

АКАДЕМИЯ НАУК УКРАИНЫ  
Институт электродинамики

На правах рукописи

Удод Евгений Иванович

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РЕМОНТА ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК  
ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

Специальность 05.14.02 - Электрические станции  
(электрическая часть), сети, электроэнергетические  
системы и управление ими.

Диссертация в форме научного  
доклада на соискание ученой  
степени доктора технических  
наук.

К и е в - 1 9 9 3

№ 26.916

Работа выполнена в Министерстве энергетики и электрификации Украины.

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук,  
профессор Зорин В. В.,  
доктор технических наук  
профессор Постолатий В. М.,  
доктор технических наук  
Реацов В. Ф.

Ведущая организация:

Украинский научно-исследовательский и проектно-исследовательский институт  
"Укрэнергосетьпроект"  
(г. Харьков)

Защита состоится "14" апреля 1993 г. в 14 часов на заседании специализированного совета Д 016.30.04 при Институте электродинамики АН Украины (252690, г. Киев-57, проспект Победы, 56, телефон спецсовета: 446-91-15).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "12" марта 1993 года.

Ученый секретарь специализированного совета, доктор технических наук

Г. М. Федоренко.

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00814626 (R)

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Электроснабжение играет в народнохозяйственном комплексе важную роль. Значимость надежного электроснабжения еще более возрастает в условиях проходящей в нашей стране реконструкции хозяйственного механизма, совершенствования взаимоотношений между энергоснабжающей организацией и потребителями, внедрения рыночных отношений. Основной задачей выполненных исследований является создание научных основ и инженерных методов ремонтов под напряжением систем электроснабжения (СЭС), под которыми следует понимать согласно "Правил устройства электроустановок" совокупность электроустановок, предназначенных для обеспечения потребителей электроэнергией. Надежность и экономичность функционирования СЭС определяется во многом рациональностью и эффективностью ее ремонтного обслуживания. Существующие СЭС, как известно, имеют большое количество неоднородных по своему характеру элементов и связей между ними. Выполнение их ремонтов традиционными способами (с отключением и заземлением линий электропередачи и оборудования на подстанциях) приводит к нарушениям этих связей, к серьезным режимным изменениям по перетокам энергии, изменению уровней напряжений и, как следствие, к потере энергоресурсов. Задача по обеспечению надежной и экономичной работы электроустановок всех классов напряжений решается наиболее рационально и эффективно за счет выполнения ремонтных работ на линиях и подстанциях без их отключения - под напряжением (ПРН). В странах СНГ впервые такие методы ремонтных работ были внедрены в сетях 35 - 110 кВ в годы Великой отечественной войны для обеспечения непрерывного электроснабжения оборонных объектов. Получили распространение такие методы работ и в ряде зарубежных стран (США, Канада, Франция и др.) Следует отметить, что существовавшие в то время средства производства работ под напряжением были несовершенными, имели ограниченный срок службы; не всегда обеспечивали безопасность производства работ. При проектировании электроустановок не предусматривались условия для их обслуживания под напряжением. Поэтому по мере повышения уровня напряжения электропередач в нашей стране (220 - 750 кВ) из-за отсутствия средств защиты персонала от воздействия электромагнитных полей, несовершенства существовавшей технологической оснастки эти работы были прекращены. В результате были созданы определенные сложности вывода в ремонт магистральных электропередач, которые во многих случаях сооружались без достаточного резервирования. Плановые и аварийные ремонты электропередач приводили к серьезным экономическим потерям. В ряде случаев имела место практика оставления в работе сетей с имеющими место дефектами, что привело к увеличению аварийности.

Работа выполнена в соответствии с отраслевым планом научно-исследовательских работ Минэнерго Украины по программе N 7 "По-

вышение надежности и экономичности магистральных линий электропередачи."

Целью и задачами настоящей работы являются:

- обоснование принципов создания технологий производства ремонтных работ под напряжением на основе теоретических расчетов, экспериментальных измерений и натуральных испытаний; разработка таких технологий на все основные виды работ, а также специальное оборудование и инструмент для широкого внедрения в практику эксплуатационных работ ;
- решение комплексно проблемы усовершенствования методов ПРН с одновременным обеспечением повышения производительности труда и безопасности производства работ;
- обоснование концепции безопасности производства работ под напряжением и преимуществ таких методов работ по сравнению с традиционными методами (с отключением и заземлением электроустановок для ремонтных работ) ;
- разработка эффективных средств защиты персонала от воздействий электромагнитных полей ;
- обоснование необходимости создания электроустановок, приспособленных для обслуживания под напряжением;
- разработка экономического механизма оценки эффективности работ под напряжением и создание системы стимулирования персонала.

Методы исследования. При выполнении исследований, результаты которых обобщены в работе, использовались методы и положения теории электромагнитного поля, техники высоких напряжений, математической статистики, экономической теории. Эксперименты проводились как в натуральных условиях, так и на специальных стендах, моделях и макетах. Результаты обоснованы экспериментальными исследованиями и математическими расчетами.

Достоверность полученных результатов обеспечивается соблюдением основополагающих законов теории электрических цепей и энергетических систем, сопоставлением расчетных значений с экспериментальными данными, апробацией разработанных технологий и методик на реальных электроустановках энергосистем различных стран. Результаты работы подтверждены проведенными медико-биологическими исследованиями воздействия электромагнитного поля на организм человека при ПРН. Предлагаемые технические решения прошли патентную экспертизу, на большинство из них получены авторские свидетельства.

Научная новизна работы заключается в разработке научно-технических основ ремонтов электроустановок под напряжением, позволивших обеспечить комплексность решения задачи совершенствования системы электроснабжения при одновременном улучшении конструкций электроустановок и условий их ремонтного обслуживания. Показано, что проектирование, изготовление и эксплуатация являются единым комплексом, взаимно влияющим на эффективность системы электроснабже-

ния. Обоснована, как наиболее эффективная, система электроснабжения, основанная на принципе создания электроустановок, приспособленных для обслуживания под напряжением и использующая, как основной, новый метод эксплуатации - ПРН.

На основании выполненных исследований получены следующие результаты:

- созданы основы и алгоритмы разработки технологий производства работ под напряжением для электроустановок всех классов напряжения;
- разработаны, созданы и внедрены технологии основных работ, а также технологическая оснастка и инструмент, приоритет которых защищен авторскими свидетельствами;
- выявлены особенности взаимодействия электромагнитного поля и защитных экранирующих комплексов при ПРН, разработаны расчетные и экспериментальные методы определения эффективности экранирования;
- разработаны и внедрены различные конструкции экранирующей одежды, защищенные авторскими свидетельствами;
- обоснована концепция безопасности персонала при ПРН, требования по защите персонала в зависимости от зоны, в которой производятся работы, характеристики экранирующей одежды для защиты персонала в этих зонах;
- разработан новый метод оценки распределения напряжения на натяжных гирляндах ВЛ сверхвысокого напряжения, обоснована возможность проведения ремонтных работ с частичным шунтированием изоляторов;
- обоснованы принципы подготовки и организации работ персонала, обслуживающего электроустановки под напряжением;
- разработана концепция создания электроустановок, адаптированных для обслуживания под напряжением;
- разработана система оценки эффективности ПРН и экономический механизм создания заинтересованности персонала во внедрении методов ремонта электроустановок под напряжением.

