

## Электродинамика и антенные системы

УДК 621.396.67

### ОЦЕНКА ОБЛУЧЕНИЯ ГОЛОВЫ ЧЕЛОВЕКА ПОЛЕМ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА

**Драч Владимир Евгеньевич**

кандидат технических наук, доцент Калужского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

*E-mail:* drach@bmstu-kaluga.ru.

**Саввин Михаил Александрович**

магистрант Калужского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)».

*E-mail:* 79108644148@yandex.ru.

*Адрес:* 248000, Россия, Калуга, ул. Баженова, 2.

*Аннотация:* Во время своей работы мобильный телефон становится источником электромагнитного поля. Воздействие такого электромагнитного поля на организм человека исследовано недостаточно и требует более глубокого изучения. В настоящей работе рассмотрен вопрос влияния электромагнитных полей, излучаемых мобильным телефоном, на упрощённую трёхмерную модель головы человека, представленную послойно. Для аппроксимации используется несколько биологических тканей с различными свойствами, а головной мозг задаётся однородно, без выделения трёх оболочек (твёрдой, паутинной и сосудистой). Моделирование проводилось в полосе частот от 900 МГц до 1800 МГц в соответствии со спецификацией Глобального стандарта цифровой мобильной сотовой связи (Global System for Mobile Communications – GSM). Воздействие электромагнитных полей и усреднённые значения удельного показателя поглощения были рассчитаны для модели человеческой головы в САПР HFSS v13.0 с использованием дипольной антенны, синтезированной в программе Antenna Design Kit. В результате моделирования стало очевидно, что в большей части головы электромагнитное поле относительно невелико, а область с высоким показателем поглощения располагается вблизи источника облучения. При увеличении расстояния от антенны значение удельного показателя поглощения падает, причём с ростом частоты данная зависимость становится ярко выраженной.

*Ключевые слова:* голова человека, удельный показатель поглощения, мобильный телефон, HFSS, GSM, облучение.

### Введение

Невозможно представить себе развитие современного общества без индивидуальных средств мобильной связи. Мобильный телефон стал неотъемлемой частью жизни современного человека, что обусловлено его компактными размерами, удобством использования и впечатляющим функционалом. Повсеместное ежедневное использование такого вида мобильных приёмопередающих устройств привело к появлению вопросов о возможном влиянии на здоровье человека, в частности, проявляется озабоченность о влиянии излучения на

мозг человека, так как антенны таких телефонов расположены в непосредственной близости от головы во время работы. Влияние электромагнитного излучения на биологические организмы в первую очередь обусловлено количеством поглощённой энергии электромагнитных полей [1]. Во время работы мобильного телефона приём и передача информационных сигналов на базовую станцию осуществляется по радиоканалу. Повсеместное использование таких устройств, как мобильные телефоны и базовые станции, а также постоянное повышение объёма передаваемых данных, по-

рождает ряд вопросов о воздействии излучения на организм человека в целом и органы человеческого тела в частности [2, 3]. Важным аспектом является то, что радиочастотный передатчик мобильного телефона будет создавать вблизи излучающей антенны область, известную как "ближняя зона излучения" [4, 5]. Например, для GSM-диапазона, так как радиосигнал будет излучаться на частоте 900 МГц, следовательно, длина волны составит около 30 см, таким образом, голова пользователя будет гарантированно находиться в области ближнего поля. Голова человека будет вносить неоднородность в окружающее антенну пространство и поглощать часть излучаемой радиочастотной энергии.

Этим объясняется, почему актуальной является задача моделирования поведения электромагнитных волн, так как они взаимодействуют со сложными тканями тела человека на радиочастотах. Данным вопросом занимаются как отечественные [2], так и зарубежные авторы [6, 7]. Цель данной работы – исследование распространения электромагнитных полей в голове человека, обусловленных функционированием мобильного телефона, и моделирование удельного показателя поглощения (в англоязычной литературе обозначается аббревиатурой "SAR" [8, 9, 10]) в зависимости от рабочей частоты, электрических свойств человеческой головы и расположения мобильного телефона.

При выполнении настоящей работы был применён метод конечных элементов. Данный метод заключается в разбиении всего объёма модели на тетраэдры, внутри которых поле считается однородным, а для определения величины необходимо решить систему линейных уравнений. Использование данного метода позволяет обеспечить высокий уровень универсальности численных алгоритмов, которые весьма эффективны для решения широкого круга задач, включая анализ линий передач, моделирование антенн и т.д. В качестве САПР была выбрана разработанная компанией Ansys программа High Frequency System Simulator

(далее HFSS) версии 13.0, в которой наиболее полно реализован данный метод. HFSS – это мощный пакет программ, который вычисляет многомодовые S-параметры и электромагнитные поля в трёхмерных пассивных структурах произвольной формы. Данная программа способна рассчитывать непосредственно значения удельного показателя поглощения [11], моделировать распространение электромагнитного поля через преграду [12] и т. п. Для оценки воздействия поведения электромагнитных волн на голову человека была построена трёхслойная модель, представленная на рис. 1, и рассчитаны значения удельного показателя поглощения на частотах 900 и 1800 МГц в зависимости от расстояния мобильного телефона до головы человека.

