

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ В ПОМЕЩЕНИЯХ ЖИЛЫХ ДОМОВ, РАСПОЛОЖЕННЫХ ВБЛИЗИ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

В.Ю.Розов*, чл.-корр. НАН Украины, **В.С.Гринченко****, канд.техн.наук, **Д.Е.Пелевин**, канд.техн.наук, **К.В.Чунихин**

ГУ “Институт технических проблем магнетизма НАН Украины”,

ул. Индустриальная, 19, Харьков, 61106, Украина, e-mail: vsgrinchenko@gmail.com

На примере многоэтажного жилого дома из сборного железобетона, расположенного вблизи ЛЭП, выполнено численное моделирование распределения электромагнитного поля частотой 50 Гц в жилых помещениях. Проведена экспериментальная верификация результатов моделирования. Показано, что магнитное поле ЛЭП слабо экранируется строительными конструкциями, в том числе железобетонными, и практически без ослабления проникает внутрь жилых помещений. Определено, что электрическое поле ЛЭП эффективно экранируется строительными конструкциями и практически не проникает внутрь помещений. Библиография: 7, табл. 1, рис. 3.

Ключевые слова: линия электропередачи, магнитное поле, электрическое поле, экранирование.

Исследования воздействия электромагнитного поля (ЭМП) на население, выполненные Всемирной организацией здравоохранения в рамках международной программы «*The International EMF Project*» [7], выявили высокую опасность ЭМП промышленной частоты (50-60 Гц) для здоровья людей. Наиболее интенсивное ЭМП создается высоковольтными линиями электропередачи (ЛЭП), что представляет угрозу здоровью населения, проживающего вблизи ЛЭП. Результаты указанных исследований обусловили современную мировую тенденцию к повышению жесткости санитарных норм по допустимым уровням ЭМП промышленной частоты для жилых и общественных помещений, которые, например, в Украине составляют 0,5 кВ/м по напряженности электрического поля и 0,5 мкТл по магнитной индукции [4]. В настоящее время выполнены многочисленные исследования [2,5,6] по моделированию и расчету электрического (ЭП) и магнитного полей (МП) ЛЭП. Однако до настоящего времени недостаточно исследована способность строительных конструкций домов экранировать ЭП и МП промышленной частоты, что не позволяет адекватно определять фактический уровень ЭМП внутри жилых домов, расположенных вблизи ЛЭП.

Целью работы является определение эффективности экранирования ЭП и МП частотой 50 Гц строительными конструкциями современных многоэтажных жилых домов на основе математического моделирования и натурального эксперимента.

Исследования проведены для пятиэтажного жилого дома (с ожидаемым максимальным экранирующим эффектом для ЭМП), стены и межэтажные перекрытия которого выполнены из сборного железобетона и имеют заземленный стальной каркас. Ширина дома $a=13$ м, высота $b=15$ м, толщина стен и перекрытий $d=0,26$ м. Дом расположен на расстоянии $L=15$ м от трехфазной ЛЭП 110 кВ (рис.1), работающей в симметричном режиме. Действующее значение тока ЛЭП $I_0=500$ А. Провода ЛЭП будем считать бесконечно длинными прямыми нитями, параллельными земле. Координаты проводов ЛЭП следующие: $x_1=0$, $y_1=10$ м; $x_2=1,5$ м, $y_2=14$ м; $x_3=0$, $y_3=18$ м. Радиус сечения проводов ЛЭП $r=0,015$ м.

Для количественной оценки эффективности экранирования магнитного и электрического полей воспользуемся понятием эффективности экранирования: $S_B=B_0/B$, $S_E=E_0/E$, где B и E – действующие значения, соответственно, магнитной индукции и напряженности электрического поля внутри дома, B_0 и E_0 – действующие значения, соответственно, магнитной индукции и напряженности электрического поля ЛЭП в этой же точке в случае отсутствия дома. Моделирование МП и ЭП внутри дома выполнены в рамках двумерных моделей с использованием программного пакета *COMSOL Multiphysics*.