Автор защищает:

1. Научные принципы создания способов обслуживания электроустановок под напряжением на основе анализа распределения электромагнитных полей в зонах проведения работ (на опорах, изоляторах, проводах) с учетом требований по изоляции и экранированию.
2. Разработку и внедрение ресурсосберегающих технологий на все основные виды ремонтных работ в электрических сетях, создание технологической оснастки и инструментов для их выполнения.
3. Основы обеспечения безопасности выполнения работ под напряжением, включая разработку и создание индивидуальных защитных экранирующих средств, методику подготовки персонала для производства работ, технологические принципы проведения работ.
4. Концепции создания электроустановок нового поколения, адап-

тированных для обслуживания под напряжением, обладающих способностью обеспечения повышенной надежности и экономичности за счет ремонтпригодности.

Практическая ценность и реализация результатов работы:

- предложенные технологии производства работ в электроустановках под напряжением широко внедрены в практику в энергообъединениях всей страны и за рубежом;
- разработаны и утверждены как отраслевые, нормативы: инструкции по безопасности производства работ под напряжением, технологические карты производства ПРН ;
- организовано производство технологической оснастки и инструментов для ремонта электроустановок под напряжением, позволившее в короткие сроки обеспечить ими эксплуатационный персонал энергосистем страны;
- созданы экранирующие комплекты защитной одежды для персонала, работающего на различных расстояниях от токоведущих частей электроустановок до 750 кВ включительно, организовано их производство и оснащение персонала энергосистем Украины и других стран ;
- создан центр и специальная система подготовки персонала для участия в работах под напряжением;
- выполнены разработки нормативов для создания и эксплуатации электроустановок, приспособленных для обслуживания под напряжением, обеспечивающих повышенную надежность электроснабжения за счет постоянной готовности к работе из-за отсутствия необходимости в отключениях для производства ремонтных работ.

Основные результаты внедрения работ представлены в табл.1. Приведенные данные - результат деятельности большого коллектива ученых, инженеров и рабочих, вместе с которыми автор на правах руководителя всего комплекса участвует в работе с 1982 года и по настоящее время. Экономический эффект от внедрения только изобретений, приходящийся на долю автора, составляет 3,6 млн. рублей (в ценах 1990 г.).

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на Республиканской научно-технической конференции "Современные проблемы энергетики", г. Киев, 1985 г.; научно-технической конференции "Основные направления развития сельских сетей в XI пятилетке, г. Ивано-Франковск 1987 г.; Республиканском научно-техническом семинаре "Разработка и внедрение методов работы под напряжением в электрических сетях республики", г. Киев 1983 г.; на научно-технической конференции в Польше, г. Бельско-Бяла, 1988г.; на двух международных конференциях в Болгарии в доме ученых им. Жолио-Кюри в 1988 и 1989 годах; на трех отраслевых совещаниях в Минэнерго СССР, г. Москва по проблемам развития работ под напряжением; на Всесоюзном научном семинаре по проблемам энергетики "Кибернетика электрических систем" в 1987 г., г. Москва, МЭИ; на Украинском республиканском се-

минаре по новой технологии и диагностике в 1991 г., г. Киев; на семинаре в г. Лейпциге (Германия) 1 июня 1991 г.; на Международном симпозиуме "Прогрессивные энергосберегающие технологии" г. Киев, 1991 г.; на семинаре по проблемам энергосбережения в г. Бирмингем (Англия) в 1992 г.

За выполненный комплекс исследований и создание научных принципов ремонта под напряжением ВЛ 220-750 кВ автор удостоен премии СМ СССР 1988 г. Разработки инструмента и технологической оснастки отмечены золотыми и серебряными медалями выставок СССР и УССР.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 58 печатных работ, в том числе 2-е монографии, 5 отраслевых стандартов, 6 брошюр, 17 статей, 10 докладов и тезисов докладов на конференциях, совещаниях и семинарах. Приоритет технических решений защищен 18 авторскими свидетельствами на изобретения.

Структура работы. Диссертация изложена в форме научного доклада. Содержит общую характеристику работы, 4 раздела и заключение.

## 2. ОЦЕНКА УСЛОВИЙ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПРОИЗВОДСТВА РАБОТ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКАХ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ

В зависимости от уровня номинального напряжения [ 1 ] ПРН разделяют следующим образом: производство работ на оборудовании и сооружениях напряжением до 1000 В, на электроустановках среднего напряжения ( 1000 В <  $U_n$  < 35000 В ) и на электроустановках высокого напряжения (  $U_n$  > 35000 В ). Применяются следующие схемы производства работ: "земля" - человек - изоляция - токоведущие части электроустановки; "земля" - изоляция - человек - токоведущие части электроустановок. Это определяет необходимость изучения условий производства работ во всех частях пространства в зоне электроустановок: от поверхности земли до токоведущих частей. В работе исследованы факторы, определяющие возможность производства ПРН и безопасность персонала, выполнена оценка требуемых уровней изоляции электроустановок и разрабатываемых приспособлений, обоснованы конструкции шунтирующих электрических и механических устройств.

Изоляция электроустановок, воздушные промежутки, приспособления для работ под напряжением подвергаются воздействию рабочего напряжения и перенапряжений ( коммутационных и атмосферных ). Определена необходимость [ 4 ] учета влияния на электрическую прочность состояния изоляционных поверхностей. Показано, что загрязнения и увлажнения приводят к реактому снижению их электрической прочности. Сопротивление слоя загрязнения  $R = \rho \epsilon / (d \delta)$ , где  $\rho$  - удельное объемное сопротивление слоя загрязнения,  $\epsilon$  - длина пути утечки изолятора,  $\delta$  - толщина слоя загрязнения. Если принять, что слой загрязне-

ния имеет одинаковую толщину по поверхности, то удельная поверхность

Таблица 1

Наименование	Г о д ы									
	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991
1. Разработка технологий (шт.)	2	17	23	40	53	64	72	80	84	92
2. Изготовлено приспособлений 0,4-750кВ, шт.	3	7	93	452	632	730	751	740	707	620
3. Изготовлено комплектов инструмента, тыс. шт.			2,5	2,5	3,0	5,0	7,0	6,0	6,2	6,3
4. Обучено персонала, чел.	67	240	726	1343	1471	1669	1720	1322	930	1670
5. Выполнено различных работ тыс. шт.	2,6	6,5	17,5	23,3	23,5	21,5	27,5	26,8	24,8	23,6
6. Обеспечено ресурсосбережение (электроэнергии), млн. кВт. час.	20	15	69,5	47,3	75,5	34,9	78,5	58,4	33,47	76,1
7. Получен экономический эффект, млн. руб.	0,5	0,9	3,69	22,9	25,9	29,1	18,6	19,8	20,0	23,2

ностная проводимость  $\alpha = \delta / \rho$ , а значит,  $R = l / (\alpha d \alpha)$ , то есть сопротивление изолятора прямо пропорционально длине пути утечки и обратно пропорционально удельной поверхностной проводимости слоя загрязнения и диаметру изолятора. Отсюда вытекают два пути повышения сопротивления изоляции при ПРН: применение изоляторов с разветвленной длиной пути утечки или снижение диаметра изолятора. В соответствии с этим для технологий работ выбираются или гладкие стеклопластиковые изоляторы и полипропиленовые канаты, или специальные стеклопластиковые изоляторы с разветвленной поверхностью, разработанные для работ под напряжением типа СК [ 2 ].