Для аппроксимации мобильного телефона была выбрана дипольная антенна без учёта влияния корпуса, так как вид её диаграммы направленности облегчает ориентирование модели головы относительно антенны. Антенна, применённая в процессе моделирования, приведена на рис. 1, где  $l$  – длина антенны,  $r$  – радиус диполя,  $t$  – зазор питания. Она представляет из себя линейный симметричный вибратор (ЛСВ). ЛСВ – проводник, в середину которого

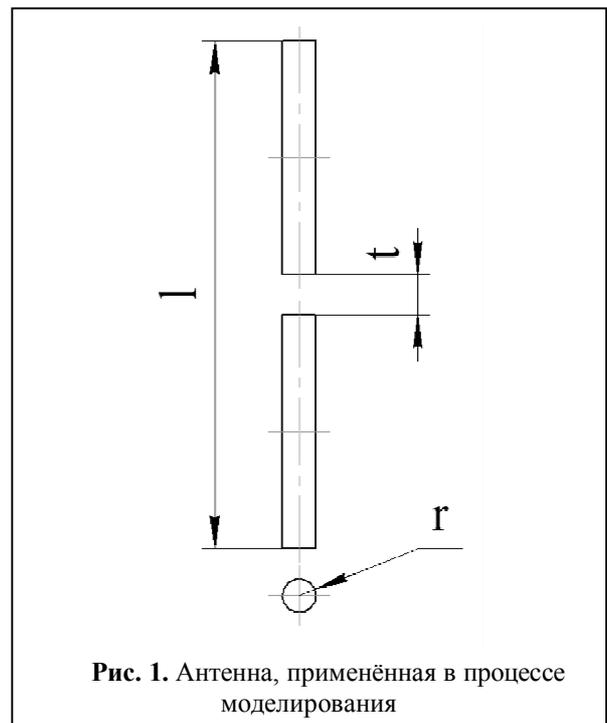


Таблица 1. Размеры антенны

Значение переменной, мм	$l$	$r$	$t$
Частота, МГц			
900	150	2,5	2,5
1800	75	1,25	1,25

вводится ЭДС и длина которого сравнима с длиной волны, а диаметр много меньше. В нём под воздействием ЭДС генератора, подключённого к зажимам вибратора, возбуждаются токи и заряды, которые создают электромагнитное поле вокруг вибратора [5]. Размеры антенны, синтезированной в программе Antenna Design Kit, для рабочих частот сотового телефона приведены в таблице 1.

В работе была использована упрощённая модель головы человека, показанная на рис. 2. Трёхмерная модель головы человека была разработана в программе Компас-3D, системе трёхмерного проектирования, ставшей стан-

дартом *de facto* для отечественных предприятий благодаря сочетанию простоты освоения и легкости работы с мощными функциональными возможностями твердотельного и поверхностного моделирования. Ключевой особенностью САПР является использование собственного математического ядра и параметрических технологий, разработанных специалистами компании АСКОН. КОМПАС-3D обеспечивает поддержку наиболее распространённых форматов 3D-моделей (STEP, ACIS, IGES, DWG, DXF), что позволяет эффективно взаимодействовать с пакетом HFSS [13]. При разработке допускались геометрические упроще-

ния. Трёхслойная модель головы состоит из: 1) мозга, заданного однородно, без выделения трёх оболочек (твёрдой, паутинной и сосудистой), желудочков, гипофиза и гипоталамуса; 2) черепа, аппроксимированного усечённым эллипсоидом вращения; 3) скальпа, который смоделирован аналогично мозгу (без выделения отдельных слоёв кожи) и выполнен также как второй слой кости. Информация о свойствах тканей была взята из литературных источников [6], которые содержат информацию об электрических свойствах некоторых биологических тканей внутри головы человека на частотах 900 и 1800 МГц.

Размещённая внутри модели головы трёхмерная модель мозга человека, применяемая при моделировании, показана на рис. 3. Необходимо отметить, что область черепа была представлена внутренней полупрозрачной трёхмерной твердотельной моделью. Внешний слой соответствует кожному покрову.

