

## КОМПЕНСАЦИЯ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ КАБЕЛЬНЫХ ЛИНИЙ В ЖИЛЫХ ЗДАНИЯХ

© 2009 М.Ш. Мисриханов<sup>1</sup>, Н.Б. Рубцова<sup>2</sup>, А.Ю. Токарский<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» - Магистральные электрические сети Центра

<sup>2</sup> НИИ медицины труда РАМН

Статья получена 25.09.2009 г.

На примере встроенной в жилое здание трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ показана возможность снижения в 30ч20000 раз уровней напряженности магнитного поля, создаваемого кабельными линиями, в результате применения метода сближения осей виртуальных кабелей.

Ключевые слова: напряженность магнитного поля, кабельные линии, жилые здания

Трансформаторные подстанции (ТП), встроенные в жилые или административные здания, являются источниками магнитных полей, воздействующих на человека и окружающую среду. Рассмотрим сдвоенную ТП 10/0,4 кВ, расположенную на первом этаже жилого помещения (см. рис. 1). От трансформаторов (Тр) 10/04 кВ к распределительному устройству (КРУ) 0,4 кВ отходят кабельные линии 0,4 кВ (КЛ 0,4 кВ), размещенные в асбоцементных трубах. На втором этаже на расстоянии 965 мм от КЛ расположен пол жилого помещения. ПДУ МП для жилых помещений составляет 4 А/м [1].

На рис. 2 показана компоновка кабельных пучков КЛ в асбоцементных трубах. При плановом выводе из работы одного из трансформатора все энергоснабжение осуществляется через второй трансформатор, в этом режиме работы ТП значение модуля фазного тока КЛ при симметричной нагрузке составит 1800 А.

На рис. 3 дано распределение напряженности МП на поверхности пола жилого помещения над ТП, создаваемого токами КЛ с компоновкой А – кривая 1 и Б – кривая 2 при симметричной ( $I_{\phi}=1800$  А), а на рис. 4 – несимметричной ( $\dot{I}_A=1800$  А,  $\dot{I}_B=900e^{-j120^\circ}$  А,

$\dot{I}_C=900e^{j120^\circ}$  А,  $\dot{I}_0=900e^{j180^\circ}$  А) нагрузке: компоновка А – кривая 1

и компоновка Б – кривая 2. ПДУ 4 А/м для жилых помещений превышено в 16 и 25 раз при симметричной нагрузке, а при несимметричной – в 5,5 и 17 раз.

Мисриханов Мисрихан Шапиевич, доктор технических наук, профессор, генеральный директор. E-mail: mmsh@mes-centra.ru

Рубцова Нина Борисовна, доктор биологических наук, заведующая отделом. E-mail: rubtsovanb@yandex.ru

Токарский Андрей Юрьевич, кандидат технических наук, доцент, главный специалист. E-mail: mmsh@mes-centra.ru