При оценке возможного количества перекрытий изоляции электроустановок в работе использованы разработки, положенные в основу выбора изоляции линий электропередачи высокого и сверхвысокого напряжений. Ограничения при ПРН учитывают, что на отдельной линии

обычно работают не более бригад (ослабленных мест на линии электропередачи) [1]. В расчет приняты принципы практической невозможности перекрытия гирлянды в процессе производства работ. При этом ожидаемое количество перекрытий под воздействием рабочего напряжения  $n$  определяется выражением

$$n = m \cdot F\left(\frac{E_{раз} - E_{разр}}{C \cdot E_{разр}}\right) = m \cdot F\left(\frac{1 - \bar{K}}{C \cdot \bar{K}}\right), \quad (2-1)$$

где  $F$  - функция нормального распределения разрядных градиентов;

$E_{разр}$  - разрядный градиент гирлянды изоляторов ;

$C$  - коэффициент изменчивости разрядных напряжений ;

$\bar{K}$  - коэффициент запаса  $K = E_{разр} / E_{раз}$ , который для обеспечения надежной работы изоляции выбирается равным  $1,8 \div 2$  [4], при этом  $\bar{K}$  определяется для самых неблагоприятных условий (при загрязнении и увлажнении).

Так как в соответствии с нормативами ПРН осуществляется в сухую погоду,  $E_{разр}$  значительно выше, чем для влажных изоляторов, и коэффициент  $\bar{K}$  составляет порядка 4. При этом вероятность перекрытия составляет  $10^{-4}$ . Из статистики известно, что человек чувствует себя в безопасности, если степень риска при работе составляет  $10^{-6}$ . Таким образом, существующие уровни изоляции электроустановок по воздействию рабочего напряжения не представляют опасности для перекрытия изоляции при ПРН в нормальных условиях (при отсутствии увлажнений).

При перенапряжениях вероятность перекрытия единичного промежутка определяется выражением:

$$P(U_{ком}) = F\left(\frac{U_{ком} - U_{50\%}}{C \cdot U_{50\%}}\right) = F(t), \quad (2-2)$$

где  $F(t)$  - функция нормального распределения разрядных напряжений с аргументом  $t = (U_{ком} - U_{50\%}) / C \cdot U_{50\%}$ ;  $U_{ком}$  - величина коммутационных перенапряжений;  $U_{50\%}$  - пятидесятипроцентное разрядное напряжение промежутка;  $C$  - коэффициент изменчивости разрядных напряжений.

При работе на линии электропередачи  $m$  бригад

$$F_m = \frac{U_{50\%} - U_{50\%/m}}{C \cdot U_{50\%/m}} = F_m(t_{50\%/m}), \quad (2-3)$$

где  $U_{50\%/m}$  - пятидесятипроцентное разрядное напряжение изоляции, значение которого снижается при увеличении  $m$ , что следует учитывать при расчетах. С увеличением количества ослабления мест уменьшается отношение среднеквадратичного отклонения разрядных напряжений от среднего (при  $m$  разрядных промежутках) к среднеквадратичному отклонению разрядных напряжений от среднего разрядного напряжения (при одном разрядном промежутке). Зависимость  $P(U_{ком})$  можно представить единичной функцией, которая стремится к нулю при  $U_{ком} < U_{50\%/m}$  и

равна 1 при  $U_{ком} > U_{50\%m}$ .

Отсюда,

$$U_{50\%m} = U_{ком} (1 - t_{50\%m} \cdot C). \quad (2-4)$$

Так как в расчет принимается вероятность возможного перекрытия, равная 10, то расчетная кратность перенапряжений увеличивается на коэффициент безопасности  $K_B = 1,15$ . Возможное увеличение рабочего напряжения по сравнению с номинальным учитывается коэффициентом  $K_p = 1,15 - 1,05$ ; кратность возможных перенапряжений коэффициентом  $k_{np} = 3 - 2,1$ . Влияние на разрядные напряжения учитывается отношением атмосферного давления воздуха к нормальному давлению  $P_0/P$ .

$$U_{50\%m} = \left( \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot K_B \cdot K_p \cdot K_{np}}{\sqrt{3} (1 - t_{50\%m} \cdot C)} \right) \cdot \frac{P_0}{P}. \quad (2-5)$$

Принимая значение  $U_{50\%m}$  за разрядное напряжение  $U_p$ , определены для различных классов напряжения допустимые расстояния приближения при ПРН по воздушному промежутку  $D$  и минимально-допустимой длине по гирлянде изоляторов  $H_r$ . В табл. 2 представлены результаты расчетов  $D$  и  $H_r$ ; в табл. 3 - данные по параметрам гирлянд изоляторов и допустимому количеству дефектных изоляторов при ПРН в электроустановках 110 - 750 кВ. В сетях среднего класса напряжения 6 - 35 кВ расстояния приближения к токоведущим частям оцениваются по формуле  $D = A + Du \cdot K_B$ , где  $A = 50$  см - возможное случайное перемещение частей тела работающего,  $K_B$  - коэффициент безопасности,  $Du$  - величина изоляционного промежутка для данного класса напряжения. Для сети 6-10 кВ  $K_B \cdot Du = 10$  см, для сети 35 кВ - 30 см. Для электроустановок до 1000 В обеспечение безопасности достигается соблюдением изоляции между работающими и токоведущими частями  $D = 50$  см. Требования по изоляции для устройств и приспособлений, предназначенных для ПРН, представлены в табл. 4.

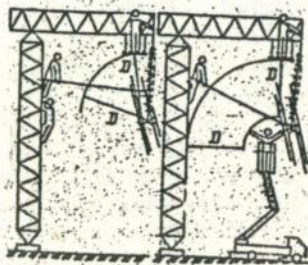


Рис. 1

Полученные результаты позволили внести коррективы в Правила техники безопасности. Результаты расчета включены в базу данных, используемую при определении технологий производства работ [1, 2, 5, 9]. Разработаны технические требования и конструкции приспособлений для производства работ под напряжением в электроустановках 0,4 - 750 кВ [6, 8, 27, 28, 30]. В работах [10, 34] обоснованы принципы, создана технология изготовления специального инструмента для работ под напряжением в электроустановках до 1000 В на базе использования многослойного покрытия из пластиволей. Способ получения электроизоляционного покрытия позволяет повысить электроизоляционные и физико-химические характеристики покрытия и интенсифицировать процесс. Это позволило организовать массовое производство такого инструмента в стране.

Для обеспечения работ на линиях электропередачи 110 - 750 кВ широкое применение в технологической оснастке получили специально разработанные для целей ПРН стеклопластиковые изоляторы, которые используются для временной подвески проводов линий электропередачи и технологической оснастки. Они обладают высокими механическими и электрическими характеристиками и имеют незначительную массу, что обеспечивает удобство при производстве работ.

Таблица 2

Напряжение, кВ	Kp	Kлp	Po/P	U50% м, кВ	D, м	Hr, м
110	1,15	3	1,1	417	0,8	0,9
150	1,15	3	1,1	472	1,2	1,3
220	1,15	1,5	1,1	660	1,6	1,0
330	1,1	2,5	1,1	947	2,1	2,5
400	1,1	2,5	1,05	1148	2,5	3,2
500	1,1	2,5	1,05	1435	3,0	4,5
750	1,05	2,1	1,05	1808	4,5	5,8

Практически во всех технологических схемах при работе на ВЛ используются изолирующие полипропиленовые канаты. В процессе работ канаты подвергаются значительным электрическим и механическим нагрузкам [16], поэтому должны изготавливаться из материалов высокой прочности. В сухом состоянии полипропиленовые канаты имеют электрическую прочность не менее 3,5 кВ/см при испытательной 2,5 кВ/см. При увлажнении электрическая прочность канатов резко снижается и составляет порядка 0,7 - 0,8 кВ/см. В работах [1, 2] разработаны требования по допустимым погодноклиматическим условиям при ПРН и по использованию, транспортировке, хранению и испытаниям канатов.

