



ECOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COMPACT CONTROLLED SELF-COMPENSATING ALTERNATING CURRENT POWER TRANSMISSION LINES

Viktor SUSLOV, Vitaly POSTOLATY

Institute of Power Engineering of the Academy of Sciences of Moldova

Abstract: *The analysis of the environmental characteristics of double-circuit controlled self-compensating high-voltage AC power lines is conducted. As the main characteristics are considered: the levels of the electric field strength under the power lines at a height of 1,8 meters from the ground; levels of the magnetic field strength; levels of radio interference and acoustic noise. The calculation procedures of the characteristic are presented. Calculations of ecological characteristics for representative variants of such double-circuit lines with voltages of 220, 330 and 500 kV were performed. The results could be used in the design of such power lines.*

Keywords: *controlled self-compensation compact high-voltage power lines, electric and magnetic fields, radio interference and acoustic noise.*

CARACTERISTICILE ECOLOGICE ALE LINIILOR COMPACTE DIRIJATE CU AUTO-COMPENSARE DE CURENT ALTERNATIV

Victor SUSLOV, Vitali POSTOLATI

Institutul de Energetică al Academiei de Ştiinţe a Moldovei

Rezumat: *Este efectuată analiza caracteristicilor ecologice a liniilor compacte dirijate cu auto-compensare de înaltă tensiune cu dublu circuit (LEDA). În calitate de caracteristici principale sunt considerate nivelurile intensităţii câmpului electric sub liniile electrice la o înălţime de 1,8 metri de la sol; nivele de intensitate a câmpului magnetic; nivelurile de interferenţă radio şi zgomot acustic. Sunt prezentate metodele de calcul a acestor caracteristici. Pentru exemplele reprezentative a liniilor dublu circuit la tensiune de 220, 330 şi 500 kV sunt efectuate calcule ale caracteristicilor ecologice. Este demonstrat, că toate caracteristicile de mediu menţionate mai sus a liniilor LEDA corespund cerinţelor de reglementare existente. Rezultatele pot fi utilizate la proiectarea acestor linii electrice.*

Cuvinte cheie: *liniile electrice compacte dirijate cu auto-compensare de înaltă tensiune, intensitatea câmpurilor electrice şi magnetice, interferenţă radio şi zgomot acustic.*

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ УПРАВЛЯЕМЫХ САМОКОМПЕНСИРУЮЩИХСЯ КОМПАКТНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В.М. Суслов, В.М. Постолатий

Институт Энергетики Академии Наук Молдовы

Реферат: *Выполнен анализ экологических характеристик двухцепных управляемых самокомпенсирующихся компактных высоковольтных линий электропередачи переменного тока (УСВЛ). В качестве основных характеристик рассмотрены: уровни напряженности электрического поля под линиями электропередачи на высоте 1,8 м от поверхности земли; уровни напряженности магнитного поля; уровни радиопомех и акустических шумов. Приведены методики расчета указанных характеристик. Для представительных вариантов двухцепных УСВЛ напряжением 220, 330 и 500 кВ выполнены расчеты экологических характеристик. Показано, что все рассмотренные экологические характеристики УСВЛ удовлетворяют существующим требованиям нормативных документов. Результаты могут быть использованы при проектировании указанных линий электропередачи.*

Ключевые слова: *управляемые самокомпенсирующиеся компактные высоковольтные линии электропередачи, напряженность электрического и магнитного поля, радиопомехи и акустические шумы.*

ВВЕДЕНИЕ

Одним из важных требований, предъявляемых к высоковольтным линиям электропередачи (ВЛ), является ограничения по уровням экологического воздействия на окружающую среду [1, 3, 6-9]. Основными факторами экологического влияния ВЛ на окружающую среду являются: напряженность электрического поля на расстоянии 1,8 м от поверхности земли под ВЛ и в установленной санитарной зоне, напряженность магнитного поля, уровни радиопомех и акустических шумов.

Для ВЛ традиционных конструкций экологические характеристики достаточно хорошо исследованы. Для ВЛ нового типа, к которым относятся рассматриваемые в данной работе многоцепные управляемые самокомпенсирующиеся линии электропередачи (УСВЛ) компактного типа, все нормируемые требования по экологическим характеристикам также являются обязательными. Основные требования заключаются в следующем:

1. Напряженность электрического поля под ВЛ на высоте 1,8 м от поверхности земли в местах наибольшего провисания проводов для ненаселенной местности не должна превышать 15 кВ/м; для других условий существуют другие требования;
2. Уровни напряженности магнитного поля на расстоянии 100 м от крайней фазы ВЛ не должна превышать 16 А/м;
3. Уровни радиопомех на расстоянии 100 м от крайней фазы ВЛ не должны превышать 43 Дб;
4. Уровни акустических шумов на расстоянии 100 м от крайней фазы ВЛ не должны превышать 45 Дб.

Для расчета экологических характеристик УСВЛ и оценки, насколько они удовлетворяют существующим нормативным требованиям, могут быть использованы в основном существующие методики с некоторыми дополнениями, учитывающими отличительные особенности УСВЛ и их параметры.

