

**Черкашин Юрий Семёнович**

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

АО «Радиотехнический институт им. академика А.Л. Минца»

г. Москва

## НАЧАЛА НОВОЙ (ПОСТМАКСВЕЛЛОВСКОЙ) ЭЛЕКТРОДИНАМИКИ

*«Векторы  $\vec{E}$  и  $\vec{B}$  постепенно исчезают из современной записи физических законов: их вытесняют потенциалы  $\vec{A}$  и  $\phi$ » [1, с. 26].*

**Аннотация:** в данной статье рассматривается проблема новой (пост-максвелловской) электродинамики. В некоторых авторских работах [2; 3] утверждается, что введенный Д. Максвеллом в уравнения электрического поля «ток смещения» является лишним. С исключением из рассмотрения этого тока исчезают волновые свойства электромагнитных полей и их материальность. Вместо них на первое место выходят электрический и магнитный потенциалы. Вся электродинамика должна быть «перекроена». Автором предложена структура изложения новой электродинамики.

**Ключевые слова:** электродинамика, теория поля, электрическое поле, электрические потенциалы, магнитные потенциалы.

1. В книге «Новая электродинамика на базе уравнений потенциалов» [3] и упомянутой статье [2] была показана ошибочность уравнения Максвелла.

И электрическое и магнитное поле являются лишь скоростью изменения потенциалов. Временные изменения магнитного потенциала воспринимается как электрическое поле  $-\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \vec{E}_{инд}$ , пространственные изменения как магнитное поле  $rot \vec{A} = \vec{B}$ . Пространственные изменения электрического потенциала воспринимаются тоже как электрическое поле  $-grad \phi = \vec{E}$ . Поле напряженности электрического поля является производной потенциалов в переносном и прямом смысле слова.

С учетом вышесказанного: *самый верхний ранг (уровень) уравнений поля есть уравнения потенциалов*. Уравнения поля следуют из них. Ниже уровнем идут уравнения цепей, «закон Ома» и так далее.

Структура изложения электродинамики должна быть, видимо, такой:

## *2. Начала новой (постмаксвелловской) электродинамики*

В 1600 г. (415 лет тому назад) английский врач Вильям Гильберт систематизировал известные явления по электричеству и магнетизму. Работа практического значения не имела. 230 лет назад, в 1785 г француз Шарль Кулон открыл первый закон, где люди научились проводить первые электрические измерения, что является первым признаком появления науки. В 1800 году Вольта изобрел источник гальванического тока. В 1820 году Эрстед и Ампер дали первые описания взаимодействия электрических токов.

Практическое использование электричества и электрической энергии стало возможным только после открытия в 1831 г (всего 185 лет тому назад) английским ученым Майклом Фарадеем закона электромагнитной индукции. Благодаря этому открытию из груды железа, меди, небольшого количества бумаги и быстрого движения стало можно получать и передавать на большие расстояния тепло, свет, механическую силу и много всего другого. Возникли и стали развиваться «Теоретические основы электротехники». «Теория электромагнитного поля».

Многочисленными опытами установлено, что между двумя электрическими зарядами или токами существуют силы взаимодействия. Рассматриваемые далее математические зависимости являются результатом обработки данных многих опытов. Пространство, в котором происходит изменение тех или иных параметров принято называть полем: поле температур, поле скоростей (например, метеоданные), поле сил. На вносимый в поле сил заряд или ток действует сила. При передвижении заряда или тока производится работа. Работа по перемещению единичного заряда или элемента тока (величиной в единицу и не имеющего размерности) называется потенциалом. Понятие вводится для того, чтобы найденный однажды, часто трудным образом, потенциал мог пригодиться для расчётов с любым внесённым зарядом.

Например, механический потенциал шара в точках на поверхности стола одинаковый, в точках над его поверхностью он больше. Для подъёма шара на некоторую высоту требуется сила (равная силе тяжести). Сила подъёма единицы массы определяется уравнением:  $\vec{F}_1 = -\text{grad}\varphi_{\text{тяж}} = g_{\text{земли}}$  – градиент потенциала. Сила подъёма тела конкретной массы  $m$   $F = mg_{\text{земли}}$ . Поверхности равного потенциала называются эквипотенциалами. В данном случае – это плоскости, точнее сферы большого диаметра.

### 2.1. Электрические и магнитные потенциалы

Источниками потенциалов являются: для электрических полей электрические заряды, для магнитных полей токи.

