

Лекция №4 (продолжение темы №2).

Напряжение прикосновения и шага.

U_{np} - это разность потенциалов двух точек цепи тока, которых одновременно касается человек.

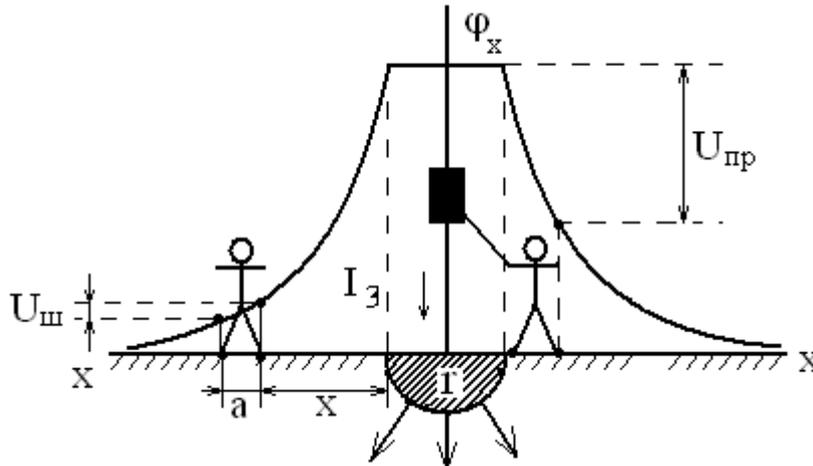


Рис.20. К определению U_{np} и U_{sh} в зоне полусферического зз.

$$U_{np} = \varphi_3 - \varphi_x = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r+x} \right), (26)$$

В сложных зз. U_{np} определяется как часть φ_3 :

$$U_{np} = \alpha_{np} \varphi_3$$

где $\alpha_{np} = f(S, L, l, t, \rho, \dots) \leq 1$ - коэффициент (еще b, d, x) напряжения прикосновения определяется из таблиц (он учитывает форму потенциальной кривой).

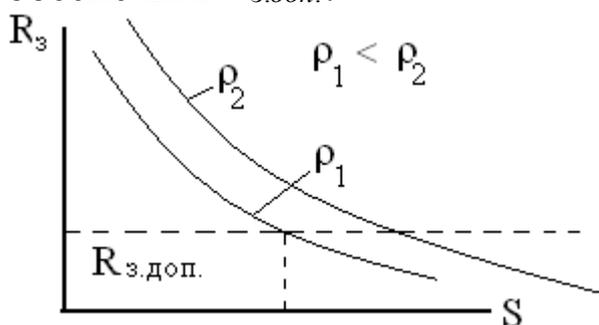
Напряжением шага называется разность потенциалов двух точек в местах опоры ступеней ног.

$$U_{sh} = \varphi_x - \varphi_{x+a} = \frac{I_3 \rho}{2\pi} \left(\frac{1}{r+x} - \frac{1}{r+x+a} \right), (27)$$

где $a = 0,8 \div 1,0$ м - длина шага.

Расчет зз. по допустимому U_{np} .

В грунтах с $\rho > 500 \text{ Ом}$ или при малых площадях зз. невозможно обеспечить $R_{з.доп.}$.



Согласно ГОСТ 12.1.030-81 вблизи рабочих мест $b = 1 \div 3$ м, а вне зоны обслуживания $b = 6 \div 10 \div 20$ м.

Рис.21. Зависимость R_3 от площади зз.

В указанных условиях можно обеспечить $U_{np.доп.}$ с помощью увеличения частоты сетки, исходя из уравнения:

$$U_{np.} \leq U_{np.доп.}$$

Контроль зз. производят не реже 2 раз в год. Сопротивление зз. измеряют по схеме:

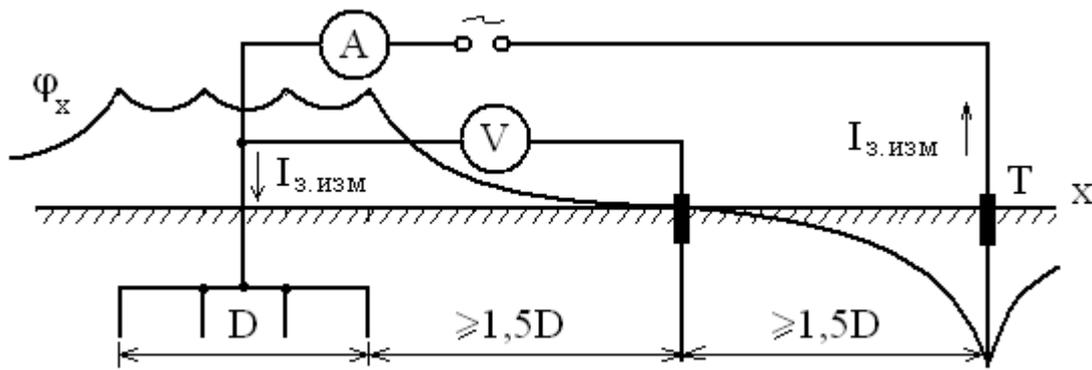


Рис.22. Схема измерения R_z методом амперметра – вольтметра.

$$R_{з.изм.} = \frac{U_{з.изм.}}{I_{з.изм.}}, (I_з \approx 10A)$$

Зануление.

Зануление применяют в сетях с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1000В.

Назначение зануления - устранение опасности поражения током в случае прикосновения к металлическим нетоковедущим частям, оказывающимся под напряжением.

Принцип действия защиты занулением заключается в автоматическом отключении поврежденного участка и одновременно – в снижении $\varphi_з$ корпуса на время, пока не сработает отключающий аппарат (тах токовая защита).

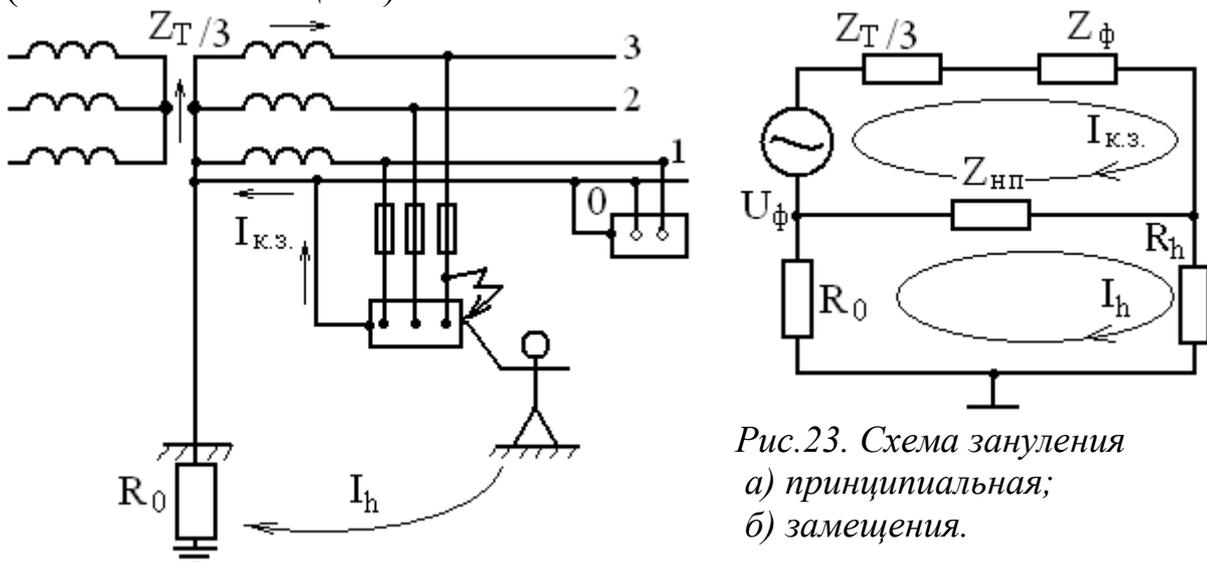


Рис.23. Схема зануления
а) принципиальная;
б) замещения.

Основные требования к занулению – обеспечить надежное и быстрое (доли секунды) срабатывание защиты для отключения поврежденного оборудования. Для этого необходимо обеспечить условие:

$$I_{к.з.} \geq k \cdot I_{ном},$$

где $I_{ном}$ - номинальный ток плавного предохранителя или ток установки (срабатывания) автоматического отключения аппарата;

k – коэффициент надежности срабатывания.

