

УДК [621.3:537] 635

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПОЛЕЙ, СОЗДАВАЕМЫХ СИСТЕМОЙ НАМАГНИЧЕННЫХ ЧАСТИЦ

Куценко Ю.Н., к.т.н.

*Таврический государственный агротехнологический университет*

Тел. (0619) 42-31-59

**Аннотация** – выполнены теоретические исследования и проведены численные расчеты по определению параметров магнитных полей

**Ключевые слова** – теоретические исследования, магнитные поля, статика, обменные процессы в растениях.

*Постановка проблемы.* Огурцы и томаты занимают существенную составляющую рациона человека. Сегодня, за данными статистики [1,2], потребление овощей населением Запорожской области не соответствует нормам, более половины продукции не удовлетворяет требованиям качества государственным стандартам Украины: ДСТУ 3246-95 и ДСТУ 3247-95.

Урожайность огурцов и томатов в защищенном грунте составляет в среднем 12...15 кг/м<sup>2</sup>. Для повышения эффективности производства овощей необходимо внедрение современных экологически чистых энергосберегающих систем обработки почвы на основе активации гетерогенных структур.

Статические магнитные поля, как фактор активизации, на сегодня являются одним из направлений для исследования.

*Анализ последних исследований.* Следует отметить, что наличие магнитного поля может оказывать существенное влияние на скорость движения элементов питательной среды в корневой системе растений. Интенсивность процесса питания зависит от величины напряженности внешнего магнитного поля, в котором находится корневая система растений [3].

*Формулирование цели статьи.* В работе поставлена задача определить параметры статических магнитных полей с целью установления взаимосвязи интенсивности полей с процессами развития растений для повышения урожайности овощных культур.

*Основная часть.* В предыдущих работах получены выражения, описывающие статическое электрическое и магнитное поля, которое

создают вокруг себя частицы, несущие электрический или магнитный заряд. При этом сами заряды могут быть как постоянными, так и переменными. Однако полученные поля соответствуют одиночному источнику. Определим величины полей в том случае, когда имеется система частиц, несущих на себе какой-то заряд. Будем при этом учитывать, что в нашем случае это система намагниченных частиц, расположенных для простоты в узлах прямоугольной сетки. Центр системы координат расположен в центре квадрата, кроме того, будем считать для простоты, что все частицы имеют форму шара [4].

Поскольку рассматривается случай воздействия намагниченных частиц, внесенных в почву, на корневую систему растений, то необходимо принять, что  $\vec{E}_0^{(0)} = 0$ , а также учесть то, что эти частицы создают статические магнитные поля, то есть  $\omega = 0$ . В результате данных предположений получим выражение

$$\vec{H}^{(0)}(\vec{r}) = \vec{H}_0^{(0)} + \tilde{P} \frac{V}{4\pi|\vec{r}|\Delta_M} \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \tilde{A}_M \vec{H}_0^{(0)}. \quad (1)$$

При этом статические электрические поля считаются равными нулю.

Выясним, как изменится результирующее магнитное поле в произвольной точке почвы в результате взаимодействия системы рассматриваемых частиц. Будем рассматривать суммарное поле, создаваемое системой из четырех намагниченных сфер, расположенных в вершинах квадрата. Плоскость, в которой лежат частицы, параллельна поверхности почвы, а расстояние между частицами таково, что можно рассматривать взаимодействие между ними посредством создаваемых ими полей, то есть пользоваться выражением (1).