Управляемые самокомпенсирующиеся ВЛ (УСВЛ) отличаются от ВЛ традиционного типа конструкцией, схемами, способами регулирования параметров режимов и характеристиками [10-12].

УСВЛ, как и обычные ВЛ, являются источниками электрических и магнитных полей в окружающем пространстве, от величины напряженности которых практически полностью зависят все экологические характеристики линий.

На величины электрических и магнитных полей, создаваемых ВЛ, сильно влияют конструктивные параметры, а именно:

- тип опор,
- расположение фаз,
- углы сдвига токов и напряжений фаз,
- расстояние между фазами,
- диаметр проводов (поперечное сечение),
- высота расположения проводов над землей,
- число составляющих проводов в каждой расщепленной фазе,
- шаг расщепления проводов.

Изложенная ниже методика расчета напряженности электрического и магнитного поля УСВЛ и экологических характеристик основана на учете всего указанного комплекса факторов.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ (ВЛ) ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Экологические параметры ВЛ переменного тока нельзя определить без определения ее электрических параметров. Эти параметры удобно определять в фазных координатах. Для простоты изложения, это определение делается в безразмерном виде. Первичные параметры электрического поля линии определяются матрицей потенциальных коэффициентов. Элементы данной матрицы, согласно [1], определяются из следующего выражения.

$$\alpha_{ij} = \ln \left(\frac{d_{ij'}}{d_{ij}} \right), \quad (1)$$

где i и j – номера строки и столбца матрицы, соответственно,

d_{ij} – расстояние между соответствующими фазами линии (если $i=j$, то $d_{ii}=R_{экви}$),

$R_{экви}$ – эквивалентный радиус i -ой фазы,

d_{ij}' – среднее расстояние, в пролете, между i -ой и зеркально отраженной j -ой фазами линии.

Для электрического поля принято оперировать матрицей емкостных коэффициентов, являющей обратной по отношению к матрице потенциальных коэффициентов, то есть.

$$\|\beta\| = \|\alpha\|^{-1}, \quad (2)$$

где $\|\beta\|$ – матрица емкостных коэффициентов линии,

$\|\alpha\|$ – матрица потенциальных коэффициентов линии.

Для установившегося симметричного режима эквивалентный параметр электрического поля каждой фазы линии принято характеризовать рабочей емкостью, величина которой может быть определена следующим выражением.

$$C_i = \sum_{j=1}^n \beta_{ij} \cdot \cos \varphi_{ij}, \quad (3)$$

где i, j – номера фаз линии,

n – число фаз линии,

φ_{ij} – сдвиг фаз напряжений i -ой и j -ой фаз.

Эквивалентный параметр электрического поля всей линии определится средней величиной рабочих емкостей всех фаз линии, т.е.

$$C_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n C_i, \quad (4)$$

где n – число фаз линии.

Первичные параметры магнитного поля линии определяются матрицей индуктивностей. В данном случае, для установившегося симметричного режима, принято пренебрегать влиянием земли. Дополнительно для линии высокого класса напряжения примем возможным также пренебречь магнитным полем внутри фазных проводов, ввиду его относительной малости. При этих допущениях, согласно [2], элементы данной матрицы могут быть определены из следующего выражения.

$$L_{ij} = -\ln(d_{ij}), \quad (5)$$

где i и j – номера строк и столбцов матрицы, соответственно,

d_{ij} – расстояние между соответствующими фазами линии (если $i=j$, то $d_{ii}=R_{\text{экви}}$).

Для установившегося симметричного режима магнитное поле каждой фазы линии может быть охарактеризовано рабочей индуктивностью, величина которой в безразмерном виде, приближенно, может быть определена следующим выражением.

$$L_i = L_i = \sum_{j=1}^n L_{ij} \cdot \cos \varphi_{ij}, \quad (6)$$

Эквивалентный параметр магнитного поля всей линии определится средней величиной рабочих индуктивностей всех фаз линии. То есть.

$$L_{cp} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n L_i,$$

В выражениях (1,5) фигурирует, так называемый эквивалентный радиус расщепленной фазы линии, который определяется из следующего выражения [1].

$$R_{\text{экви}} = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot r_p^{n-1}}, \quad (7)$$

где n – количество составляющих расщепленной фазы,

r_p – радиус расщепления фазы, м,

r – радиус составляющей фазы, м.

Важной характеристикой линии, определяющей ее пропускную способность, является величина ее волнового сопротивления, которое определится из следующего выражения.

$$z = 60 \cdot \sqrt{\frac{L_{cp}}{C_{cp}}}, \quad (8)$$

где z – волновое сопротивление линии, Ом,

60 – коэффициент перехода от безразмерных единиц к размерным,

L_{cp} и C_{cp} – средние величины рабочих безразмерных индуктивностей и емкостей линии, соответственно.

2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАСЧЕТА ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ (ВЛ) ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

2.1. Акустические шумы.

Акустические шумы (в Дб от линии электропередачи, согласно [3], от ее каждой фазы определяются по следующей формуле.

$$L_i = 16 + 1,11 \cdot E_{\text{max}} + 9 \cdot r_0 + 15 \cdot \lg n - 10 \cdot \lg D, \quad (9)$$

где E_{max} – действующее значение максимальной напряженности поля на поверхности фазы, кВ/см ;

r_0 – радиус составляющей, см ;

n – число составляющих расщепленной фазы,

D – расстояние от фазы, м .