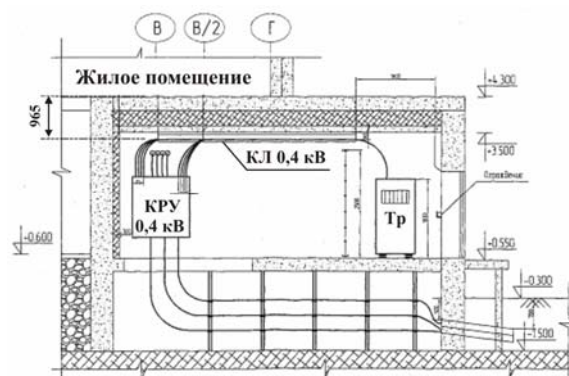


Рис. 1. Разрез ТП 10/0,4 кВ, расположенной на первом этаже жилого помещения

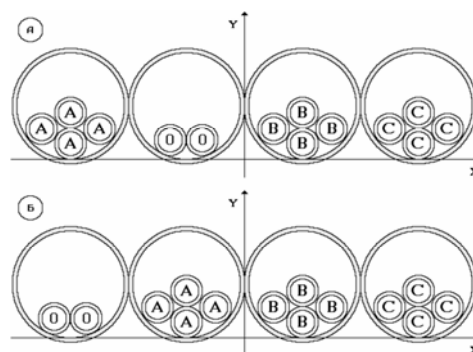


Рис. 2. Компоновка кабельных пучков КЛ в асбоцементных трубах

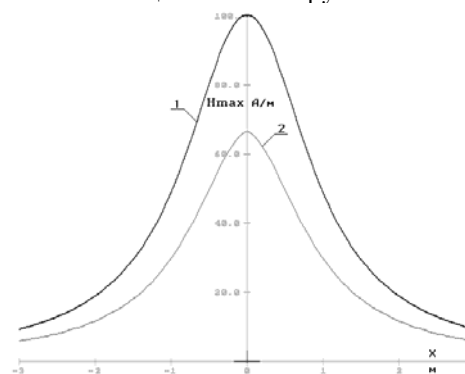
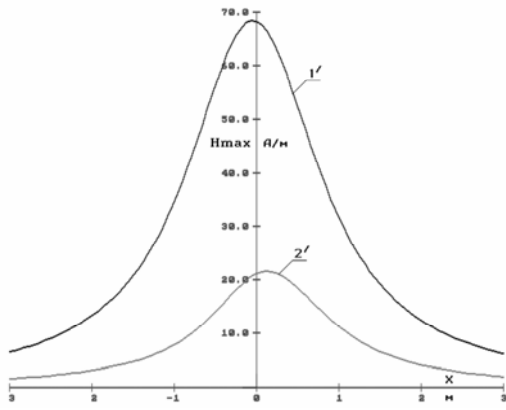
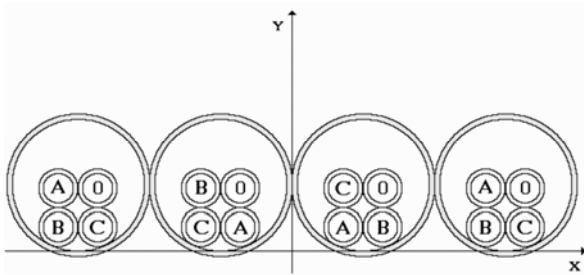


Рис. 3. Распределение напряженности  $H_{\max}$  МП, создаваемого на поверхности пола жилого помещения, КЛ с компоновкой А – кривая 1 и Б – кривая 2 при симметричном режиме нагрузки



**Рис. 4.** Распределение напряженности  $H_{max}$  МП, создаваемого на поверхности пола жилого помещения, КЛ конструкции А – кривая 1' и КЛ конструкции Б – кривая 2' в несимметричном режиме нагрузки

Максимально сближая с целью компенсации напряженности результирующего МП оси кабелей разноименных фаз и нулевого провода в кабельных пучках (см. рис. 5) и опуская КЛ от поверхности пола жилого помещения еще на 10 см, можно добиться соблюдения условия  $H_{max} \leq 4$  А/м [1]. Однако «остаточное» МП КЛ с напряженностью 142 А/м в совокупности с магнитными полями, создаваемыми бытовыми электроприборами (кухонными электроплитами, электрическими чайниками, нагревателями, калориферами), может привести к превышению ПДУ для жилых помещений.



**Рис. 5.** Максимальное сближение осей кабелей разноименных фаз и нулевого провода в кабельных пучках

Дальнейшее ограничение уровней напряженности МП методом сближения осей кабелей разноименных фаз и нулевого провода невозможно, т.к. мешают геометрические размеры самих кабелей. Поэтому целесообразно применение метода сближения осей виртуальных кабелей [2]. Для этого разделим кабель А с током  $2\dot{I}$  на два параллельных кабеля А1 и А2 с током  $\dot{I}$  в каждом, расположенных друг от друга на расстоянии  $2R$ . Из середины расстояния между кабелями проведем окружность радиусом  $R$  и в центре окружности разместим ось координат  $XOY$  так, чтобы ось  $OX$  нахо-