Поля в такой системе будут определяться как сумма полей, поэтому в (1) появится выражение, определяющее магнитные поля, создаваемые внутри каждой намагниченной частицы соседними элементами

$$\vec{H}^{(0)}(\vec{r}) = \sum_{n=1}^4 \tilde{P} \frac{V}{4\pi|\vec{r} - \vec{r}_{0n}|\Delta_M} \left( \frac{\mu}{\mu_0} - 1 \right) \tilde{A}_M \sum_{m=1}^4 \vec{H}_{0n}^{(0)}(\vec{r}_{0n} - \vec{r}_{0m}), \quad (2)$$

где  $\vec{r}$  – произвольная точка внутри рассматриваемого квадрата;

$\vec{r}_{0n}$  – координаты центров всех рассматриваемых намагниченных частиц;

$\vec{r}_{0m}$  – координата центра намагниченной частицы, которая создает поле в точке  $\vec{r}_{0n}$ .

Записывая выражение 2 в виде системы из четырех уравнений с четырьмя неизвестными амплитудами статических магнитных полей для центров каждой из намагниченных частиц рассматриваемой системы, можно найти значения этих амплитуд и, следовательно, определить напряженность магнитного поля в произвольной точке. Подставляя за-

тем найденные амплитуды в (2), определяем величину магнитного поля в произвольной точке  $\vec{r}$ .

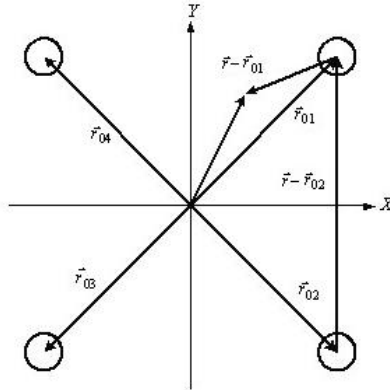


Рис. 1. Расположение намагниченных частиц и координаты их центров.

На основе предложенной модели был произведен расчет статических магнитных полей, создаваемых системой намагниченных частиц.

С целью упрощения расчетов положим, что намагниченные частицы ориентированы так, что вектор магнитного поля  $\vec{H}_{0n}^{(0)}$ , создаваемого ими, направлен по оси  $OX$ , то есть имеет только одну составляющую  $H_{0nx}^{(0)}$ . Данное предположение не умаляет общность расчетов, так как позволяет получить полную картину распределения магнитных полей в почве между намагниченными частицами и просчитать амплитуды этих полей в различных точках. Если при этом пренебречь возможной анизотропией частиц, то для расчетов можно воспользоваться следующим выражением:

$$\vec{H}^{(0)}(\vec{r}) = \frac{9R^3(\mu - \mu_0)}{12\mu + 8\mu_0} \sum_{n=1}^4 \vec{G}(\vec{r} - \vec{r}_{0n}), \quad (3)$$

где вектор  $\vec{G}(\vec{r} - \vec{r}_{0n})$  содержит следующие компоненты

$$G_x(\vec{r} - \vec{r}_{0n}) = - \left[ \frac{\mu + 7\mu_0}{9\mu_0} \cdot \frac{-2(x - x_{0n})^2 + (y - y_{0n})^2}{\left(\sqrt{(x - x_{0n})^2 + (y - y_{0n})^2}\right)^5} + \frac{2\mu}{3\mu_0} \cdot \frac{(x - x_{0n})(y - y_{0n})}{\left(\sqrt{(x - x_{0n})^2 + (y - y_{0n})^2}\right)^5} \right] H_{0nx}. \quad (4)$$

$$G_y(\vec{r} - \vec{r}_{0n}) = - \left[ \frac{\mu + 7\mu_0}{9\mu_0} \cdot \frac{(x - x_{0n})(y - y_{0n})}{\left(\sqrt{(x - x_{0n})^2 + (y - y_{0n})^2}\right)^5} + \frac{2\mu}{3\mu_0} \cdot \frac{(x - x_{0n})^2 - 2(y - y_{0n})^2}{\left(\sqrt{(x - x_{0n})^2 + (y - y_{0n})^2}\right)^5} \right] H_{0nx}. \quad (5)$$

$$G_z(\vec{r} - \vec{r}_{0n}) = 0. \quad (6)$$

Таким образом, из выражений (4 – 6) следует, что созданное в почве магнитоэстатическое поле будет содержать компоненты  $H_x^{(0)}(\vec{r})$  и  $H_y^{(0)}(\vec{r})$ . Распределение поля по глубине считаем для простоты отсутствующим.

