

УДК 621.311

А.В. ЕРМОЛАЕВ, студент гр. ЭиЭм-1805-06-00 (ВятГУ)

Д.В. ДЕМИДОВ, студент гр. ЭиЭм-1804-04-00 (ВятГУ)

Научный руководитель А.С. Соловьева, старший преподаватель (ВятГУ)  
г. Киров

## ВЛИЯНИЕ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ ПОСТОЯННОГО ТОКА СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ

В связи с непрерывным ростом потребляемой электрической мощности в ЕЭС России, возникает необходимость постоянной модернизации сетей, увеличения генерации электрической энергии [1], а также использования инновационных решений при передаче больших мощностей на большие расстояния.

Одним из таких является использование передач постоянного тока (ППТ) СВН. При использовании постоянного тока удается повысить пропускную способность ЛЭП за счет отсутствия при такой передаче индуктивных сопротивлений и ёмкостных проводимостей в принципе.

Ввиду применения типовых опор на линиях как переменного, так и постоянного тока, возникает необходимость исследования электромагнитных воздействий ЛЭП на окружающую среду.

В настоящей статье предлагается исследование напряженности результирующего электрического поля, создаваемого двумя полюсами ЛЭП 500 кВ постоянного тока.

Для построения расчетной модели были выбраны металлические решетчатые опоры марки ПБ-4 [2], рассчитанные на напряжение 500 кВ. Геометрические параметры указанной опоры приведены на рисунке 1.

При математическом моделировании принято допущение о том, что длина гирлянды изоляторов составляет 5,2 м, а длина пролета – 400 м.

При моделировании провода учитывается его провес по параболическому закону. Габаритное расстояние принято равным 15 м. Таким образом, максимальная стрела провеса провода составляет 7 м.

Напряженность электрического поля  $E$ , В/м может быть определена при помощи следующих выражений:

$$dE = \frac{k \cdot \lambda \cdot dy}{r^2} \cdot \vec{r}, \quad (1)$$

где  $dE$  – напряженность электрического поля в некоторой точке, созданного элементом длины  $dy$  провода;  $k$  – константа Кулона, принятая равной

$8,9875 \cdot 10^9$ , Н·м<sup>2</sup>/Кл<sup>2</sup>;  $\lambda$  – линейная плотность заряда, Кл/м;  $\vec{r}$  – Единичный вектор вдоль направления от элемента нити до некоторой точки;  $r$  – расстояние от провода до некоторой точки, м.

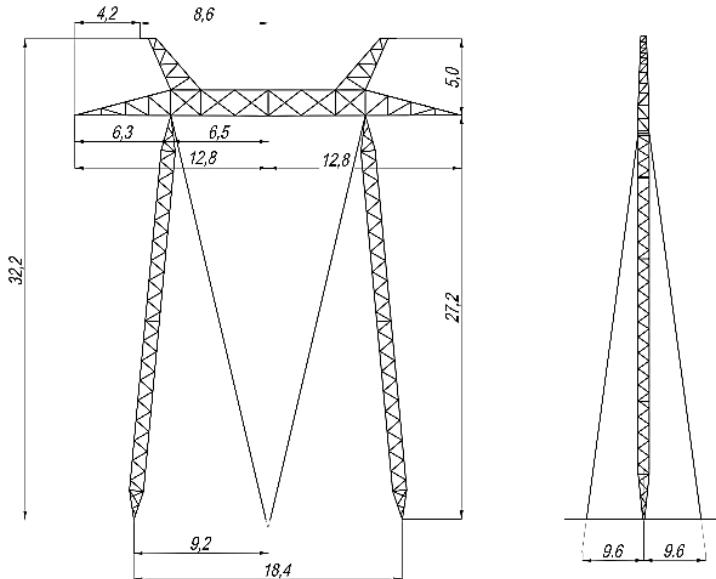


Рис. 1. Геометрические параметры опоры ПБ-4

$$\lambda_{1,2} = \pm \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 \cdot U_{1,2}}{\ln\left(\frac{\sqrt{a^2 - r_{\text{экв}}}}{r_{\text{экв}}}\right)}, \quad (2)$$

где  $U_{1,2}$  – номинальное напряжение, с которым осуществляется электропередача по первому и второму проводам, В;  $a$  – средняя высота подвеса провода, принятая равной 18,5 м;  $r_{\text{экв}}$  – эквивалентный радиус провода в расщепленной фазе. При расстоянии между четырьмя проводами, расположеннымными в вершинах квадрата, со стороной 600 мм, составляет 0,255 м.

Пусть  $(x_0; y_0; z_0)$  – координаты некоторой точки, для которой осуществляется расчет напряженности электрического поля,  $(x; y; z)$  – координаты элемента  $dy$  провода. Тогда величина  $r$ , м, определится:

$$r = \sqrt{(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2}, \quad (3)$$

Проекции электрического поля  $dE_i$  на оси Ох, Оу, Oz определяются из выражения:

$$dE_i = \frac{k \cdot \lambda \cdot (i_0 - i) \cdot dy}{[(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2]^{\frac{3}{2}}}, \quad (4)$$

где  $i, i_0$  – координаты  $x, x_0, y, y_0$  и  $z, z_0$  при расчете проекций электрического поля  $dE_x, dE_y, dE_z$ , соответственно, м.