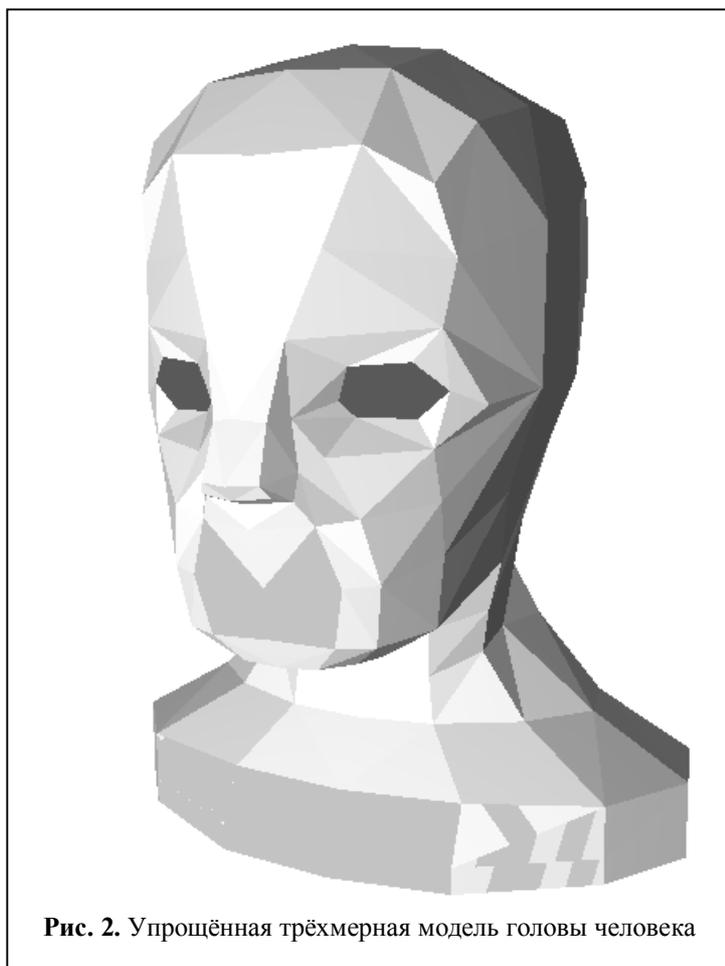


Рис. 2. Упрощённая трёхмерная модель головы человека

Дипольная антенна на рисунке представлена в виде двух проводящих цилиндров, располагающихся в начале координат с ориентацией вдоль оси аппликат.

На рис. 4–6 представлено поглощение электромагнитной энергии в объеме мозга человека на частоте 900 МГц в зависимости от расстояния до исследуемого объекта. Охвачены расстояния в диапазоне 5...100 мм.

Из приведённых иллюстраций становится очевидно, что:

- 1) электромагнитная энергия поглощается неравномерно, так как присутствуют области с высоким (обозначены красным и оранжевым цветом) и низким значением SAR (выделены зеленым и синим цветом);
- 2) наибольшее поглощение электромагнитной энергией наблюдается вблизи дипольной

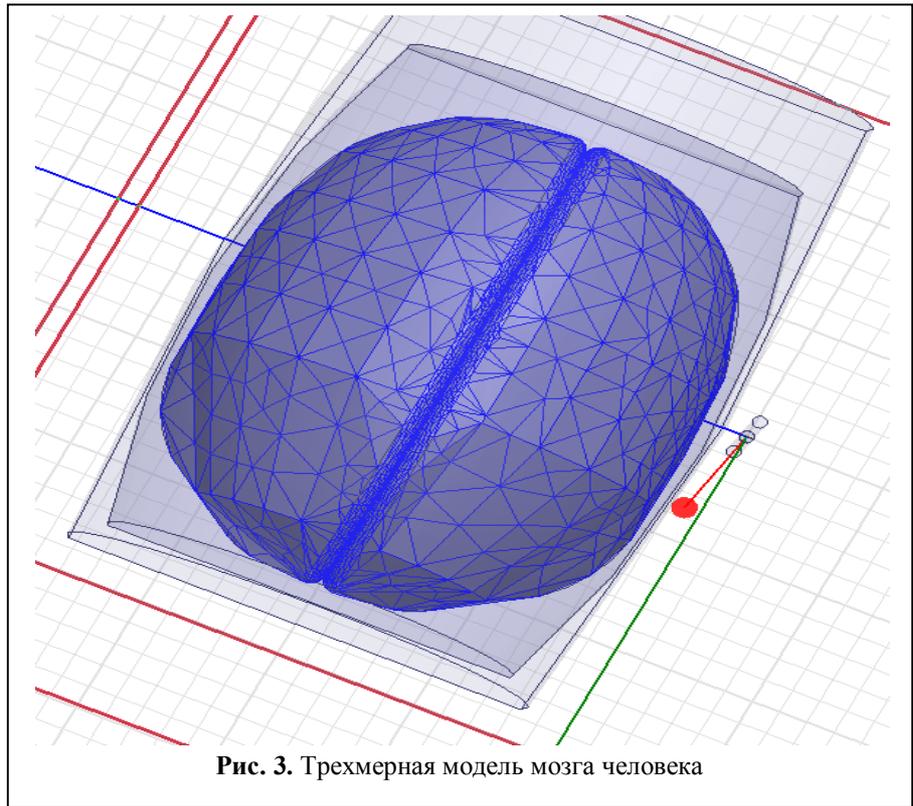


Рис. 3. Трехмерная модель мозга человека

антенны;

3) с увеличением расстояния величина SAR уменьшается, как видно из шкалы, приведённой для каждого рисунка.

