



УДК 537.8:631.17

Е.В. Титов, Е.Б. Осьмушкина  
Ye.V. Titov, Ye.V. Osmushkina

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБСТАНОВКИ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ОДНОВРЕМЕННОЙ ОЦЕНКИ ДОПУСТИМОГО ВРЕМЕНИ ПРЕБЫВАНИЯ

### VISUALIZATION OF THE ELECTROMAGNETIC ENVIRONMENT WITH THE ABILITY TO SIMULTANEOUSLY ESTIMATE THE PERMISSIBLE RESIDENCE TIME

**Ключевые слова:** электрическое поле, контроль электромагнитной обстановки, рассадный комплекс АПК, компьютерное моделирование, метод конечных разностей во временной области, картина распределения ЭМИ, карта допустимого времени пребывания.

Рассматриваются вопросы визуализации электромагнитной обстановки в помещении АПК с растворным узлом для рассадного комплекса. Представлены результаты экспериментальных измерений напряженности электрического, магнитного полей и плотности потока энергии от компьютеризированного растворного узла. Выявлено превышение предельно допустимых уровней по каждой составляющей электромагнитного поля. Указаны выражения, используемые для определения допустимого времени пребывания людей в условиях влияния электрического, магнитного и высокочастотного электромагнитного полей. Приведены совмещенные электромагнитные портреты и картины опасности электромагнитных излучений вблизи растворного узла, полученные в результате компьютерного моделирования распределения электрического поля на граничных частотах и введения дополнительной шкалы допустимого времени пребывания во всех точечных зонах помещения для каждой частотной составляющей электромагнитного поля. Обоснована целесообразность совместного использования инструментальных средств измерений и программного обеспечения для визуализации электромагнитной обстановки при выявлении опасных уровней электромагнитного поля и обеспечении электромагнитной безопасности.

**Keywords:** electric field, control of the electromagnetic environment, seedling complex of the agro-industrial complex, computer modeling, finite difference method in the time domain, picture of the distribution of electromagnetic radiation, map of permissible residence time.

The issues of visualization of the electromagnetic environment in the premises of the agro-industrial complex with a solution unit for the seedling complex are discussed. The results of experimental measurements of the strength of the electric and magnetic fields and the density of the energy flux from the computerized solution unit are presented. The excess of the maximum permissible levels for each component of the electromagnetic field was revealed. The expressions used to determine the permissible time of stay of people under the conditions of the influence of electric, magnetic and high frequency electromagnetic fields were indicated. Combined electromagnetic portraits and pictures of the danger of electromagnetic radiation near the solution unit are presented obtained as a result of computer modeling of the distribution of the electric field at the boundary frequencies and the introduction of an additional scale of permissible residence time in all point zones of the room for each frequency component of the electromagnetic field. The expediency of sharing measurement tools and software for the visualization of the electromagnetic environment in detecting the electromagnetic field dangerous levels and providing electromagnetic safety is substantiated.

**Титов Евгений Владимирович**, к.т.н., доцент, вед. н.с., Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. Тел.: (3852) 36-71-29. E-mail: 888tev888@mail.ru.

**Осьмушкина Елена Борисовна**, студент, Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова. E-mail: lenaosmushkina@mail.ru.

**Titov Yevgeniy Vladimirovich**, Cand. Tech. Sci., Assoc. Prof., Leading Staff Scientist, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. Ph.: (3852) 36-71-29. E-mail: 888tev888@mail.ru.

**Osmushkina Yelena Borisovna**, student, Altai State Technical University named after I.I. Polzunov. E-mail: lenaosmushkina@mail.ru.

### Введение

Непрерывно возрастает оснащённость производственных и коммунально-бытовых объектов агропромышленного комплекса новыми источниками электромагнитного излучения (ЭМИ) – информационно-технологическим оборудованием, построенным на основе чувствительных к электромагнитному воздействию микропроцессорных устройств. При этом усиливается воздействие и на биологические объекты, в связи с чем актуальность обеспечения электромагнитной совместимости становится одной из ключевых задач, требующих неотложного решения [1-4].