Напряженность полного электрического поля от каждого из проводов может быть определена путем интегрирования выражения (4) вдоль провода от  $y = -L/2$  до  $y = L/2$ , где  $L$  – длина пролета.

$$E_i = \int_{-\frac{L}{2}}^{\frac{L}{2}} \frac{k \cdot \lambda \cdot (i_0 - i)}{[(x_0 - x)^2 + (y_0 - y)^2 + (z_0 - z)^2]^{\frac{3}{2}}} \cdot dy, \quad (5)$$

где  $E_i$  – проекция полного поля от каждого провода в некоторой точке на оси  $Ox, Oy, Oz$ , В/м.

Согласно принципу суперпозиции, напряженность результирующего электростатического поля (ЭСП) в некоторой точке равна сумме векторов напряженности электрических полей, создаваемых проводами разных полюсов электропередачи.

Напряженность результирующего электростатического поля  $E_\Sigma$ , В/м в некоторой точке пространства может быть вычислена из выражения:

$$\vec{E}_\Sigma = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 = (E_{1x} + E_{2x}) \cdot \vec{i} + (E_{1y} + E_{2y}) \cdot \vec{j} + (E_{1z} + E_{2z}) \cdot \vec{k}, \quad (6)$$

где  $\vec{E}_1, \vec{E}_2$  – векторы напряженностей результирующих электрических полей в некоторой точке пространства от первого и второго проводов, соответственно, В/м;  $E_{1i}, E_{2i}$  – проекции полного поля от первого и второго проводов, соответственно, в некоторой точке на оси  $Ox, Oy, Oz$ , В/м;  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – ортогональные единичные векторы, коллинеарные с осями  $Ox, Oy, Oz$ , соответственно.

Модуль напряженности результирующего ЭСП  $|E|$ , В/м, может быть определен из выражения:

$$|E| = \sqrt{E_{\Sigma x}^2 + E_{\Sigma y}^2 + E_{\Sigma z}^2}, \quad (7)$$

Для построения графика распределения ЭСП вблизи поверхности земли, на расстоянии 1,8 метра от нее, а также по вертикальной плоскости, параллельной плоскостям провиса проводов и расположенной на равных расстояниях между ними, выражения (4) – (7) занесены в программный комплекс «MathLAB» [3]. На рисунках 2 и 3 представлены графики распределения модуля напряженности электрического поля вблизи поверхности земли и по вертикальной плоскости, расположенной на равном удалении от проводов между ними, соответственно.