Нормирование зануления (ГОСТ 12.1.030 - 81):

а) Сопротивление нулевого проводника

$$Z_{н.п.} \leq 2Z_{\phi},$$

б) сопротивление рабочего заземлителя

$$R_0 \leq 2 - 4 - 8 \text{ Ом}, (\text{при } U_{ном} = 660 - 380 - 220 \text{ В соответственно})$$

в) коэффициент надежности:

- для плавких выключателей $k \geq 3$;

- для автоматических выключателей с электромагнитным расцепителем (осечкой) $k = 1,25 - 1,4$.

Расчет зануления.

Заключается в выборе нулевого защитного проводника с сопротивлением, обеспечивающим требуемый ток короткого замыкания и выборе отключающего аппарата, время срабатывания которого $t_{откл.} \leq t_{доп.}$

Ток к.з. в комплексной форме

$$I_{к.з.} = \frac{\dot{U}_{\phi}}{Z_T/3 + Z_{\phi} + Z_{н.п.} + x_{\phi.-н.п.}} = \frac{\dot{U}_{\phi}}{Z_T/3 + Z_n}$$

Z_T - сопротивление трансформатора комплексное (принимается из таблицы).

В расчетах допустимо использовать формулу: $I_{к.з.} = \frac{U_{\phi}}{\sqrt{|Z_T/3| + |Z_n|}}$

$$|Z_n| = \sqrt{(R_{\phi} + R_{н.п.})^2 + (x_{\phi} + x_{н.п.} + x_{\phi.-н.п.})^2},$$

где R_{ϕ} и $R_{н.п.}$ по формуле

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

где ρ - удельное сопротивление проводника для Cu – $0,018 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$, для

Al – $0,028 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$;

l – длина проводника (м);

S – сечение проводника (мм^2).

x_{ϕ} и $x_{н.п.}$ - для медных и алюминиевых проводников сравнительно малы ($\approx 0,0156 \frac{\text{Ом}}{\text{км}}$), ими можно пренебречь.

$x_{\phi.-н.п.}$ - взаимное индуктивное сопротивление петли «фаза – нулевой проводник»

$$x_{\phi.-н.п.} = \omega M = \omega \frac{\mu_r \mu_0}{\pi} l \ln \frac{2D}{d}, \mu_0 = 4\pi 10^{-7} \text{ Гн/м};$$

В практических расчетах удельное взаимное индуктивное сопротивление

$$x'_{\phi.-н.п.} = 0,6 \text{ Ом/км}$$

$$x_{\phi.-н.п.} = 0,6l \text{ Ом}, \text{ где } l - (\text{в км})$$

При прокладке нулевых проводов кабелем или в стальных трубах $x_{\phi.-н.п.}$ можно пренебречь.

Без защитного зануления $U_k = U_{\phi}$; с занулением $U_k = I_{к.з.} |Z_{н.п.}|$.

Для выбранного нулевого защитного проводника ток через человека

$$I_h = \frac{I_{к.з.} |Z_{н.нр.}|}{R_h} = \frac{I_{к.з.} R_{н.нр.}}{R_h}$$

Время отключения поврежденного участка цепи $t_{откл.} \leq \frac{50}{I_h}$

Повторные заземлители.

Применяют для снижения напряженности на корпусе относительно земли в момент прохождения тока к.з. и особенно при обрыве нулевого защитного проводника. Повторное заземление выполняют путем заземления нулевого защитного проводника на вводе здания и на концах питающей ЛЭП. Общее сопротивление повторных заземлителей нулевого защитного проводника должно быть:

$$R_n \leq 5 - 10 - 20 \text{ Ом, (при } U_{лин} = 660 - 380 - 220 \text{ В)}$$

Повторное и рабочее заземления действуют как делитель напряжения.

При замыкании фазы на корпус и отсутствии обрыва ток через человека при использовании повторного заземлителя

