

3 Электрическое поле постоянного тока

3.1 Уравнения, характеризующие электрическое поле постоянного тока

Электрическое поле постоянных токов – это поле, создаваемое неизменными во времени движущимися зарядами. Если в среде отсутствуют неподвижные заряды и магнитные массы, то из полной системы уравнений, электромагнитного поля (1.27), для описания электрического поля постоянного тока останутся уравнения:

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{rot}\mathbf{E} &= \mathbf{0}; \\ \mathbf{div}\mathbf{D} &= \mathbf{0}; \\ \mathbf{div}\boldsymbol{\delta} &= \mathbf{0}; \\ \boldsymbol{\delta} &= \gamma\mathbf{E}. \end{aligned} \right\} \quad (3.1)$$

Уравнение $\boldsymbol{\delta} = \gamma\mathbf{E}$ – есть закон Ома в дифференциальной форме. Из него следует, что силовые линии вектора \mathbf{E} совпадают с линиями вектора плотности тока $\boldsymbol{\delta}$. Это значит, что при переходе из одной среды во вторую с равными сечениями S ($\delta_1 = \delta_2$) и разными проводимостями γ ($\gamma_1 \neq \gamma_2$) на границе раздела происходит скачкообразное изменение величины \mathbf{E} .

Уравнение $\mathbf{div}\boldsymbol{\delta} = \mathbf{0}$ – есть первый закон Кирхгофа в дифференциальной форме. Оно означает, что в любой точке поля нет ни истока, ни стока линий $\boldsymbol{\delta}$.

Выделим элементарный объем в проводящей среде, по которой протекает постоянный электрический ток (рисунок 3.1).

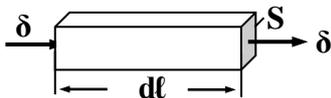


Рисунок 3.1.

При протекании тока в проводящей среде расходуется активная мощность \mathbf{P} и проводящая среда нагревается, $\mathbf{P} = \mathbf{I}^2 \cdot \mathbf{R}$. В единице объема проводящей среды выделяется мощность \mathbf{P}/V .

Количество теплоты Q , выделяемой в единице объема при протекании электрического тока определяется по закону Джоуля-Ленца:

$$Q = 0,24I^2Rt .$$

Сила тока I в общем случае определяется через поверхностный интеграл

$$I = \int_s \boldsymbol{\delta} d\mathbf{S} = \boldsymbol{\delta} \cdot \mathbf{S} = \gamma\mathbf{E}S .$$

Сопротивление \mathbf{R} и объем ΔV проводящей среды элементарной длины $d\mathbf{l}$ определяются по формулам:

$$\mathbf{R} = \frac{d\mathbf{l}}{\gamma S}; \quad \Delta V = S \cdot d\mathbf{l}.$$

Подставив полученные значения I , \mathbf{R} и ΔV получим формулы для определения мощности, расходуемой в единице объема:

$$\mathbf{P}_{\text{уд}} = \frac{\gamma^2 \mathbf{E}^2 \mathbf{S}^2 d\ell}{\mathbf{S} d\ell \cdot \gamma \mathbf{S}} = \gamma \mathbf{E}^2 = \frac{\delta^2}{\gamma}. \quad (3.2)$$

Поскольку мощность в единицу времени есть энергия, то следует, что в единицу времени в проводящей среде выделяется удельная тепловая энергия $\mathbf{Q}_{\text{уд}}$, равная $\gamma \mathbf{E}^2$.