol. 17 (1), pp. 120-128

Yüksək gərginlikli dəyişən cərəyan hava xəttinin əhatəsində elektrik sahə gərginliyinin intensivliyinin modelləşdirilməsi

Ə.B. Balametov

*Azərenerji ASC, “Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitutu” MMC
(Bakı, Azərbaycan)*

Xülasə

Layihə zamanı xəttin ölçülərinin hesablanması onun konstruktiv xüsusiyyətlərini müəyyən edir. Elektromaqnit sahəsi rabitə xətlərinin və yüksək tezlikli elektrik cihazlarının düzgün işləməsinə, eləcə də insanların sağlamlığına və ətraf mühitin vəziyyətinə mənfi təsir göstərir. Fizioloqlar tərəfindən aparılan tədqiqatlar aşağı tezlikli elektromaqnit sahələrinin bütün canlı orqanizmlərə və bitkilərə zərərli təsirini sübut edir. Təhlükə müxtəlif təyinatlı ərazilər üçün sənaye tezliyinin elektrik və maqnit sahələrinin icazə verilən maksimum səviyyələri üçün sanitariya-gigiyenik standartlarla, habelə elektromaqnit şüalanması olan ərazilərdə personalın sərf etdiyi vaxtın məhdudlaşdırılması ilə təsdiqlənir. Elektrik və maqnit sahə gərginliklərinin dəqiq qiymətlərinin müəyyən edilməsi onların insanlara və bio- və texnosfer obyektlərinə zərərli təsirlərini azaltmaq üçün tam hüquqlu tədbirlər kompleksini hazırlamağa imkan verir. Yüksək gərginlikli hava elektrik xəttindən olan məsafədə elektrik sahəsinin hesablanması üçün bir üsul hazırlanmışdır. Hesablama nəticələri ölçüsündən asılı olaraq, 500 kV-lıq elektrik verilişi xəttinin nümunəsindən istifadə etməklə nümayiş etdirilir.

Açar sözlər: elektrik sahəsi, yüksək gərginlikli hava xətti, modelləşdirmə, faza parçalanması, gərginlik.

Моделирование напряженности электрического поля вокруг воздушной линии высокого напряжения

Баламетов А.Б.

АОО «Азербайджанская Энергетика», ООО Азербайджанский Научно-Исследовательский и Проектно-Изыскательский институт Энергетики» (Баку, Азербайджан)

Аннотация

Расчет габарита линии определяет во многом ее конструктивные особенности при проектировании. Электромагнитное поле оказывает негативное влияние на корректную работу линий связи и высокочастотных электроприборов, а также здоровье человека и состояние окружающей среды. Проведенные учеными-физиологами исследования доказывают вредное воздействие электромагнитного поля низкой частоты на все живые организмы и растения. Опасность подтверждена санитарно-гигиеническими нормативами на предельно допустимые уровни электрических и магнитных полей промышленной частоты для зон различного назначения, а также ограничением времени нахождения персонала в зоне с электромагнитным излучением. Определение точных значений напряженностей электрического и магнитного полей позволяет разработать полноценный комплекс мер по нивелированию их вредного воздействия на человека и объекты био- и техносферы. Разработана методика расчета электрического поля на удалении от высоковольтной воздушной линии электропередачи. Результаты расчетов демонстрируются на примере ЛЭП 500 кВ в зависимости от габарита.

Ключевые слова: электрическое поле, высоковольтная воздушная линия, моделирование, расщепление фазы, напряженность.

Giriş

Hava xətlərinin elektrik sahəsinin ətraf mühitə təsiri və elektromaqnit uyğunluğu ilə bağlı məsələlər nəzərdən keçirilir.

Elektrik və maqnit sahə gərginliyinin dəqiq qiymətlərinin müəyyən edilməsi onların insanlara və bio- və texnosfer obyektlərinə zərərli təsirlərini azaltmaq üçün tam hüquqlu tədbirlər kompleksini hazırlamağa imkan verir [1].

Bu işin məqsədi hava elektrik veriliş xəttinin (EVX) elektrik sahə gərginliyinin hesablanmasını aydınlaşdırmaq və sənaye tezliyinin elektrik sahəsinin nümunələrini modeləşdirmək, fazaların parçalanmasını nəzərə alaraq elektrik sahəsinin səviyyəsini qiymətləndirməkdir.

