

**ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА ДЕЙСТВУЮЩУЮ ВЫСОТУ
ВЕРТИКАЛЬНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СВЕРХНИЗКОЧАСТОТНОЙ АНТЕННЫ**

*Институт радиофизики и электроники им. А. Я. Усикова НАН Украины
12, ул. Ак. Проскуры, Харьков, 61085, Украина
E-mail: sasha@ire.kharkov.ua*

Проводится оценка возмущения сверхнизкочастотного (СНЧ) поля деревьями и кустарниками. С помощью моделирования получены функции зависимости размеров зоны влияния растения на принимаемый сигнал от размеров растения. Полученные результаты будут полезны при выборе расположения приемной СНЧ-антенны. Ил. 4. Библиогр.: 6 назв.

Ключевые слова: СНЧ-антенна, шумановский резонанс.

Известно, что искусственные объекты и естественный рельеф местности в окрестности точки приема оказывают влияние на уровень регистрируемого поля. Целью настоящей работы является учет и оценка возмущения сверхнизкочастотного (СНЧ) поля растительностью, а именно деревьями и кустарниками. Такая задача возникает при выборе места для установки приемной СНЧ-аппаратуры. Учет влияния растительности необходим также при многолетнем мониторинге сигналов шумановского резонанса. Через несколько лет после установки вертикальной электрической антенны может оказаться, что на некотором расстоянии от нее вырастут деревья или кустарник. Очевидно, что необходима оценка влияния таких объектов на действующую высоту антенны, позволяющая указать, объекты какой высоты и на каком расстоянии от антенны способны существенно повлиять на результаты измерений.

Проблема влияния растительности на электромагнитное поле достаточно хорошо изучена. Для СНЧ-диапазона этот вопрос остается частично открытым, хотя и существует ряд работ, посвященных учету возмущений СНЧ-поля искусственными объектами [1].

При регистрации вертикальной электрической составляющей низкочастотных радиоволн применяются антенны с емкостной нагрузкой. Такие антенны представляют собой проводящие датчики поля, приподнятые над земной поверхностью [2, 3]. Отметим, что несущая конструкция антенны также вносит вклад в искажение поля [4]. В настоящей работе влиянием самой антенны на поле пренебрежем.

1. Теоретические соотношения. Дерево или куст будем описывать половиной проводящего эллипсоида вращения, установленного перпендикулярно плоской идеально проводящей поверхности Земли, потенциал которой равен нулю. Обозначим через a и b две полуоси эллипсоида вращения ($b = c$). Пусть a – вертикальная полуось, ее размер равен высоте растения; b – горизонтальная полуось, размер которой равен полуширине кроны. Типичное дерево описывается вытянутым эллипсоидом ($a > b$), типичный куст – сплюснутым ($a < b$).

Поскольку в СНЧ-диапазоне все характерные размеры значительно меньше длины волны, при описании влияния местных предметов можно использовать решение задачи электростатики.

Используя симметрию задачи, сведем ее к расчету возмущения однородного электростатического поля в свободном пространстве, создаваемого проводящим эллипсоидом, ось вращения которого параллельна полю. Решение такой задачи известно из работы [5].

В случае вытянутого эллипсоида, потенциал поля вне эллипсоида имеет следующий вид:

$$\varphi = |E|x \left\{ 1 - \frac{\operatorname{arth} \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2 + \xi}} - \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2 + \xi}}}{\operatorname{arth} \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}} - \sqrt{1 - \frac{b^2}{a^2}}} \right\}.$$

Для сплюснутого эллипсоида решение имеет вид

$$\varphi = |E|x \left\{ 1 - \frac{\sqrt{\frac{b^2 - a^2}{a^2 + \xi}} - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{b^2 - a^2}{a^2 + \xi}}}{\sqrt{\frac{b^2}{a^2} - 1} - \operatorname{arctg} \sqrt{\frac{b^2}{a^2} - 1}} \right\},$$

где $|E|$ – абсолютное значение напряженности внешнего электростатического поля, а координата ξ связана с координатами x и $\rho = \sqrt{y^2 + z^2}$ соотношением:

$$\frac{\rho^2}{b^2 + \xi} + \frac{x^2}{a^2 + \xi} = 1.$$

Заметим, что оценки зоны влияния растения, получаемые при использовании данной модели, оказываются завышенными. Так как ре-

альная растительность не является идеальным проводником, то возмущения поля растительностью в действительности оказываются меньше, чем в идеализированной задаче.

