

В.С. Гринченко, К.В. Чунихин

НОРМАЛИЗАЦИЯ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ЖИЛЫХ ДОМАХ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ, РЕШЕТЧАТЫМИ ЭКРАНАМИ

Исследована возможность уменьшения магнитного поля в жилых домах, которые находятся на границе охранной зоны распространенных в городских электросетях одноцепных воздушных линий электропередачи с расположением проводов в вершинах треугольника и двухцепных воздушных линий электропередачи 110 кВ, при помощи предложенных авторами решетчатых экранов. Рассмотрены экраны выполнены из алюминиевых проводов, соединенных параллельно между собой, и установлены на стены дома. Исследованы эффективности плоского и U-образного решетчатых экранов различной металлоемкости. Показано, что плоский решетчатый экран не обеспечивает достаточно уменьшения магнитного поля в угловых областях жилых домов. В то же время U-образный решетчатый экран эквивалентной металлоемкости позволяет уменьшить магнитное поле до предельно допустимого уровня 0,5 мкТл в более чем 97 % помещений дома. Предложены рекомендации по конструктивному исполнению решетчатых экранов. Библ. 11, рис. 9, табл. 4.

Ключевые слова: магнитное поле, экранирование, воздушная линия электропередачи, охранная зона, предельно допустимый уровень.

Досліджено можливість зменшення магнітного поля в житлових будинках, які знаходяться на границі охоронної зони одноколових повітряних ліній електропередачі із розташуванням проводів у вершинах трикутника та двоколових повітряних ліній електропередачі 110 кВ, поширених в міських електромережах, за допомогою запропонованих авторами ґратчастих екранів. Розглянуті екрани виконано з алюмінієвих проводів, з'єднаних паралельно між собою, та встановлено на стіни будинку. Досліджено ефективності плоского та U-подібного ґратчастих екранів різної металоемності. Показано, що плоский ґратчастий екран не забезпечує достатнього зменшення магнітного поля в кутових областях житлових будинків. У той же час U-подібний ґратчастий екран еквівалентної металоемності дозволяє зменшити магнітне поле до гранично допустимого рівня 0,5 мкТл в більш ніж 97 % приміщень будинку. Запропоновано рекомендації щодо конструктивного виконання ґратчастих екранів. Бібл. 11, рис. 9, табл. 4.

Ключові слова: магнітне поле, екранування, повітряна лінія електропередачі, охоронна зона, гранично допустимий рівень.

Введение. Воздушные линии электропередачи 110 кВ (ВЛ), расположенные в зонах жилой застройки, являются основными источниками магнитного поля (МП) промышленной частоты в домах [1]. Длительное воздействие МП промышленной частоты, даже относительно слабого уровня, оказывает негативное влияние на здоровье людей, что обуславливает мировую тенденцию по ужесточению соответствующих санитарных норм. В Украине предельно допустимый уровень МП промышленной частоты для жилых помещений составляет 0,5 мкТл [2]. Однако эта норма не выполняется для большинства жилых домов, расположенных вблизи действующих ВЛ, в частности, на границах их охранных зон. Это объясняется тем, что размеры охранных зон ВЛ, которые регламентированы в [3], не учитывают современные требования к предельно допустимому уровню МП промышленной частоты. Демонтаж и перенос ВЛ либо ее замена на подземную кабельную линию требуют значительных материальных затрат. Поэтому целесообразным является уменьшение МП ВЛ при помощи электромагнитных экранов – сплошных электропроводящих пластин, которые устанавливаются на внутреннюю или внешнюю поверхность стены. Однако сплошные экраны не могут быть использованы на стенах жилых домов с окнами.

В [4, 5] рассмотрено уменьшение МП, создаваемого одноцепной ВЛ с вертикальным расположением проводов, при помощи предложенного авторами нового типа электромагнитного экрана: так называемого решетчатого экрана, состоящего из набора алюминиевых проводов, соединенных параллельно. Основное

преимущество этого экрана заключается в том, что он не мешает проникновению света.

Однако осталась не исследованной возможность применения решетчатых экранов для уменьшения МП в жилых домах, которые находятся на границе охранной зоны широко распространенных одноцепных ВЛ 110 кВ с расположением проводов в вершинах треугольника и двухцепных ВЛ 110 кВ, создающих вращающееся МП.

Целью данной работы является определение возможности нормализации магнитного поля в жилых домах, которые находятся на границе охранных зон типовых воздушных линий электропередачи 110 кВ с расположением проводов в вершинах треугольника и двухцепных линий, с помощью решетчатых экранов и разработка рекомендаций по их конструктивному исполнению.

