

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ ЖИЛОВА МАССИВА ЗЕЛЕНАЯ РОЩА

Артемьев А. В.

Научный руководитель ст. преподаватель Петухов Р. А.
Сибирский федеральный университет

Напряжённость электрического поля оказывает прямое влияние на здоровье человека, поэтому при проектировании воздушных линий сверхвысокого напряжения необходимо учитывать расположение жилого массива в непосредственной близости от неё. Рассматриваемая нами линия 220 кВ находится в районе Зелёной рощи города Красноярск. Необходимо произвести расчет напряженности электрического и магнитного полей по параметрам исследуемой воздушной линии электропередач проведение измерительных работ для получения действительных значений напряженности; сравнение расчетных и действительных значений с предельно допустимыми значениями, установленными санитарными нормами и правилами, тем самым определить уровень превышения воздействия электрического поля на жилой район вблизи ЛЭП.

Для теоретического расчета напряженности были взяты стандартные параметры линии 220 кВ.1.

Таблица 1.- исходные параметры расчета.

| U _{ном} , кВ | Расстояние между фа- зами D, м | Длина пролёта l, м | Высота опоры H, м | Габарит h, м | Марка провода | Радиус провода r, м |
|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------|-------------------------|-----------------|------------------|---------------------------|
| 220 | 7 | 250-350 | 25-30 | 7-8 | АС 185 | 0,019 |

Для упрощения приняли, что грозозащитный трос изолирован от опоры. В результате этого тросы не оказывают существенного влияния на электрическое поле проводов. При этом условии вычисленные значения напряжённостей поля будут несколько завышенными по сравнению с фактическими значениями, что в итоге ужесточает требование безопасности и поэтому допустимо.

В расчете используется метод зеркальных проекций, при котором поле ВЛ будет создаваться не только зарядами проводов, но и зарядами их зеркальных изображений. При этом вектор напряжённости суммарного поля будет равен геометрической сумме векторов напряжённостей полей всех зарядов (Рис.1). Напряжённость поля рассчитываем на приблизительной высоте человеческого тела- на уровне двух метров.

Напряжённость электрического поля трёхфазной воздушной линии электропередач:

$$E = \frac{CU_{\phi}}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{(2k_1 - k_3 - k_5)^2 + 3(k_3 - k_5)^2 + (2k_2 - k_4 - k_6)^2 + 3(k_4 - k_6)^2}$$

Коэффициенты k имеют следующие значения:

$$k_1 = \frac{x+d}{m_A^2} - \frac{x+d}{n_A^2} ; \quad k_2 = \frac{H-h}{m_A^2} + \frac{H+h}{n_A^2} ; \quad k_3 = \frac{x}{m_B^2} - \frac{x}{n_B^2} ;$$

$$k_4 = \frac{H-h}{m_B^2} + \frac{H+h}{n_B^2}; \quad k_5 = \frac{x-d}{m_C^2} - \frac{x-d}{n_C^2}; \quad k_6 = \frac{H-h}{m_C^2} + \frac{H+h}{n_C^2}.$$

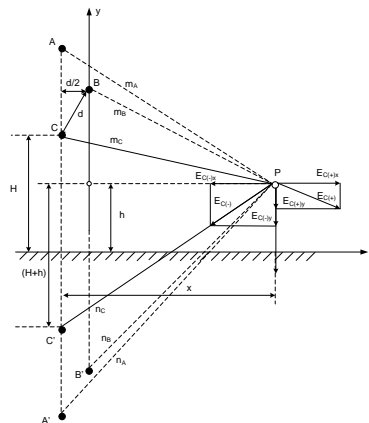


Рисунок 1. - К вычислению напряжённости поля вблизи воздушной линии электропередач в точке P

A, B, C – фазы (провода) линии; A', B', C' –зеркальное изображение фаз; m_A, m_B, m_C - кратчайшее расстояние от P до фаз линии; n_A, n_B, n_C – кратчайшее расстояние от P до зеркальных отображений фаз.

Отрезки m и n являются гипотенузами соответствующих треугольников (рис. 1) и определяются следующими уравнениями:

$$m_A = \sqrt{(H-h+12)^2 + x^2}; \quad n_A = \sqrt{(H+h+12)^2 + x^2};$$

$$m_B = \sqrt{(H-h+6)^2 + (x-d/2)^2}; \quad n_B = \sqrt{(H+h+6)^2 + (x-d/2)^2};$$

$$m_C = \sqrt{(H-h)^2 + x^2}; \quad n_C = \sqrt{(H+h)^2 + x^2}.$$

Расчёт напряжённости магнитного поля многопроводной линии следует начать с выбора условных положительных направлений токов в проводах. Так как токи в проводах и в их зеркальных изображениях в каждый момент времени направлены в противоположные стороны, то условные положительные направления токов удобно выбрать противоположенными, а расчет напряжённости магнитного поля в этом случае ничем не отличается от соответствующего расчета при постоянном токе.