В соответствии с [4] суммирование уровней шумов от отдельных источников, находящихся на одной линии с точкой определения шума, производится по следующей формуле.

$$L_{\Sigma} = 10 \lg \left(\sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \right), \quad (10)$$

где L_i – уровень шума i -го источника,

L_{Σ} – суммарный уровень шума от всех источников.

Данную формулу вполне можно применить для нашего случая – определения суммарного шума от всех фаз линии, поочередно применяя ее для горизонтальной и вертикальной составляющей шума. Результирующий шум может быть определен по следующей формуле.

$$L_{\Sigma} = \sqrt{L_{\Sigma \text{гор}}^2 + L_{\Sigma \text{верт}}^2}. \quad (11)$$

2.2. Уровень радиопомех от линии электропередачи (в дБ/мкВ/м)

Уровень радиопомех от линии электропередачи, согласно [5], прогнозируется для условий сухой погоды и состаренных проводов на частоте 500 кГц и на высоте 2 м.

Уровень радиопомех от ее каждой фазы определяются по следующей формуле.

$$E_i = 3,5 \cdot E_{\text{max}} + 12 \cdot r_0 - 33 \lg D / 20 - 30. \quad (12)$$

Если линия состоит из нескольких цепей, то помехи от одноименных фаз квадратично складываются, то есть происходит приведение к одноцепной линии. Затем производится сравнение помех от каждой фазы этой эквивалентной линии между собой. Если помехи какой-нибудь из фаз превосходят сумму двух остальных, то ими пренебрегают. Иначе эквивалентный уровень помех определится по следующей формуле.

$$E_{\Sigma} = \frac{E_1 + E_2}{2} + 1,5. \quad (13)$$

Здесь в качестве E_1 и E_2 приняты большие величины.

2.3. Уровень напряженности электрического поля от линии электропередачи

Предельно нормируемые уровни напряженности электрического поля от линии электропередачи определяется на высоте 1,8 м от поверхности земли. Комплекс напряженности электрического поля от каждой фазы линии электропередачи, при заданном модуле средней напряженности на их поверхности, определяется отдельно для вертикальной и горизонтальной составляющей.

Для вертикальной составляющей:

$$\dot{E}_{yi} = E_i \cdot r_0 \cdot n \cdot \exp(j\varphi_i) \cdot \left(\frac{h_i - 1,8}{\sqrt{(h_i - 1,8)^2 + \Delta x_i^2}} + \frac{h_i + 1,8}{\sqrt{(h_i + 1,8)^2 + \Delta x_i^2}} \right), \quad (14)$$

Для горизонтальной составляющей:

$$\dot{E}_{xi} = E_i \cdot r_0 \cdot n \cdot \Delta x_i \cdot \exp(j\varphi_i) \cdot \left(\frac{1}{\sqrt{(h_i - 1,8)^2 + \Delta x_i^2}} - \frac{1}{\sqrt{(h_i + 1,8)^2 + \Delta x_i^2}} \right), \quad (15)$$

где E_i – средняя действующая напряженность электрического поля на поверхности i -ой фазы линии [кВ/м],

r_0 – радиус составляющей [м],

h_i – высота этой фазы над землей [м],

Δx_i – расстояние, по горизонтали, от данной фазы линии до расчетной точки [м],

φ_i – фаза комплекса напряжения рассматриваемой фазы линии [рад].

Результирующие действующие уровни напряженности, в комплексном виде, определяются суммированием для всех фаз, отдельно для вертикальной и горизонтальной составляющей.

Так для вертикальной составляющей имеем:

$$\dot{E}_{y\Sigma} = \sum_{i=1}^n \dot{E}_{yi}, \quad (16)$$

а для горизонтальной:

$$\dot{E}_{x\Sigma} = \sum_{i=1}^n \dot{E}_{xi}. \quad (17)$$

Пренебрегая сдвигом фаз между вертикальной и горизонтальной составляющими комплексов напряженности электрического поля, ввиду его чрезвычайно малой величины, итоговый действующий уровень напряженности может быть определен квадратичным сложением модулей суммарных комплексов вертикальной и горизонтальной составляющих. Имеем.

$$E_{\Sigma} = \sqrt{E_{x\Sigma}^2 + E_{y\Sigma}^2}. \quad (18)$$

2.4. Уровень напряженности магнитного поля от линии электропередачи

Определение напряженности магнитного поля воздушных высоковольтных ЛЭП.

Исходя из заданного рабочего режима комплексы токов проводов линии можно считать известными. Для произвольного момента времени элементы скалярной матрицы токов линии определяются из следующего выражения.

$$I_i = \sqrt{2} \cdot \text{mod}(\dot{I}_i) \cdot \sin\left(\omega \cdot t + \arg(\dot{I}_i)\right), \quad (19)$$

где I_i – токи проводов линии,

i – индекс номера провода,

mod – функция модуля комплексного числа,

ω – круговая частота переменного тока,

t – произвольный момент времени,

\arg – функция аргумента комплексного числа.