Геометрические размеры одноцепной ВЛ и охранной зоны. На рис. 1 показаны принятые обозначения для размеров одноцепных опор: a_1, a_2, a_3 – кратчайшие расстояния от вертикальной оси симметрии опоры до точек подвеса проводов; h_1, h_2 – их высоты. Отметим, что в зависимости от климатических условий могут применяться опоры с различным расстоянием между проводами по вертикали [2]. Также на рис. 1 приведена нумерация проводов одноцепной ВЛ, принятая в данной работе. Полагается, что эта линия электропередачи работает в симметричном режиме и, соответственно, действующие значения токов в проводах равны между собой, т.е. $I_3=I_2=I_1$.

© В.С. Гринченко, К.В. Чунихин

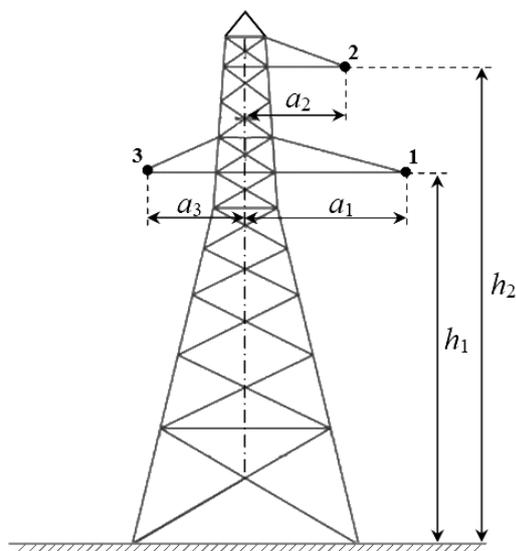


Рис. 1. Схематическое изображение одноцепной опоры ВЛ 110 кВ

В табл. 1 сведены геометрические размеры типовых одноцепных опор 110 кВ [6]. Как видно, размеры a_1 , a_2 , a_3 и h_1 , h_2 опоры типа П110-3В наиболее близки к соответствующим усредненным значениям, приведенным в табл. 1. Поэтому при дальнейших расчетах МП одноцепной ВЛ полагается, что $a_1=4,2$ м, $h_1=19$ м, $a_2=2,1$ м, $h_2=23$ м и $a_3=2,1$ м.

Для создания нормальных условий эксплуатации электрических сетей и обеспечения их сохранности, а также соблюдения требований техники безопасности устанавливаются охранные зоны. В Украине размер охранной зоны ВЛ 110 кВ составляет 20 м [3]. Поэтому в данной работе расстояние между крайним проводом с номером 1 и стеной жилого дома, расположенного вдоль границы охранной зоны $x=0$, принято равным 20 м (рис. 2).

Магнитное поле одноцепной ВЛ. В [7] показано, что МП ВЛ проникает внутрь жилого дома практически без ослаблений.

Для расчета МП, создаваемого ВЛ, приняты следующие допущения [1, 7, 8]: провода ВЛ полагаем бесконечно длинными, параллельными друг другу и поверхности земли; пренебрегаем влиянием опор на распределение МП ВЛ; пренебрегаем электрическими токами, которые индуцируются в земле, полагая электрическую проводимость последней равной нулю.

Таблица 1
Размеры типовых одноцепных опор ВЛ 110 кВ

Тип опоры	a_1 , м	a_3 , м	h_1 , м	a_2 , м	h_2 , м
П110-3В	4,2	2,1	19	2,1	23
П110-3В+4	4,2	2,1	23	2,1	27
ПС110-9В	4,2	2,6	19	2,6	25
ПМ110-1Ф	4,7	2,4	19	2,4	23
ПМ110-3Ф	3,9	2,3	15	2,3	19
ПБ-29	2,75	2,0	13,5	2,0	17,5
Среднее значение	4,0	2,3	18	2,3	22,4