Полученные выше выражения позволяют произвести расчет распределения магнитоэстатических полей при различных параметрах намагниченных частиц в горизонтальной плоскости, которая параллельна поверхности почвы.

В качестве образца были рассмотрены единичные сферические намагниченные объекты. Объекты были расположены в вершине квадрата со стороной равной 60 см. Радиус сфер взят равным 0,003 м. Считалось, что сферы являются смесью ферромагнитных порошков со средней относительной магнитной проницаемостью  $\mu = 5000$ . Напряженность создаваемого ими магнитного поля бралась равной  $5 \cdot 10^4$  А/м.

Получено распределение векторного статического поля  $\vec{H}^{(0)}(\vec{r})$  как внутри квадрата (рис. 2), так и с учетом областей почвы, прилегающих с внешней стороны.

Полученные графические зависимости позволяют оценить однородность и стабильность в ориентации векторов магнитного поля. Так, из более детального графика (рис. 2) следует, что между создающими стационарное магнитное поле сферами направление векторов практически не меняется, что позволяет сделать вывод о практически неизменном воздействии этих полей на корневую систему растений.

Анализ рис. 3 показывает, что некоторая хаотичность в ориентации векторов возникает лишь вблизи элементов, создающих магнитное поле. Таким образом, следует вывод, что для получения однородного результата необходимо располагать создающие магнитное поле объекты на некотором удалении от растений.

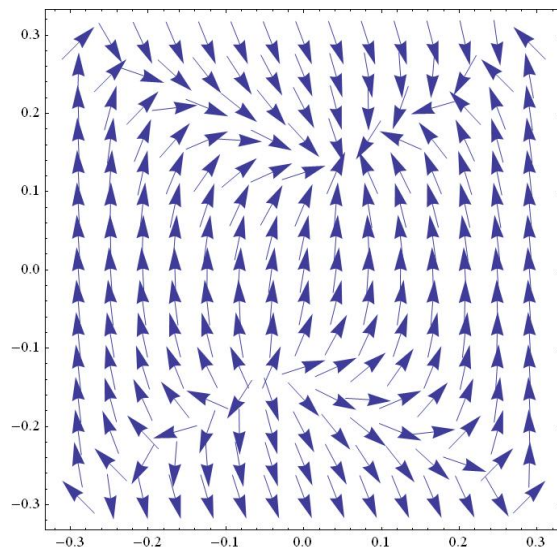


Рис. 2. Распределение векторного статического поля  $\vec{H}^{(0)}(\vec{r})$  внутри квадрата с вершинами в точках расположения намагниченных сфер.

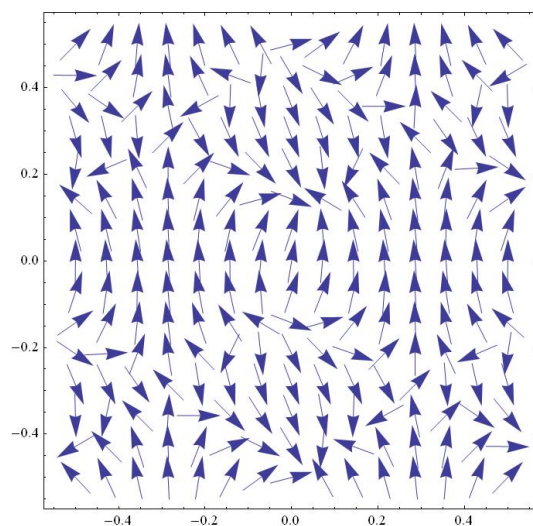


Рис. 3. Распределение векторного статического поля  $\vec{H}^{(0)}(\vec{r})$  в почве с учетом областей между намагниченными сферами и вне квадрата.

