

### 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  $\gamma$  ( $\gamma_1 \neq \gamma_2$ ) 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).

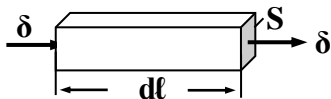


Рисунок 3.1.

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  $\mathbf{P}/\mathbf{V}$ .

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  $\Delta\mathbf{V}$  проводящей среды элементарной длины  $d\mathbf{l}$  определяются по формулам:

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

Подставив полученные значения  $I$ ,  $\mathbf{R}$  и  $\Delta\mathbf{V}$  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  $\gamma \mathbf{E}^2$ .