Таблица 3

Ун, кВ	Нг, м	Тип изолято- ра	Длина гирлянды по про- екту, м	Число изоляторов по проекту, шт.	Минимально-	Допустимое
					допустимое число испр. изоляторов, шт.	число дефект- ных изолято- ров, шт.
750	5,8	ПС300-Б	6,3	34	27	7
		ПС210-Б	5,8	35	29	6
		ПС120-А	6,2	44	38	6
		ПС160-Б	7,0	41	29	12
500	4,5	ПС120-А	4,1	28	25	3
		ПС160-А	4,5	26	21	5
		ПС160-Б	4,25	25	22	3
		ПС210-Б	4,6	23	19	4
		ПС300-Б	4,3	22	19	3
330	2,5	ПС6-Б	2,8	20	16	4
		ПС6-А	3,18	19	14	5
		ПС120-А	3,06	21	16	5
		ПС160-Б	3,24	19	14	5
220	1,8	ПС6-Б	2,1	15	11	4
		ПС6-А	2,34	14	10	4
		ПС120-А	2,34	16	11	5
		ПС210-Б	1,98	12	10	2
110	0,9	ПС6-Б	0,98	7	5	2
		ПС6-А	1,04	8	5	3

Для замены отдельных дефектных изоляторов в гирляндах на поддерживающих опорах ВЛ 220-750 кВ разработана специальная технология [27] и технологическая оснастка (рис. 2), состоящая из приспособлений для подъема на опору, изолированных тяг, блоков, домкратов, штанг переноса потенциала.

При ремонте натяжных гирлянд [28] впервые применена технология перемещения по изоляторам специального полоза со стулом для размещения персонала (рис. 3). Для перемещения по проводам в пролетах ВЛ разработаны специальные тележки (рис. 4), обеспечивающие возможность передвигаться по проводам во всем анкерном пролете, преодолевая распорки и зажимы подвесных гирлянд [35]. Для обслуживания под напряжением сетей 10-35 кВ разработано устройство [31], представляющее собой кабину из изоляционного материала, устанавливаемую на подъем-

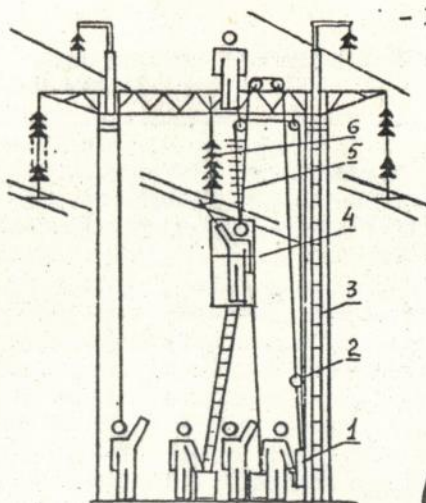


Рис.2 Технологическая схема замены поддерживающих гирлянд изоляторов ВЛ-220-750 кВ.  
1-лебедка, 2-предохранительное устройство, 3-лестница, 4-монтерская кабина, 5-изолирующие устройства, 6-гирлянда изоляторов

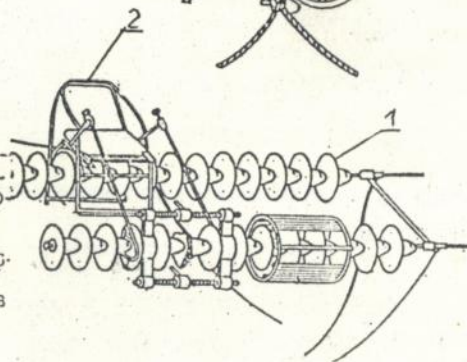
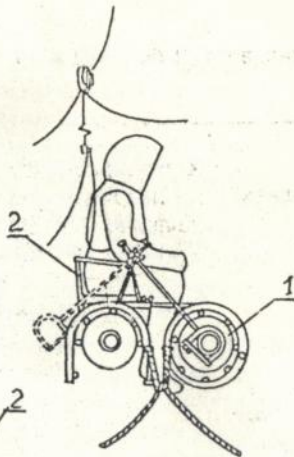


Рис.3. Технологии ремонта натяжных гирлянд ВЛ 400-750 кВ.  
1 - гирлянда изоляторов, 2 - стул-полос, 3-стяжное устройство

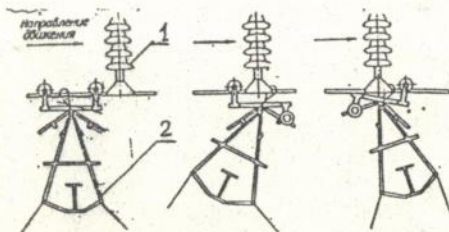


Рис.4 Перемещение тележки под гирляндами изоляторов  
1 - гирлянда изоляторов, 2 - тележка.

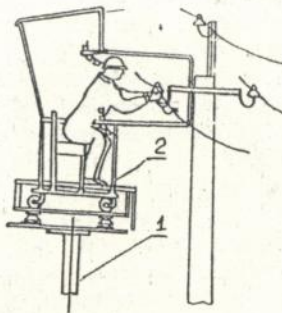


Рис.5. Устройство для РПН ВЛ 10 кВ.  
1- подъемное устройство, 2 - изолированная кабина.

ный механизм(ы) В боковой стенке кабины предусмотрен проем со специ-

Таблица 4

Наименование	Минимально-допустимые по условиям безопасности длины изолирующей части устройств и приспособлений, предназначенных для ПРН, и в зависимости от номинального напряжения электроустановок, кВ									
	6-10	35	110	150	220	330	400	500	750	
Изолирующие штанги, лестницы, захваты* и т. д., м	0,5	0,5	0,9	1,3	1,8	2,5	3,2	4,5	5,8	
Изолирующая тяга с разветвленной поверхностью, м	0,5	0,5	0,9	1,3	1,8	2,5	3,2	4,2	5,8	
Изолирующие канаты, м	0,5	0,6	1,0	1,5	2,0	3,0	3,6	5,0	6,5	

\* перед производством работ смазываются гидрофобной пастой.

альными изоляционными шторками. Передвижная кабина может быть установлена вблизи траверсы ВЛ, что позволяет оградить место работ изоляционными шторками и обеспечить безопасность выполнения ремонтных работ. Для работ на ВЛ 220-330 кВ разработаны изолирующие вставки к автовышкам [44]. Для устранения замыканий на "землю" в сетях с изолированной нейтралью предложена технология [37], предусматривающая установку специальных заземлителей на поврежденной фазе вблизи места замыкания на "землю", что позволяет устранять повреждения с помощью изолирующих штанг. Для устранения возможности перенапряжений в сетях 10-35 кВ при замыкании на "землю" предусмотрены устройства автоматического шунтирования на "землю" поврежденной фазы. На все виды работ под напряжением (180 работ) разработаны специальные технологические карты, в которых определены условия производства работ, требования по составу бригады, особые меры безопасности, определена технологическая последовательность работ.