### Материалы и методы

В АлтГТУ предложен подход к визуализации электромагнитной обстановки, основанный на формировании совмещённых электромагнитных портретов в виде распределения в пространстве составляющих электромагнитного поля (ЭМП) и точечных картин опасности электромагнитных излучений (по критерию допустимого времени пребывания) с учетом наложения когерентных электромагнитных волн. Практическая реализация предлагаемого подхода рассмотрена на примере одного из производственных помещений тепличного предприятия Сибири с установленным в нем компьютеризированным раствором узлом для рассадного комплекса (рис. 1).

Измерения проводились на расстоянии 10 см [5] от каждой грани каждого электрифицированного источника излучения, размещённого в зонах длительного пребывания персонала, с использованием измерительных приборов ВЕ-метр-АТ-004 и ПЗ-41 на граничных частотах в

диапазоне 50 Гц-3 ГГц, для которых интенсивность ЭМИ являлась наибольшей в границах соответствующих нормируемых диапазонов [5].

Для моделирования пространственного распределения составляющих электромагнитного поля внутри производственного помещения использован широко применяемый в настоящее время для решения подобного класса задач FDTD метод [6, 7].



**Рис. 1. Внешний вид компьютеризированного растворного узла**

### Результаты

Результаты измерения максимальных значений каждой составляющей электромагнитного поля на соответствующих частотах сведены в таблицы 1-3.

таблица 1

**Данные экспериментальных измерений напряженности электрического поля вблизи растворного узла**

Контролируемая частота, кГц	Максимально измеренное значение E, В/м	ПДУ, кВ/м
0,05	1337,02	25
10	505,18	2,5
30	10,24	
3000	3,70	30
30000	3,19	10

Таблица 2

*Данные экспериментальных измерений напряженности магнитного поля  
вблизи растворного узла*

Контролируемая частота, кГц	Максимально измеренное значение Н, А/м	ПДУ, А/м
0,05	6,27	0,2
10	4,85	0,02
30	0,13	
3000	0,08	5
30000	0,04	0,3

Таблица 3

*Данные экспериментальных измерений плотности потока энергии вблизи растворного узла*

Контролируемая частота, МГц	Максимально измеренное значение ППЭ, мкВт/см <sup>2</sup>	ПДУ, мкВт/см <sup>2</sup>
300	16,40	10
3000	24,12	

Напряженность электрического поля на регламентируемом [5] расстоянии от растворного узла превышает предельно допустимый уровень (ПДУ) на частотах 50 Гц, 10 кГц и 30 кГц соответственно в 53, 202 и 4 раза, напряженность магнитного поля на этих же частотах – более чем в 31, 242 и 6 раз. В соответствии с [5] измеренное значение ППЭ на частоте 300 МГц превышает предельно допустимый уровень (10 мкВт/см<sup>2</sup>) [5] в 1,64 раза, а на частоте 3 ГГц – в 2,4 раза.

### Обсуждение

Оценивать опасность электромагнитной обстановки предлагается в соответствии с картинами опасности, формируемыми с использованием разработанного программного обеспечения [8]. Допустимое время пребывания персонала в границах контролируемого пространства в условиях влияния каждой составляющей ЭМП можно рассчитать в соответствии с формулами (1)-(3) [9]:

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \left( \frac{E_{\text{пду}}}{E_{\text{факт}}} \right)^2 \quad (1)$$

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \left( \frac{H_{\text{пду}}}{H_{\text{факт}}} \right)^2; \quad (2)$$

$$t_{\text{доп}} = 8 \cdot \frac{\text{ППЭ}_{\text{пду}}}{\text{ППЭ}_{\text{факт}}}, \quad (3)$$

где  $E_{\text{пду}}$  – предельно допустимый уровень напряженности электрического поля, В/м;

$E_{\text{факт}}$  – измеренное значение напряженности электрического поля, В/м;

$H_{\text{пду}}$  – предельно допустимый уровень напряженности магнитного поля, А/м;

$H_{\text{факт}}$  – измеренное значение напряженности магнитного поля, А/м;

$\text{ППЭ}_{\text{пду}}$  – предельно допустимый уровень плотности потока энергии, мкВт/см<sup>2</sup>;

$\text{ППЭ}_{\text{факт}}$  – измеренное значение ППЭ, мкВт/см<sup>2</sup>;

$t_{\text{доп}}$  – допустимое время пребывания, ч.