Моделирование МП. Низкая частота МП ЛЭП позволяет пренебречь электромагнитным экранированием МП и учитывать только магнито-статическое экранирование. Поэтому можно воспользоваться магнито-статической моделью дома [3], характеризуемой эффективной магнитной проницаемостью $\mu_{\text{эфф}}$ железобетонных стен и перекрытий (рис. 1). Железобетонные панели рассматриваемого дома армированы стальной арматурой с относительной магнитной проницаемостью 100, ее доля в объеме железобетонной конструкции составляет 0,07 [1]. Поэтому в соответствии с [3] значение $\mu_{\text{эфф}}$ равно 3,5.

Уравнение, описывающее распределение МП, вытекает из закона полного тока

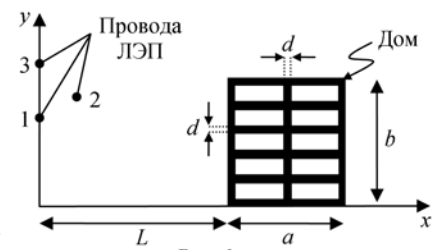


Рис. 1

$rot(\mu_0^{-1} \mu^{-1} rot \dot{A}_z) = \dot{J}_z$, $\dot{B}_z = rot \dot{A}_z$, где \dot{A}_z и \dot{J}_z – комплексные амплитуды, соответственно, векторного потенциала и плотности токов ЛЭП; $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м – магнитная постоянная; относительная магнитная проницаемость $\mu = \mu_{эфф}$ в областях стен и перекрытий и $\mu = 1$ в других областях.

Уравнение было дополнено условиями, накладываемыми на векторный потенциал на границе раздела сред с различными электрофизическими свойствами. Для ограничения расчетной области на ее границах использовалось условие $\dot{A}_z = 0$. Во всех областях использовалась треугольная сетка, причем в областях стен и перекрытий шаг сетки задавался на 1-2 порядка меньшим. В соответствии с уравнением, описывающим распределение МП, при решении задачи использовался интерфейс «Magnetic Fields», который входит в «AC/DC Module». Для опции «Space Dimension» задавался вариант «2D». Величины токов, протекающих в проводах, задавались при помощи функционала «Line Current (Out-of-Plane)». На рис. 2 показано полученное распределение линий равных значений магнитной индукции внутри и в окрестности дома. Правильность численного решения проверялась путем сравнения с решениями, получаемыми при увеличении размера расчетной области и использовании более густой сетки, а также путем сопоставления с результатами экспериментальных исследований [1].

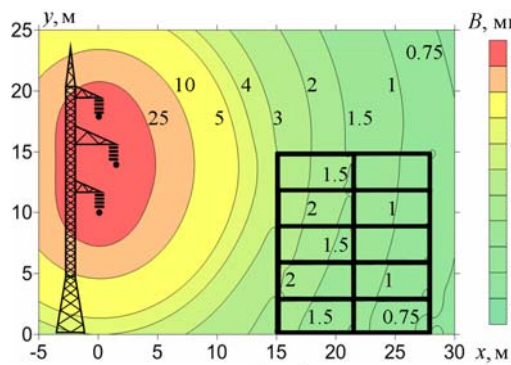


Рис. 2

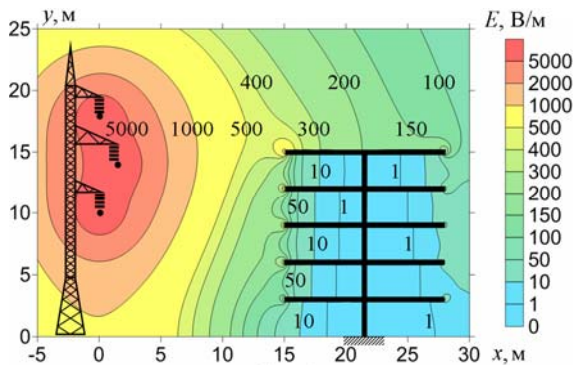


Рис. 3

Результаты расчета эффективности экранирования S_B МП ЛЭП конструкциями дома представлены в таблице. Как видно из представленных результатов, значение эффективности экранирования МП в доме составляет не менее 1,02 и не более 1,10, что хорошо согласуется с результатами эксперимента [1].