На рис. 4 и 5 для аналогичных размеров рассматриваемой области показаны векторные линии стационарного магнитного поля между намагниченными элементами (рис. 4), а также с учетом области, лежащей вне квадрата (5).

Вид рис. 4 подтверждает вывод о практически неизменной ориентации векторов магнитного поля между порождающими их объектами. Следовательно, одинаковые магнитные характеристики сфер позволяют надеяться на одинаковый результат воздействия на корневую систему растений, то есть экстраполировать результат внутри одиночного квадрата на систему аналогичных ячеек.

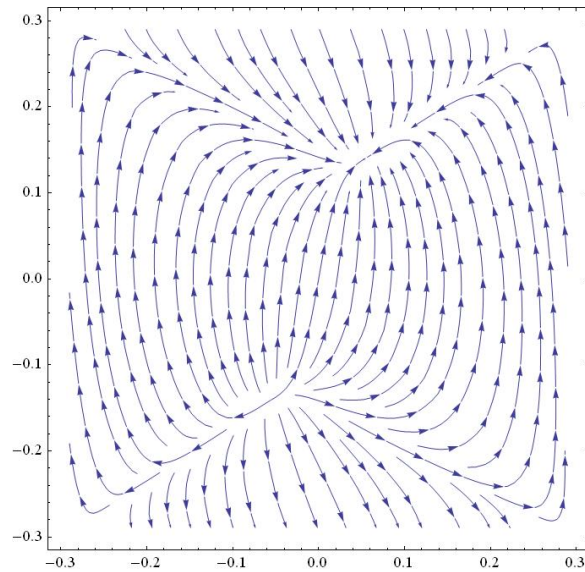


Рис. 4. Векторные линии статического магнитного поля  $\vec{H}^{(0)}(\vec{r})$  внутри квадрата с вершинами в точках расположения намагниченных сфер.

Увеличение масштаба графика (рис.5) подтверждает сделанный вывод, так как характер направления силовых линий практически не меняется.

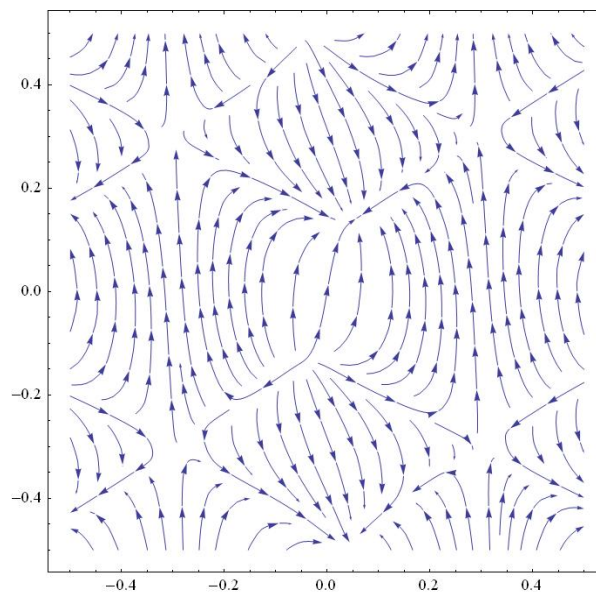


Рис. 5. Векторные линии статического магнитного поля  $\vec{H}^{(0)}(\vec{r})$  в почве с учетом областей между намагниченными сферами и вне квадрата.

Характер поведения эквипотенциальных линий возбужденного стационарного магнитного поля представлен на рис. 6, 7.

Густота расположения этих линий характеризует напряженность поля. Очевидно, что на удалении порядка 0,1 м от намагниченной сферы величина напряженности практически перестает меняться и воздействие на растения, расположенные в различных точках почвы,

будут аналогичными, что позволяет прогнозировать ожидаемый результат.

