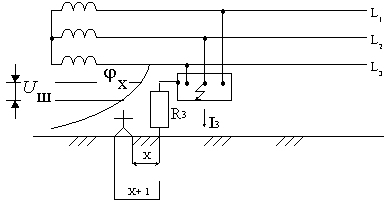
###### **ЛЕКЦИЯ 11**

**АНАЛИЗ ОПАСНОСТИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ШАГА**

В случае замыкания фазы на землю (обрыв и падение фазного провода на землю, замыкание фазы на корпус заземленного оборудования и т.д.) (рис.1) происходит растекание тока в земле (грунте).



### Рис. 1. Схема включения человека под напряжением шага

На поверхности земли появляется электрический потенциал φ(х) величина которого зависит от величины тока замыкания на землю *I*3, удельного сопротивления грунта ρ3 в зоне растекания тока и расстояния от точки замыкания х.

В зоне растекания тока человек может оказаться под разностью потенциалов, например на расстоянии шага.

Напряжение шага – это напряжение между двумя точками на поверхности земли на расстоянии 1 м одна от другой, которое принимается равным длине шага человека.

*U*ш = φ (*х*) – φ (*х* + 1)

Остановимся подробней на этом явлении – растекания тока в земле.

**Физические основы протекания тока в земле**

Стекание тока в землю происходит через проводник, находящийся с ней в непосредственном контакте.

При замыкании одной фазы электроустановки на землю происходит резкое снижение потенциала (напряжение относительно земли *U*3, В) заземлившейся токоведущей части до значения, равного произведению тока, стекающего в землю (*I*3, А) на сопротивление, которое этот ток встречает на своем пути, т.е. сопротивление заземлителя растеканию тока. (*R*3, Ом) *U*3 = *I*3*R*3.

Однако наряду с понижением потенциала, что хорошо, происходит появление напряжения на заземлителе и находящихся в контакте с ним металлических частях, а также на поверхности грунта вокруг места стекания тока в землю.

Разности потенциалов отдельных точек при этом могут достигать больших значений и представлять опасность для человека

Для комплексного рассмотрения физических основ протекания тока в земле принимаются следующие допущения:

1. Земля по всей толще предполагается однородной, т.е. обладающей одним и тем же удельным электрическим сопротивлением ρ3 = const.

Среднее значение удельного сопротивления земли принимается ρ3 =

= 100 Ом·м.

2. Предполагается, что плотность *j* в любой точке земли постоянная во времени по величине и направлению, *j* = const.

Плотность тока прямо пропорциональна напряженности электричес-кого поля *j* = *Е*/ρ3; *Е* = *j*ρ3, т.к. линии тока *j* совпадают с линиями напряженности электрического поля *Е*. Следовательно, в любой точке земли напряженность электрического поля также постоянна во времени и направлению, *Е* = const.

Вследствие постоянства плотности тока величина магнитного истока, пронизывающего любой контур в земле, постоянная во времени *dФ*/*dt* = 0. Из постоянства магнитного потока для любого контура следует, что интеграл напряженности электрического поля между точками А и В не зависит от пути интегрирования:

,

откуда

 = *U*АВ,

где *х* – путь интегрирования от А к В.

Отсюда следует, что напряженность электрического поля в земле при протекании по ней постоянных токов равна градиенту электрического потенциала *Е* = *dU*/*dх*.

При стекании тока с заземлителя в землю необходимо учитывать граничные условия на поверхности раздела электрод – земля.

**Определение потенциала при стекании тока**

**через шаровой заземлитель**

Для определение потенциала, создаваемого в земле и на её поверхности при протекании тока через заземлитель, рассматриваем заземлитель как шаровой – радиусом *r* (м) (рис. 2) Через этот шар в землю по проводнику стекает ток *I*3.

φ

Iз φ=ƒ

h

r0 χ

А

*L*

χ = 

### Рис. 2. Схема стекания тока с шарового заземлителя

Учитывая принятые раннее допущения плотность тока:

,

Напряженность электрического поля *Е* = *dU*/*dх*; Отсюда потенциал *dU* = *Е**dх*, с другой стороны *j* = *Е*/ρ3; *Е* = *j*ρ3

*dU* = *Е**dх* = *j*ρ3*dх* = ρ3*dх*

,

максимальный потенциал будет при наименьшем значении х, равным радиусу заземлителя, т.е. непосредственно на заземлителе:

,

В любой точке земли .

**Определение потенциала при стекании тока**

**через полушаровой заземлитель**

Заземлитель, расположенный на поверхности земли, можно рассматривать, как полушаровой (рис. 3).

Учитывая принятые ранее допущения:

, *j* = *Е*/ρ3; *Е* = *j*ρ3

### *Е* = *dU*/*dх*; *dU* = *Е**dх*

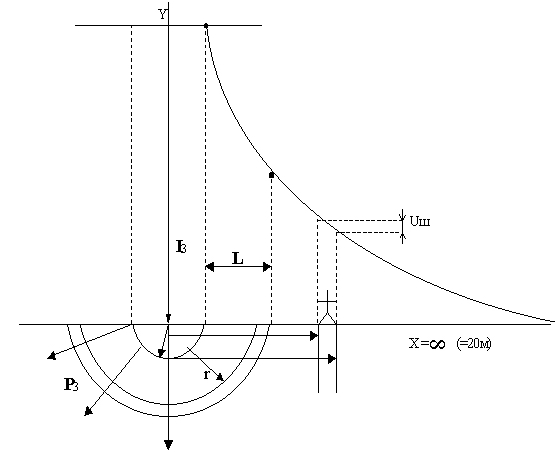
,

,

.

С другой стороны потенциал любой точки земли в том числе и на поверхности будет пропорционален падению напряжения сопротивления элементарного слоя земли между эквипотенциальными поверхностями (полусферами) с радиусами *r* и (*r* + *dr*) в грунте с удельным сопротивлением ρ3 (рис.3):





### Рис. 3. Схема стекания тока с полушарового заземлителя

Всё сопротивление растекания тока с заземлителя полушара радиусом *r*о составит:

,

Потенциал на заземлителе:

,

В любой точке А в земле от нуля до *х*:

.

Если человек идет к месту заземления, то через ноги и тело человека будет протекать ток, который зависит от напряжения, создаваемого разностью потенциалов точек *х*1 и *х*2.



*х*1 и *х*2 - расстояния от центра заземления до ног человека.