комната	точка наблюдения	B_0 , мкТл	B , мкТл	S_B	E_0 , В/м	E , В/м	S_E
1 этаж/левая	$x=18$ м, $y=1$ м	1,47	1,41	1,04	72,3	1,65	43,8
2 этаж/левая	$x=18$ м, $y=4$ м	1,70	1,60	1,06	93,7	4,00	23,4
3 этаж/левая	$x=18$ м, $y=7$ м	1,91	1,77	1,08	125	5,17	24,4
4 этаж/левая	$x=18$ м, $y=10$ м	2,09	1,91	1,09	157	5,51	28,5
5 этаж/левая	$x=18$ м, $y=13$ м	2,17	1,98	1,10	179	8,42	21,3
1 этаж/правая	$x=24,5$ м, $y=1$ м	0,94	0,92	1,02	76,0	0,06	> 100
2 этаж/правая	$x=24,5$ м, $y=4$ м	1,03	0,97	1,06	80,5	0,18	
3 этаж/правая	$x=24,5$ м, $y=7$ м	1,10	1,03	1,08	88,7	0,33	
4 этаж/правая	$x=24,5$ м, $y=10$ м	1,12	1,06	1,09	97,7	0,57	
5 этаж/правая	$x=24,5$ м, $y=13$ м	1,19	1,09	1,09	105	1,11	94,3

Моделирование ЭП. При построении модели ЭП реальная конструкция дома (рис. 1) заменялась стальным электропроводящим каркасом (рис. 3). При этом внешние стены дома полагались прозрачными для ЭП, что соответствует случаю максимально возможного проникновения ЭП внутрь помещений. Поскольку стальной каркас заземлен, его электрический потенциал равен нулю. Расчетной областью является только воздушное пространство. Для ограничения расчетной области использовалось условие равенства нулю производной по нормали от потенциала ЭП. Как и в предыдущем случае, использовалась треугольная сетка.

Распределение комплексной амплитуды электрического потенциала \dot{V} удовлетворяет уравнению Лапласа: $\Delta \dot{V} = 0$. Соответственно, при моделировании использовался интерфейс «Electrostatics», который входит в «AC/DC Module» используемого программного пакета. Для опции «Space Dimension» задавался вариант «2D». Потенциалы ЭП на поверхности проводов ЛЭП задавались при помощи функционала «Electric Potential».

На рис. 3 показано распределение линий равных значений напряженности ЭП ЛЭП внутри и в окрестности дома. Результаты расчета эффективности экранирования S_E ЭП ЛЭП конструкциями дома представлены в таблице. Минимальное значение эффективности S_E для рассматриваемого случая составляет 21,3. В удаленной от ЛЭП части здания эффективность экранирования ЭП превышает 100. Наличие в доме стен, например, кирпичных, практически исключает проникновение ЭП в дом, что имеет экспериментальное подтверждение.

Выводы. Показано, что магнитное поле ЛЭП слабо экранируется конструкциями жилых домов, в том числе железобетонными, и практически без ослабления проникает внутрь жилых помещений. Определено, что электрическое поле ЛЭП эффективно экранируется строительными конструкциями и практически не проникает в жилые помещения. Полученные выводы справедливы для большинства типов многоэтажных жилых домов и должны учитываться при проектировании ЛЭП в жилых зонах.

1. Пелевин Д.Е. Экранирование магнитного поля промышленной частоты стенами жилых домов // *Электротехника і Електромеханіка*. – 2015. – № 4. – С. 53-55.
2. Розов В.Ю., Реуцкий С.Ю., Пелевин Д.Е., Яковенко В.М. Исследование магнитного поля высоковольтных линий электропередачи переменного тока // *Технічна електродинаміка*. – 2012. – № 1. – С. 3-9.
3. Розов В.Ю., Левина С.В. Моделирование статического геомагнитного поля внутри помещений современных жилых домов // *Технічна електродинаміка*. – 2014. – № 4. – С. 8-10.
4. Правила улаштування електроустановок (ПУЭ). – К.: Мінпаливенерго України, 2010. – 736 с.
5. Seker S.S., Can F., Cerezci O. Theoretical and experimental study of EM fields and shielding effectiveness due to high voltage transmission lines // *Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. – IEEE, 2001. – Vol. 4. – Pp. 3993-3996.
6. Yang B., Wang S., Wang Q., Du H., Huangfu Y. Simulation and analysis for power frequency electric field of building close to power transmission lines // *2014 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*. – IEEE, 2014. – Pp. 451-454.
7. <http://www.who.int/peh-emf/project/en/> (Accessed 31.01.2016)