При работах под напряжением на натяжных гирляндах воздушных линий электропередачи 500-750 кВ предусматривается перемещение человека по конструкциям гирлянд на специальной тележке и шунтирование отдельных изоляторов [11, 24]. Для оценки безопасности производства работ и возможности их выполнения исследованы возникающие при этом изменения распределения напряжения вдоль гирлянд изоляторов. Эффективность применения емкостной схемы замещения при расчетах распределения напряжения вдоль гирлянды изоляторов в значительной мере определяется возможностью задания всех емкостей этой схемы. Если емкости изоляторов  $C$  являются характеристикой конструкции изоляторов и могут быть измерены, а емкости шалок изоляторов на землю  $C^p$  практически постоянны и также могут считаться известными, то емкости  $C^s$  изоляторов на провод фазы трудно определяемы для натяжных гирлянд ВЛ 500-750 кВ. Их значение зависит от конструкции проводов фазы, наличия экранов, конструкции шлейфа и других трудноучитываемых факторов. Емкости  $C^s$  практически невозможно также измерить, поскольку они очень невелики и трудно вычленимы в измерении. Это обстоятельство приводит к необходимости разработки новых схем замещения для гирлянд изоляторов, не использующих емкости изоляторов на провод фазы.

На рис. 6 представлена схема замещения для гирлянды изоляторов, находящейся во внешнем поле. Сама гирлянда представлена в виде последовательно соединенных емкостей  $C$ , к которым через боковые емкости  $C^b$  подключен потенциал  $U_n^{вн}$ , характеризующий внешнее поле.

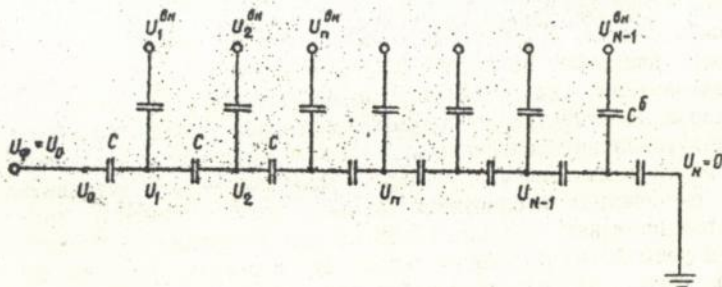


Рис. 6

Распределение напряжения вдоль гирлянды определяется в явном виде для произвольного закона измерения внешнего поля из уравнений:

$$C(U_{n+1} - 2U_n + U_{n-1}) - C^\delta \cdot U_n = C^\delta \cdot U_n^{\text{BH}};$$

$$U_0 = U_\phi, U_N = 0, n = 1, 2, \dots, N-1. \quad (2-6)$$

Если внешнее поле изменяется вдоль гирлянды по близкому к линейному закону

$$U_n^{\text{BH}} = U_0^{\text{BH}} \left(1 - \frac{n}{N}\right) + U_N^{\text{BH}} \cdot \frac{n}{N}, \text{ то}$$

$$U_n = U_n^{\text{BH}} + (U_\phi - U_0^{\text{BH}}) \alpha^n - U_n^{\text{BH}} \cdot \alpha^{N-n}, \quad (2-7)$$

где характеристика изолятора

$$\alpha = 1 + (1/2) \cdot K - \sqrt{R + (1/4)K^2}, \quad K = \frac{C^\delta}{C}.$$

На практике интерес представляет распределение падения напряжения на отдельных элементах гирлянды изоляторов, т.е. закон изменения  $\Delta U_n = U_{n-1} - U_n$  от номера изолятора. Из формулы (2-7) получаем

$$\Delta U_n = A \cdot \alpha^n + B \alpha^{N-n} + D, \quad (2-8)$$

где

$$A = (U_\phi - U_0^{\text{BH}})(\alpha^{-1} - 1); \quad B = U_N^{\text{BH}}(1 - \alpha); \quad D = \frac{1}{N}(U_0^{\text{BH}} - U_N^{\text{BH}}).$$

Формула (2-8) для пятищепной натяжной гирлянды изоляторов ВЛ 750 кВ ( $U_\phi = 434$ кВ, 39 изоляторов ИС 160-Б) имеет вид

$$\Delta U_n = 0,4(0,9^{n-24} + 0,9^{n+24}) + 0,9. \quad (2-9)$$

Сопоставление результатов расчета (сплошная линия) по этой формуле с экспериментальными данными (отмечены крестиком) показывает (рис. 7), что отклонения между ними составляют меньше 3%.

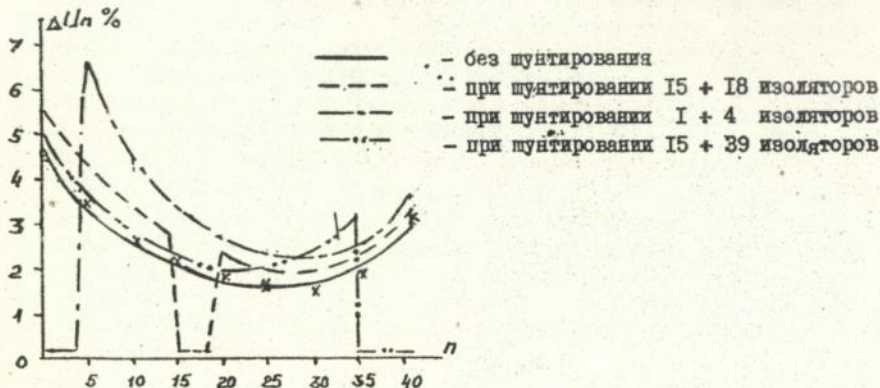


Рис. 7

Шунтирование изоляторов в гирлянде при ПРН приводит к перераспределению напряжения по оставшейся части гирлянды, которое учитывается при разработке технологии ремонтных работ. При закорачивании до 4-х изоляторов, что принято в технологиях работ, изменение напряжения на отдельных изоляторах не превышает 20 %.

Для обеспечения безопасности все работы должны производиться по технологическим картам. Каждая технологическая карта производства работ под напряжением требует выбора схемы производства работ или комбинации нескольких возможных схем, определения наиболее удобных способов доставки электромонтеров в зону производства работ, подбора необходимых приспособлений и т. д. Для обеспечения разработки технологических карт [21] созданы алгоритмы технологий производства работ (рис. 8), состоящие из блоков (А, Б, В, Г, ...), которые определяют основные операции, характерные для данных видов работ (выбор вида работы, методов доставки человека на токоведущие части и на заземленные конструкции, обеспечение работоспособности электроустановок на период ремонтных работ, определение необходимости шунтирования электрических и механических конструкций, определение типов приспособлений для создания механических усилий, для транспортировки инструментов и деталей, выбор мер безопасности, оптимальной технологии производства работ). Блоки связываются между собой операторами 1-4, предназначенными для уточнения предыдущей информации, влияющими на ход дальнейшего выбора решения.

На рис. 9 показана схема блоков А, Б, В. В зависимости от выбранного вида задачи оценивается характеристика выполняемых работ:  $P_1$  - на заземленных конструкциях,  $P_2$  - на поддерживающих гирляндах,  $P_3$  - на проводе и т. д. Каждому виду работ присваиваются шифры  $\Phi_1 - \Phi_1$ , определяются уровни номинальных напряжений электроустановок  $U_1, U_2, U_n$ , на которых ведется работа, способы выполнения работ:  $P_p$  - работа на расстоянии;  $P_k$  - работа в контакте;  $P_n$  - работы на проводе. Выполняется фиксация сочетаний видов работ с присвоением шифров  $\Phi_1 - \Phi_1$ . По результатам рассмотрения вариантов определяется наиболее эффективный способ производства работ, для которого выбираются необходимые устройства для передвижения к месту производства работ, для создания механических усилий. Оцениваются меры, обеспечивающие безопасность производства работ. На все виды ПРН технологические карты допущены и используются как отраслевые нормативные документы.