2. Результаты расчетов. Пример решения задачи для эллипсоида с размерами $a = 10$ м, $b = 2$ м графически представлен на рис. 1, напряженность вертикального электростатического поля была выбрана 100 В/м (поле ясной погоды).

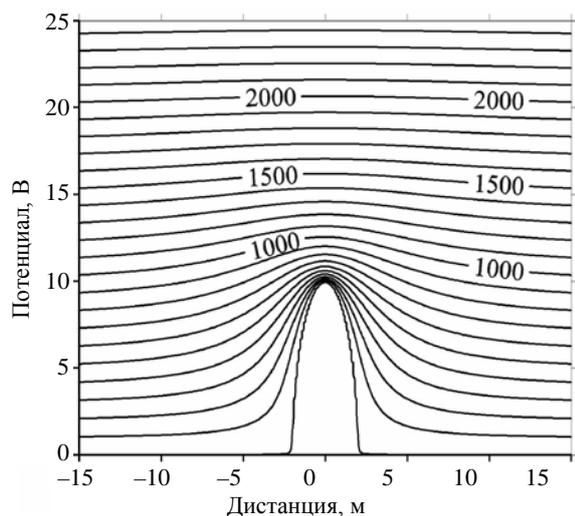
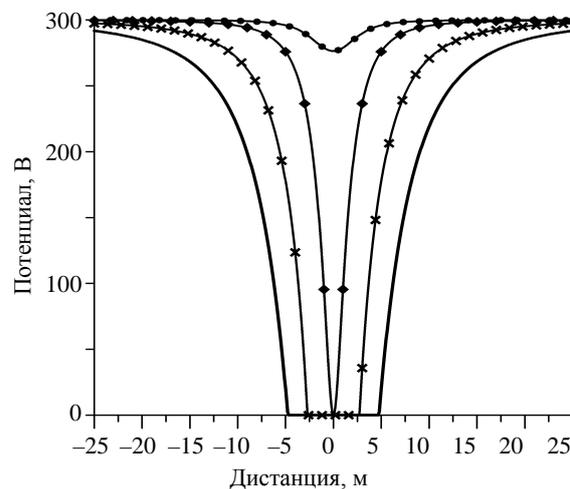


Рис. 1. Линии постоянного потенциала вне проводящего эллипсоида вращения

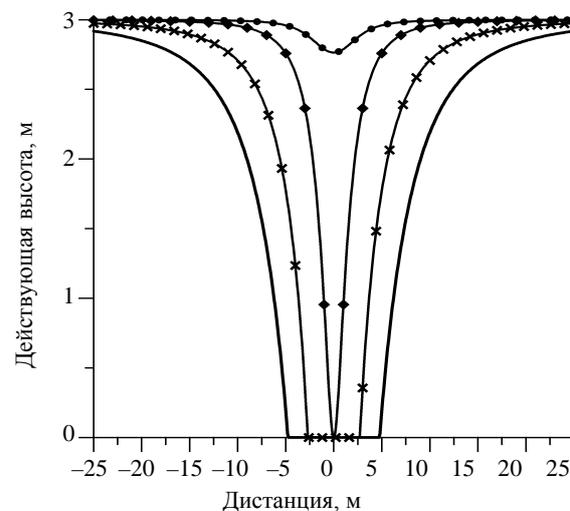
На рис. 1 в плоскости, перпендикулярной поверхности Земли, кривыми показаны линии постоянного потенциала. На оси абсцисс отмечено расстояние между центром эллипсоида и точкой измерения. Отрицательные значения соответствуют расстоянию, измеренному влево от эллипсоида. На оси ординат отмечена высота над поверхностью Земли, измеренная в метрах. Рисунок демонстрирует, что наличие дерева или куста приводит к тому, что линии малого потенциала, огибая растение, приподнимаются над поверхностью Земли. По мере удаления от своего источника, возмущение поля становится все более слабым, однако вблизи растения это влияние может существенно ухудшить прием.