УДК 621.3.013

МОДЕЛЮВАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ В ПРИМІЩЕННЯХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ, ЩО РОЗТАШОВАНІ ПОБЛИЗУ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧІ

В.Ю.Розов, чл.-кор. НАН України, **В.С.Грінченко**, канд.техн.наук, **Д.С.Пелевін**, канд.техн.наук, **К.В.Чуніхін**
ДУ “Інститут технічних проблем магнетизму НАН України”,
вул. Індустріальна, 19, Харків, 61106, Україна, e-mail: vsgrinchenko@gmail.com

На прикладі багатопверхового житлового будинку із збірною залізобетону, що розташований поблизу ЛЕП, проведено чисельне моделювання розподілу електромагнітного поля частотою 50 Гц у житлових приміщеннях. Проведено експериментальну верифікацію результатів моделювання. Показано, що магнітне поле ЛЕП слабо екранується будівельними конструкціями житлових будинків, у тому числі залізобетонними, та практично без ослаблення проникає всередину житлових приміщень. Визначено, що електричне поле ЛЕП ефективно екранується будівельними конструкціями будинків і практично не проникає всередину приміщень. Бібл. 7, табл. 1, рис. 3.

Ключові слова: лінія електропередачі, магнітне поле, електричне поле, екранування.

SIMULATION OF ELECTROMAGNETIC FIELD IN RESIDENTIAL BUILDINGS LOCATED NEAR OVERHEAD LINES

V.Yu.Rozov, V.S.Grinchenko, D.Ye.Pelevin, K.V.Chunikhin
Institute of Technical Problems of Magnetism National Academy of Sciences of Ukraine,
19, Industrialna st., Kharkiv, 61106, Ukraine, e-mail: vsgrinchenko@gmail.com

This paper deals with the numerical simulation of power frequency electromagnetic field in the multi-storey building which is made of precast concrete and is located near the overhead line. The results of numerical simulations are confirmed experimentally. It is shown that the overhead line magnetic field penetrates inside the residential premises almost with no attenuation, because of poorly shielding by houses' structure. It is determined that the overhead line electric field is effectively shielded by houses' structure, so it almost doesn't penetrate into buildings. References 7, table 1, figures 3.

Key words: overhead line, magnetic field, electric field, shielding.

1. Pelevin D.Ye. Screening magnetic fields of the power frequency by the walls of houses // *Elektrotehnika і Elektromekhanika*. – 2015. – No 4. – Pp. 53-55. (Rus)
2. Rozov V.Yu., Reutskiy S.Yu., Pelevin D.Ye., Yakovenko V.N. The research of magnetic field of high-voltage ac transmissions lines // *Tekhnichna Elektrodynamika*. – 2012. – No 1. – Pp. 3-9. (Rus)
3. Rozov V.Yu., Levina S.V. Modeling of the static geomagnetic field indoor dwelling houses // *Tekhnichna Elektrodynamika*. – 2014. – No 4. – Pp. 8-10. (Rus)
4. *Electrical Installation Regulations* (PUE). – Kyiv, Minpalyvenerho Ukraine, 2010. – 736 p. (Ukr)
5. Seker S.S., Can F., Cerezci O. Theoretical and experimental study of EM fields and shielding effectiveness due to high voltage transmission lines // *Proceedings of the 23rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society*. – IEEE, 2001. – Vol. 4. – Pp. 3993-3996. DOI: 10.1109/IEMBS.2001.1019719.
6. Yang B., Wang S., Wang Q., Du H., Huangfu Y. Simulation and analysis for power frequency electric field of building close to power transmission lines // *2014 IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*. – IEEE, 2014. – Pp. 451-454. DOI: 10.1109/ISEMC.2014.6899014.
7. <http://www.who.int/peh-emf/project/en/> (Accessed 30.01.2016)

Надійшла 18.01.2016
Остаточний варіант 29.03.2016