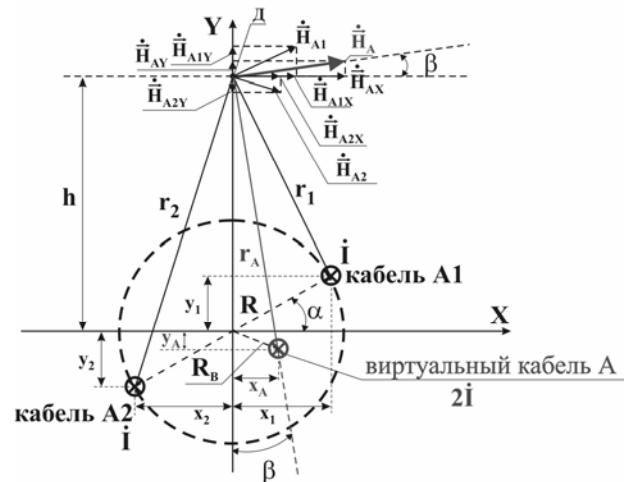
дилась к прямой, соединяющей оси кабелей, под углом  $\alpha$  (см. рис. 6). В точке Д, расположенной на расстоянии  $h$  от центра окружности на оси  $OY$ , токами кабелей создается МП, напряженности которого складываются по составляющим по осям  $OX$  и  $OY$ , после чего находится результирующая напряженность  $\dot{H}_A$  (см. рис. 6).

Угол  $\beta$  наклона вектора  $\dot{H}_A$  к оси  $OX$  находится по выражению:

$$\beta = \arctg \frac{H_{AY}}{H_{AX}} \quad (1)$$

Из точки Д проведем перпендикуляр к вектору  $\dot{H}_A$  в направлении центра координат  $XOY$

(см. рис. 6). Тогда на расстоянии  $r_A = \frac{2I}{2\pi H_A}$  от точки Д на полученном перпендикуляре можно поместить ось кабеля А, который является виртуальным аналогом кабелей А1 и А2, создающим своим током, равном  $2\dot{I}$ , в рассмотренной точке Д МП, вектор напряженности которого в тождественен вектору  $\dot{H}_A$ .



**Рис. 6.** К определению координат оси виртуального кабеля А с током  $2\dot{I}$ , создающего в точке Д напряженность МП, равную напряженности МП, создаваемой 2 реальными параллельными кабелями А1 и А2 с током  $\dot{I}$

Координаты оси кабеля А определяются по выражениям:

$$x_A = r_A \sin\beta, \quad y_A = h - r_A \cos\beta. \quad (2)$$

Ось виртуального кабеля расположена внутри окружности на расстоянии от центра  $R_B < R$ . При увеличении до  $N_k$  числа

составляющих кабелей и неизменном значении  $N_k I_k$  в результате взаимной компенсации модуль составляющей  $\dot{H}_{ky}$  уменьшается, а модуль составляющей  $\dot{H}_{kx}$  увеличивается, что, согласно выражениям (1) и (2), приводит к уменьшению как угла  $\beta$ , так и координат  $X_A$  и  $Y_A$ , т.е. центр виртуального кабеля стремится к центру окружности. Равномерно размещая кабели фаз и нулевого провода по периметру окружностей, имеющих один центр, получим КЛ, у которой оси виртуальных кабелей фаз и нулевого провода будут находиться на расстояниях значительно меньших диаметров реальных кабелей. Применяя принцип максимального сближения осей виртуальных кабелей можно получить различные конструкции КЛ, некоторые из которых показаны на рис. 7.

В качестве примера рассмотрим КЛ, показанную на рис. 7В. Определим значения напряженности МП, создаваемого при симметричной нагрузке токами фаз кабельной линии в точке Д, расположенной на расстоянии  $h=0,5$  м по оси ОУ от ее центра. Модуль фазного тока равен 1000 А. В таблице 1 приведены результаты расчета координат осей виртуальных аналогов кабелей (КОВК), составляющих  $\dot{H}_{ix}$ ,  $\dot{H}_{iy}$  и результирующей  $\dot{H}_i$  напряженности МП, создаваемого каждой фазой, результирующих составляющих  $\dot{H}_{x\Sigma}$  и  $\dot{H}_{y\Sigma}$ , а также напряженности  $H_{max}$  по большей

полуоси эллипса. Если поворачивать кабельный пучок КЛ, показанной на рис. 7В, вокруг своей оси на угол  $\alpha$ , то координаты осей виртуальных кабелей и напряженность  $H_{max}$  в точке Д изменяются. На рис. 8 показаны кривые изменения координат осей виртуальных кабелей при изменении угла  $\alpha$  поворота кабельного пучка вокруг своего центра от 0 до  $\pi/2$ . Расстояние между осями виртуальных кабелей А, В, С и 0 (для кабеля нулевого провода  $x_0=y_0=0$  мм) не превышают 0,4 мм.