Зона влияния дерева или куста на уровень поля, очевидно, зависит от размеров растения. На рис. 2, а построена зависимость потенциала поля от расстояния между центром эллипсоида и точкой измерения на уровне 3 м от поверхности Земли. На рисунке представлены кривые, соответствующие четырем вариантам горизонтальных и вертикальных размеров эллипсоида, описывающего растение. Сплошная кривая соответствует размерам $a = 10$ м, $b = 5$ м; кривая с крестами – $a = 7$ м, $b = 3$ м; кривая с ромбами – $a = 3$ м, $b = 2$ м; кривая с кружками – $a = 1$ м, $b = 2$ м. Как видно, все кривые асимптотически

стремятся к 300 В – потенциалу на высоте 3 м в случае невозмущенного однородного поля. Чем меньше размеры растения, тем ближе от него значения возмущенного потенциала будут стремиться к невозмущенным значениям. Если высота растения меньше высоты подъема датчика, то возмущение поля на уровне высоты антенны гораздо менее резкое, чем в противоположном случае.



а)



б)

Рис. 2. Зависимость потенциала от расстояния между центром эллипсоида и точкой измерения на высоте 3 м (а); зависимость действующей высоты антенны от расстояния между центром эллипсоида и точкой измерения (б)

На рис. 2, б для выбранных размеров эллипсоидов построена действующая высота антенны в зависимости от расстояния между центром эллипсоида и точкой измерения. Высота подъема датчика поля выбрана 3 м. Действующая высота вычислялась по формуле

$$h_d = \frac{\varphi}{\varphi_0} h_a,$$

где φ_0 – потенциал однородного поля; φ – потенциал возмущенного поля; h_a – высота подъема датчика поля над уровнем Земли.

Как видим из рис. 2, б, наличие растения вблизи точки приема приводит к уменьшению действующей высоты антенны. При удалении от растения действующая высота стремится к истинной, в нашем случае к 3 м.

Рассматриваемый подход позволяет оценить размер зоны влияния отдельно стоящего дерева (куста) на СНЧ-антенну и определить, как будет меняться эта зона по мере роста растения.

Задача формулировалась следующим образом. На каком минимальном расстоянии от растения возмущение потенциала на уровне высоты подъема датчика поля не превышает 1% от невозмущенного значения, т. е. потенциала однородного вертикального электрического поля? Как меняется это минимальное расстояние при росте растения? Предполагаем, что высота и ширина растения увеличиваются пропорционально, а значит, отношение диаметра кроны к высоте растения остается постоянным. Высота подъема антенны фиксирована – 3 м.

В настоящей работе задача решена для растительности различных типов. Деревья и кустарники по такой характеристике, как отношение диаметра кроны к высоте растения [6], делятся на три вида:

- растения с широкой кроной, если значение данной характеристики превышает 0,3;
- растения со средней кроной – значение лежит в пределах 0,3...0,15;
- растения с узкой кроной – значение меньше чем 0,15.

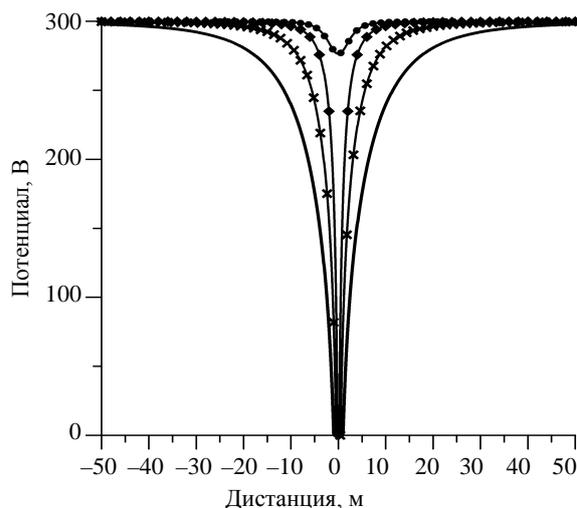
Решение задачи для растения с отношением диаметра кроны к высоте растения 1/10 (в терминах размеров эллипсоида $b/a = 1/20$) графически изображено на рис 3.