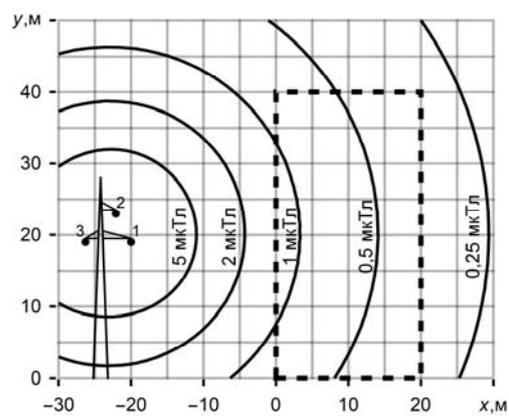


Рис. 2. Распределение МП одноцепной ВЛ

Принятые допущения позволяют записать аналитическое выражение для МП, создаваемого ВЛ в свободном пространстве. В силу первого допущения поле является плоскопараллельным. Если система декартовых координат введена как показано на рис. 2, то действующее значение магнитной индукции в произвольной точке (x, y) может быть найдено при помощи следующего выражения [7]:

$$B = \left(\sum_{p=1}^3 \frac{\mu_0 I_p e^{j\varphi_p}}{2\pi} \cdot \frac{y - y_p}{(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2} \right)^2 + \left(\sum_{p=1}^3 \frac{\mu_0 I_p e^{j\varphi_p}}{2\pi} \cdot \frac{x - x_p}{(x - x_p)^2 + (y - y_p)^2} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (1)$$

где I_p и φ_p – действующее значение и начальная фаза тока в p -м проводе ВЛ; x_p и y_p – координаты расположения p -го провода в плоскости xOy ; $\mu_0=4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; j – мнимая единица.

Величина номинального тока ВЛ принята равной $I_1=500$ А [1, 7, 8]. Начальные фазы приняты следующими: $\varphi_1=-2\pi/3$, $\varphi_2=0$, $\varphi_3=2\pi/3$. Распределение линий равных уровней магнитной индукции, найденное с помощью (1), представлено на рис. 2. Пунктирной линией отмечен контур дома, расположенного вблизи ВЛ. Из распределения видно, что в левой части жилого дома величина поля превышает предельно допустимый уровень 0,5 мкТл.

Экранирование МП одноцепной ВЛ. Основываясь на [4, 5], выбраны следующие параметры плоского решетчатого экрана: число проводов – 81, диаметр каждого провода – 8 мм, расстояние между соседними проводами – 0,5 м.Metalloемкость экрана обозначена через V . Экран расположен в плоскости $x=0$, т.е. на стене дома, обращенной к ВЛ (рис. 3). Таким образом, координаты осей проводов таковы: $x_k = 0$, $y_k = (0,5 \cdot k)$ м, где $k=0..80$. Электрическая проводимость решетчатого экрана положена равной $3,5 \cdot 10^7$ См/м.

Для нахождения распределения экранированного МП поочередно использованы два различных подхода: численное моделирование в рамках модели, представленной в [4, 5], и аналитический расчет в рамках модели, предложенной в [9].

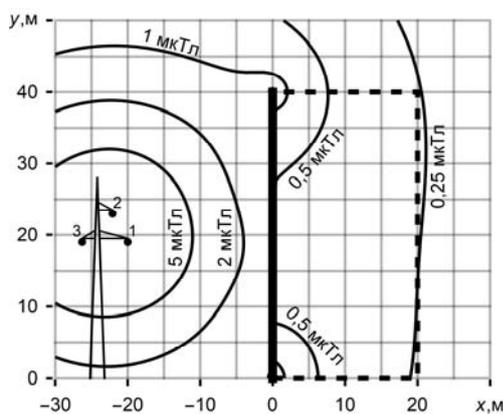


Рис. 3. Распределение МП одноцепной ВЛ при использовании плоского решетчатого экрана

Отличие значений магнитной индукции экранированного поля, полученных при использовании указанных моделей, не превышает 3 %. Для верификации использованных моделей был рассмотрен случай нулевой проводимости экрана: результаты расчета МП в контрольных точках согласуются с результатами расчета, проведенного при помощи методики [10].

Результаты расчета МП ВЛ при использовании плоского решетчатого экрана представлены на рис. 3. Как видно из полученного распределения, МП не превышает предельно допустимый уровень 0,5 мкТл в большей части дома. Однако в угловых областях дома плоский экран не обеспечивает достаточного уменьшения МП ВЛ.