2.1.1. В пространствах занятых зарядами действует закон Кулона:

$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{R_{1,2}^2} \vec{r}_{1,2}$  Вектор силы направлен вдоль прямой, соединяющей точки расположения зарядов, при одинаковом знаке зарядов в сторону расталкивания. В точке 2 может оказаться заряд любой величины. Если ввести понятие *единичный заряд*, по величине равный единице и не имеющий размерности, формула приобретёт вид:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{R}, \quad (2.1)$$

где  $R$  расстояние от заряда до точки наблюдения. Сама величина называется «*потенциал*». Он представляет собой работу, которую надо совершить для переноса единичного заряда издалека в характеризующую точку наблюдения. Если заряд будет не единичный, а конкретный (в кулонах), то работа получится в джоулях. Потенциал величина скалярная, не векторная. Это свойство особенно удобно при наличии группы зарядов, так как потенциал в точке наблюдения будет просто суммой потенциалов от каждого заряда по отдельности. Потенциал группы зарядов.

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_n \frac{q_n}{R_n}$$

Если заряды распределены в пространстве с плотностью  $\rho$ , то потенциал будет равен.

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \int \frac{\rho}{R_u} dV. \quad (2.2)$$

Силу, действующую на единичный заряд, называют напряженностью электрического поля и обозначают  $\vec{E}$ .

$$\vec{E} = -grad\varphi. \quad (2.3)$$

Градиент представляет собой функцию, которая строит из прилежащих к точке значений (например, температуры) вектор, показывающий величину и направление самого быстрого изменения обследуемой величины (здесь температуры). При такой последовательности действий можно найти поле в большинстве конфигураций расположения зарядов, например, поле внутри, выше плоскости заряженного кольца. Для прямого нахождения поля, с использованием закона Гаусса, требуется наличие симметрии.

Сила, действующая на конкретный заряд  $q_2$ :

$$\vec{F} = q_2 \vec{E}. \quad (2.4)$$

Работа по перемещению единичного заряда определяется разностью потенциалов.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int \vec{E} d\vec{l} \quad (2.5)$$

Работа по перемещению конкретного заряда:  $(\varphi_1 - \varphi_2)q_2 = q_2 \int \vec{E} d\vec{l}$ .

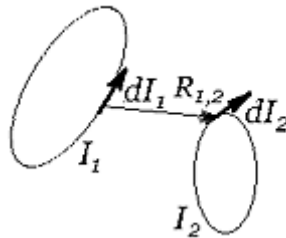
Работа за единицу времени – мощность:  $w = (\varphi_1 - \varphi_2) \frac{q_2}{\Delta t} = u \cdot i$ .

Здесь мы видим отличие нового изложения начал электродинамики от предыдущего: Как и раньше источником поля являются электрические заряды. Раньше заряд создавал электрическое поле, теперь создаёт поле электрического потенциала. Электрическое поле является градиентом потенциала. Один из ярких примеров отличия подхода является сфера с равномерно расположенным на поверхности зарядом. Расчёт потенциала дает его прямое значение как внутри, так и вне сферы [3, с. 14]. Потенциал внутри сферы равен потенциалу на поверхности снаружи. Электрическое поле внутри равно нулю, так как  $\vec{E} = -grad(\varphi) = -grad(const) = 0$ .

При прежнем подходе заряды, расположенные на сферической поверхности, должны бы давать внутри напряженность электрического поля (хотя бы вблизи поверхности).

Для определения потенциала «снаружи» через электрическое поле приходилось прибегать к рассуждениям о значении постоянной интегрирования. Этим недостатком обладают все расчёты, в которых восстановление основной величины производится через известную её производную.

2.1.2. Теперь рассмотрим поле группы *подвижных зарядов – электрического тока*.



Каждая точка пространства характеризуется векторным потенциалом. Составляющая векторного потенциала в произвольной точке пространства, например, в точке расположения элемента второго тока от элемента первого тока имеет такое же вид, как и скалярный потенциал электрического поля, с тем отличием, что теперь это величина векторная.

$$d\vec{A} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{Id\vec{l}}{R_{1,2}} \quad (2.6)$$

Направление элемента вектора потенциала совпадает с направлением элемента действующего тока. Потенциал от всей группы элементов тока первого кольца [5, с. 630]:

$$\vec{A} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \int_V \frac{\vec{\delta}dV}{R_u} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \int_L \frac{Id\vec{l}}{R_u} \quad (2.7)$$