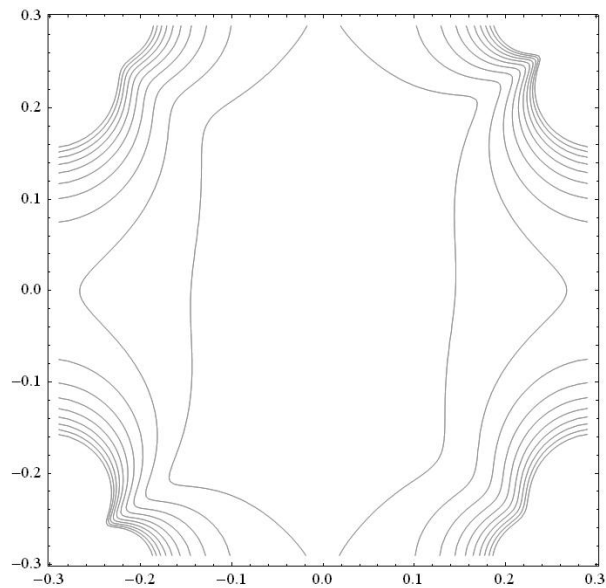


Рис. 6. Эквипотенциальные линии статического магнитного поля  $\vec{H}^{(0)}(\vec{r})$  внутри квадрата с вершинами в точках расположения намагниченных сфер.

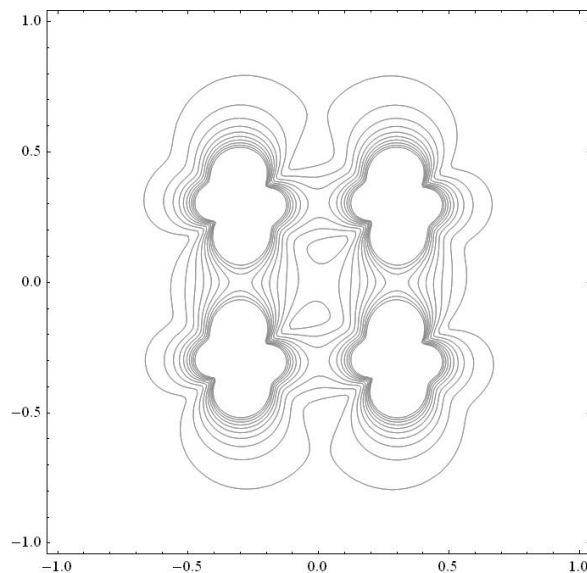


Рис. 7. Эквипотенциальные линии статического магнитного поля  $\vec{H}^{(0)}(\vec{r})$  в почве с учетом областей между намагниченными сферами и вне квадрата.

Рис. 7 демонстрирует практически полную идентичность формы эквипотенциальных линий магнитного поля и геометрической фигу-

ры, в вершинах которой расположены возбуждающие это магнитное поле элементы.

Что касается рисунка 7, то он подтверждает необходимость расположения возбуждающих магнитное поле элементов на некотором удалении (до 0,1 м) от корневой системы обрабатываемых растений, так как вблизи этих элементов амплитуда магнитного поля существенно возрастает, а это, в свою очередь, приведет к неравномерной обработке растений.

На рис. 8 представлен трехмерный график зависимости амплитуды стационарного магнитного поля от координат точек между источниками этого поля.

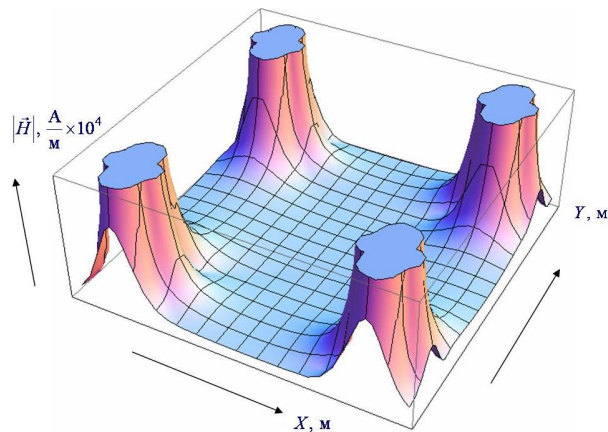


Рис. 8. Зависимость амплитуды статического магнитного поля  $\vec{H}^{(0)}(\vec{r})$  от координат точек, расположенных между источниками этого поля.