Для повышения эффективности экранирования МП использован подход, предложенный в [5], согласно которому рекомендуется использовать U-образный решетчатый экран. Соответственно, параметры U-образного экрана заданы следующие: число проводов – 121, диаметр каждого провода – 6,5 мм, расстояние между соседними проводами – 0,5 м, длина «рукавов» – 10 м. U-образный контур, вдоль которого с равным шагом расположены провода, показан на рис. 4. Вертикальная секция идентична плоскому решетчатому экрану. «Рукава» экрана, каждый из которых состоит из 20 проводов, расположены на верхних и нижних технических этажах жилого дома. Оси проводов, принадлежащих «рукавам», имеют следующие координаты: $x_k = (0,5 \cdot k)$ м, $y_k = 0$ для нижнего «рукава» и $y_k = 40$ м для верхнего «рукава», где $k = 1..20$. При этом металлоемкость рассматриваемого U-образного экрана равна V .

Результаты расчета МП одноцепной ВЛ при использовании U-образного решетчатого экрана показаны на рис. 4. Из представленного распределения МП следует, что практически во всем жилом доме величина поля ниже предельно допустимого уровня, а его превышение наблюдается только в окрестностях крайних проводов экрана.

В качестве критерия эффективности экранирования МП в доме с помощью решетчатых экранов может быть использован показатель нормализации магнитного поля η , определяющий долю жилого пространства, в котором МП нормализовано и не превышает предельно допустимый уровень.

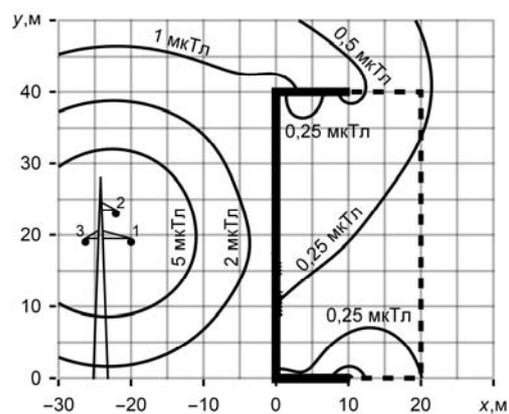


Рис. 4. Распределение МП одноцепной ВЛ при использовании U-образного решетчатого экрана

При плоскопараллельном МП показатель нормализации равен

$$\eta = \frac{S}{S_0} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где S – сумма площадей сечений областей в доме, в которых уровень МП не превышает предельно допустимый, S_0 – площадь сечения всего дома. Отметим, что согласно [2] при нахождении S и S_0 не берутся во внимание участки, находящиеся ближе, чем 0,5 м к стенам дома.

Предложенный показатель нормализации η является интегральным показателем, который количественно характеризует объем той части жилого дома, где соблюдены нормативные требования по уровню МП промышленной частоты. Анализ распределений МП, представленных на рис. 3 и рис. 4, позволяет определить S в каждом из случаев. Площадь S_0 находится как произведение длин сторон области экранирования. Тогда согласно (2) показатель η составляет 88,3 % при использовании плоского решетчатого экрана и 99,2 % при использовании U-образного решетчатого экрана.

Увеличение или уменьшение металлоемкости решетчатого экрана, которое достигается путем изменения диаметра его проводов, ведет к соответствующему изменению показателя нормализации. В табл. 2 представлены результаты расчета η при варьировании металлоемкости экрана от $0,2 \cdot V$ до $1,2 \cdot V$. Результаты расчета показывают, что применение плоского решетчатого экрана неэффективно для уменьшения МП ВЛ с расположением проводов в вершинах треугольника, при котором МП можно считать вращающимся. В то же время U-образный решетчатый экран позволяет достигать показателя нормализации $\eta = 97\%$ при металлоемкости $0,5 \cdot V$. Следовательно, диаметр проводов экрана при сохранении их количества и расположения может быть уменьшен до 4,6 мм.

Необходимо отметить, что относительно высокие значения η , приведенные в табл. 2, также обусловлены тем, что в правой части дома уровень МП не превышает предельно допустимый и при отсутствии экрана. Так, из анализа распределения магнитной индукции, представленного на рис. 2, следует, что показатель нормализации МП при отсутствии экрана составляет 38,1 %.