ЛНБ ім. В. Стефаника  
АН України

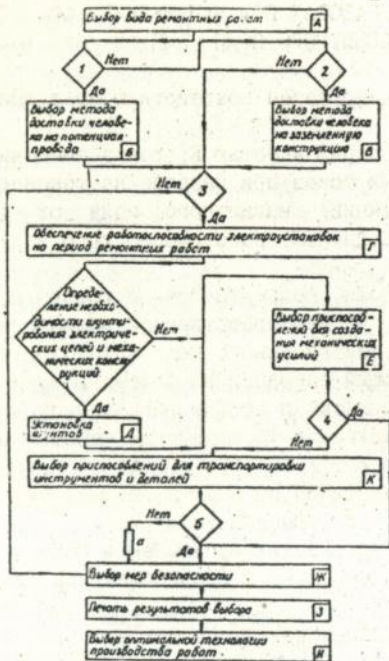


Рис. 8

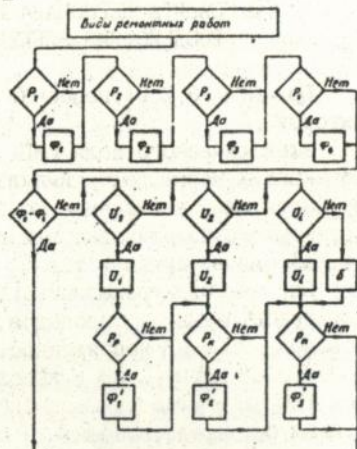
A-K — блоки основных операций;  
I-5 — операторы уточнения информации.

Рис. 9

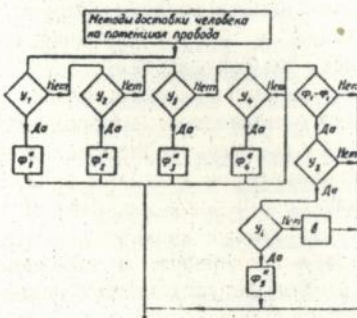
Блок А:  $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$  — работы на различных частях ВЛ (на заземленных конструкциях, на поддерживающих и натяжных гирляндах и т.д.);  $U_1 - U_2$  — номинальные напряжения;  $P_1, P_2, P_n$  — работы соответственно на расстоянии, контакте, потенциале;  $\Phi_1 - \Phi_2$  — сочетание видов работ с фиксацией присвоенных шрифтов;  $\delta$  — требует разработки.

Блок Б:  $Y_1, Y_2, Y_3, Y_4$  — устройства передвижения человека (полос, консоль, маятник, лестница и т.д.);  $\Phi_1 - \Phi_2$  — сочетание видов устройств с присвоенной фиксацией шрифтов;  $\delta$  — требует разработки.

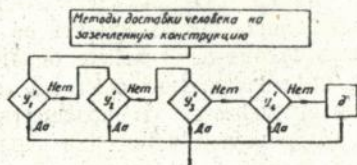
Блок В:  $Y_1', Y_2', Y_3', Y_4'$  — различные устройства, применяемые для доставки человека на заземленные конструкции;  $\delta$  — требует разработки.



Блок А



Блок Б



Блок В

Рис. 9

### 3. ЗАЩИТА ПЕРСОНАЛА ПРИ РАБОТАХ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ ОТ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ (ЭМП)

При ПРН [3,7,9] персонал подвергается воздействию следующих факторов :

электрического поля (ЭП) с напряженностью  $E$ ; токов смещения протекающих через тело; импульсных токов при разряде на токоведущие части или заземленные конструкции; магнитного поля от тока, протекающего по ошиновке или проводам ВЛ; высокочастотного излучения, аэроионов, шумов и т. д.

Влиянию электромагнитного поля подвергается не только персонал, работающий у проводов ( в непосредственной близости от проводов 750 кВ напряженность электрического поля может достигать 1300-3000 кВ/м), но и выполняющий операции на опорах ВЛ напряжением 110 кВ и выше . Согласно принятым в стране гигиеническим нормативам без средств защиты и ограничения по времени работы могут выполняться в зоне с напряженностью ЭП, не превышающей 5 кВ/м (по-роговое значение). При напряженности ЭП от 5 до 25 кВ/м время пребывания персонала в ЭП ограничивается. Предельно допустимый уровень напряженности воздействующего ЭП устанавливается равным 25кВ/м. Пребывания в ЭП напряженностью более 25 кВ/м без применения средств защиты не допускается.

Гигиенические нормативы регламентируют напряженность неискаженного поля, т.е. однородного поля. Однако в действительности имеет место существенное искажение ЭП присутствующим в нем человеком. При размещении человека вдали от токоведущих частей эти искажения носят стабильный характер и в достаточной степени могут быть учтены, что дает возможность использовать в качестве нормируемого параметра напряженность не искажаемого ЭП. При размещении человека вблизи от токоведущих частей искажение ЭП, вносимое человеком, учесть практически невозможно, а следовательно, оно влечет за собой необходимость применения другого нормируемого параметра.

В качестве допустимой напряженности электрического поля наиболее целесообразно принять ее максимальное значение на поверхности тела человека. В работе определены особенности воздействия и защиты от неблагоприятных факторов при ПРН. Определены критерии, по которым оцениваются эти воздействия и меры защиты.

Проведены измерения и расчеты напряженности электрических полей вблизи электроустановок 110-750 кВ [1,25]. Измерения проводились на уровне земли, в районе стоек опор, в непосредственной близости от проводов ВЛ, по гирляндам изоляторов (включая распределения напряжения вдоль гирлянд). Выполнена оценка влияния шунтирования отдельных изоляторов в гирляндах при производстве работ, определено наличие дефектных изоляторов в гирляндах, определено влияние на электрическое поле и изоляционные промежутки технологи-

ческой оснастки.

Для определения допустимой напряженности электрического поля измерения проводились на специальных манекенах, которые размещались в электрическом поле на поверхности земли (высота манекена 1,8 м) и на опорах. При нахождении человека на заземленных конструкциях опор ВЛ 110, 330, 750 кВ напряженность электрического поля на поверхности тела искажена как присутствием самого человека в зоне влияния электрического поля, так и заземленными конструкциями опор ВЛ. Для определения этого влияния проводились измерения распределения напряженности электрического поля на поверхности тела человека и тока смещения, протекающего через него во время нахождения на поверхности земли и на заземленных конструкциях опор. По результатам измерений определялась степень искажения напряженности ЭП заземленными конструкциями опор ВЛ, анализировались параметры, необходимые для формирования требований к средствам защиты персонала, выполняющего работы под напряжением с заземленных конструкций ВЛ 110, 330, 750 кВ. Показано, что коэффициент искажения электрического поля на поверхности земли (на высоте роста человека)  $K_{из} = 1,5$ , при расположении человека на опорах ВЛ уменьшается в зависимости от конструкции ВЛ примерно в 1,5 : 2 раза, что необходимо учитывать при выборе средств экранирования. Максимальные значения напряженностей электрического поля и токов, стекающих с тела человека, приведены в табл. 5, 6.

При выполнении отдельных операций в процессе ПРН электромонтер должен приближаться, а в ряде случаев непосредственно прикасаться к токоведущим частям электроустановок напряжением 750 кВ [29]. Работа в таких условиях требует обеспечения эффективной защиты, позволяющей выполнять на высоте сложные технологические операции.