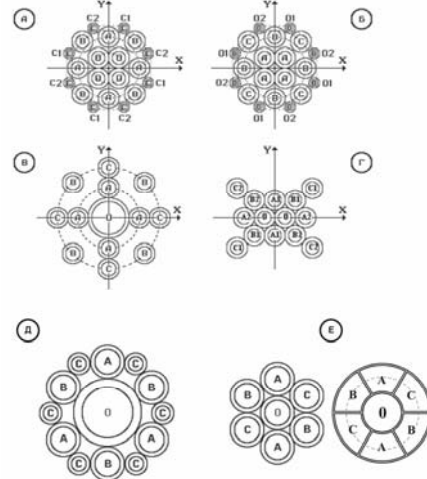


Рис. 7. Некоторые конструкции КЛ, построенные по методу максимального сближения осей виртуальных кабелей

Таблица 1. КОВК,  $\dot{H}_{ix}$ ,  $\dot{H}_{iy}$ ,  $\dot{H}_i$ ,  $\dot{H}_{x\Sigma}$ ,  $\dot{H}_{y\Sigma}$  и  $H_{max}$  в точке Д с  $h=0,5$  м по оси ОУ для КЛ 7В

Фаза	КОВК, x/y	$\dot{H}_{ix}$	$\dot{H}_{iy}$	$\dot{H}_i$	$\dot{H}_{x\Sigma}$	$\dot{H}_{y\Sigma}$	$H_{max}$
-	мм	А/м					
А	0/0,020	318,32	0	318,32	0,2122e <sup>j120</sup>	0	0,2122 (0,2122)
В	0/0,192	318,19e <sup>-j120</sup>	0	318,19e <sup>-j120</sup>			
С	0/-0,192	318,43e <sup>j120</sup>	0	318,43e <sup>j120</sup>			
0	0/0	0	0	0			

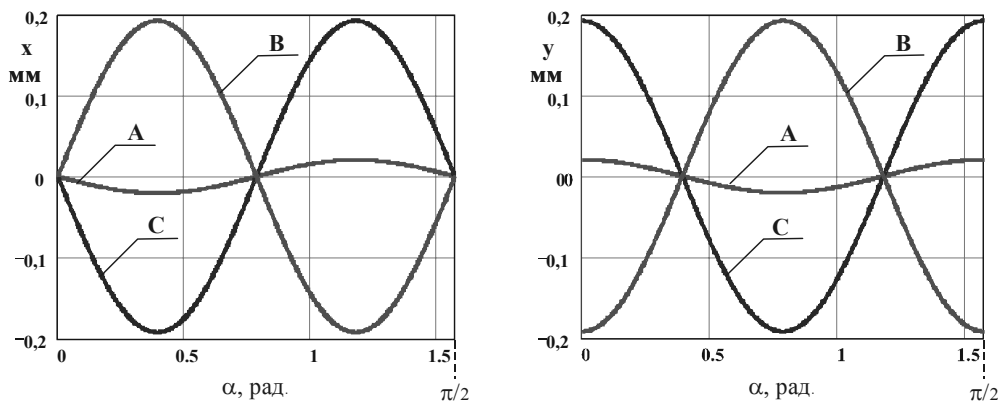


Рис. 8. Кривые изменения координат осей виртуальных кабелей при изменении угла  $\alpha$  поворота кабельного пучка вокруг своего центра от 0 до  $\pi/2$

Модули составляющих  $\dot{H}_{ix}$  колеблются в районе  $318,3 \pm 0,122$  А/м, а составляющих  $\dot{H}_{iy}$  изменяются в пределах от  $-0,122$  до  $+0,122$  А/м (см. рис. 9).  $H_{max}$  изменяется в очень узких границах: от  $0,2121904$  А/м до  $0,2121965$  А/м (см. рис. 10).