На рисунках 2, 3 представлены результаты визуализации электромагнитной обстановки вблизи растворного узла, полученные с использованием компьютерного моделирования распределения электрической составляющей ЭМП на граничных частотах 30 кГц и 30 МГц и введения дополнительной шкалы допустимого времени пребывания во всех точечных зонах помещения для соответствующей частотной составляющей электромагнитного поля.

Визуальный анализ полученных карт показывает, что в трех зонах с более высокими уровнями напряженности электрического поля на частоте 30 кГц время пребывания не должно превышать одной минуты (рис. 2), а на частоте 30 МГц в зонах с наибольшей интенсивностью ЭМИ допускается нахождение в течение 59 мин. (рис. 3).

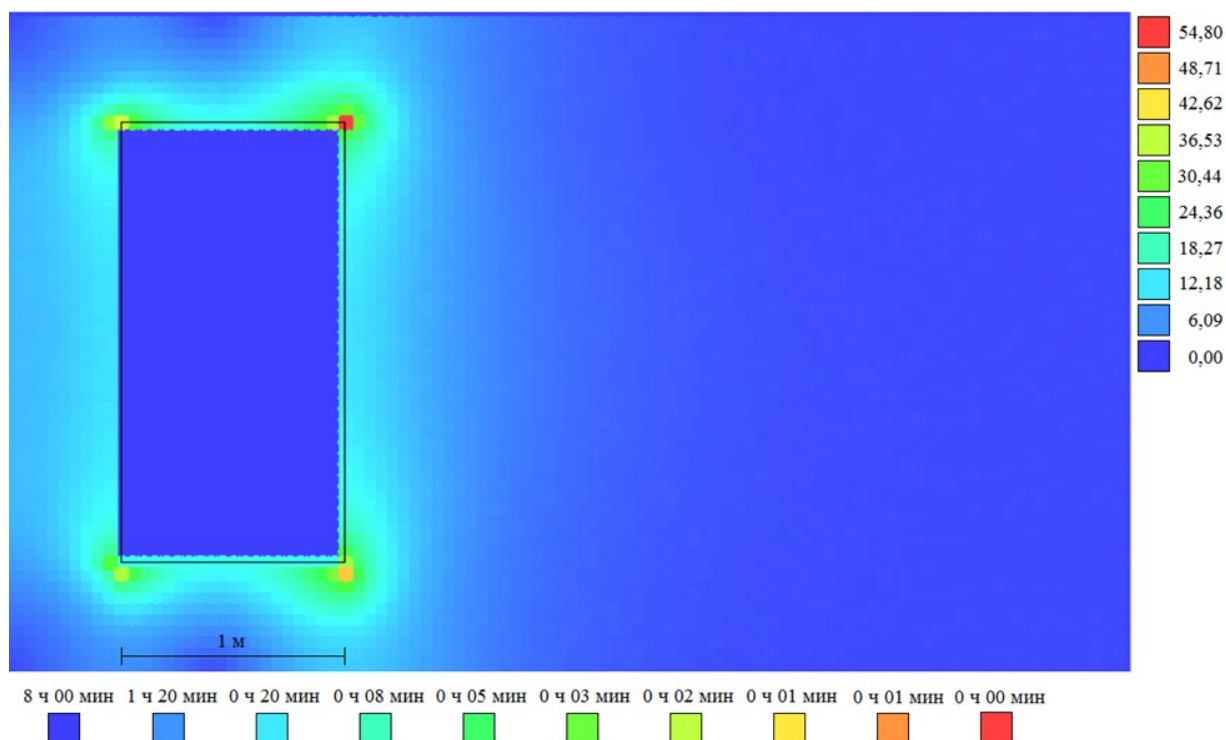


Рис. 2. Совмещенная карта распределения электрической составляющей ЭМП (В/м) на частоте 30 кГц