Таблица 2

Показатель нормализации магнитного поля η для дома, расположенного вблизи одноцепной ВЛ, при использовании решетчатого экрана

Металлоемкость экрана, отнесенная к V	η , %	
	Применение плоского экрана	Применение U-образного экрана
0,2	60,5	64,3
0,3	68,6	81,0
0,4	75,3	91,6
0,5	80,1	97,4
0,6	83,0	99,2
0,8	86,6	99,2
1,0	88,3	99,2
1,2	89,2	99,2

Геометрические размеры двухцепной ВЛ. Существует несколько вариантов расположения проводов двухцепной ВЛ на опорах: «вертикальное расположение», «прямая ёлка», «обратная ёлка» и «бочка». В Украине наибольшее распространение получил последний вариант (рис. 5). По аналогии с предыдущими разделами введены следующие обозначения размеров двухцепной опоры: a_1, a_2, a_3 – кратчайшие расстояния от вертикальной оси симметрии опоры до точек подвеса проводов; h_1, h_2, h_3 – их высоты. Также на рис. 5 приведена нумерация проводов двухцепной ВЛ, принятая в данной работе. Традиционно для упрощения эксплуатации ВЛ провода 1-3 составляют одну трехфазную линию электропередачи, а провода 4-6 – другую. Полагается, что каждая линия электропередачи работает в симметричном режиме. Тогда действующие значения токов в проводах 1-3 равны между собой, т.е. $I_3=I_2=I_1$. Аналогично для второй линии электропередачи выполняется $I_4=I_5=I_6$. Отметим, что в общем случае значения токов I_1 и I_6 могут быть различными.

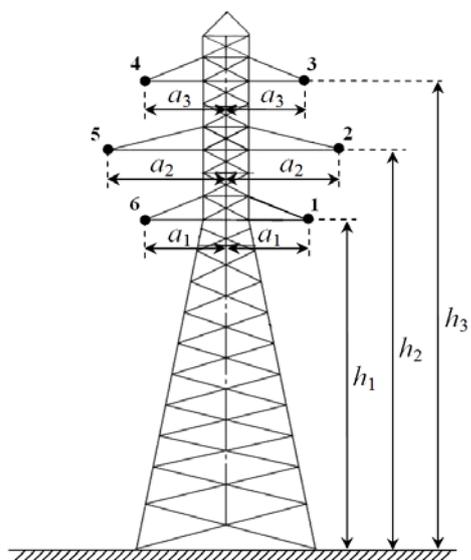


Рис. 5. Схематическое изображение двухцепной опоры ВЛ 110 кВ

В табл. 3 сведены геометрические размеры типовых двухцепных опор 110 кВ [6]. Как видно, геометрические размеры опоры типа П110-4В наиболее близки к усредненным значениям. Поэтому при дальнейших расчетах МП двухцепной ВЛ полагается, что $a_1=2,1$ м, $h_1=19$ м, $a_2=4,2$ м, $h_2=23$ м, $a_3=2,1$ м, $h_3=27$ м.

Магнитное поле двухцепной ВЛ. Для определения уровня МП двухцепной ВЛ приняты допущения, в рамках которых получено (1). Тогда для нахождения распределения МП двухцепной ВЛ (рис. 6-7) можно воспользоваться (1), заменив для счетчика p верхнюю границу интервала изменения с 3 на 6.

В [8, 11] показано, что МП двухцепной ВЛ минимально, когда провода с одинаковыми начальными фазами токов расположены центрально симметрично. На рис. 6 представлено распределение линий равных уровней магнитной индукции при $I_1=I_6=500$ А, $\varphi_1=\varphi_4=-2\pi/3$, $\varphi_2=\varphi_5=0$, $\varphi_3=\varphi_6=2\pi/3$. Пунктирной линией, как и прежде, отмечен контур дома, который находится на границе охранной зоны на расстоянии 20 м от крайнего провода ВЛ. Как видно, МП не превышает предельно допустимый уровень 0,5 мкТл практически во всем жилом пространстве, а показатель нормализации МП составляет 99,2 %.

Таблица 3
Размеры типовых двухцепных опор ВЛ 110 кВ

Тип опоры	a_1 , м	h_1 , м	a_2 , м	h_2 , м	a_3 , м	h_3 , м
П110-2	2,0	19	4,1	23	2,0	27
П110-4В	2,1	19	4,2	23	2,1	27
П110-4В+4	2,1	23	4,2	27	2,1	31
ПМ110-2Ф	2,4	19	4,7	23	2,4	27
ПМ110-4Ф	2,3	15	3,9	19	2,3	23
П110-6В	2,1	19	4,2	25	2,1	31
П110-6В+4	2,1	23	4,2	29	2,1	35
ПС110-10В	2,6	19	4,2	25	2,6	31
ПМ110-8ФР	2,4	19	3,3	25	2,4	31
ПМ110-6Ф	2,4	15	3,3	21	2,4	27
Среднее значение	2,3	19	4,0	24	2,3	29