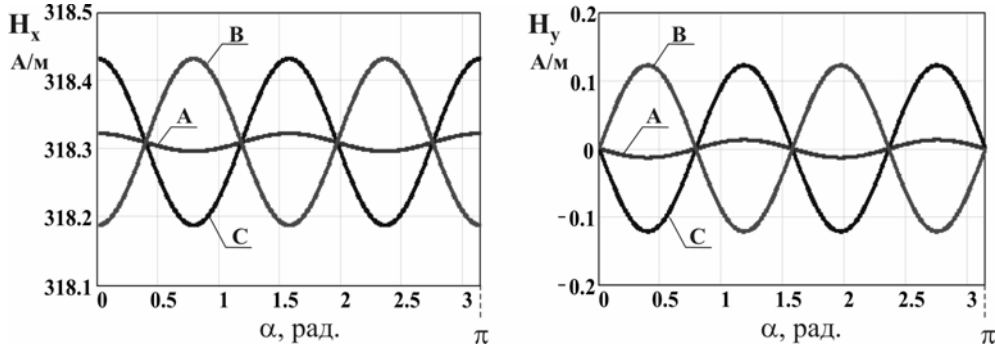


Рис. 9. Кривые изменения модулей составляющих  $\dot{H}_{ix}$  и  $\dot{H}_{iy}$  при повороте КЛ на угол  $\alpha$  в пределах от 0 до  $\pi$

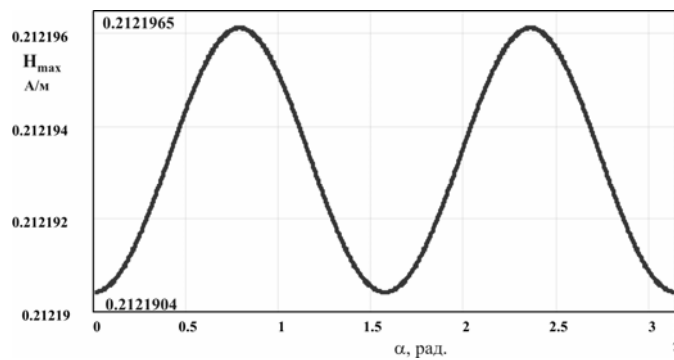


Рис. 10. Изменение результирующей напряженности  $H_{max}$  при повороте КЛ на угол  $\alpha$  в пределах от 0 до  $\pi$

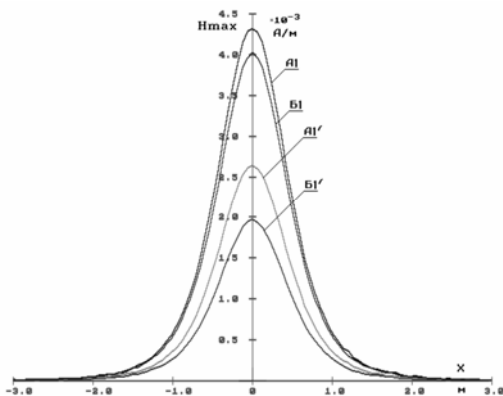


Рис. 11. Распределение напряженности  $H_{max}$  МП, создаваемого КЛ конструкции 7А и 7Б

Кривые А1, Б1 и 1 – симметричный ( $I\phi=1800$  А), и кривые А1', Б1' и 1' – несимметричный режим нагрузки, соответственно. Для компоновок по схемам А и Б значение  $H_{max}$  не превышает  $0,0043$  и  $0,0040$  А/м при симметричном и  $0,0027$  и  $0,0020$  А/м при не-

На рисунках 11-14 показано распределение напряженности  $H_{max}$  МП, создаваемого на поверхности пола жилого помещения над ТП (965 мм) токами КЛ с компоновкой кабельного пучка по схемам 7А, 7Б, 7В, 7Д и 7Е (см. рис. 7).

симметричном режиме нагрузки, соответственно. Напряженность МП изменяется с  $4,34 \cdot 10^{-3}$  А/м до  $1,53$  А/м и рассмотренные КЛ удовлетворяют не только ПДУ для производственных условий и жилых помещений, но и по помехоустойчивости аппаратуры для всех степеней жесткости.

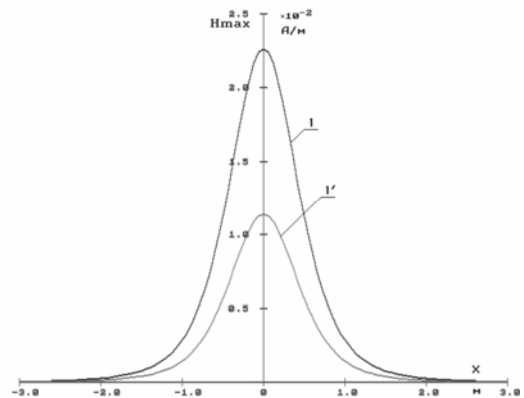


Рис. 12. Распределение напряженности  $H_{max}$  МП, создаваемого КЛ конструкции 7В