Вектор напряженности магнитного поля для момента времени t , имея ввиду промышленную частоту переменного тока, в некоторой точке окружающего линию пространства приближенно (без учета токов в земле), определится из следующего выражения.

$$\vec{H}_k = -j \frac{1}{2\pi} \cdot \sum_{i=1}^n \left(I_i \cdot \frac{\vec{R}_{ij}}{R_{ij}^2} \right), \quad (20)$$

где i – индекс номера провода,

k – индекс исследуемой точки,

\vec{R}_{ij} – радиус-вектор из i -го провода линии в

перпендикулярном от него направлении до исследуемой точки,

\vec{H}_k – вектор напряженности магнитного поля

в момент времени t .

Максимальное значение напряженности в исследуемой точке наступит в тот момент времени, когда модуль вектора напряженности примет максимальную величину. Действующее значение напряженности магнитного поля в данной точке пространства приближенно определится из следующего выражения.

$$H_{k0} = \frac{H_{k\max}}{\sqrt{2}}, \quad (21)$$

где H_{k0} – действующее значение напряженности магнитного поля в точке j ,

$H_{j\max}$ – максимальное значение напряженности магнитного поля в той же точке,

Очевидно, что такой способ определения действующего значения напряженности магнитного поля неудобен ввиду необходимости ее многократного пересчета по выражениям (19, 20). Более практичным является нижеследующий способ.

Коротко его суть заключается в следующем:

- оперируем комплексными величинами токов линии,

- определяем проекции комплексных векторов напряженности магнитного поля на горизонтальную и вертикальную оси координат, исходящие через исследуемую точку. (Горизонтальная ось направлена поперек линии слева направо, а вертикальная снизу вверх).

Проекция комплексного вектора напряженности магнитного поля на вертикальную ось координат определится из следующего выражения.

$$\dot{H}_{yk} = -\frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{\dot{I}_i \cdot x_{ij}}{R_{ij}^2} \right), \quad (22)$$

где k – индекс исследуемой точки,

R_{ik} – расстояние от i -го провода линии до исследуемой точки,

x_{ik} – смещение исследуемой точки вбок от i -го провода линии,

\dot{e}_{xk} – проекция комплексного вектора напряженности магнитного поля на вертикальную ось координат.

Проекция комплексного вектора напряженности магнитного поля на горизонтальную ось координат определится из следующего выражения.

$$\dot{e}_{xk} = \frac{1}{2\pi\epsilon_0} \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{\dot{I}_i \cdot y_{ij}}{R_{ij}^2} \right), \quad (23)$$

где y_{ik} – смещение исследуемой точки по высоте от i -го провода линии,

\dot{H}_{yk} – проекция комплексного вектора напряженности магнитного поля на горизонтальную ось координат.

Действующее значение напряженности магнитного поля в исследуемой точке пространства приближенно определится из следующего выражения.

$$H_{jk} = \sqrt{H_{xk}^2 + H_{yk}^2}, \quad (24)$$

где H_{xk} – проекция комплексного вектора напряженности магнитного поля на горизонтальную ось координат,

H_{yk} – проекция комплексного вектора напряженности магнитного поля на вертикальную ось координат.

Используя приведенные математические выражения были разработаны соответствующие программы расчетов рассмотренных экологических характеристик линий электропередач различных типов. Для выбранных наиболее представительных вариантов ВЛ были выполнены расчеты экологических характеристик, сделаны сопоставления и оценки, насколько они удовлетворяют нормативным требованиям.

В качестве исследуемых приняты двухцепные управляемые самокомпенсирующиеся линии электропередачи (УСВЛ) напряжением 220, 330, 500 кВ.

Исходные данные выбранных вариантов ВЛ, конструкции расщепленных фаз, а также результаты расчетов приведены ниже в табличном и графическом виде.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ

Ниже приведены результаты расчетов вариантов двухцепных УСВЛ 220, 330, 500 кВ, включающие:

- распределение величины напряженности электрического поля на высоте 1,8 м от поверхности земли в зоне, отстоящей от оси опоры на расстоянии 40 м;

- распределение величины напряженности магнитного в зоне шириной 40 м от оси опоры;

- распределение уровней акустического шума в зоне шириной до 200 м от оси опоры;

- распределение уровней радиопомех в зоне шириной до 200 м от оси опоры.

На рис. 1 приведены следующие данные:

- конфигурация расположения фаз двухцепной УСВЛ-220 кВ; по вертикальной оси, являющейся осью опоры, указаны расстояния от земли до точек подвеса проводов и тросов на опоре, а по горизонтальной оси горизонтальное их смещение;

- таблица, в которой приведены исходные данные для расчета экологических характеристик УСВЛ-220 кВ; в нижних двух строчках указанной таблицы даны геометрические размеры расположения на опоре (слева направо) тросов (Трос 1 и Трос 2), фаз (А, В, С – первой цепи и А', В', С' – второй цепи).

На рис. 1.1 приведены величины напряженности электрического поля, на рис. 1.2 – магнитного поля, а на рис. 1.3 и 1.4 – уровни акустического шума и радиопомех, характеризующие данную УСВЛ 220 кВ.