На рис. 7–9 представлено поглощение электромагнитной энергии в объеме мозга человека

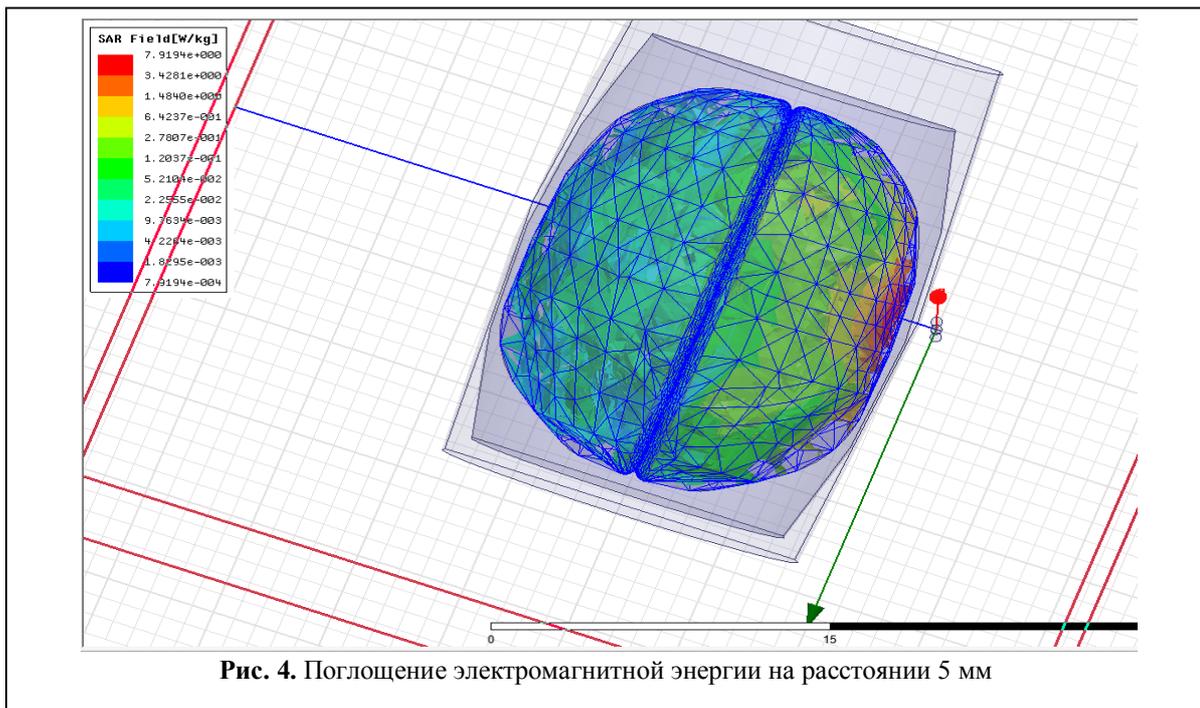


Рис. 4. Поглощение электромагнитной энергии на расстоянии 5 мм

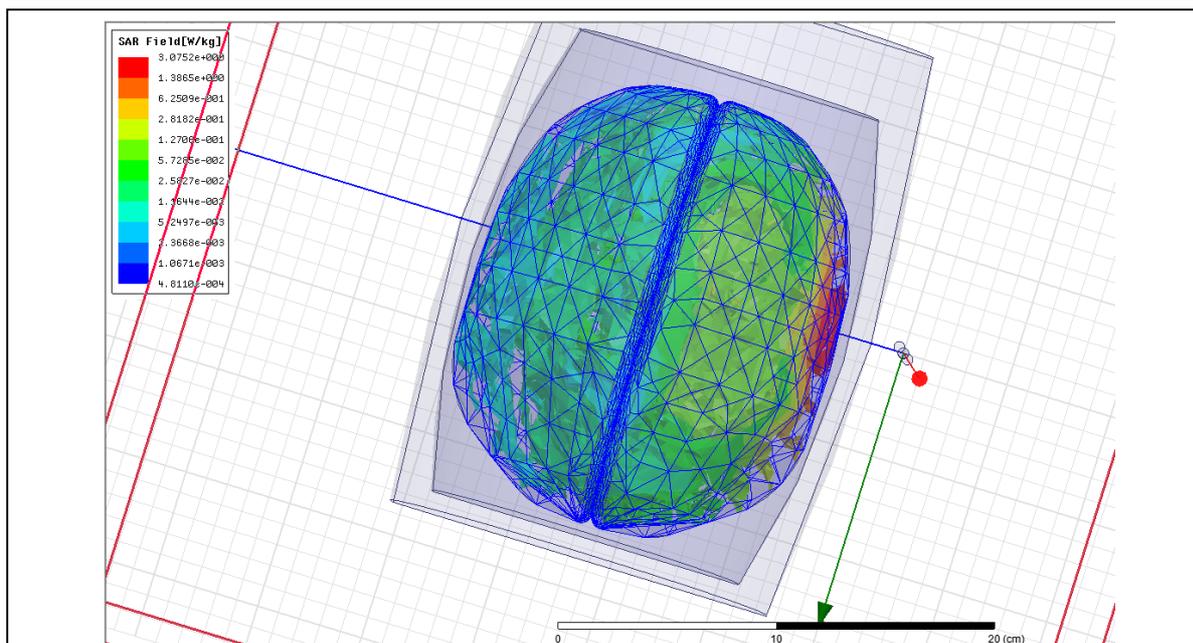


Рис. 5. Поглощение электромагнитной энергии на расстоянии 15 мм

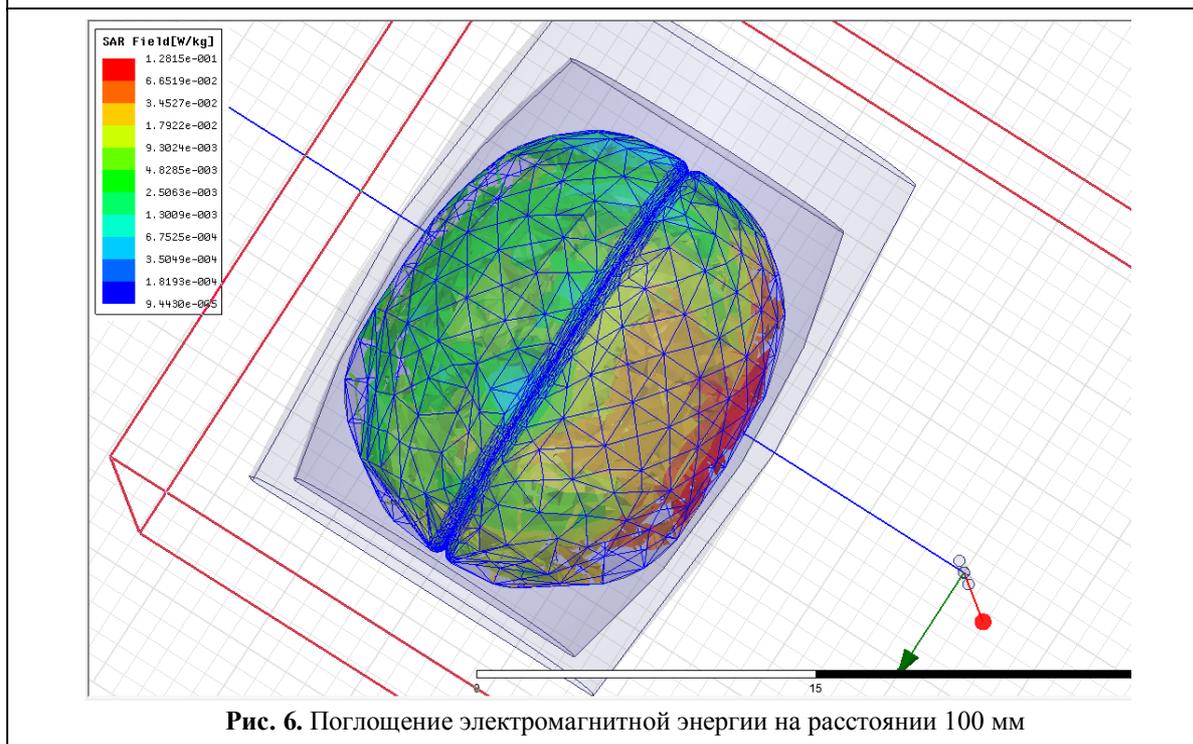


Рис. 6. Поглощение электромагнитной энергии на расстоянии 100 мм

на частоте 1800 МГц в зависимости от расстояния до исследуемого объекта. Охвачены расстояния в диапазоне 5...100 мм.

Сведём результаты моделирования в таблицу 2.

В результате проведённых исследований можно сделать следующие выводы.

1. Область с высокими значениями погло-

щения мала и близка к точке расположения антенны. В большей части головы (и мозга в частности) электромагнитное поле относительно невелико.

2. При частотной зависимости эквивалентной электропроводности и диэлектрической проницаемости, пиковое значение удельного показателя поглощения выше на частоте