Müəyyən edilmişdir ki, elektrik veriliş xətlərinin elektromaqnit sahəsinin modelləşdirilməsi və hesablanması zamanı fazaların bölünməsinə nəzərə alınmaq yolverilməzdir, çünki bu, əhəmiyyətli bir səhv yaradır. HX yaratdığı elektromaqnit sahələrinin hesablanması və modelləşdirilməsi sahəsində tədqiqatlar hələ də aktualdır [3–6].

Bir qayda olaraq, fazaların bölünməsi hesablamalarda nəzərə alınmır [5, 6].

Elektrik sahəsinin gərginliyini hesablamaq üçün güzgü təsviri metodundan istifadə edilmişdir. Bu metodun bir sıra üstünlükləri var. Metod alqoritmləşdirmə və avtomatlaşdırma üçün sadədir, zamanla sınaqdan keçirilmişdir və mühəndis hesablamaları üçün tələb olunan dəqiqliyi təmin edir.

Elektrik sahə gərginliyinin qiyməti gərginliyin böyüklüyündən, xətt və gücün təyin olunduğu nöqtə arasındakı məsafədən və naqillərdən yerə qədər olan məsafədən asılıdır.

Elektrik sahə (ES) gərginliyinin icazə verilən qiymətləri bir insanın iştirakı ilə təhrif edilməyən bir elektrik sahəsi üçün normallaş-

dırılır. Elektrik sahə gərginliyi otaqlar üçün döşəmə səviyyəsindən, yer səthindən isə 1,8 m hündürlükdə müəyyən edilir [1, 2].

Problemin qoyuluşu

Hava xətlərinin elektrik sahəsinin hesablanması. Dəyişən cərəyan hava ətrafında elektrik sahə gərginliyinin intensivliyinin maksimum qiymətinin hesablanması məsələləri və onun azaldılması üsulları, xəttin trası üçün torpaq sahələrinin alınması, elektromaqnit sahəsinin insanlara, flora və faunaya təsiri, radio və akustik səs-küyün baş verməsi məsələlərinə baxılır.

Əvvəllər elektrik şəbəkələrin aşağı sıxlıqlı yerləşməsindən və onların dizayn həllərinin müxtəlifliyi səbəbindən hava xətlərinin (HX) ətraf mühitə təsiri nəzərə alınmırdı. Gərginlik sinfinin (500, 750 və 1000 kV-dan çox) və elektrik ötürülməsi diapazonunun artması ilə hava xətlərinin bio- və sosial sferalara təsiri artır, bu da 1970-ci illərin əvvəllərinə təsadüf edilir. Bu təsirləri ciddi şəkildə öyrənmək və onların ətraf mühitə mənfi təsirini azaltmaq yollarını tapmaq lazımdır.

Beləliklə, SSRİ-nin bəzi bölgələrində müxtəlif gərginlikli elektrik ötürücü xətlərinin sıxlığı ətraf mühitə artıq bir hava xəttinin deyil, onların birləşməsi ilə təsir etdiyi həddə çatır. Elektrik şəbəkələrinin layihələndirilməsi zamanı ətraf mühitin bir sıra hava xətləri ilə “çirklənməsinin” bu xüsusiyyəti nəzərə alınmalıdır.

Elektrik enerjisi sisteminin (EES) elementi kimi elektrik xətləri ətraf mühitlə bir-bəşə əlaqə və qarşılıqlı əlaqəyə malikdir. Hava xətlərinin layihələndirilməsi və tikintisi zamanı qarşılaşılan ən tipik ekoloji problemlər aşağıdakılardır: meşələrin qırılması, hava xətlərinin çəkilməməsi üçün torpaq sahəsinin təsərrüfat fəaliyyətinin məhdudlaşdırılması,

yüksək və ultra yüksək gərginlikli elektromaqnit sahəsinin biosferə zərərli təsiri, televiziya və radio müdaxilələrinin baş verməsi, hava xətlərinin yaratdığı akustik səs-küy, kommunikasiyaların pisləşməsi, HX trasının keçid yerlərində landşaftın estetik görünüşünün pisləşməsi.