На рис. 2 и 2.1÷2.4 показаны аналогичные данные для варианта двухцепной УСВЛ-330 кВ, а на рис. 3 и 3.1÷3.4 – для УСВЛ-500 кВ.

На рис. 4÷6 приведены результаты расчетов для 5-ти вариантов двухцепных УСВЛ-220 кВ отличающихся друг от друга различными конструктивными данными, указанными в таблице 1.

Анализ приведенных результатов свидетельствует о том, что рассмотренные варианты двухцепных УСВЛ 220, 330, 500 кВ удовлетворяют требованиям существующих нормативных документов: уровни напряженности электрического и магнитного полей, а также радиопомех и акустических шумов не превышают нормируемых значений.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы:

1. Теоретической и методической основой для расчета экологических характеристик компактных УСВЛ могут служить методики, применяемые для ВЛ традиционного типа, дополненные элементами, учитывающими специфику УСВЛ.
2. Экологические характеристики УСВЛ определяются комплексом факторов, главными из которых являются величины напряженности электрического поля на поверхности проводов фаз, а также уровни магнитного поля, создаваемые линиями.
3. Конкретные результаты расчетов экологических характеристик принятых вариантов двухцепных УСВЛ 220, 330, 500 кВ такие, как уровни напряженности электрического и магнитного поля, а также уровни помех и акустических шумов не превышают допустимых значений, указанных в соответствующих нормативных документах.
4. Полученные результаты могут быть использованы при проектировании и создании УСВЛ рассматриваемых классов напряжения 220-500 кВ.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Руководящие указания по учету потерь на корону. – М.: СЦНТИ, 1975.
- [2] П.Л. Калантаров, Л.А. Цейтлин. Расчет индуктивностей. – Л.: Энергоатомиздат, 1986.
- [3] Александров Г.Н. Установки сверхвысокого напряжения и охрана окружающей среды.-Л.: Энергоатомиздат, 1989.
- [4] Борьба с шумом на производстве: Справочник / Под общей редакцией Е.А. Юдина. – М.: Машиностроение, 1985.
- [5] РД 50-724-93.
- [6] СанПиН 2971-84 «Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты». – М.: Минздрав СССР, 1985.
- [7] Гигиенический норматив ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 «Предельно допустимые уровни магнитных полей частоты 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на семейных территориях.
- [8] Н.Н. Хпрлов. «Электромагнитная совместимость». Томск, 2007.
- [9] СН 2.2.4/2.1.8.562-96. «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территориях жилой застройки.
- [10] А.с. 566288 (СССР). Электропередача переменного тока /В.М. Постолатий, В.А. Веников, Ю.Н. Астахов, Г.В. Чалый, Л.П. Калинин. Заявл. 21.03.74. № 2006496. Опубл. В Б.И., 1977, № 27.
- [11] Ю.Н. Астахов, В.М. Постолатий, И.Т. Комендант, Г.В. Чалый. Управляемые линии электропередачи. Кишинев, Штиинца, 1984, 296 с.
- [12] L. TIMASHOVA, Yu. SHAKARIAN, S. KAREVA, V. POSTOLATI, E. BYCOVA, Yu. GORYUSHIN. 110–500 kV compact controlled overhead lines. 2016 Paris, Session SC B2 Overhead Lines Preferential Subject (PS) 2 Overhead Lines for High Power Transfer Capacity. ttp://www.cigre.org.

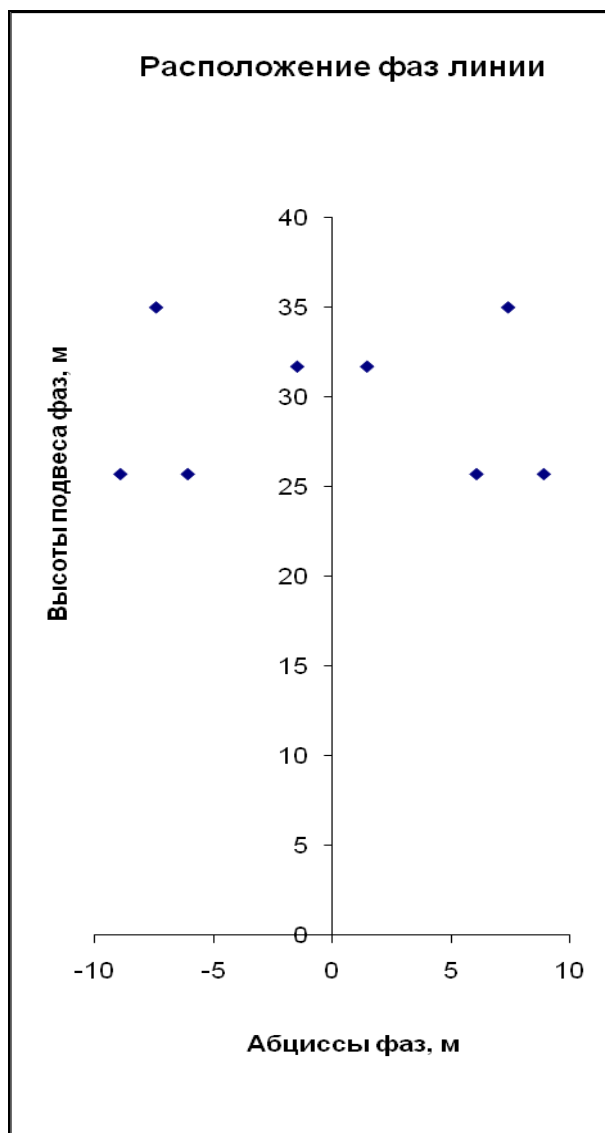


Рис. 1. Двухцепная УСВЛ 220 кВ с исходными данными:

Провода в фазах 2хАС-240/56;

Режим при $\theta=120^\circ$;

Номинальное напряжение, кВ									252
Радиус троса, мм =									5,7
Количество расщеплений троса =									1
Радиус расщепления троса, м =									0,34
Радиус провода, мм =									10,8
Количество расщеплений фазы =									3
Радиус расщепления, м =									0,5
Стрела провеса, м =									17,7
Абцисса и ордината троса/ов и проводов, м									
-7,4	7,4	-6,07	-8,9	-1,47	1,47	8,9	6,07		
35	35	25,7	25,7	31,7	31,7	25,7	25,7		

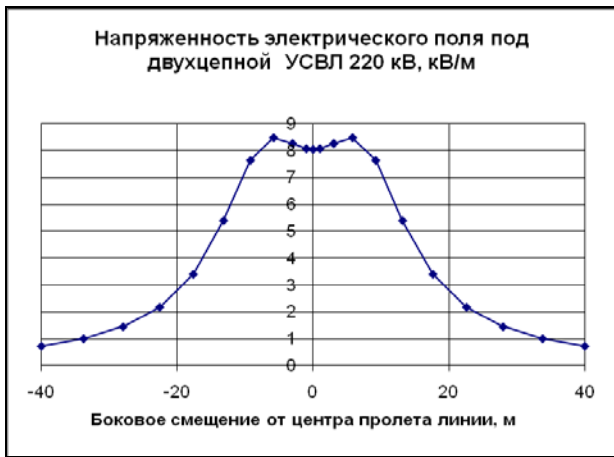


Рисунок 1.1.



Рисунок 1.4

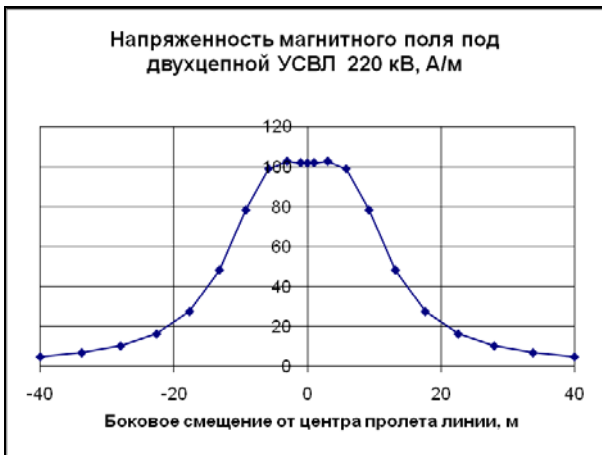


Рисунок 1.2.

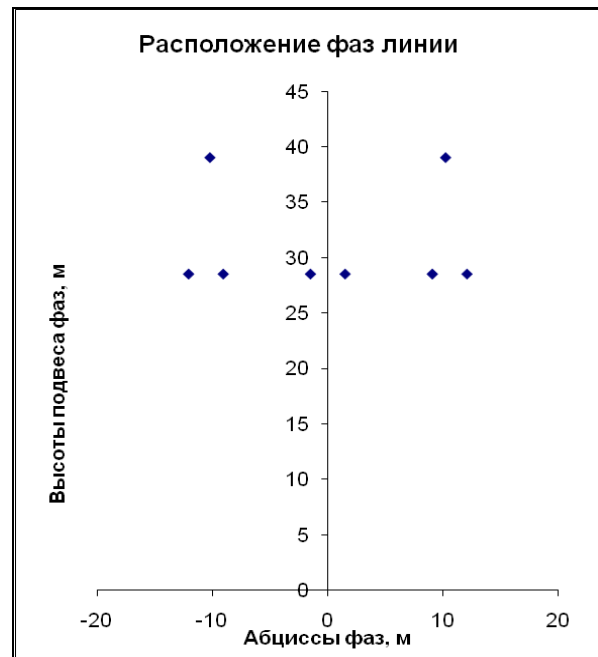


Рис.2. Двухцепная УСВЛ 330 кВ с исходными данными:
Провода 3хАС-400/51; Режим при $\theta=120^\circ$;



Рисунок 1.3.