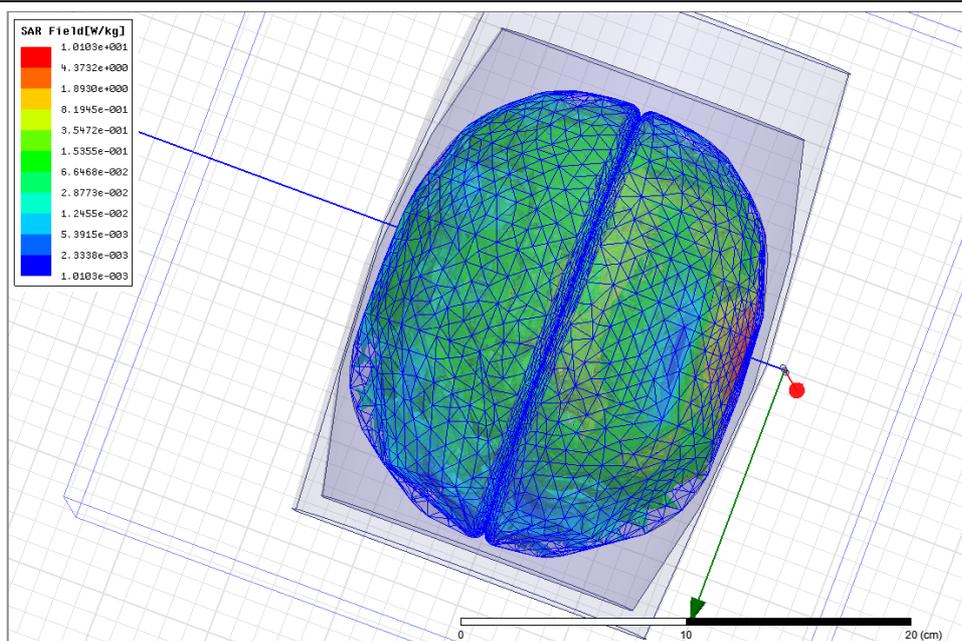


Рис. 7. Поглощение электромагнитной энергии на расстоянии 5 мм

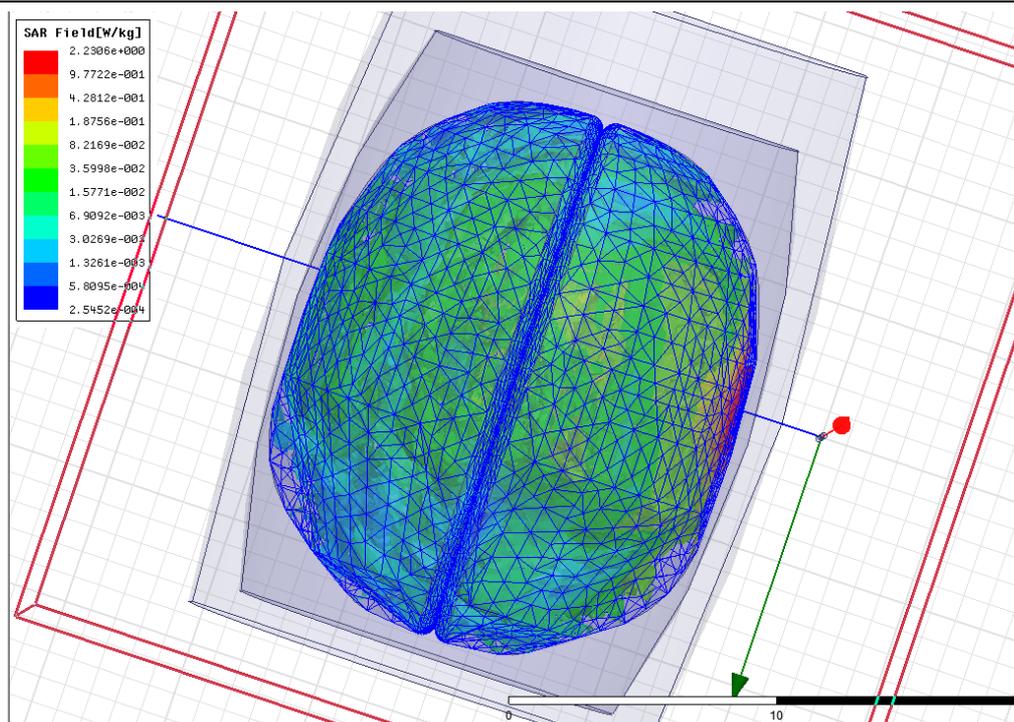


Рис. 8. Поглощение электромагнитной энергии на расстоянии 15 мм

1800 МГц, а не на частоте 900 МГц.

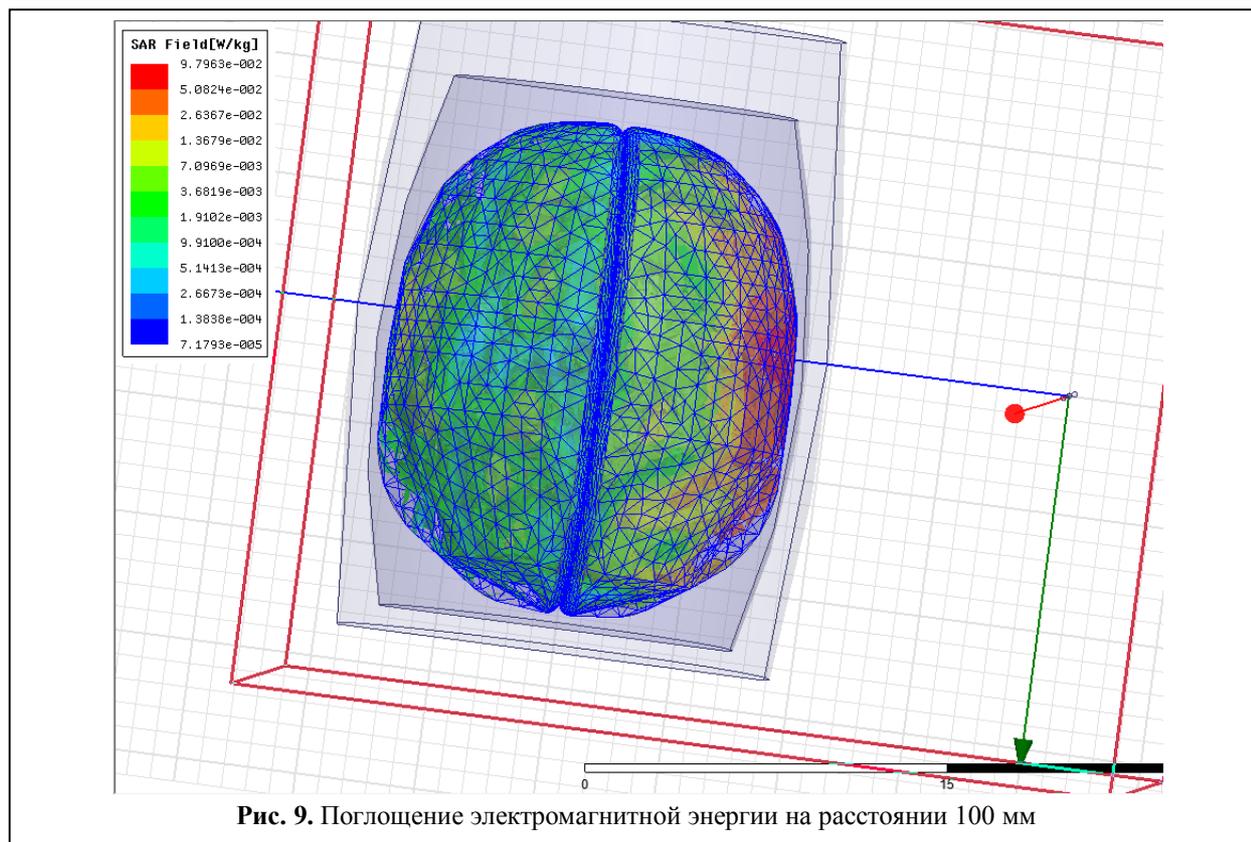
3. При увеличении расстояния от антенны значение удельного показателя поглощения уменьшается, что хорошо согласуется с литературными источниками [14].