Данный график наглядно демонстрирует гладкое поведение данной амплитуды кроме точек, в которых расположены сами источники. Величина магнитного поля в почве изменяется от  $1,5 \cdot 10^4$  А/м до  $4 \cdot 10^4$  А/м вблизи намагниченных сфер.

Была рассчитана зависимость модуля амплитуды магнитного поля от координат линии, соединяющей центры намагниченных сфер. Как видно из графика (рис. 9), амплитуда быстро уменьшается при удалении от центра сферы, а затем становится практически неизменной. На линиях, не пересекающих центры сфер, резких подъемов в концах линии не наблюдается, однако минимальное значение амплитуды поля остается таким же.

*Выводы.* Аналогичные расчеты были проведены и для других размеров намагниченных сфер, их расстояния друг от друга, напряженности магнитного поля, создаваемого ими. Полученные результаты имеют такой же характер, но следует отметить, что с увеличением расстояния между сферами более 60 см напряженность магнитного поля в почве значительно уменьшается, что не позволяет эффективно использовать его в целях воздействия на корневую систему расположенных рядом с ними растений.



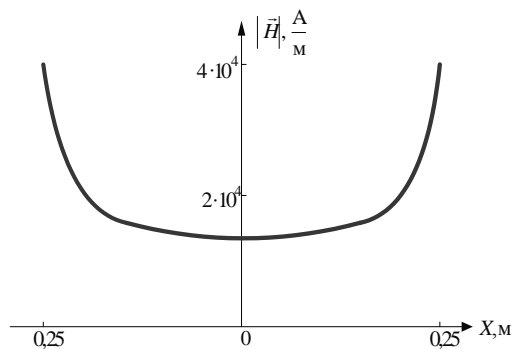


Рис. 9. Зависимость амплитуды статического магнитного поля  $\vec{H}^{(0)}(\vec{r})$  от координат точек, расположенных на прямой линии между источниками этого поля.

#### Литература

1. Баланси та споживання основних продуктів харчування населенням України / За ред. *Ю.М. Остапчука*. – К.: Державний комітет статистики, 2010. – 54 с.

2. Програма забезпечення продовольчої безпеки Запорізької області на 2011-2015 роки [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.zoda.gov.ua/images/article/original/000018/18936/programa-prod-bezpeki-2011-2015.pdf>.

3. *Куценко Ю.М.* Модель взаємодії феромагнітних частинок в магнітному полі / *Ю.М. Куценко* // Науково-прикладний журнал. Технічна електродинаміка. – К.: Інститут електродинаміки НАН України, 2004. – Частина 3. – С.8-11.

4. *Никольский В.В.* Электродинамика и распространение радиоволн / *В.В. Никольский, Т.И. Никольская*. – М.: Наука, 1989. – 543 с.

### ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПОЛІВ, ЯКІ СТВОРЮЮТЬСЯ СИСТЕМОЮ ЧАСТИНОК, ЩО НАМАГНІЧУЮТЬСЯ

Куценко Ю.М.

#### Анотація

Виконані теоретичні дослідження та виконані чисельні розрахунки з визначення параметрів магнітних полів

### DETERMINING THE PARAMETERS FIELDS CREATED SYSTEM MAGNETIZED PARTICLE

Yu. Kutsenko

#### Summary

Theoretical studies and numerical calculations are performed to determine the parameters of the magnetic fields.