На рис. 3, а построены зависимости потенциала от расстояния между центром основания дерева (центром эллипсоида, описывающего растение) и точкой на уровне 3 м от поверхности Земли. Представлены кривые, соответствующие четырем размерам растения:

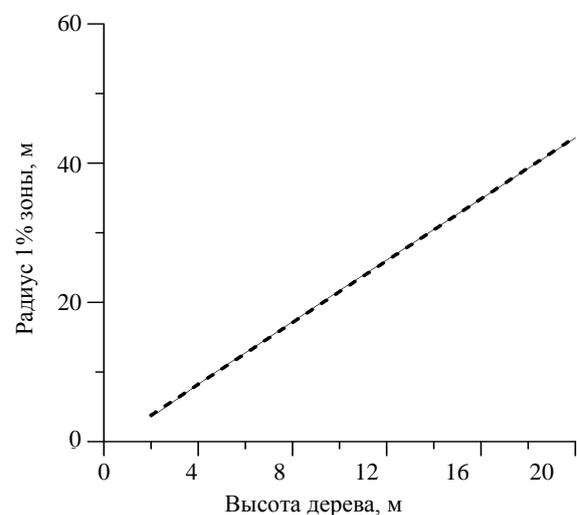
- сплошная кривая соответствует высоте растения $a = 20$ м;
- кривая с крестами – $a = 10$ м;
- кривая с ромбами – $a = 5$ м;
- кривая с кружками – $a = 2$ м.

Диаметры кроны, как уже отмечалось, изменяются пропорционально высотам.

По полученным зависимостям можно оценить минимальное расстояние от растения, при котором возмущение потенциала поля на уровне 3 м не превышает 1%.



а)



б)

Рис. 3. Зависимость потенциала от расстояния между центром эллипсоида и точкой на высоте 3 м (а); зависимость минимального расстояния от высоты растения (б)

График функции минимального расстояния, т. е. радиуса 1% зоны, в зависимости от высоты растения представлен на рис. 3, б: на оси абсцисс отложена высота дерева, на оси ординат – искомое расстояние в метрах; пунктирной прямой показано приближение полученной зависимости с помощью линейной функции. Как видно, связь между радиусом 1% зоны и высотой растения практически совпадает с линейной функцией: $R = 2,22a - 0,65$.

При других соотношениях между диаметром кроны и высотой дерева зависимость радиуса 1% зоны от высоты растения также оказывается практически линейной: $R = ka - p$, где коэффициент пропорциональности k и число p зависят от отношения b/a . Примеры зависимостей

для каждого из трех типов растений приведены на рис 4.

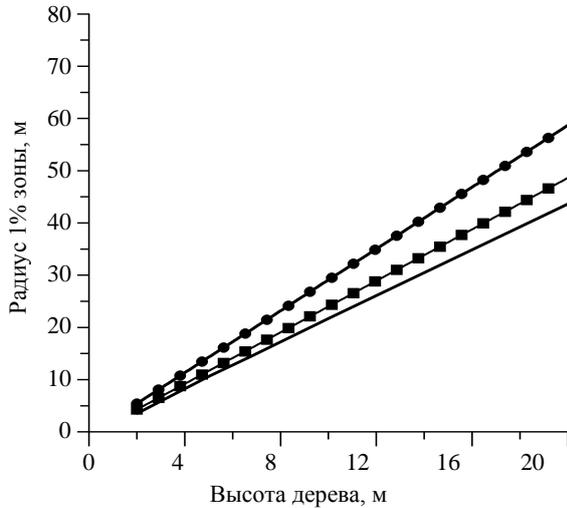


Рис. 4. Зависимости радиуса 1% зоны от высоты растения при различных соотношениях b/a

Пример для растения с широкой кроной показан кривой с кружками. В представленном случае соотношение b/a было выбрано равным $1/4$. Линейная функция, соответствующая такому соотношению между радиусом кроны и высотой растения, имеет следующий вид: $R = 2,96a - 0,52$.