Наиболее экономичным, эффективным и универсальным средством защиты от воздействия электрического поля является применение защитных экранирующих комплектов [22, 23, 32]. Такие комплекты должны практически полностью защищать человека от воздействия электрического поля. С целью создания наиболее оптимальных конструкций экранирующих комплектов обоснована методика расчета их экранирующей эффективности [36]. Защитная экранирующая одежда выполнена из специальной ткани со специальными проводящими нитями. Ее можно представить как металлическую сетку с ячейками  $e \times e$ , выполненную проводом радиуса  $r$ . При внесении экранирующей одежды в электрическое поле на металлической сети ткани образуются электрические заряды с некоторой средней поверхностной плотностью  $\sigma$ , пропорциональной среднему значению потенциала в соответствующей точке на поверхности одежды по отношению к потенциалу металлической сети ткани:  $\sigma = C(U_c - U)$ .

Коэффициент  $C$  является емкостной плотностью ткани экранирующей одежды, т.е. емкостью ткани, отнесенной к единице ее площади.

Учитывая, что скачок нормальной составляющей напряженности электрического поля равен  $\frac{1}{\epsilon_0} \sigma$ , получаем следующие условия сопряжения на поверхности экрана :

$$\frac{\partial u^+}{\partial n} - \frac{\partial u^-}{\partial n} = \lambda (u - u_c), \quad u = u^- = u^+ \quad (3-1)$$

где характеристика ткани  $\lambda = \frac{1}{\epsilon_0} C$  определяет ее экранирующие свойства.

ее экранирующие

Таблица 5

Место расположе- ния чело- века	Напряженность электрического поля, кВ/м										Ток, мкА	
	в про- стран- стве	На поверхности тела человека										
		голова(темя)		грудь		спина		колени правой ноги	пах			
		а	б	левая	правая	верх	низ					
На поверх- ности земли	5	84,7	74,7	13,7	10,8	24,2	16,7	5,2	5,6	60		
Под про- водом край- ней фазы (в пролете) на уровне 1,8 м	10	120	140	18	11	60	18	8	8,6	110		

Таблица 6

Тип опоры	Максимальное значение уровней электрического поля, кВ/ м		Ток смещения, мкА
	Е <sub>0</sub>	Е <sub>ч</sub>	
У-110-2	15	98	110
ПВ 110-6	14	140	100
У-110-1+9	16	140	110
ПВ 110-5	12	120	105
У 35 М+9	44	203	200
УВ 330-5	34	120	420
ПВ-330-1	33	286	300
АУ 16	45	400	820
Ю-750	50	160	160

Для расчета эффективности экрана необходимо решать уравнение Лапласа с условиями (3-1). Потенциал металлической сети экрана  $U_c$  может задаваться, если к экрану подведен этот потенциал, или равняться среднему значению потенциала на экране, в случае полной изоляции экрана, когда суммарный заряд на нем равен нулю.

Рассмотрим сферический экран радиуса  $R$  из защитной ткани с постоянным значением экранирующего параметра  $\lambda$  во внешнем однородном поле с напряженностью электрического поля  $E_0$ , направленного по вертикальной оси. В сферических координатах потенциал внешнего поля представим в виде  $U^{вн} = U_0 - E_0 z \cos \theta$ . При внесении сферического экрана потенциал внутри и вне сферы имеет следующее выражение

$$U^- = U_c + \frac{U_0 - U_c}{\lambda R + 1} - \frac{3}{\lambda R + 3} E_0 z \cos \theta, \quad z < R; \quad (3-2)$$

$$U^+ = U^{вн} + (U_c - U_0) \frac{\lambda R}{\lambda R + 1} \frac{R}{z} + \frac{\lambda R}{\lambda R + 3} E_0 \frac{R^3}{z^3} \cos \theta, \quad z > R.$$

Из решения (3-2) видим, что внутри сферического экрана поле однородно со значением напряженности электрического поля

$$E^- = \frac{3}{\lambda R + 3} E_0.$$

Вне экрана поле искажается и его напряженность на внешней стороне сферического экрана распределена по закону

$$|E^+| = 3E_0 |\cos \theta|, \quad (U_c = U_0).$$

Если ввести коэффициент экранирования как отношение величины напряженности электрического поля без экрана к величине напряженности с экраном, то коэффициент экранирования сферического экрана в однородном поле выражается формулой

$$K_E = \frac{|E_0|}{|E^-|} = \frac{1}{3} \lambda R + 1. \quad (3-3)$$

Проведенный анализ неоднородного поля и различных форм экрана показал, что приближенно, с достаточной для практики точностью можно считать, что  $K_E$  выражается формулой:

$$K_E = \lambda \cdot K_\Phi \cdot L, \quad (3-4)$$

где  $K_\Phi = (1/4 - 1/6)$  в зависимости от положения экранирующего комплекта ( $K_\Phi = 1/4$ , когда поле перпендикулярно оси человека и  $K_\Phi = 1/6$ , если поле направлено по оси человека);  $L$  - размер экранирующего комплекта в направлении поля.

Защитная характеристика материала экрана зависит от конструкции металлизированной сетки материала. Для сетки, выполненной круглым проводом, радиуса  $r$ , с размером ячеек  $2l \times 2l$  экранирующая характеристика приближенно выражается формулой:

$$\lambda^{-1} = \frac{\ell}{2\pi} \ln \frac{\ell}{\pi L_c} \quad (3-5)$$

Эта формула справедлива и для других видов сеток, если в качестве среднего расстояния между проводами сетки взять величину  $\ell \cdot L_c^{-1}$ , где  $L_c$  — длина прозолаки, приходящаяся на единицу площади поверхности экрана.

Рассчитаны значения коэффициента экранирования ткани с ячейками  $2 \times 2 \times 1$  мм для защитного комплекта и сетки размером  $5 \times 5 \times 0,5$  мм для защиты лица. Экранирующая характеристика ткани для комплекта  $\lambda_{тк} = 3 \text{ мм}^{-1}$ , сетки для лица  $\lambda_c = 0,7 \text{ мм}^{-1}$ .

Полученные результаты показывают, что защитные свойства экранирующего комплекта определяются не только защитной характеристикой материала, но и формой, которую он принимает в процессе работы, что необходимо учитывать при разработке технологий работ.

Критерием защиты человека от воздействия электрического поля [1] является обеспечение допустимой напряженности на поверхности тела  $E_{доп}$  при самых неблагоприятных условиях производства работ. При определении допустимых коэффициентов экранирования  $K_{E_{доп}}$  в расчет принимается максимальное значение напряженности электрического поля для данного класса электроустановок  $E_{вн макс}$ ;

$$K_{E_{доп}} = E_{вн макс} / E_{доп}.$$

Как показали измерения и расчеты для электроустановок до 750 кВ  $E_{вн макс}$  можно принять 2500 кВ/м. В работах [1,2,7] показано, что при ПРН с выходом на потенциал провода условия отличаются от работ на поверхности земли. Нормируемое действующими правилами длительно допустимое значение напряженности однородного электрического поля  $E_0 = 5 \text{ кВ/м}$  соответствует значению искаженного электрического поля  $E_n = 75 \text{ кВ/м}$ . Это значение получено при исследованиях, когда вертикально стоящий человек подвергался воздействию электрического поля, вектор напряженности которого также был направлен вертикально. Это приводит к неравномерному распределению поверхностной плотности заряда на теле человека (80 % ее находится в верхней части тела, которая составляет порядка 1/3 высоты). В процессе ПРН распределение напряженности электрического поля более равномерно, что приводит к воздействию предельных значений напряженности электрического поля почти на всю поверхность тела человека. Обоснована необходимость снижения предельно допустимых значений напряженности электрического поля при ПРН до  $E_{доп} \ll 25 \text{ кВ/м}$ . На основании проведенных исследований работ определено значение  $K_{E_{доп}} \gg 100$ .