Номинальное напряжение, кВ									363
Радиус троса, мм =									5,7
Количество расщеплений троса =									1
Радиус расщепления троса, м =									0,34
Радиус провода, мм =									13,75
Количество расщеплений фазы =									3
Радиус расщепления, м =									0,2
Стрела провеса, м =									21
Абсцисса и ордината троса/ов и проводов, м									
	-10,2	10,2	-12,05	-1,5	9,05	-9,05	1,5	12,05	
	39	39	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	28,5	

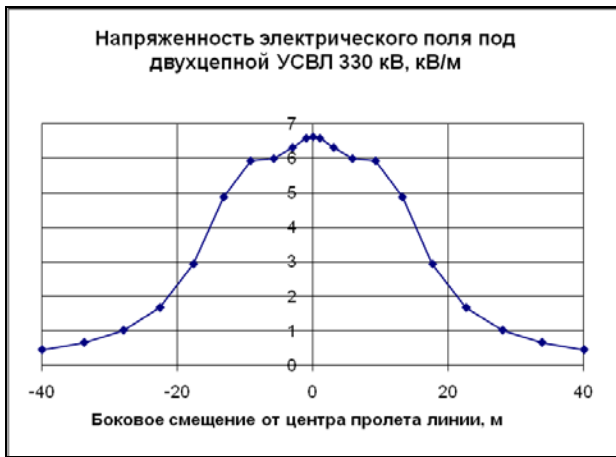


Рисунок 2.1.



Рисунок 2.4.

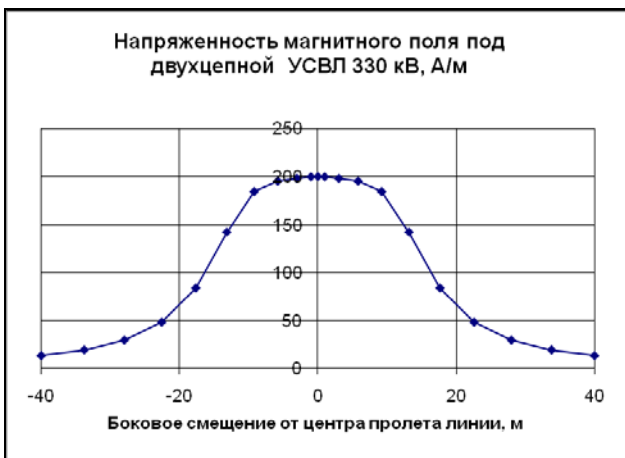


Рисунок 2.2.

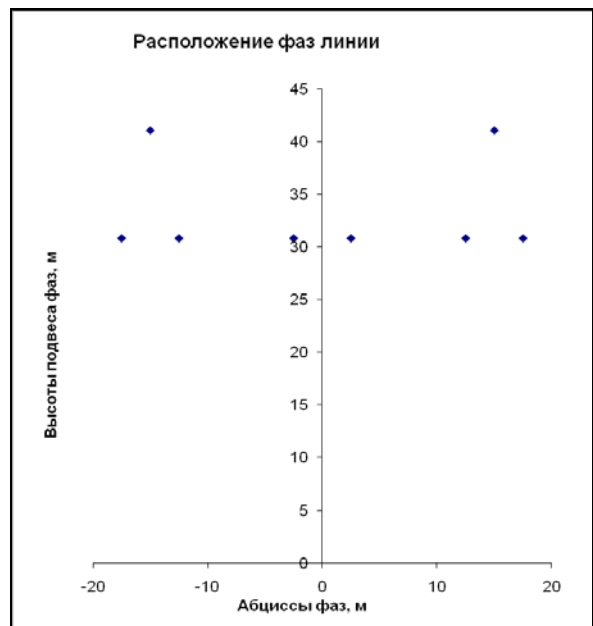


Рис. 3. Двухцепная УСВЛ 500 кВ с исходными данными:
Провода 5хАС-240/39, Режим при $\theta=120^\circ$

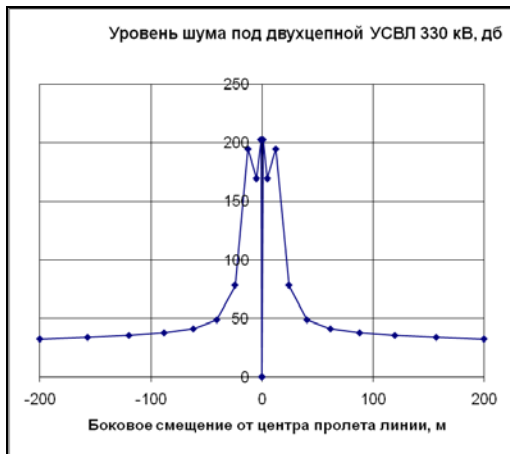


Рисунок 2.3.

Номинальное напряжение, кВ								525
Радиус троса, мм =								5,7
Количество расщеплений троса =								1
Радиус расщепления троса, м =								0,34
Радиус провода, мм =								10,8
Количество расщеплений фазы =								5
Радиус расщепления, м =								0,25
Стрела провеса, м =								22,8
Абсцисса и ордината троса/ов и проводов, м								
	-15	15	-17,5	-2,5	12,5	-12,5	2,5	17,5
	41	41	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8	30,8



Рисунок 3.1.



Рисунок 3.3.