На практике удобно представлять поле, созданное сложной системой проводов, суперпозицией полей прямых отрезков проводов конечной длины. Следует отметить, что задача по нахождению напряжённости магнитного поля провода конечной длины не имеет чёткого физического смысла, так как в квазистационарном случае магнитные поля создаются токами проводимости, протекающими по замкнутым цепям. Поэтому искомый результат можно рассматривать как вклад, вносимый данным отрезком замкнутой цепи в общее магнитное поле. Геометрия задачи представлена на (рис. 2).

Напряжённость магнитного поля, создаваемого прямолинейным проводником длиной l, находится из известного интеграла закона Био-Савара-Лапласа и определяется выражением:

$$H = \frac{I}{4\pi R} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$$

Углы α_1 и α_2 выражаются через прямоугольные координаты R и Z следующим образом:

$$\alpha_1 = \arctg \frac{R}{Z},$$

$$\alpha_2 = \arctg \frac{R}{l-Z}.$$

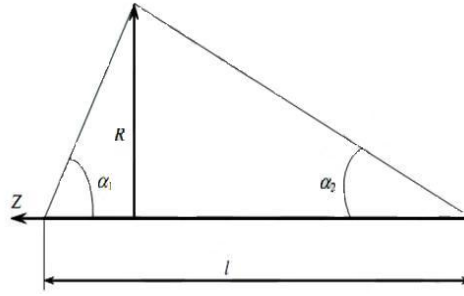


Рисунок 2 - К вычислению магнитного поля прямого провода конечной длины

Задачи по нахождению магнитного поля системы проводов сложной конфигурации в общем случае не имеют осевой симметрии, и их решение удобнее проводить в декартовой системе координат.

Результирующее магнитное поле находится геометрическим суммированием частичных полей:

$$\vec{H} = \sum_{i=1}^N (\vec{H}_i + \vec{H}_i^{\prime}),$$

где магнитное поле реального провода или его зеркального изображения. Ток в i -ом проводе находится следующим образом:

$$I_i = I \cdot e^{j(i-1)\Delta},$$

Выражение записано в предположении о том, что ЛЭП нагружена сбалансировано, и ток в нулевом проводе равен нулю; амплитуда тока I может быть определена, например, по сезонному графику загрузки ЛЭП.

Напряженность магнитного поля, создаваемого проводом и его зеркальным изображением соответственно равны:

$$H_i = \frac{I \cdot e^{j(i-1)\Delta}}{2\pi\sqrt{(x-d_i)^2 + (h_i - z_0)^2}} \gamma, \quad H_i^{\prime} = \frac{I \cdot e^{j(i-1)\Delta}}{2\pi\sqrt{(x-d_i)^2 + (h_i + z_0)^2}} \gamma,$$

где $\gamma = \frac{1}{2}(\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2)$ - коэффициент, учитывающий конечность длины проводника.

Модуль вектора напряженности магнитного поля, стоящего под знаком суммы, аналогично определяется выражением следующего вида:

$$|\vec{H}_i + \vec{H}_i^{\prime}| = \frac{I \cdot e^{j(i-1)\Delta}}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{R_i^2} + \frac{1}{(R_i^{\prime})^2} + \frac{2}{R_i \cdot (R_i^{\prime})} \cos \psi}.$$

Геометрическое суммирование осуществляется, исходя из особенностей конфигурации и взаимного расположения проводов, соответствующих типу конкретной опоры ЛЭП.

По результатам расчетов по вышеуказанным формулам был построен графики напряжённости электрического и магнитного полей в зависимости от расстояния, (рис. 4,5).

Практической стороной произведены замеры напряжённости электрического и магнитного полей комплектом приборов для измерения электромагнитных излучений «циклон 05»(рис.3).



Рисунок 3. - Комплект приборов «Циклон 05»

Комплект приборов предназначен для измерения среднеквадратических значений магнитной индукции и напряженности низкочастотных электромагнитных полей вблизи различных технических средств, в том числе компьютеров, при контроле норм в области охраны природы, безопасности труда и населения в соответствии с государственными стандартами (ГОСТ Р 50948-96) и санитарными нормами (СанПиН 2.2.2.542-96) Комплектуется дипольной антенной для измерения напряженности поля в свободном пространстве и дисковой антенной ($D=300$ мм) для измерений электрических полей компьютеров по ГОСТ Р 50949-96.

Основная погрешность измерения - не более 20 %. Предел измерения электрического поля – 2 кВ/м, что позволяет использовать прибор при измерении фона промышленной частоты 50 Гц на рабочих местах с ПЭВМ в соответствии с требованиями СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03. По результатам проведённых измерений напряжённостей построены результирующие графики.