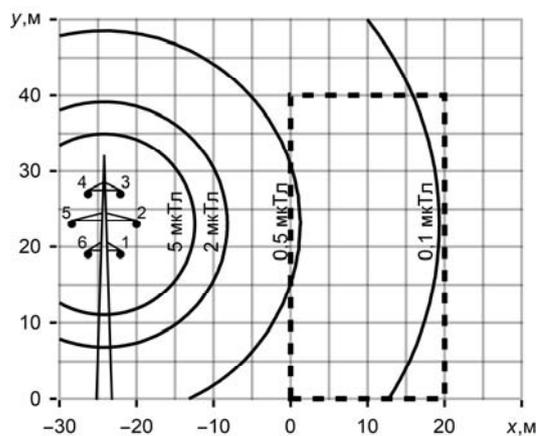


Рис. 6. Распределение МП двухцепной ВЛ для случая $\varphi_1=\varphi_4$, $\varphi_3=\varphi_6$

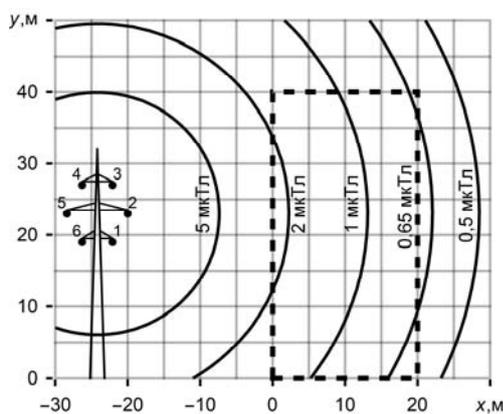


Рис. 7. Распределение МП двухцепной ВЛ для случая $\varphi_1=\varphi_6, \varphi_3=\varphi_4$

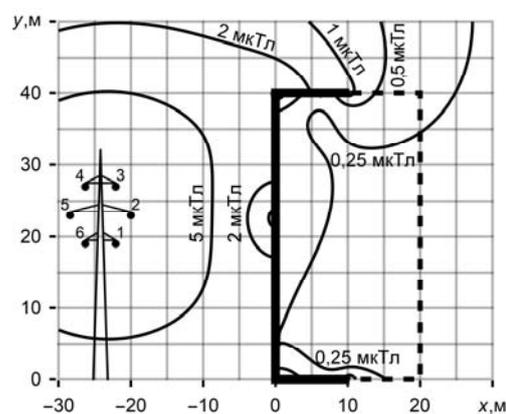


Рис. 9. Распределение МП двухцепной ВЛ при использовании U-образного решетчатого экрана

Наибольшие уровни МП двухцепной ВЛ достигаются при протекании номинального тока $I_1=I_6=500$ А и начальных фазах $\varphi_1=\varphi_6=-2\pi/3, \varphi_2=\varphi_5=0, \varphi_3=\varphi_4=2\pi/3$. В этом случае, как видно из распределения МП на рис. 7, уровень поля превышает предельно допустимый во всем жилом доме.

Экранирование МП двухцепной ВЛ. Определим показатель нормализации η для дома, расположенного вблизи двухцепной ВЛ (рис. 7), при использовании плоского и U-образного решетчатых экранов, металлоемкость каждого из которых равна V . Параметры экранов приведены в предыдущих разделах работы: число проводов – 81 и 121, соответственно; диаметр проводов – 8 мм и 6,5 мм, соответственно. На рис. 8 и рис. 9 представлены линии равного уровня магнитной индукции при уменьшении МП двухцепной ВЛ, соответственно, плоским и U-образным решетчатым экраном.

При использовании плоского решетчатого экрана МП не превышает предельно допустимый уровень 0,5 мкТл в большей части дома. Однако, как и в случае одноцепной ВЛ, в угловых областях дома плоский экран не обеспечивает достаточного уменьшения МП двухцепной ВЛ. В то же время при использовании U-образного решетчатого экрана для уменьшения МП двухцепной ВЛ, практически во всем доме величина магнитной индукции не превышает предельно допустимый уровень.