Магнитное поле тока:

$$\vec{B} = \text{rot}\vec{A}. \quad (2.8)$$

В векторном поле токов роль градиента потенциала играет ротор (rot) вектора. Приведём механическую иллюстрацию функции ротора: Возьмем

вращающийся «волчок». Если взять роторы скоростей движения различных частей тела волчка, то мы получим значение (удвоенное) угловой скорости вращения, одинаковое для всех точек. То есть мы будем констатировать, что тело вращается с некой угловой скоростью. Вектор скорости будет направлен вдоль оси вращения. Если ось волчка будет прецессировать, то будет прецессировать и вектор векторного потенциала. Если оператор ротора применить к скоростям частиц в помешиваемом стакане чая, то векторы угловой скорости в центре стакана и ближе к стенкам будут разными.

Сила, действующая на элемент второго тока:

$$d\vec{F} = I_2[d\vec{l}_2\vec{B}], \quad (2.9)$$

В электростатике в аналогичном выражении (2.4) действует скалярное произведение аналогичных величин.

Здесь мы видим отличие нового изложения начал электродинамики от предыдущего: Как и раньше источником магнитного поля являются электрические токи. Раньше ток создавал магнитное поле, теперь он создаёт магнитный потенциал. Магнитное поле является ротором потенциала. Один из ярких примеров отличия подхода – тороидальная катушка индуктивности или длинный соленоид. Ток создает магнитный потенциал и внутри катушки и снаружи. Магнитное поле индукции существует только внутри катушки, снаружи это поле равно нулю.

2.1.3. Третий столп фундамента электродинамики – закон Фарадея.

$$\boxed{-\frac{\partial \vec{A}}{\partial t} = \vec{E}_{инд}} \quad (2.10)$$

Закон отражает связь изменений магнитного потенциала с напряженностью электрического поля. Его известная интегральная форма:  $\mathcal{E}DC_{инд} = -\frac{\partial \Phi}{\partial t}$ .

## 2.2. Излучение и распространение энергии

Волновая зависимость потенциалов от расстояния и времени (аргумент функций  $(t - r_{xp}/c)$ ) определяет то, что с возникновением в некоторой точке пространства, исчезновением или изменением источника (заряда или тока) от этой

точки начинает распространяться изменение потенциала [1, с. 120, 149]. Очевидно, что это продвижение происходит со скоростью света.

Запаздывающие потенциалы распространяются волновым образом (без изменения облика, рисунка поля) и с ними распространяются поля. Диаграмма «направленности» поля потенциала определяет диаграмму направленности электрического и магнитного полей. Потенциалы играют первичную роль. Электрическое и магнитное поля не самостоятельны. Они являются просто характеристикой скорости изменения потенциалов. Поля не могут распространяться без потенциалов. Если признать, что добавление Максвеллом в уравнения поля «тока смещения» есть волюнтаризм, то *не* придется говорить о каком-то самостоятельном виде движения полей кроме движения потенциалов.

Когда поле потенциала и связанные с ним электрические и магнитные поля, достигают границы раздела двух сред, в новой среде возникают смещение связанных зарядов или токи, которые создают новую картину поля потенциалов и других полей (отражение).

С исключением из уравнений «тока смещения», исчезают волновые уравнения распространения электрического и магнитного поля [1, с. 124], [4, с. 390], и само понятие распространения полей. Исчезает понятие материальности поля.

Изменение формул электродинамики приведёт к изменению теории поля, теории распространения радиоволн, изменению теории антенн, остальная часть теоретических основ электротехники останется практически неизменной. Разве что, в разделах «Электрические машины» термин «вращающееся магнитное поле» должен быть заменен на «вращающийся магнитный потенциал».

### ***Список литературы***

1. Фейнман Р. Фейнмановские лекции по физике. Т. 6 / Р. Фейнман, Р. Лейтон, М. Сэндс. – М.: Мир, 1966.
2. Черкашин Ю.С. Распространение электрических сигналов по двухпроводным линиям с позиций теории поля // Научное и образовательное пространство: перспективы развития: Сборник VII Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары: Центр научного сотрудничества «Интерактив плюс», 2018.

3. Черкашин Ю.С. Новая электродинамика на базе уравнений потенциалов. – М.: Ленанд, 2017.
4. Круг К.А. Основы электротехники. – М.: ГЭИ, 1952.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. – М.: Высшая школа, 1964.