İşin yerinə yetirilməsi

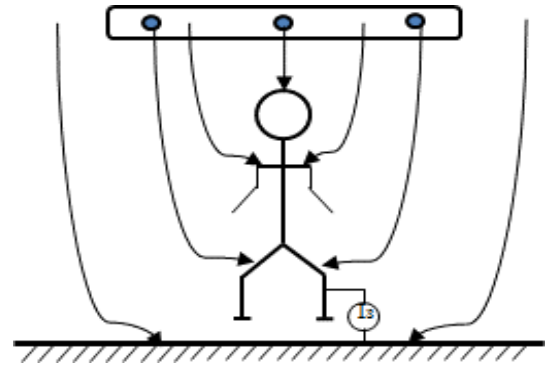
Hava elektrik xətlərinin elektrik sahələri və onların altında sahə gərginliyinin azaltma yolları. Elektrostatik təsiri qiymətləndirmək üçün induksiya cərəyanının, gərginliyin və enerjinin qiymətləri nəzərə alınır. Göstəriləcək ki, hər bir halda bu qiymət obyektin relyefindən, eləcə də yerin səthindəki gərginlikdən asılıdır. Beləliklə, "elektrostatik təsirlər" yer səviyyəsindəki E gərginliyi ilə əlaqələndirilir, buna görə də strukturu xarakterizə edən parametrlər kimi qəbul edilir.

Bu zaman E -dən arqument kimi istifadə etməklə lazımi meyarlar müəyyən edilə bilər. Obyekt və gərginlik altında olan naqıl arasındakı məsafə boşalma aralığından çox olarsa, bu yaxınlaşma kifayət qədər dəqiqdir.

Yer səthində induksiya cərəyanları ilə gərginlik arasında əlaqə E [6-9]. Şəkil 1-də baxılan hal üçün aralıq konfigurasiyası göstərilir. Təhlil göstərir ki, yer səthinə yaxın olan obyektin tutumu aşağıdakı kimi ifadə edilə bilər:

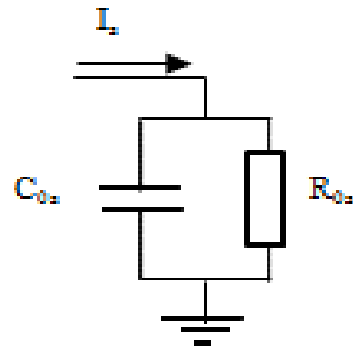
$$Q = EhC_{03} \quad (1)$$

harada, E - obyekt olmadıqda yerə yaxın gərginlik; h - obyektin yerdən effektiv hündürlüyü (E_h - obyekt yerdən təcrid olunduqda onun potensialı); C_{03} - onun yerə nəzərən tutumudur. Obyektin xəttə nəzərən tutumu adətən, 1%-dən az olur C_{03} , və ona ümumi tutumun bir hissəsi kimi baxmaq olar.



Şəkil 1 – Cismın ekvivalent sahəsi

Figure 1 – Equivalent body area



Şəkil 2 – Ekvivalent elektrik sxemi

Figure 2 – Equivalent electrical circuit

Cisimdə elektrostatik sahənin yaratdığı I_3 cərəynı, bədən yerə sıx bir şəkildə bağlandıqda ölçülə bilən cərəyandır:

$$I_3 = (j\omega\epsilon_0 E)(h \frac{C_3}{\epsilon_0}) \quad (2)$$

harada $(j\omega\epsilon_0 E)$ - vahid sahəyə düşən yerdəyişmə cərəyanı; $h \cdot C_3 / \epsilon_0$ - ekvivalent sahə.

(3) tənliyi yalnız cismın həndəsi ölçülərinin funksiyası olan ekvivalent S sahəsini təyin edir.

Obyektin elektrik sahəsində ekvivalent təsviri. Əgər obyekt birbaşa torpaqlanmayıbsa, praktikada rast gəlinən qərarlaşmış və keçid təşkiləticilərini ən rahat şəkildə hesablamaq üçün Norton ekvivalent dövrə tənliyinə (şəkil 1) I_3 cərəyanı tətbiq oluna bilər.

