Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LIII, вып. 1, 1966 г.

УДК 621.316.933.9

ОБ ОСНОВНЫХ КРИТЕРИЯХ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК НА ОТКРЫТЫХ ГОРНЫХ РАЗРАБОТКАХ

К. Б. Мусс

Применяемые в настоящее время схемы защиты от однофазных замыканий на землю — ненадежные или сравнительно медленнодействующие устройства. Дело в том, что основными критериями безопасности при создании таких защит обычно считали или случайные величины или величины, недостаточно обоснованные с точки зрения электробезопасности.

При анализе материалов, связанных в той или иной степени с определением пороговых значений поражающих токов и напряжений, установлено, что наиболее правильным и основным критерием безопасности следовало бы считать напряженность электромагнитного поля [Манойлов, 1961], так как исход поражения определяется энергией электромагнитного поля, поглощенной живой тканью. При этом реакция определяется той частью энергии, которая поглощается нервной тканью [Насонов, 1955]. Все эти исследования показывают, что тело человека, являясь частью электрической цепи, оказывается сложнейшим элементом, обладающим свойствами, присущими только ему одному. Поэтому определить критерии безопасных пороговых значений в настоящее время можно только лишь условно, руководствуясь теми исследованиями, которые проводились до сих пор.

Результаты этих исследований различны и поэтому до сих пор не установлены точно безопасные пределы напряжения $u_{пр}$, величины тока $I_ч$ и времени его протекания, при которых образование электрической цепи через тело человека будет совершенно безопасным. Так, например, К. А. Гринь [1963] и Н. А. Кизимов [1963] считают безопасным током 30 *ма*, Б. М. Столбов [1959] принимает за такую величину 20 *ма* и И. И. Менщиков [1964] предлагает считать безопасным ток до 10 *ма*. И, наконец, В. Е. Манойлов [1961] приводит пример регистрации смертельного случая от тока в 0,8 *ма* и устанавливает безусловно безопасный ток в 100 *мка*.

Почти то же происходит и с напряжением прикосновения. М. И. Бараш [1964] принимает в качестве основного критерия безопасности напряжение прикосновения, равное 20 *в*. Б. М. Столбов [1959] путем математического анализа приходит к выводу, что с точки зрения безопасности относительно электрического удара для цепей дистанционного управления следует принимать напряжение не выше 16 *в*. Ленинградский институт охраны труда ВЦСПС рекомендует считать относительно безопасным напряжением прикосновения 12—15 *в*, тогда как Единые правила

безопасности при разработке месторождений полезных ископаемых открытым способом регламентируют напряжение прикосновения в 40 *в*. А В. Е. Манойлов на основании многочисленных исследований не устанавливает точного предела поражающего напряжения, так как даже при 12—36 *в* зарегистрировано несколько смертельных несчастных случаев.

О безопасном времени прохождения электрического тока через тело человека существует тоже несколько мнений. Наименьшее время, 0,01 *сек*, устанавливает В. Е. Манойлов, следующее за ним, 0,025 *сек*, указывает Р. М. Лейбов [1960], затем в трудах американского института инженеров-электриков [Trans AIEE, 1958] рекомендуют время отключения 0,02—0,05 *сек*, а Л. Феррис [1963] утверждает, что при времени воздействия тока менее 100 *мсек* не может быть смертельных поражений электрическим током.

Следовательно, при установлении критерия безопасности, необходимо учитывать все три фактора — напряжение прикосновения, ток и время существования электрической цепи через тело человека. При этом не следует забывать и о возможном изменении электрического сопротивления тела человека от приложенного напряжения. Например, по данным В. Е. Манойлова, при напряжении выше 1000 *в* сопротивление тела человека падает до 300—400 *ом*, по данным Х. Фрайбергера [1934] — до 800—1500 *ом* и, наконец, по данным МИРГЭМ [Меньшов, 1959], рекомендуется для расчетов сопротивление тела человека, равное 600 *ом*. Однако это не значит, что с падением сопротивления наступает какое-то пороговое значение поражения человека. При поражении напряжением 12—36 *в* сопротивление между электродами, расположенными на теле человека, находится, по В. Е. Манойлову, в пределах (8—10) 10^3 *ом*, а значит, и величина поражающих токов при этих напряжениях находится в пределах нескольких миллиампер.

На основании приведенных данных можно сделать следующие выводы.

1. Опасность электротравмы связана с величиной поражающего напряжения. Относительно безопасное напряжение прикосновения может быть принято условно в 12—40 *в*.

2. Величина поражающего тока зависит от величины сопротивления цепи. За условно безопасный ток через тело человека можно принять ток в 10—30 *ма*.

3. Время существования электрической цепи через тело человека зависит от быстродействия отключающей аппаратуры и величины тока срабатывания. Поэтому следует принимать время отключения, не превышающее 0,01—0,025 *сек*.