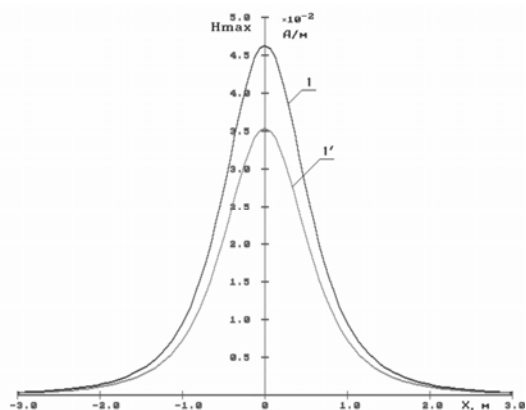


Рис. 13. Распределение напряженности  $H_{\max}$  МП, создаваемого КЛ конструкции 7Д

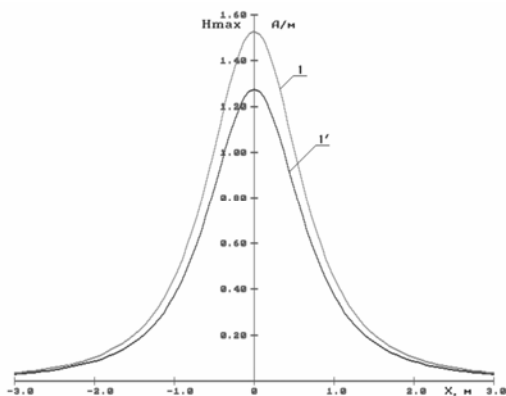


Рис. 14. Распределение напряженности  $H_{\max}$  МП, создаваемого КЛ конструкции 7Е

**Выводы:** метод ограничения напряженности МП путем сближения осей кабелей фаз и нулевого провода с компоновкой кабелей в КП по углам квадрата наиболее прост и применен при строительстве жилых комплексов в Лаврушенском и Первом Кадышевском переулках. Напряженность МП над встроенными ТП 10/0,4 кВ не превышает ПДУ 4 А/м для жилых помещений, что подтвердили результаты измерений при приемке жилых комплексов. Компоновка кабельных пучков по методу сближения осей виртуальных кабелей фаз и нулевого провода наиболее эффективна для компенсации МП КЛ и еб целесообразно применять при прокладке кабельных линий, проходящих в жилых, административных и производственных зданиях, а также по селитебным территориям, что рекомендовано в ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 [1] и СанПиН 2.2.4.1191 – 03 [3].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Гигиенический норматив ГН 2.1.8/2.2.4.2262-07 «Предельно допустимые уровни магнитных полей частотой 50 Гц в помещениях жилых, общественных зданий и на селитебных территориях».
2. Патент на изобретение № 2273934. Кабельная линия электропередачи / Мисриханов М.Ш., Рубцова Н.Б., Токарский А.Ю. Опубликовано 10.04.2006, Бюл. № 10.
3. СанПиН 2.2.4.1191-03. Электромагнитные поля в производственных условиях. – М.: Минздрав РФ, 2003. – 38 с.

## COMPENSATION OF CABLE LINES MAGNETIC FIELDS IN RESIDENTIAL BUILDINGS

© 2009 M.S. Misrihanov<sup>1</sup>, N.B. Rubtsova<sup>2</sup>, A.Yu. Tokarskiy<sup>1</sup>

<sup>1</sup> JSC Federal Network Company Branch “Main Power Networks of the Center”

<sup>2</sup> Scientific Research Institute of Occupational Health RAMS

Article is received 2009/09/24

On an example of the 10/0,4 кВ transformer substation built in a residential building the opportunity of decrease in 30ч20000 time the magnetic field intensity level created by cable lines, as a result of application the method of virtual cables axes rapprochement is shown.

Key words: *intensity of a magnetic field, cable lines, residential buildings*

Misrikhan Misrikhanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, General Director. E-mail: mmsh@mes-centra.ru  
Nina Rubtsova, Doctor of Biology, Head of the Department. E-mail: rubtsovanb@yandex.ru  
Andrey Tokarskiy, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Specialist. E-mail: mmsh@mes-centra.ru