Qərarlaşmış gərginlik

$$U = I_3 \frac{1}{j\omega C_{03} + \frac{1}{R_{03}}} \quad (3)$$

Saxlanılan enerji, obyektin yerə nisbətən tutumunun C_{03} və yerdən təcrid olunmuş obyektə induksiya olunan gərginliyin $U_{u.o}$ funksiyasıdır.

$$W = C_{03}(U_{u.o})^2 \quad (4)$$

(4) tənliyi cismin yalnız həndəsi ölçülərinin funksiyası olan ekvivalent S sahəsini təyin edir (şəkil 1). Bir cismin elektrik sahəsində ekvivalent təsviri. Əgər obyekt birbaşa torpaqlanmayıbsa, praktikada rast gəlinən qərarlaşmış və keçid təşkilədicilərini ən rahat şəkildə hesablamaq üçün Norton ekvivalent dövrə tənliyinə (şəkil 2) I_3 cərəyanı tətbiq oluna bilər.

Əhalinin mühafizəsi üçün sanitariya norma və qaydaları yer səthindən 1,8 m yüksəklikdə maksimum sahə gərginliyini tənzimləyir. Normallaşdırılmış gərginliklər hava elektrik xətlərini hər cür təsirindən qorunma təmin etməlidir, xüsusən də nəqliyyat vasitələrinə elektrostatik müdaxiləni təhlükəsiz səviyyəyə qədər məhdudlaşdırılmalıdır ki, nəqliyyat vasitələri ilə təmasda olan şəxsədən yerə axan cərəyan icazə verilən 6 mA-dan çox olmasın.

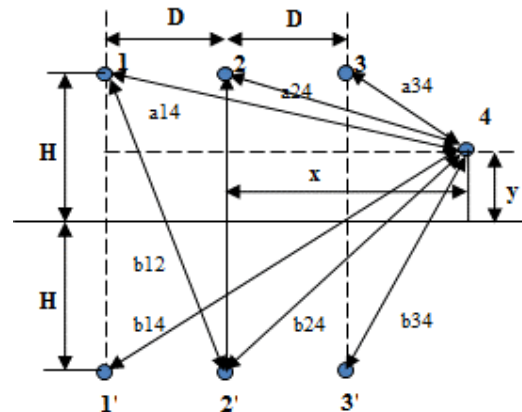
Elektrik qurğularında üçölçülü elektrik sahələrinin hesablanması alqoritmləri ekvivalent tutum metodunun istifadəsinə əsaslanır. Metodun əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, elliptik qütbləşmiş elektrik sahəsinin hesablanması ilkin elektrik sahəsi ilə eyni olan iki elektrostatik sahənin E_1 və E_2 hesablanması ilə əvəz olunur. Beləliklə, ümumi halda hava xəttinin naqilləri yer səthindən müxtəlif hündürlüklərdə (h) yerləşdirilə bilər ki, bu da sahə gərginliyinin hesablamalarında eyni cür qəbul etmək məqsəduyğundur. Bir insanın yerə nisbətən potensialı, eləcə də insandan keçən cərə-

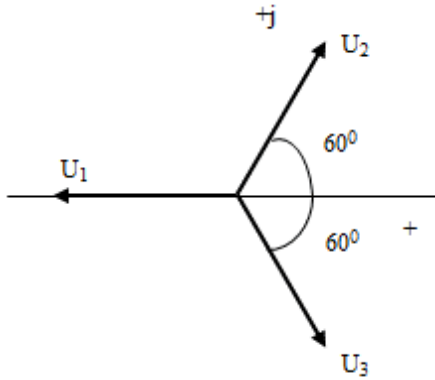
yan sahə gərginliyinin şaquli təşkilədicisi ilə müəyyən edilir.

Layihə zamanı xəttin ölçülərinin hesablanması onun konstruktiv xüsusiyyətlərini müəyyən edir. Hava xətləri altında sahə gərginliyinin azaldılması 220-500 kV gərginlikli kompakt xətlər yaratmağa imkan verir. 750 kV və daha yüksək olan hava xətləri üçün kompakt xətlərin yaradılması yerə tələb olunan boşluqların əhəmiyyətli dərəcədə azalmasına gətirib çıxarır, lakin xüsusilə əhali məskunlaşan ərazilər üçün hələ də böyük olaraq qalır.