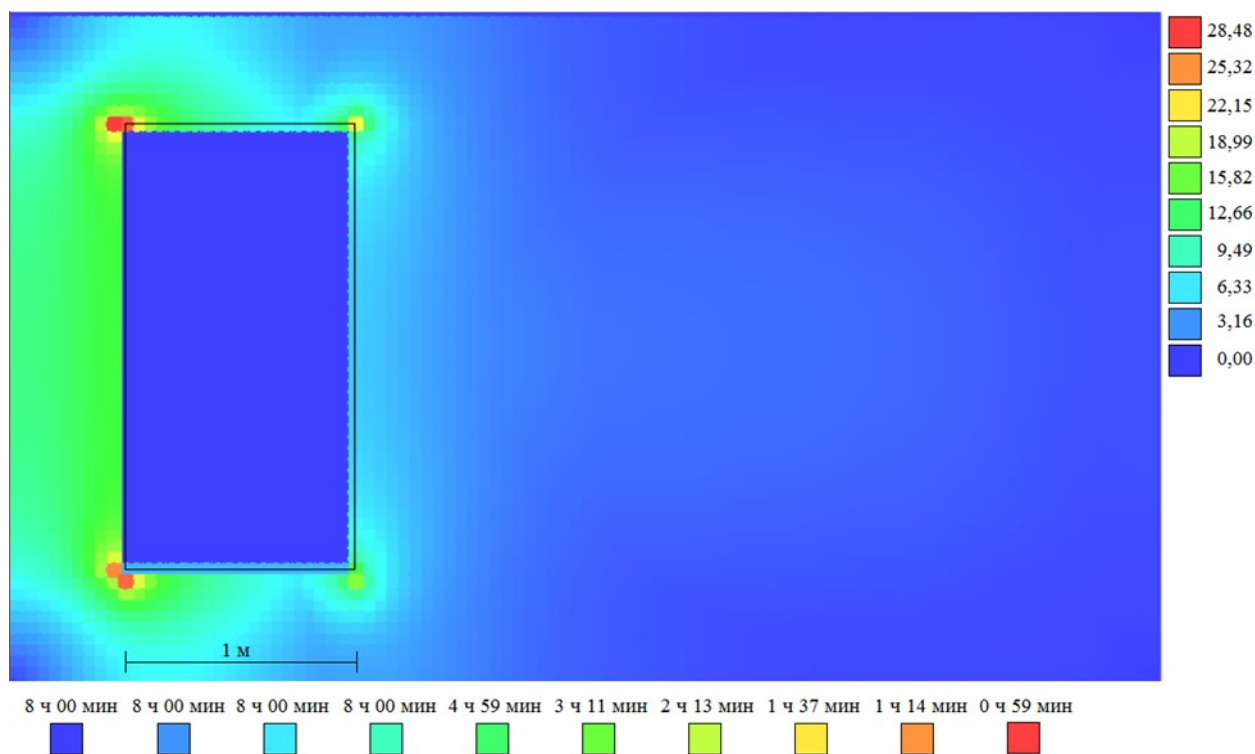


Рис. 3. Совмещенная карта распределения электрической составляющей ЭМП (В/м) на частоте 30 МГц

### Заключение

Совместное использование инструментальных средств измерений и программного обеспечения для визуализации электромагнитной обстановки позволяет выявлять опасные уровни ЭМП с учетом усиления результирующего действия при наложении когерентных электромаг-

нитных волн, что невозможно обнаружить в рамках точечных измерений. Формируемые картины опасности электромагнитных излучений можно использовать при обоснованном выборе защитных мероприятий по обеспечению электромагнитной совместимости.