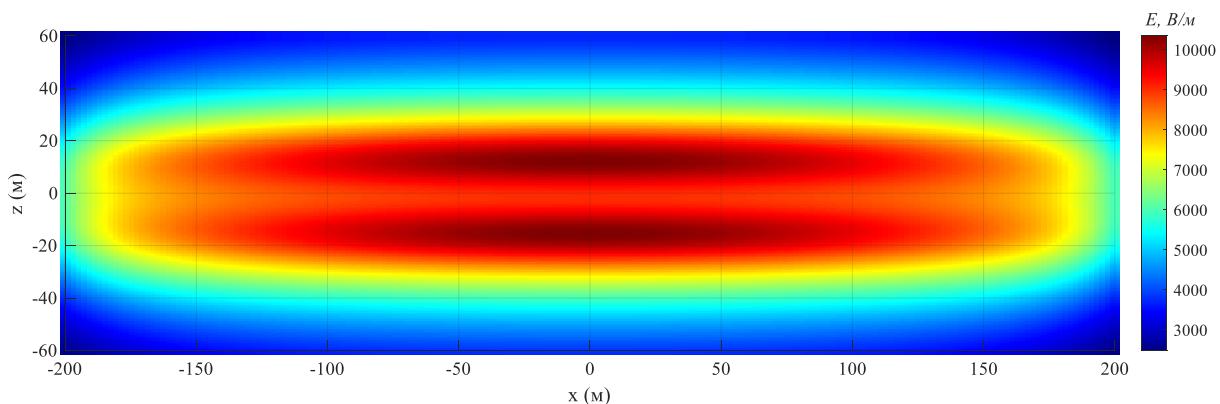


Рис. 2. Напряженность электрического поля вблизи поверхности земли

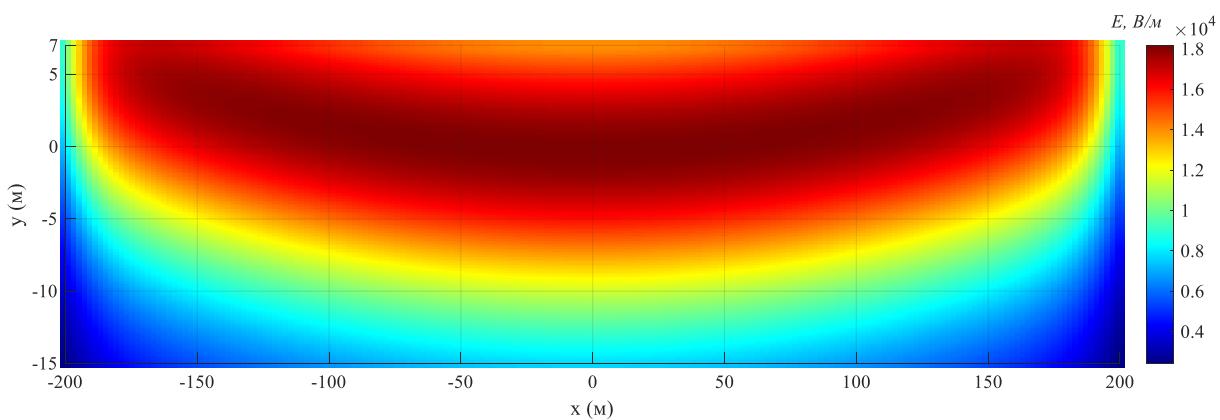


Рис. 3. Напряженность Электрического поля в вертикальной плоскости между проводами на равном удалении от них

Ввиду математического моделирования только одного пролета ЛЭП, наблюдаются нарастающие погрешности расчета по мере приближения к координатам опор. Таким образом, рассматривать указанные графики на полуинтервалах  $y \in [-200; -150]$  и  $y \in (+150; +200]$  нецелесообразно.

Однако следует отметить, что на отрезке  $y \in [-150; +150]$  отчетливо виден убывающий характер напряженности модуля ЭСП вблизи поверхности земли по мере удаления от середины пролета.

Заметим, что наибольшая напряженность ЭСП наблюдается строго под проводами ЛЭП СВН и составляет приблизительно 10,5 кВ/м.

Согласно, [4], ширина охранной зоны ЛЭП 500 кВ постоянного тока составляет 30 метров от линии в каждую сторону. Таким образом, на границе охранной зоны, на высоте 1,8 метра наблюдается ЭСП напряженностью приблизительно 8 кВ/м.

Согласно [5], при напряженностях ЭСП менее 20 кВ/м время пребывания человека в электростатических полях не регламентируется, а значит, такая напряженность поля является безопасной.

**Вывод:** При использовании унифицированных опор ЛЭП СВН на передачах постоянного тока, электростатические поля вблизи поверхности земли не представляют опасности для человека ввиду малых абсолютных значений.

Следует отметить, что для определения максимальной напряженности ЭСП для ЛЭП СВН постоянного тока достаточно математического моделирования всего лишь одного пролета, т.к. нехарактерные искажения графиков наблюдаются лишь вблизи пределов области построений, а наибольшие по напряженности ЭСП сосредоточены в центре.

**Список литературы:**

1. Об утверждении схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2024 – 2029 годы [Текст] : Приказ Министерство энергетики Российской Федерации (Минэнерго России) от 30.11.2023 № 1095 // Официальный сайт Минэнерго России. – 2023. 6 дек. – М. 8 с. Прил. №3: Схемы и программы развития электроэнергетических систем России на 2024–2029 годы.
2. Каталог АСПМК 519 Опоры Линий Электропередачи 35 кВ, 110 кВ, 220 кВ, 330 кВ, 500 кВ, 750 кВ – 90 с. URL: [https://aspmk-519.kz/images/katalogs/resh\\_opory\\_vl.pdf](https://aspmk-519.kz/images/katalogs/resh_opory_vl.pdf) (дата обращения: 02.10.2024).
3. Дьяконов В.П. Matlab 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения.- М., СОЛОН-Пресс. 2005. – 800 с.
4. О порядке установления охранных зон объектов электросетевого хозяйства и особых условий использования земельных участков, расположенных в границах таких зон [Текст] : Постановление Правительства РФ от 24.02.2009 №160 // Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. – 2023. – 21 февр. – М. 8.
5. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах : СанПиН 2.2.4.3359-16 – 74 с. URL: [https://10.rospotrebnadzor.ru/upload/medialibrary/f42/sanpin-2.2.4.3359\\_16.pdf](https://10.rospotrebnadzor.ru/upload/medialibrary/f42/sanpin-2.2.4.3359_16.pdf).

**Информация об авторах:**

Ермолаев Андрей Вячеславович, студент магистратуры гр. ЭиЭм-1805-06-00, ВятГУ, 610000, Кировская область, г. Киров, ул. Московская, д. 36, stud205217@vyatsu.ru;

Демидов Дмитрий Вячеславович, студент магистратуры гр. ЭиЭм-1804-04-00, ВятГУ, 610000, Кировская область, г. Киров, ул. Московская, д. 36, stud205208@vyatsu.ru;

Соловьева Алина Сергеевна, старший преподаватель кафедры электроэнергетических систем, ВятГУ, 610000, Кировская область, г. Киров, ул. Московская, д. 36, as\_solovyova@vyatsu.ru.