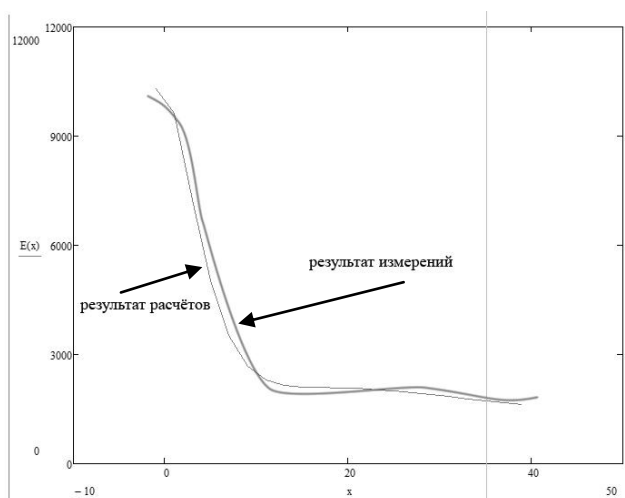


Рисунок 4. - График расчетов и результатов измерений напряженности электрического поля

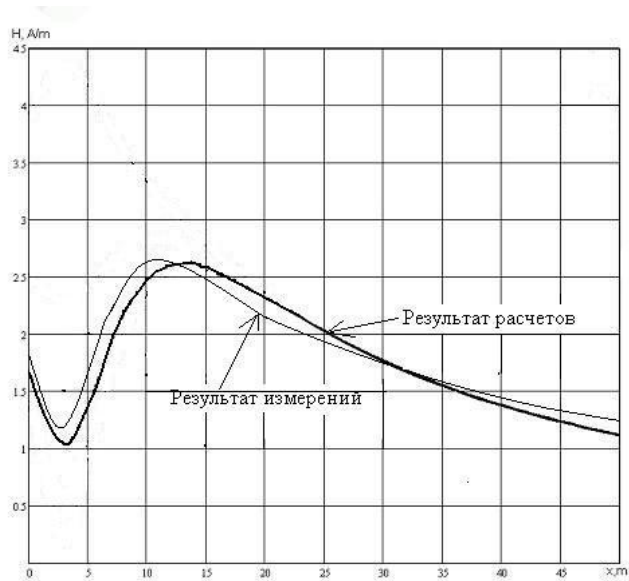


Рисунок 5. - График расчетов и результатов измерений напряженности магнитного поля

Результаты расчётов и экспериментальных измерений представлены на рисунке 4 соизмеримы между собой. Отклонение экспериментальных значений от расчетных не превышает $\pm 5\%$.

Согласно предельно допустимому уровню (см. Санитарные нормы и правила защиты населения от воздействия электрического поля, создаваемого воздушными линиями электропередачи переменного тока промышленной частоты (№ 2971-84)) напряжённость электрического поля на территории зоны жилой застройки не должна превышать значения 1 кВ/м .

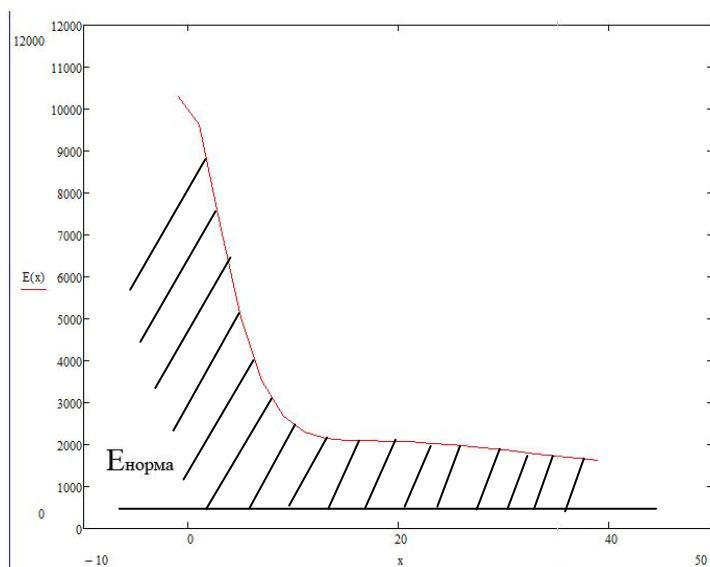


Рисунок 5. - График превышения нормы

При нанесении допустимого значения напряжённости на график можно увидеть уровень превышения нормированного значения. На графике (рис.5) заметно нарушение нормы напряжённости электрического поля в 1,5-2 раза.

Значения напряженности электрических и магнитных полей должны учитываться при проектировании жилых массивов и общественных зданий.