Bununla əlaqədar olaraq, 750 kV və daha yüksək gərginlikli hava xətləri üçün bütün elektrik verilişi xətti boyunca sahə gərginliyini məhdudlaşdırmaq üçün tədbirlərin işlənilməsi və 500 kV-luq hava xətləri üçün isə əsasən yaşayış məntəqələri üçün aktualdır.

Üç fazlı dəyişən cərəyan xəttinin yaratdığı elektrik sahəsinin nöqtələrinin potensiallarının hesablanması. İxtiyari 4 nöqtəsinin potensialı (şəkil 3) hər bir naqıl və onun güzgü şəklinin yaratdığı potensialların cəminə bərabər olacaqdır. Fərz edək ki, bütün naqillərin asma hündürlüyü H -ə bərabərdir, naqillərin radiusu isə r -dir. Naqillərdən müəyyən edilmiş nöqtədəki potensialı aşağıdakı düsturlardan istifadə etməklə tapmaq olar [3-5, 9].





Şəkil 3 a, b – 4 nöqtəsində potensialın hesablanması sxemi və faza gərginliklərinin vektor diaqramı

Figure 3 a, b – Scheme for calculating the potential at point 4 and a vector diagram of phase voltages

$$\varphi_{41} = \tau_1 \ln \frac{b_{14}}{a_{14}} \quad \varphi_{42} = \tau_2 \ln \frac{b_{24}}{a_{24}} \quad \varphi_{43} = \tau_3 \ln \frac{b_{34}}{a_{34}}$$

4 nöqtəsinin yükü $\tau_4 = 0$ olduğu üçün, 4 nöqtəsində öz yükündən potensial komponenti yoxdur. Müvafiq olaraq,

$$\varphi_4 = \varphi_{41} + \varphi_{42} + \varphi_{43} = \tau_1 q \ln \frac{b_{14}}{a_{14}} + \tau_2 q \ln \frac{b_{24}}{a_{24}} + \tau_3 q \ln \frac{b_{34}}{a_{34}},$$

burada, τ_1, τ_2, τ_3 – yerə nəzərən potensiallardan

asıllı olaraq, naqillərin tutumu, $q = \frac{1}{2\pi\epsilon_0}$.

Tənliklər sistemlərini çevirdikdən sonra U_4 gərginliyi üçün son düsturu alırıq:

$$U_4 = \frac{a_{14} \dot{U}_1 + a_{24} \dot{U}_2 + a_{34} \dot{U}_3}{a_{11} - a_{12}} \quad (5)$$

$$\varphi_4 = \frac{U_\phi}{a_{11} - a_{12}} \cdot \left[-\ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + (D+x)^2}}{\sqrt{(H-y)^2 + (D+x)^2}} + (0.5 + j0.87) \cdot \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + x^2}}{\sqrt{(H-y)^2 + x^2}} + \right. \\ \left. + (0.5 + j0.87) \cdot \ln \frac{\sqrt{(H+y)^2 + (x-D)^2}}{\sqrt{(H-y)^2 + (x-D)^2}} \right] \quad (8)$$

burada D – fazalararası məsafə; H – naqillərin asma hündürlüyü; U_ϕ – xəttin faza gərginliyi;

Şəkil 3-də göstərildiyi kimi faza simmetrik gərginliklər sistemini kompleks müstəvidə yerləşdirəcəyik.

$$\dot{U}_1 = -U_F;$$

$$\dot{U}_2 = U_F \cdot e^{j60} = U_F \cdot (0.5 + j0.87);$$

$$\dot{U}_3 = U_F \cdot e^{-j60} = U_F \cdot (0.5 - j0.87);$$

Burada, əmsal $a_{11} = \ln \frac{2H}{r}$, ancaq onun

digər təşkilediciləri aşağıdakı formula ilə təyin olunur.

$$\bar{a}_{12} = (a_{12} + a_{23} + a_{13})/3 \quad (6)$$

$$a_{12} = a_{23} = \ln \left(\frac{\sqrt{(2H)^2 + D^2}}{D} \right)$$

$$a_{13} = a_{23} = \ln \left(\frac{\sqrt{(2H)^2 + (2D)^2}}{2D} \right)$$

$$\varphi_{43} = \tau_3 q \ln \frac{b_{34}}{a_{34}} \quad (7)$$

x, y koordinatları olan ixtiyari M nöqtəsində faza naqillərinin xüsusi düzlüşü ilə üç fazalı xəttin yaratdığı elektrik sahəsinin potensialı [8] ifadəsi ilə müəyyən edilir.