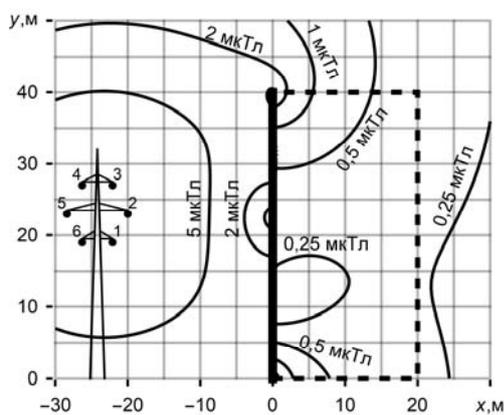


Рис. 8. Распределение МП двухцепной ВЛ при использовании плоского решетчатого экрана

Анализ распределений МП, представленных на рис. 8 и рис. 9, позволяет определить показатель нормализации η . Согласно (2) он составляет 83,9 % при использовании плоского и 98,7 % при использовании U-образного решетчатых экранов с металлоемкостью V . В табл. 4 представлены результаты расчета η при варьировании металлоемкости экранов.

Из полученных результатов следует, что для уменьшения МП двухцепной ВЛ целесообразно использовать U-образный решетчатый экран объемом $0,75 \cdot V$. Соответственно, диаметр проводов экрана, при сохранении их количества и расположения, может быть уменьшен до 5,7 мм. При этом показатель нормализации магнитного поля η дома составляет 97 %, что позволяет эффективно использовать 97 % его жилого пространства.

Проведенный анализ подтверждает возможность нормализации с помощью решетчатых экранов магнитного поля в жилых домах, расположенных на границе охранных зон типовых воздушных линий электропередачи 110 кВ, и позволяет сформулировать рекомендации по конструктивному исполнению решетчатых экранов.

Таблица 4

Показатель нормализации магнитного поля η для дома, расположенного вблизи двухцепной ВЛ, при использовании решетчатого экрана

Металлоемкость экрана, отнесенная к V	$\eta, \%$	
	Применение плоского экрана	Применение U-образного экрана
0,2	15,0	27,7
0,3	41,6	52,9
0,4	60,7	70,6
0,5	69,7	82,8
0,6	75,2	90,4
0,75	80,3	97,0
0,8	81,3	97,9
1,0	83,9	98,7
1,2	85,2	99,0

Выводы.

1. Показано, что плоский решетчатый экран, выполненный из алюминиевых проводов диаметром 8 мм и установленный на стене дома, обращенной к воздушной линии электропередачи 110 кВ (одноцепной с расположением проводов в вершинах треугольника или двухцепной), обеспечивает уменьшение магнитного поля до предельно допустимого уровня 0,5 мкТл в большей части жилого пространства. При этом превышение допустимого уровня может наблюдаться только в угловых областях дома.

2. Для нормализации магнитного поля во всем жилом доме, расположенном на границе охранной зоны воздушной линии 110 кВ, целесообразно применение U-образного решетчатого экрана.

3. Эффективное применение решетчатых экранов достигается, когда расстояние между его соседними проводами составляет не более 0,5 м, а диаметр проводов – не менее 4,6 мм при экранировании одноцепной ВЛ 110 кВ с расположением проводов в вершинах треугольника и не менее 5,7 мм при экранировании двухцепной ВЛ 110 кВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пелевин Д.Е. Методы снижения магнитного поля воздушных линий электропередачи за пределами охранных зон. *Технічна електродинаміка*, 2014, № 5, С. 14-16.
2. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. – Х.: Видавництво «Форт», 2017. – 760 с.
3. Постанова Кабінету Міністрів України від 4 березня 1997 р. № 209 «Про затвердження Правил охорони електричних мереж» у редакції від 5 квітня 2017 р.
4. Гринченко В.С. Снижения магнитного поля трехфазных линий электропередачи гратчастим електромагнітним екраном. *Технічна електродинаміка*, 2018, № 4, С. 29-32. doi: 10.15407/techned2018.04.029.
5. Grinchenko V., Pyrohova U. Mitigation of overhead line magnetic field by U-shaped grid shield. *Proc. 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 345-348, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879834.
6. Рокотян С., Зеличенко А., Левин Л. и др. Типовой проект 3.407-68/73. Унифицированные стальные нормальные опоры ВЛ 35, 110 и 150 кВ. Том 1. – М., 1973. – 66 с.
7. Rozov V., Grinchenko V. Simulation and analysis of power frequency electromagnetic field in buildings closed to overhead lines. *Proc. 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. Kyiv, Ukraine, pp. 500-503. doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100538.
8. Mazzanti G. Current phase-shift effects in the calculation of magnetic fields generated by double-circuit overhead transmission lines. *Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2004, pp. 413-418. doi: 10.1109/PES.2004.1372827.
9. Гринченко В.С. Розробка напів-аналітичної моделі гратчастого екрана для зменшення магнітного поля ліній електропередачі. *Праці VII Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих науковців «Інформаційні технології – 2020»*. – С. 149-151.
10. СОУ-Н ЕЕ 20.179:2008. Розрахунок електричного і магнітного полів ліній електропередавання. Методика (зі змінами). – К.: Міненерговугілля України, 2016. – 37 с.
11. Розов В.Ю., Реуцкий С.Ю., Пелевин Д.Е., Пилигина О.Ю. Магнитное поле линий электропередачи и методы его снижения до безопасного уровня. *Технічна електродинаміка*, 2013, № 2, С. 3-9.