Кривая с ромбами соответствует растению со средней кроной ($b/a = 1/10$). Линейная зависимость в данном случае: $R = 2,47a - 0,64$.

Сплошной кривой показаны результаты, полученные для растения с узкой кроной ($b/a = 1/20$). Линейная зависимость в данном случае: $R = 2,22a - 0,65$.

Как иллюстрируют полученные данные, число p не превышает 1 м для деревьев любого типа, а коэффициент пропорциональности k увеличивается с увеличением ширины кроны растения относительно высоты.

Расчеты показали, что для деревьев с узкой кроной коэффициент пропорциональности k менее 2,3; для деревьев со средней кроной k лежит в пределах 2,3...2,75; для деревьев с широкой кроной k может превышать 2,75. Другими словами, дерево высотой 10 м можно игнорировать начиная с расстояния в 23 м, если это, например, пирамидальный кипарис; с расстояния 23...27 м, если это береза и с расстояния 27,5 м, если это дуб.

Выводы. Таким образом, проведена оценка зоны влияния отдельно стоящего дерева (куста) на действующую высоту СНЧ вертикальной электрической антенны.

Показано, что для растений и кустарников различных типов связь между радиусом зоны влияния и высотой растения практически линейна.

Расчеты показали, что для деревьев с узкой кроной коэффициент пропорциональности между размером растения и радиусом 1% зоны влияния оказывается менее 2,3; для деревьев со средней кроной коэффициент лежит в пределах 2,3...2,75; для деревьев с широкой кроной коэффициент может превышать 2,75.

Полученные результаты будут полезны при выборе расположения приемной СНЧ-антенны, а также для оценки изменения влияния растения на принимаемый СНЧ-сигнал по мере роста растения.

1. Ogawa T. Effective height of the ball antenna for measuring ELF radio signals/ T. Ogawa and Y. Tanaka // Special Contr. Geophys. Inst. Kyoto University. – 1970. – N 10. – P. 29–34.
2. Ogawa T. Analyses of measurement techniques of electric fields and currents in the atmosphere / T. Ogawa // Special Contr. Geophys. Inst. Kyoto University. – 1973. – N 13. – P. 111–137.
3. Nickolaenko A. P. Resonances in the Earth – Ionosphere Cavity / A. P. Nickolaenko, M. Hayakawa. – Dordrecht – Boston – London: Kluwer Academic Publishers, 2002. – 380 p.
4. Кудинцева И. Г. О действующей высоте низкочастотной вертикальной электрической антенны / И. Г. Кудинцева, А. П. Николаенко // Изв. вузов. Радиопизика. – 1989. – № 32. – С. 253–254.
5. Ландау Л. Д. Электродинамика сплошных сред / Л. Д. Ландау, Е. М. Лившиц. – М.: Гостехиздат, 1957. – 532 с.
6. Ботанические сады. Параметры кроны. – URL: <http://www.msa-auer.ru/lesoparki/taksacia5.html>.

Рукопись поступила 31.08.2011.

Е. И. Yatsevich, A. P. Nickolaenko

EVALUATION OF THE IMPACT OF VEGETATION ON THE CURRENT HEIGHT OF THE VERTICAL ELECTRIC ELF ANTENNA

The work is devoted to the evaluation of ELF field disturbance by trees and bush. By simulation dependences of the sizes of the zone of influence of plants on the received signal on plant size were obtained. Results derived may be useful for selecting the deposition receiving ELF antenna.

Key words: ELF antenna, Schumann resonance.

О. І. Яцевич, О. П. Ніколаєнко

ОЦІНКА ВПЛИВУ РОСЛИННОСТІ НА ДІЮЧУ ВИСОТУ ВЕРТИКАЛЬНОЇ ЕЛЕКТРИЧНОЇ НАДНИЗЬКОЧАСТОТНОЇ АНТЕНИ

Оцінюється збурення наднизкочастотного (ННЧ) поля деревами та кущами. За допомогою моделювання отримано функції залежності розмірів зони впливу рослини на сигнал, що приймається, від розмірів рослини. Отримані результати будуть корисні при виборі розташування приймальної ННЧ-антени.

Ключові слова: ННЧ-антена, шуманівський резонанс.