4. С ростом частоты увеличивается зависимость величины удельного показателя погло-

щения от расстояния.

5. Костная ткань черепа поглощает меньшее количество энергии, что обусловлено низкой проводимостью.

Таким образом, важными параметрами, влияющими на удельный коэффициент поглощения электромагнитной энергии в челове-



ском мозге, подверженном воздействию излучения мобильного телефона, можно назвать следующие ключевые параметры:

- рабочая частота мобильного телефона;
- расстояние между биологическими тканями и антенной мобильного телефона.

Максимум удельного показателя поглощения увеличивается по мере увеличения рабочей частоты, однако его значение будет уменьшаться при удалении антенны мобильного телефона от головы человека.

В результате, для снижения воздействия высокочастотного электромагнитного излучения на биологические ткани можно рекомендовать пользователям применять гарнитуру или включать громкоговоритель во время разговора. Кроме того, можно рекомендовать подносить телефон к голове только после

начала разговора (то есть после инициализации соединения), чтобы избежать интенсивного облучения. Как показывает проведенное моделирование, на расстоянии 100 мм максимальное значение удельного показателя поглощения для частоты 900 МГц (составляющее 0,13 Вт/кг) будет значительно ниже установленного порогового значения в Европе (2,0 Вт/кг на 10 г тканей) и в США (1,6 Вт/кг для 1 г тканей) предельного значения удельного показателя поглощения [6].

### Литература

1. *Stavroulakis P.* Biological Effects of Electromagnetic Fields. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. 793 p.
2. *Кисель Н.Н., Клименко П.П.* Математическое моделирование взаимодействия электромагнитного поля с биологическими средами // Депони-

**Таблица 2.** Результаты моделирования

Максимальное значение SAR (Вт/кг)	f = 900 МГц			f = 1800 МГц		
	Расстояние (mm)			Расстояние (mm)		
	r = 5	r = 15	r = 100	r = 5	r = 15	r = 100
	7,7	3	0,13	12	2,2	0,09

рованная рукопись ВИНТИ № 1380-B2006 14.11.2006.

3. *Taurisano M.D., Vorst A.V.* Experimental Thermographic Analysis of Thermal Effects Induced on a human Head Exposed to 900-MHz Fields of Mobile Phones // IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. 48. No. 11. 2000. Pp. 2022–2032.

4. *Баскаков С.И.* Электродинамика и распространение радиоволн. М.: Высшая школа, 1992. 416 с.

5. *Ротхаммель К.* Антенны. В 2-х т. М.: Лайт-ЛТД, 2007. 410 с.

6. *Ismail N.B., Mohd Jenu M.* Modeling of electromagnetic wave penetration in a human head due to emissions from cellular phone // Asia-Pacific Conference On Applied electromagnetic proceedings, Melaka. 4–6 Dec. 2007. Melaka, 2007.

7. *Kuster C., Balzano Q., Lin J.C.* Mobile communication Safety. London: Chapman & Hall, 1997. 280 p.

8. *Jin J.* Electromagnetic Analysis and Design in Magnetic Resonance Imaging // New York: CRC Press, 1998. 282 p.

9. *Kshetrimayum R.S. Singh* Mobile Phones: Bad

for your Health? // IEEE Potentials. Vol. 27. No. 2. 2008. Pp. 18–20.

10. *Fang C., Qin Y., Hu C.-F.* Numerical study of human head RCS and SAR at 0.9-2.45 GHz // International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium in China, Suzhou. 1–4 Aug. 2017. Suzhou, 2017.

11. *Курушин А.А., Банков С.Е.* Моделирование антенн и СВЧ структур с помощью HFSS. М.: Солон-пресс, 2018 г. 280 с.

12. *Драч В.Е., Луганская А.И.* Моделирование влияния преграды на характеристики рупорной антенны // Вестник Рязанского государственного радиотехнического университета. 2018. № 65. С. 19–25.

13. *Большаков В.П., Тозик В.Т., Чагина А.В.* Инженерная и компьютерная графика. СПб.: БХВ-Петербург, 2012. 288 с.