$$I_h = \frac{I_{к.з.} Z_{н.н.}}{R_h} = \frac{R_n}{R_0 + R_n}$$

При обрыве нулевого защитного проводника

$$I_h = \frac{U_\phi}{R_h} = \frac{R_n}{R_0 + R_n}$$

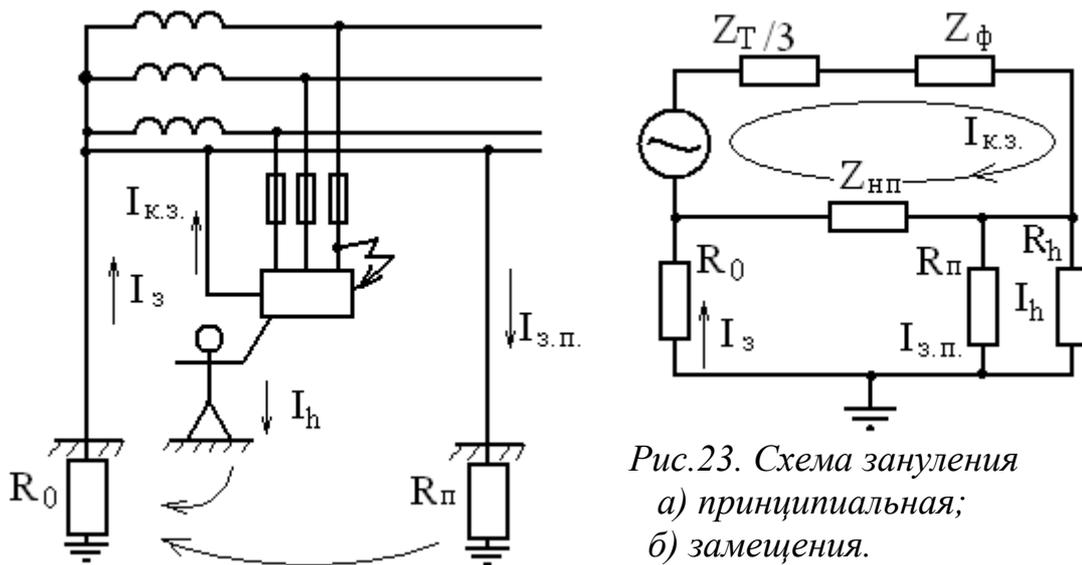


Рис.23. Схема зануления
а) принципиальная;
б) замещения.

Контроль заземления.

Не менее 1 раза в год измеряют и определяют следующие параметры: $(Z_\phi + Z_{н.н.} + x_{\phi.-н.н.})$ - сопротивление петли; $R_0; R_n; t_{откл.}$. Измеренные значения сравнивают с допустимыми по нормам.

Защитное отключение.

Защитное отключение (а.з.о.) – быстродействующая защита, обеспечивающая автоматическое отключение электроустановки при возникновении опасности поражения человека током.

В основе З.О. лежит принцип ограничения времени протекания тока через человека. Наибольшее распространение получили З.О. с $I_{уст} = 30\text{мА}$, $t_{откл} = 30\text{мс}$.

Основные требования к а.з.о.

а) быстродействие $t_{откл} \leq t_{доп}$, где $t_{доп} \leq \frac{50}{I_{н.доп}}$

время отключения а.з.о. складывается из времени срабатывания прибора з.о. (реле $0,02 \div 0,05\text{с}$) и времени срабатывания собственного автомата ($0,06\text{с}$ электромагнитного и $0,2 \div 0,5\text{с}$ теплового) $t_{откл} = t_p + t_{отк.а.}$;

б) надежность, т.е. отсутствие отказов, а также ложных срабатываний;

в) высокая чувствительность, т.е. способность реагировать на малые изменения входного сигнала;

г) селективность – отключение только аварийного участка;

д) самоконтроль, а.з.о. могут применяться в сетях любого напряжения с любым режимом нейтрали (больше – до 1000В).

Принцип построения схем а.з.о. зависит от типа входного сигнала, поступающего к датчику:

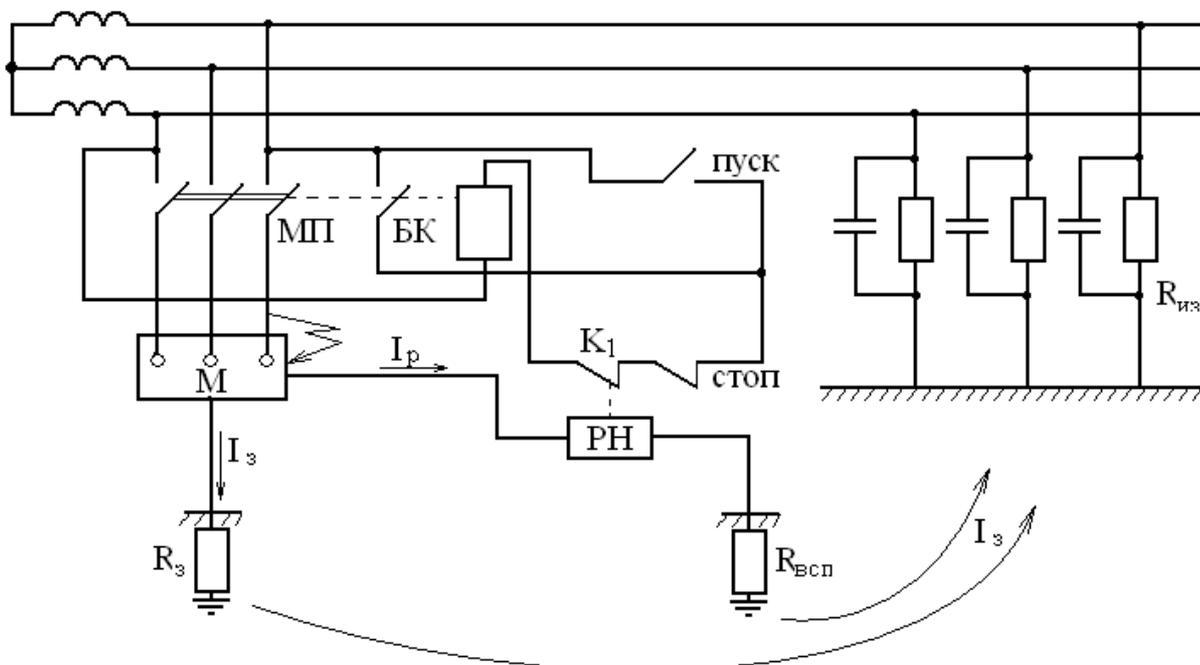
- напряжение на корпусе (прямого действия);
- напряжение нулевой последовательности (косвенного действия);
- ток нулевой последовательности (косвенного действия);
- ток замыкания на землю (прямого действия);
- комбинированные.

Применяется в СССР:

- в передвижных устройствах;
- как дополнительная мера к защите заземления и заземления;
- в электроинструментах.

Пример: удар током от прикосновения к троллейбусу (если есть утечка на корпус). Ежегодно от этого гибнет около 50 человек.

^{1ая} Схема а.з.о. (вх. сигнал – напряжение на корпусе). Схема осуществляет защиту от глухих замыканий на землю и пригодна для сетей с изолированной и заземленной нейтралью, любого напряжения.



Такие схемы могут применяться только совместно с заземлением или другими мерами защиты. Напряжение срабатывания $U_3 = 20 \div 60V$, при этом I_p воздействует на реле P_h , нормально – замкнутые контакты K_1 которого размыкаются и отключают МП.

Достоинства - простая.

Недостатки:

- 1) нет контроля исправности и самоконтроля;
- 2) $I_{уст}$ зависит от $R_{всп}$;
- 3) трудности с селективностью при общем заземлении;
- 4) требуются вспомогательные заземления.

2^{ая} Схема а.з.о. (входной сигнал – ток нулевой последовательности).

В этой схеме датчиком является трансформатор тока нулевой последовательности ТТНЛ. Первичная обмотка ТТНЛ – три фазных провода (1), вторичная обмотка (2) намотана на кольцевом магнитопроводе (3).