α_{11}, α_{12} – (6), (7) ifadələri ilə təyin olunan potensial əmsallar.

(8) ifadəsi x, y koordinatları ilə verilmiş bir nöqtədə yerləşən izolyasiya edilmiş naqilin potensialını tapmağa imkan verir.

φ_m -i diferensiallaşaraq (8), x -ə nəzərən elektrik sahə gərginliyinin üfüqi E_x və şaquli E_y təşkilədicilərini alırıq.

$$E = \frac{d\varphi_m}{dy} = \frac{U_\phi}{a_{11} - a_{12}} \cdot \left[- \left[\frac{H+y}{(H+y)^2 + (D+x)^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + (D+x)^2} \right] + (0.5 + j0.87) \left[\frac{H+y}{(H+y)^2 + x^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + x^2} \right] + (0.5 + j0.87) \left[\frac{H+y}{(H+y)^2 + (D-x)^2} + \frac{H-y}{(H-y)^2 + (D-x)^2} \right] \right] \quad (9)$$

M nöqtəsində elektrik sahə gərginliyinin modulu aşağıdakı ifadə ilə $E_M = \sqrt{E_x^2 + E_y^2}$ müəyyən edilir

İnsana E_y şaquli təşkilədiçi təsir edir (insandan keçən cərəyanı bu komponent yaradır) [3]. [3]-də qeyd olunur ki, standartlar oriyentasiyasından asılı olmayaraq, elektrik sahə gərginliyinin vektorunun modulunu məhdudlaşdırır ki, bu da yaranmış fizioloji təhlükənin mahiyyətini əks etdirmir.

HX ətrafında elektrik sahə gərginliyinin azaltmağın yollarından biri heyvanların, nəqliyyat vasitələrinin və kənd təsərrüfatı işlərinin intensiv hərəkət etdiyi yerlərdə xətt naqillərinin altından çəkilmiş qoruyucu torpaqlanmış kabellərin quraşdırılmasıdır. Yerə qədər olan məsafə 4.5m hündürlüyə qədər hərəkət edən mexanizmlərlə normallaşdırılır. Torpaqlanmış kabellərdə yaranan tutumlar, naqillərin sahəsini qismən kompensasiya edir və kabelin radiusundan asılı olmayaraq sahə gərginliyinin qiymətini azaldır.

Hesablama Mathcad və Excel proqramlarından istifadə etməklə aparılmışdır.

Nümunə: 500 kV-luq xəttin elektrik sahə gərginliyini hesablamaq, dayaqda asma hündürlüyü $H_1 = 12$ m və aşırımın ortası $H_2 = 8$ m olan zaman yer səthindən 1,8 m (insan

boyu) hündürlükdə xəttin kəsişməsində sahə gərginliyinin qrafikini qurmaq. Qrafik tərtib edildikdən sonra verilmiş nöqtələrdə $E_{bb}=5$ kV/m buraxıla bilən qiyməti nəzərə alınmaqla, insan üçün təhlükəsiz zonanı təyin etmək.

İlkin verilənlər: fazalararası məsafə $D=12$ m, $H=7$ m, $y=2$ m; AC-330 naqili $r_0=2,6$ mm; parçalanmış fazada naqillərin sayı $n=3$, parçalanma addımı $sag=40$ sm, onun parçalanma radiusu, mm-lə

$$rras := \frac{sag}{2 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{n}\right)} = 23.094$$

Faza naqilinin ekvivalent radiusu:

$$R_{ekv} = \sqrt[n]{n \cdot r_0 \cdot rras^{(n-1)}} = 12.633$$

(6-7) ifadələri əsasında aşağıdakı cədvəldə verilmiş əmsallar alınır:

Cədvəl – Faza naqilinin ekvivalent radiusu

Table – Equivalent radius of the phase wire

H	D	a_{11}	a_{12}	a_{13}	a_{121}
7	12	4.679	0.429	0.146	0.335

X qiymətini verməklə, (8) ifadəsinə əsasən, E_y kV/m modulunun müvafiq qiymətlərini müəyyən edirik, nəticələr cədvəl və qrafik formalarında təqdim etmək mümkündür.