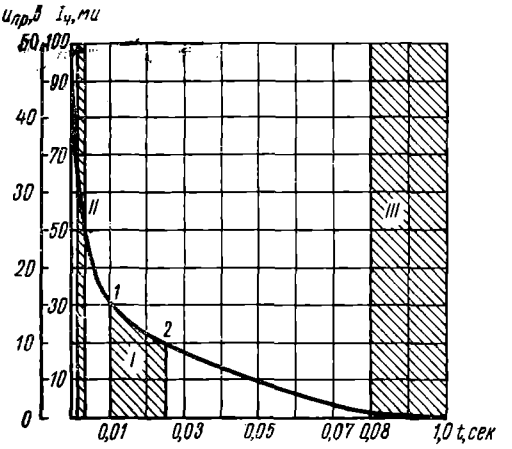
4. Численное значение электрического сопротивления тела человека зависит от напряжения прикосновения. В расчетах следует принимать сопротивление тела человека в 400—600 *ом*. Сопротивление же изоляции для сети напряжением 6 *кв*, которое должно быть принято предельным для срабатывания защиты, следует принимать в пределах 120 *ком*, т. е. пороговым значением срабатывания защиты в этом случае должно быть сопротивление тела человека, при котором уже возможна электротравма [Гринь, 1963].

Проведенные исследования по определению безопасных пределов напряжения прикосновения, величины тока и времени существования электрической цепи через тело человека дают возможность установить условно критерии безопасности для этих величин с помощью графика.

Примем условно за критерии безусловной опасности поражения человека электрическим током $u_{пр} = 50$ *в* и $I_ч = 100$ *ма*, время отключения t в этом случае можно считать, по В. Е. Манойлову [1961], рав-

ным нулю, а за критерии безусловной безопасности примем $u_{пр}$ 0,05 *в* и $I_ч = 100$ *мка* при $t = 0{,}1$ *сек* и расположим остальные предполагаемые пороговые значения безопасных пределов напряжения прикосновения и тока через тело человека в зависимости от времени отключения (см. рисунок).

Как видно из приведенной зависимости условных критериев безопасности, при построении защиты от однофазных замыканий ее параметры следует выбирать в пределах зоны *I*. При этом оптимальные параметры лежат между точками 1,2, которые соответствуют $I_ч = 20 \div 30$ *ма*, $u_{пр} = 10 \div 15$ *в* и $t = 0{,}01 \div 0{,}025$ *сек*.



Графическая зависимость условных критериев безопасности.

Находящиеся в настоящее время в эксплуатации масляные выключатели срабатывают за время 0,08 0,1 $\div$ 0,14 *сек* (зона *III*). Следовательно, при наличии такой коммутационной аппаратуры нельзя добиться соответствующего быстродействия. Поэтому в МакНИИ был разработан сверхбыстродействующий выключатель 6 *кв* [Шумейко, Костенко, 1963]. Изоляционной средой в нем служит элегаз. Время срабатывания выключателя лежит в пределах 1,2—1,5 *мсек* (зона *II*). Использование такого выключателя для защиты от однофазных замыканий на землю обеспечивает отключение поврежденной линии за минимально короткое время. Приведенный график определения основных критериев безопасности является некоторой попыткой связать воедино все параметры, влияющие в той или иной степени на исход электротравмы.

ЛИТЕРАТУРА

Бараш М. И. О допустимой величине сопротивления растеканию тока заземляющего устройства. Тр. Иркут. политехн. ин-та, т. 23, ч. 1, 1964.

Гринь К. А. Средства защиты от поражения электротоком в шахтных сетях высокого напряжения. В сб. Техника безопасности в угольной промышленности. Госгортехиздат, 1963.

Кизимов Н. А. *Исследование зависимости величины безопасного электрического тока от времени его воздействия на организм.* Госгортехиздат, 1963.

Лейбов Р. М. Автоматические защитные устройства в системе подземного электроснабжения. В сб. Автоматические шахтные защитные устройства. Госгортехиздат, 1960.

Манойлов В. Е. Проблемы электробезопасности. Госэнергоиздат, 1961.

Менщиков И. И. *Электробезопасность в машиностроении.* Машиностроение, 1964.

Меньшов Б. Г К вопросу исследования электрического сопротивления тела человека в подземных горных условиях. Научн. тр. МГИ, № 19, 1959.

Насонов Д. Н. Роль энергии раздражающего тока при возникновении возбуждения в нервном волокне, «Физиологический журнал СССР им. И. М. Сеченова, т. XLI, № 4, 1955.

Столбов Б. М. Безопасная величина напряжения для цепей дистанционного управления подземными механизмами. Зап. ЛГИ, т. XXXIX, вып. 1, 1959.

Шумейко В. И., Костенко Н. В. Принципы создания электрических систем, предупреждающих взрывы газа и пыли на шахтах. В сб. Техника безопасности в угольной промышленности. Госгортехиздат, 1963.

Commitee report, Voltage gradients through the ground under fault conditions «Trans. AIEE», «Power, Appar. and Systems», (N 38, 1958, p. 669—685) Discussion, p. 685—695.

Ferris L. P. «El. Eng», 55, 498, 1936, «Trans. AIEE» v. 6, p. 498—515, 1936.

Freiberger, H. Der elektrische Widerstand des menschlichen körpers gegen technischen Sleich- und Wechselstrom. Berlin, 1934.