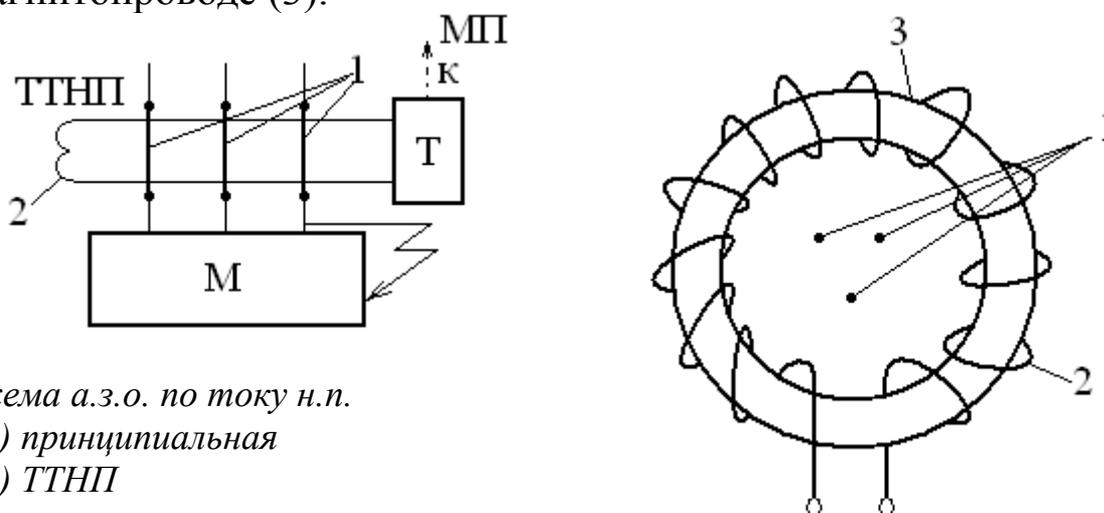


Схема а.з.о. по току н.п.

- а) принципиальная
- б) ТТНЛ

Схемы этого типа осуществляют защиту от глухих ($I_y > 30mA$) или неполных ($I_y = 10mA$) замыканий на землю.

Назначение – обеспечить безопасность при прикосновении и заземлении или занулении корпуса при попадании на него фазы или при прикосновении к токоведущим частям электроустановки.

В нормальном режиме геометрическая сумма токов трех фаз равна нулю $\sum \dot{i} = 0$. При замыкании на корпус симметрия токов нарушается $\sum \dot{i} \neq 0$.

Реле тока Т срабатывает при $I_{cp} = 10 \text{ mA}$ и отключается с помощью МП оборудованное М.

Схема имеет:

- 1) высокое быстродействие;
- 2) чувствительность;
- 3) обеспечивает селективность;
- 4) не зависит от сопротивления заземления;
- 5) пригодность для схем с заземленной и изолированной нейтралью ($< 1000 \text{ V}, > 1000 \text{ V}$).

Прочие способы электробезопасности.

1) Использование малого напряжения.

- переменный ток $\leq 42 \text{ V}$, а в помещениях особоопасных $\leq 12 \text{ V}$, с повышенной опасностью $\leq 36 \text{ V}$;
- постоянный ток $\leq 110 \text{ V}$.

2) Электрическое разделение сетей.

Питание оборудования от специального разделительного трансформатора, который отделяет электрический приемник от первичной разветвленной протяжной сети (с большой емкостью и малым активным сопротивлением).

3) Оградительные устройства.

Обеспечивают недоступность токоведущих частей для случайного прикосновения к ним.

4) Блокировка (механическая, электрическая).

Препятствует проникновению человека в опасную зону или устраняет опасность на время пребывания человека в этой зоне.

5) Предписывающие плакаты.

Предупреждающие: «Под напряжением. Опасно для жизни!»

Запрещающие: «Не влезай, убьет».

Разрешающие: «Работать здесь».

6) Двойная изоляция.

Состоит из рабочей и дополнительной, которая служит для защиты человека от поражения электрическим током в случае повреждения рабочей. Рабочая - $0,5 \div 1 \text{ MOm}$.

Усиленная рабочая изоляция обеспечивает такую же защиту, как двойная – 5 MOm .

7) Средства индивидуальной защиты.

Основные СИЗ выдерживают рабочее напряжение. В эл. установках до 1000В к ним относятся :

- инструмент с изолированными рукоятками;
- диэлектрические перчатки;
- указатели напряжения.

Дополнительные СИЗ защищают от напряжения шага – коврики, боты.

Производство работ в электроустановках, допуск и оформление работ строго регламентировано ПТБ.

Организационные меры электрозащиты.

- а) наряд или устное распоряжение с записью в журнал; в наряде указывают состав бригады, квалификацию по ТБ, меры электрозащиты, лицо ответственное за безопасность;
- б) допуск бригады к работе (дежурный указывает отключенный участок и показывает, что напряжение отсутствует указателем или рукой);
- в) надзор за бригадой во время работы;
- г) оформление переходов (на другие участки) и окончание работы.

Технические меры защиты.

Технические меры защиты обеспечивают безопасность персонала при выполнении работ с полным или частичным снятием напряжения с эл. установки.

- а) отключение с видимым разрывом (или двойное);
- б) вывешивание плакатов по ТБ (Например: «Не включать работают люди», «Работать здесь». И при необходимости установка временных ограждений.);
- в) проверка отсутствия напряжения на токоведущих частях установки;
- г) наложение временных заземлений.