14. *Тимошенко К.М., Паслён В.В.* Исследование воздействия излучения мобильного телефона на организм человека // 13-я Международная молодёжная научно-техническая конференция «Современные проблемы радиоэлектроники и телекоммуникаций, РТ-2017», Севастополь. Севастополь, 2017. С. 53.

Поступила 14 января 2019 г.

English

## EXPOSURE ASSESSMENT OF THE HUMAN HEAD TO MOBILE PHONE FIELDS

**Vladimir Evgenievich Drach** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Kaluga Affiliated Branch of Bauman Moscow State Technical University (National Research University).

*E-mail:* drach@bmstu-kaluga.ru.

**Mikhail Aleksandrovich Savvin** – Postgraduate Student, Kaluga Affiliated Branch of Bauman Moscow State Technical University (National Research University).

*E-mail:* 79108644148@yandex.ru.

*Address:* 248000, Russia, Kaluga, Bazhenov str., 2.

*Abstract:* Nowadays, a cell phone has become an integral part of modern human life, which is due to its compact size and impressive feature set. The extensive and widespread use of this type of mobile transceivers has caused questions about the possible harm to human health; in particular, there is a concern about the emission impact on the human brain, since the antennas of these phones are very close to the head while in operation. That is why the problem of modeling the behavior of electromagnetic waves is vital, as they interact with compound tissues of the human body on radio frequencies. To assess the effect of electromagnetic waves on the human head, a three-layer model was constructed and specific absorption values were calculated in frequencies of 900 and 1800 MHz, depending on the distance of the cell phone to the human head. A dipole antenna was chosen to approximate the cell phone ignoring the body impact, since the view of its direction pattern facilitates the orientation of the head model relative to the antenna. As a result of the research, the following conclusions can be made: the area with high absorption values is small and close to the antenna location point; the larger part of the head has relatively small electromagnetic field; the highest specific absorption value is higher at 1800 MHz rather than at 900 MHz with frequency dependence of equivalent electrical conductivity and dielectric inductivity.

As the distance from the antenna increases, the specific absorption value goes down, which is in good agreement with reference literature sources. Thus, important parameters affecting the specific absorbance in the head of a person exposed to a cell phone emission were as follows: the phone operating frequency and the distance between the head and the cell phone antenna. The maximum specific absorbance increases as the

operating frequency increases, but it will go down if the phone antenna starts to move away from the human head. Thus, to reduce the impact of high-frequency electromagnetic emission on biological tissues, users can be recommended to use a headset or turn on the phone speaker during a conversation.

*Keywords:* human head, specific absorbance, mobile phone, HFSS, GSM, finite-element method.

### References

1. *Stavroulakis P.* Biological Effects of Electromagnetic Fields. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2003. 793 p.
2. *Kissel N.N., Klimenko P.P.* Mathematical modeling of electromagnetic field interaction with biological media. Deposited manuscript of All-Union Institute of Scientific and Technical Information No. 1380-B2006. 14.11.2006.
3. *Taurisano M.D., Vorst A.V.* Experimental Thermographic Analysis of Thermal Effects Induced on a human Head Exposed to 900-MHz Fields of Mobile Phones. IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques. Vol. 48. No. 11. 2000. Pp. 2022–2032.
4. *Baskakov S.I.* Electrodynamics and propagation of radio waves. Moscow: Vysshaya shkola, 1992. 416 p.
5. *Rothamel K.* Antennas. In 2 vol. T. Moscow: Light-LTD, 2007. 410 p.
6. *Ismail N.B., Mohd Jenu M.* Modeling of electromagnetic wave penetration in a human head due to emissions from cellular phone. Asia-Pacific Conference on Applied electromagnetic proceedings, Melaka. 4–6 Dec. 2007. Melaka, 2007.
7. *Kuster C., Balzano Q., Lin J.C.* Mobile communication Safety. London: Chapman & Hall, 1997. 280 p.
8. *Jin J.* Electromagnetic Analysis and Design in Magnetic Resonance Imaging. New York: CRC Press, 1998. 282 p.
9. *Kshetrimayum R.S. Singh* Mobile Phones: Bad for your Health? IEEE Potentials. Vol. 27. No. 2. 2008. Pp. 18–20.
10. *Fang C., Qin Y., Hu C.-F.* Numerical study of human head RCS and SAR at 0.9–2.45 GHz. International Applied Computational Electromagnetics Society Symposium in China, Suzhou. 1–4 Aug. 2017. Suzhou, 2017.
11. *Kurushin A.A., Bankov C.E.* Modeling of antennas and microwave structures using HFSS. Moscow: Solonpress, 2018. 280 c.
12. *Drach V.E., Luganskaya A.I.* Modeling of blockage effect on horn antenna characteristics. Bulletin of Ryazan State Radio Engineering University. 2018. No. 65. Pp. 19–25.
13. *Bolshakov V.P., Tozik V.T., Chagina A.V.* Engineering and computer graphics. Saint-Petersburg: BHV-Petersburg, 2012. 288 p.
14. *Tymoshenko K.M., Paslen V.V.* Impact study of mobile phone emission on the human body. 13th International Youth Scientific and Technical Conference "Current problems of Radio Electronics and Telecommunications, RT-2017", Sevastopol. Sevastopol, 2017. P. 53.