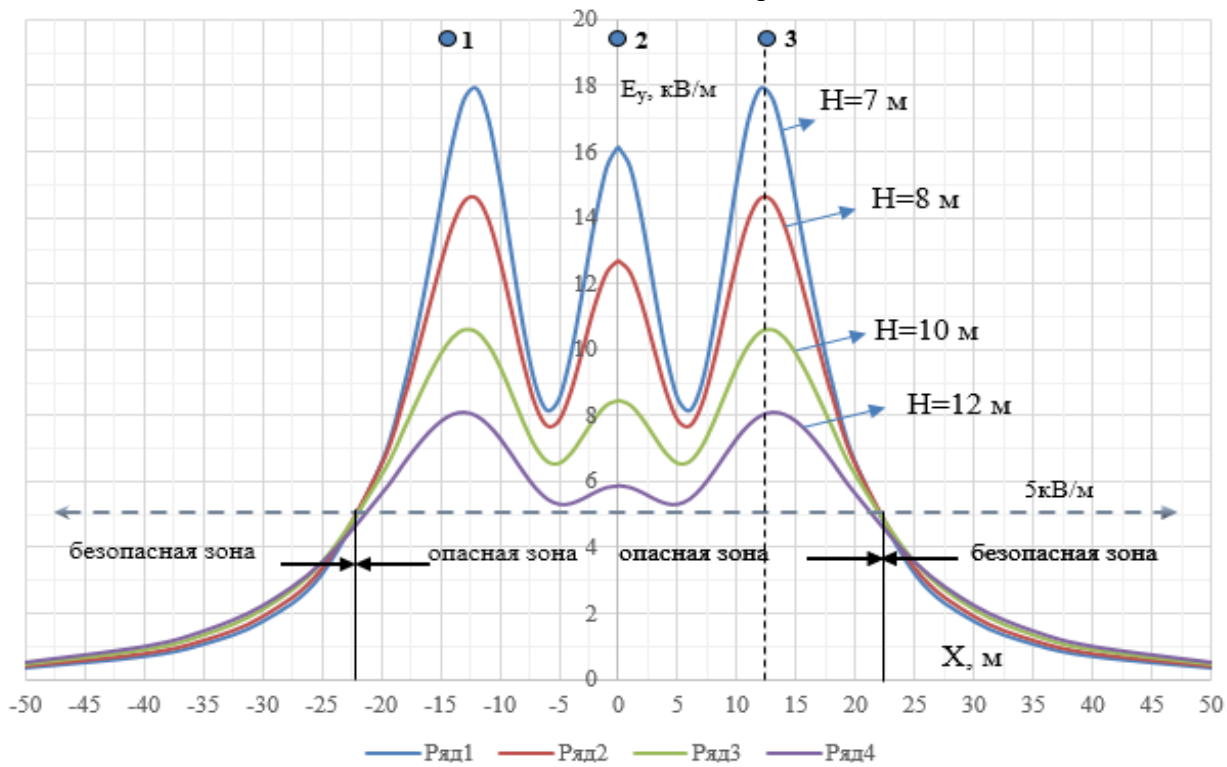
$H_1 = 22$ m və $H_2 = 8$ üçün E_y -in x -dan asılılıq qrafiki verilmişdir (şəkil 4).

Şəkildə üfüqi xətt 5 kV/m səviyyəsindədir, bunu sahə gərginliyinin icazə verilən qiyməti və insanlar üçün təhlükəsiz zona müəyyən edirik. $H_2=8$ olan zaman təhlükəsiz zona kənar fazadan 10 m məsafədədir.

Dayağın altında ($H_1=12$ m) təhlükə zonası yoxdur, çünki bütün E_y əyrisi 5 kV/m-dən aşağıdır. $x<0$ üçün E_y əyriləri $x>0$ üçün

əyrilərə simmetrikdir və buna görə də göstərilir.