## Библиографический список

1. Призыв учёных по защите от воздействия неионизирующего электромагнитного поля. Международное обращение к Генеральному Секретарю Организации Объединённых Наций Пан Ги Муну, государствам – членам ООН. – URL: <https://www.emfscientist.org/index.php/emf-scientist-appeal> (дата обращения: 06.09.2020). – Текст: электронный.
2. Маслов, М. Ю. Обоснование предметной области электромагнитной безопасности / М. Ю. Маслов, Ю. М. Сподобаев, М. Ю. Сподобаев. – Текст: непосредственный // *Электро-связь*. – 2018. – № 11. – С. 63-67.
3. Миллер, К. Э. Технологии и оборудование производства программ телевизионного и звукового вещания: учебное пособие. Часть 1 / К. Э. Миллер, С. Л. Мишенков. – Москва: МТУСИ, 2019. – 108 с. – Текст: непосредственный.
4. Никитина, В. Н. Актуальные вопросы обеспечения электромагнитной безопасности населения / В. Н. Никитина. – Текст: непосредственный // Актуальные вопросы организации контроля и надзора за физическими факторами: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Москва: Издательско-торговая корпорация «Дашков и К», 2017. – С. 288-291.
5. СанПиН 2.2.4.3359-16. Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах. – 2016. – Текст: непосредственный.
6. Rylander, T., Pär, I., Bondeson, A. (2013). *Computational Electromagnetics: Second Edition*. Springer-Verlag New York. In *Texts in Applied Mathematics*.
7. Sullivan, D. (2000). *Electromagnetic Simulation Using the FDTD Method*. IEEE Microwave Theory Tech Society.
8. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015617900. Формирование картины опасности электромагнитной обстановки в зоне влияния нескольких источников электромагнитного излучения / К. А. Селиверстов, Е. В. Титов, А. А. Сошников [и др.]. – № 2015614994; заявл. 10.06.2015; зарег. 24.07.2015. – Текст: непосредственный.
9. Soshnikov, A.A., Migalev, I.E. & Titov, E.V. A mobile system for integrated evaluation of electromagnetic radiation danger level. *Russian Electrical Engineering* (2018) 89: 685. <https://doi.org/10.3103/S106837121812009X>.

*cal Engineering* (2018) 89: 685.  
<https://doi.org/10.3103/S106837121812009X>.

## References

1. Prizyv uchenykh po zashchite ot vozdeystviya neioniziruyushchego elektromagnitnogo polya. Mezhdunarodnoe obrashchenie k Generalnomu Sekretaryu Organizatsii Obedinennykh Natsiy Pan Gi Munu, gosudarstvam – chlenam OON [Elektronnyy resurs] // URL: <https://www.emfscientist.org/index.php/emf-scientist-appeal> (data obrashcheniya 06.09.2020).
2. Maslov, M.Yu. Obosnovanie predmetnoy oblasti elektromagnitnoy bezopasnosti / M.Yu. Maslov, Yu.M. Spodobaev, M.Yu. Spodobaev // *Elektrosvyaz*. – 2018. – No. 11. – S. 63-67.
3. Miller, K.E. Tekhnologii i oborudovanie proizvodstva programm televizionnogo i zvukovogo veshchaniya: uchebnoe posobie, chast 1 / K.E. Miller, S.L. Mishenkov. – Moskva: MTUSI, 2019. – 108 s.
4. Nikitina, V.N. Aktualnye voprosy obespecheniya elektromagnitnoy bezopasnosti naseleniya / V.N. Nikitina // *Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Aktualnye voprosy organizatsii kontrolya i nadzora za fizicheskimi faktorami»*. – Moskva: Izdatelsko-torgovaya korporatsiya «Dashkov i K», 2017. – S. 288-291.
5. SanPiN 2.2.4.3359-16. Sanitarno-epidemiologicheskie trebovaniya k fizicheskim faktoram na rabochikh mestakh, 2016.
6. Rylander, T., Pär, I., Bondeson, A. (2013). *Computational Electromagnetics: Second Edition*. Springer-Verlag New York. In *Texts in Applied Mathematics*.
7. Sullivan, D. (2000). *Electromagnetic Simulation Using the FDTD Method*. IEEE Microwave Theory Tech Society.
8. Svidetelstvo o gosudarstvennoy registratsii programmy dlya EVM No. 2015617900. Formirovanie kartiny opasnosti elektromagnitnoy obstanovki v zone vliyaniya neskol'kikh istochnikov elektromagnitnogo izlucheniya / K.A. Seliverstov, E.V. Titov, A.A. Soshnikov [i dr.]. – No. 2015614994, zayavl. 10.06.2015, zareg. 24.07.2015.
9. Soshnikov, A.A., Migalev, I.E. & Titov, E.V. A mobile system for integrated evaluation of electromagnetic radiation danger level. *Russian Electrical Engineering* (2018) 89: 685. <https://doi.org/10.3103/S106837121812009X>.