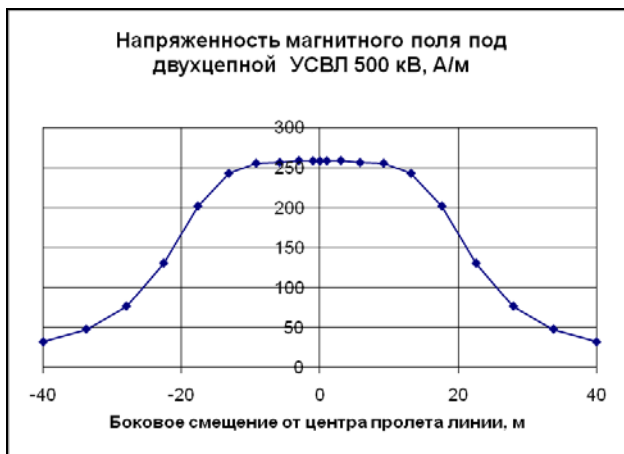


Рисунок 3.2.



Рисунок 3.4.

Таблица 1. Электрическое поле под двухцепной ВЛ класса напряжения 252кВ

Вариант	Радиус провода, мм	Число составляющих	Радиус расщепления, м			
1	10,8	3	0,5	Провода 3хАС-240/39		
2	11,2	3	0,5	Провода 3хАС-240/56		
4	12,25	2	0,4	Провода 2хАС-300/66		
7	12	3	0,5	Провода 3хАС-300/39		
8	12,25	2	0,4	Провода 2хАС-300/66		

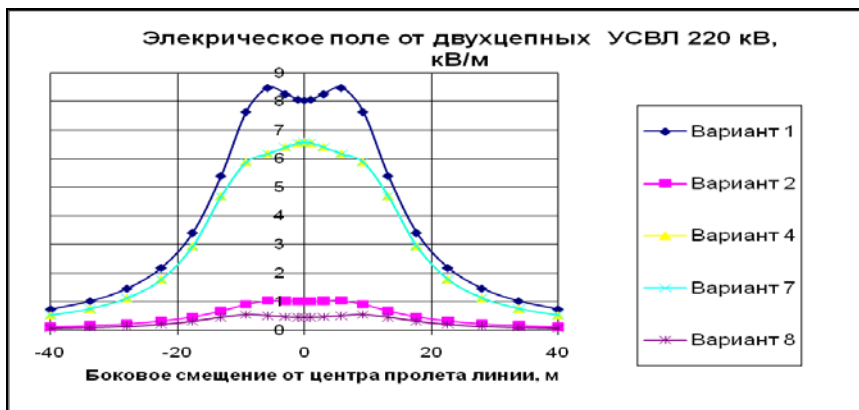


Рисунок 4.

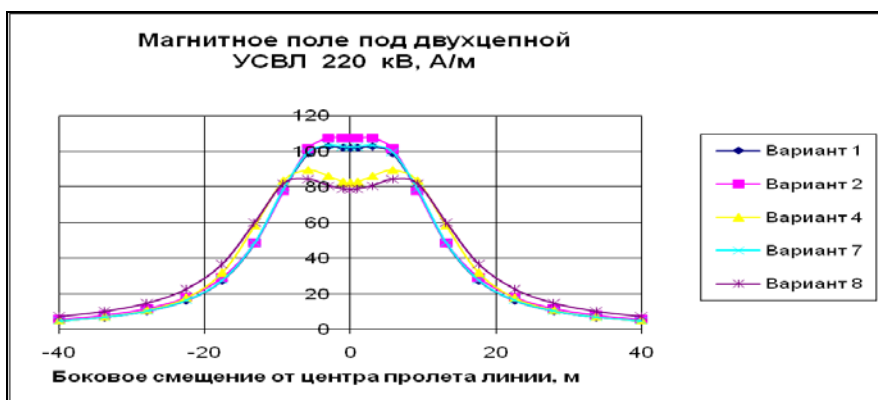


Рисунок 5.



Рисунок 6.

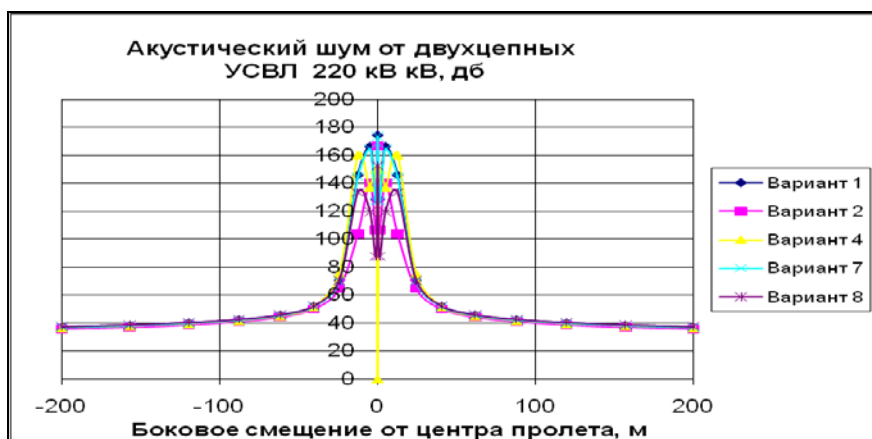


Рисунок 7.