REFERENCES

1. Pelevin D.Ye. The methods of reducing of the magnetic fields of overhead power lines outside security zones. *Technical Electrodynamics*, 2014, no. 5, pp. 14-16. (Rus).
2. Electrical installation regulations. Kharkiv, Fort Publ., 2017. 760 p. (Ukr).
3. Decree of the Cabinet of Ministries of Ukraine dated March 4, 1997 No. 209 «About the statement of Rules of protection of electric networks», edition on April 5, 2017. (Ukr).
4. Grinchenko V.S. Mitigation of three-phase power line magnetic field by grid electromagnetic shield. *Technical Electrodynamics*, 2018, no. 4, pp. 29-32. (Ukr). doi: 10.15407/techned2018.04.029.
5. Grinchenko V., Pyrohova U. Mitigation of overhead line magnetic field by U-shaped grid shield. *Proc. 2019 IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*, Lviv, Ukraine, 2019, pp. 345-348, doi: 10.1109/UKRCON.2019.8879834.
6. Rokotian S., Zelichenko A., Levin L., et al. Typical project 3.407-68/73. Unified steel normal supports of overhead lines 35, 110 and 150 kV. Volume 1. Moscow, 1973. 66 p. (Rus).
7. Rozov V., Grinchenko V. Simulation and analysis of power frequency electromagnetic field in buildings closed to overhead lines. *Proc. 2017 IEEE First Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON)*. Kyiv, Ukraine, pp. 500-503. doi: 10.1109/UKRCON.2017.8100538.
8. Mazzanti G. Current phase-shift effects in the calculation of magnetic fields generated by double-circuit overhead transmission lines. *Proc. IEEE Power Engineering Society General Meeting*, 2004, pp. 413-418. doi: 10.1109/PES.2004.1372827.
9. Grinchenko V.S. Development of a semi-analytical model of a grid shield for the magnetic field mitigation of overhead lines. *Proc. VII All-Ukrainian Scientific Conf. of Young Scientists «Information Technologies – 2020»*, pp. 149-151. (Ukr).
10. SOU-N EE 20.179:2008. Calculation of electric and magnetic fields of power lines. Method (with changes). Kyiv, Mینенерговугілля України Publ., 2016. 37 p. (Ukr).
11. Rozov V.Yu., Reutskyi S.Yu., Pelevin D.Ye., Pyligina O.Yu. The magnetic field of power transmission lines and the methods of its mitigation to a safe level. *Technical Electrodynamics*, 2013, no. 2, pp. 3-9. (Rus).

Поступила (received) 30.08.2020

Гринченко Владимир Сергеевич¹, к.т.н.,
Чунихин Константин Вадимович¹, к.т.н.

¹Государственное учреждение «Институт технических проблем магнетизма Национальной академии наук Украины», 61106, Харьков, ул. Индустриальная, 19, e-mail: vsgrinchenko@gmail.com, kvchunikhin@gmail.com

V.S. Grinchenko¹, K.V. Chunikhin¹

¹State Institution “Institute of Technical Problems of Magnetism of the National Academy of Sciences of Ukraine”, 19, Industrialna str., Kharkiv, 61106, Ukraine.

Magnetic field normalization in residential building located near overhead line by grid shield

This paper deals with the magnetic field mitigation of 110 kV trefoil single-circuit and double-circuit overhead lines by grid shields. The shields under study are made of aluminum conductors connected in parallel. These shields are mounted on the walls of the building. We study the efficiencies of plane and U-shaped grid shields as the dependence from the quantity of metal. As the result, we show that the plane grid shield does not supply the required efficiency of magnetic field mitigation in corner areas of the building. At the same time, the U-shaped grid shield having equivalent quantity of metal allows to mitigate the magnetic field to the reference level 0.5 μT in more than 97 % part of the building. References 11, figures 9, tables 4. Key words: magnetic field, shielding, overhead line, right-of-way, reference level.