Bütün fazaların təşkilçilərinin sayı və ölçüləri eyni olarsa, onların asma hündürlüyü eyni olduqda, orta fazanın işləmə qabiliyyəti kənar olanlardan əhəmiyyətli dərəcədə (5-7%) çoxdur. İşçi tutumları bərabərləşdirmək üçün orta fazanın ölçülərinə görə kənar fazaların ölçülərini artırmaq və ya kənar olanlara nisbətən orta fazanın asma hündürlüyünü artırmaq lazımdır.



Şəkil 4 – EVX-dən x məsafədə elektrik sahə gərginliyinin asılılıqları

Figure 4 – Dependences of the electric field strength at a distance x from the power line

Nəticə

Yüksək gərginlikli hava xətlərindən məsafədə elektrik sahə gərginliyinin modelləşdirilməsinə dair nəzərdən keçirilən məsələlər onların insanlara və bio- və texnosfer obyektlərinə zərərli təsirini azaltmaq üçün bir sıra tədbirlər hazırlamağa imkan verir.

Alınan nəticələri yoxlamaq və elektromagnit sahəsini daha da tədqiq etmək üçün üç

fazalı yüksək gərginlikli hava xətlərindən aralı məsafədə elektrik sahə gərginliyinin simulyasiyası üçün «Ел-Поле БЛ» proqram - hesablama kompleksi hazırlanmışdır.

500 kV-luq hava xəttinin modelindən istifadə edərək, proqramda obyektin hava xəttindən məsafəsindən asılı olaraq elektrik sahəsinin modelləşdirilməsini nümayiş etdirilir. Müəyyən edilmişdir ki, elektrik xətlərinin

elektrik sahəsinin hesablanması nəticələrini təhlil edərkən, onların konstruksiyası, fazaların bölünməsi və s. haqqında daha dolğun məlumat lazımdır.

Maraqlar münaqişəsi

Müəllif bu məqalədə araşdırılması tələb olunan maraqlar münaqişəsinin olmadığını qeyd edir.

REFERENCES

1. Metodicheskie ukazaniya. Sovmestimost tekhnicheskikh sredstv. Radiopomehi industrialnyye ot vozdukhnykh liniy elektroperedachi i vysokovoltного oborudovaniya. Opisanie fizicheskikh yavleniy. RD 50-723-93 (SISPR 18-1). Moskva: Izdatelstvo standartov, 1993.
2. Upravlyayemye linii elektroperedachi / Pod red. V.A. Venikova i dr. – M.: Energoatomizdat, 1984.
3. **Aleksandrov G.N.** Ustanovki sverkhvysokogo napryazheniya i ohrana okruzhayushhej sredy. – L.: Elektroatomizdat, 1989.
4. Dalnie elektroperedachi 750 kV: Sbornik statej / Pod red. A.M. Nekrasova i S.S. Rokotjana. Kn. 1. – M.: Energija, 1974.
5. Liniy elektroperedachi 345 kV i vyshe: Sb. L59 trudov Nauchno-issledovatel'skogo instituta jenergetiki SShA / Per. s angl. V.V. Burgsdorfa. – Moskva: Energija, 1980.
6. Teoreticheskie osnovy jelektrotehniki: v 2 t. / P.A. Ionkin, A.I. Darevskij, E.S. Kuharkin, V.G. Mironov, N.A. Melnikov. M.: Vyssh. shk., 1976. T. 1. 383 s.
7. **Zhezhelenko I.V.** Elektromagnitnaja sovmestimost potrebitelej. Jelektromagnitnaja sovmestimost potrebitelej: E45 monogr. / I.V. Zhezhelenko, A.K. Shidlovskij, G.G. Pivnjak i dr. – M.: Mashinostroyeniye, 2012. – 351 s.
8. **Bessonov V.A.** Elektromagnitnaja sovmestimost: Uchebnoye posobie. – Habarovsk: Izd-vo DVGUPS, 2000. – 80 s.
9. **Djakov A.F., Maksimov B.K., Borisov R.K. i dr.** Elektromagnitnaja sovmestimost v elektroenergetike i elektrotehnike. – M.: Energoatomizdat, 2003.