В работе [7] показана необходимость учета удельного поверхностного сопротивления материалов, из которых изготавливаются экранирующие комплекты спецодежды. В процессе ПРН при соприкосновении человека с металлическими частями, инструментом, элементами оснастки, имеющими наведенный и "плавающий" потенциал, происходит перераспределение зарядов, а в точке касания протекает ток разряда.

Длительность такого разряда составляет микросекунды. Ток разряда  $I_{\text{р}}$  может достигать сотен ампер. Возможны разряды между телом человека и экранирующим комплектом, что причиняет болевые ощущения. При ПРН такие разряды отрицательно влияют на состояние работающего. Определены параметры экранирующих комплектов, требования по стабильности их характеристик по поверхности защитной одежды. Обоснована необходимость определения при ПРН различных зон производства работ для электроустановок напряжением 220 кВ и выше. Для этих зон оценены условия производства работ и предложены меры защиты человека от воздействия электрического поля.

Зона 1, в которой возможно непосредственное касание работающим токоведущих частей, находящихся под напряжением (радиус этой зоны равен минимально допустимому расстоянию от токоведущих частей до заземленных конструкций).

Зона 2, в которой исключено непосредственное касание токоведущих частей, однако уровень напряженности электрического поля не позволяет работать без защитных средств (работы на опорах ВЛ, металлоконструкциях и оборудовании распределительных устройств).

Зона 3, в которой работающий по условиям воздействия электрического поля может хотя бы ограниченное время находиться без средств защиты (работы в зоне влияния при напряженности однородного электрического поля менее 25 кВ/м, без подъема на металлоконструкции ВЛ и оборудование подстанций).

Данные о максимальных параметрах электрического поля и необходимых коэффициентах экранирования при ПРН в различных зонах производства работ при  $U_{\text{н}}$  до 750 кВ включительно представлены в табл. 7., в которой обозначено: ДДЗ - длительно допустимое значение напряженности электрического поля без средств защиты; \* - допустимое значение электрического поля на поверхности тела человека под экранирующим костюмом;  $E_{\text{доп}}$  при работе в зоне 1 - 25 кВ/м, при работе в зоне 2 - 75 кВ/м.

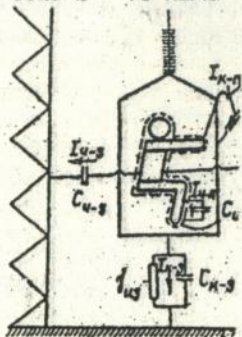


Рис. 10

провода  $C_{\text{ч-н}}$ , "земли"  $C_{\text{з-з}}$ , защитного комплекта и монтерского стула

При ПРН [2,7, 27] человек в экранирующем комплекте находится в монтерском стуле и с помощью канатов поднимается к проводам линии электропередачи (рис. 10). Расчетами и измерениями доказано, что максимальный суммарный ток, протекающий через человека и экранирующий комплект при производстве работ под напряжением, составляет порядка 5-6 мА. Суммарный ток  $I_{\text{сш}}$  зависит от емкостей человека относительно

относительно провода  $C_{2-д}$  также емкостей защитного комплекта и монтерского стула относительно провода  $C_{к-л}$  "земли"  $C_{я-з}$  и проводимости изолирующих устройств относительно "земли"  $\chi_{из}$ . Экранирование по току предусматривает снижение токов, протекающих через тело человека. Для этого экранирующий комплект должен обладать соответствующим коэффициентом экранирования по току смещения  $K_{\Sigma}$ , показывающим, во сколько раз ток, протекающий через тело человека, одетого в защитный экранирующий комплект, меньше суммарного тока, протекающего под воздействием электрического поля через тело человека и экранирующий комплект.

Требуемый коэффициент экранирования по току оценивается исходя из допустимого тока, протекающего через человека  $I_{доп} = 60$  мкА и максимально возможного суммарного тока  $I_{см}$  при выполнении работ под напряжением. По данным испытаний  $I_{см}$  не превышает 6000 мкА:

$$K_{\Sigma доп} \geq I_{см} / I_{доп} \geq 100 \quad (3-19)$$

Для выполнения ПРН разработана специальная конструкция экранирующих комплектов. Для ПРН в зоне 1 и 2 экранирующий комплект состоит из комбинезона с капюшоном, специальных носков и перчаток, которые связаны между собой электрически и создают общий экран. Для изготовления комплектов использовано специальное полотно путем сплетения медных мишурных нитей 2-х процентного серебрения с хлопчатобумажными. Расчетный коэффициент экранирования составляет 400-900. Для ПРН в зоне 3 создана [32] конструкция облегченного экранирующего комплекта, состоящего из куртки с капюшоном и токопроводящей обуви. Он используется для руководителей работами и дежурного персонала, обслуживающего электроустановки напряжением выше 220 кВ.

Характеристика специального полотна для изготовления экранирующих комплектов представлена в табл. 8. Параметры полотна обоснованы требованиями по обеспечению эффективности защиты, удобства при производстве работ, технологичности изготовления.

В работах [22, 26] проведена проверка устойчивости разработанного материала экранирующих комплектов против возгорания при действии импульсных токов и токов смещения. Максимальная удельная мощность искрового разряда  $P$  ( $U_{н} = 750$  кВ) при прикосновении к токоведущим частям равно 11,5 Вт/см. Разработанная ткань для изготовления экранирующих комплектов выдерживает мощность искрового разряда 14 Вт/см. Моделирование процесса искрового разряда на проводящие ткани осуществлялось по критерию равенства мощностей, выделяемых в натуральных условиях и на модели.

На основании выполненных разработок организовано массовое производство экранирующих комплектов защитной экранирующей одежды. По своим параметрам экранирующие комплекты соответствуют лучшим мировым образцам. На рис. 11 и 12 показаны эскизы экранирующих комплектов защитной одежды.

Таблица 7

Зона на ПРН	Максимальные значения параметров				Необходимый уровень защиты				
	Напряженность электрического поля		Ток смеще- ния, $I_{см}, \text{мА}$	Ток разряда, $I_{разр}, \text{А}$	Кэф- фициент экрани- рования		Сопротивление		
	Одно- родного, $E_o, \text{кВ/м}$	Иска- женного, $E_{и}, \text{кВ/м}$			$K_E$	$K_U$	$R_L, \text{ом/см}$	Между двумя точками комплек- та, R, Ом	Между двумя точками перча- ток, R, Ом
1	3000	2500	6	100	100	100	1	100	20
2	60	1500	1	10	60**	15	100	1000	20
3	25	300	0,3	1	5	5	-	-	20
ДДЗ	5	75	0,06	-	-	-	-	-	-

Таблица 8

П а р а м е т р	Токопроводящее специальное полотно экранирующих комплектов для ПРН
Материал проводящей нити	Медная мшиурная нить 2-х процентного серебрения
Диаметр проводящей нити, мм	0,1
Габариты экранирующей ячейки, мм х мм	2 х 2
Удельно поверхностное сопротивление $R_L, \text{Ом/кв. мм}$	0,55
Защитная характеристика ткани, $\text{мм}^{-1}$	3,0
Защитная характеристика сетки для лица (5x5 г - 0,5 мм), $\text{мм}^{-1}$	0,7
Выдерживаемая мощность искрового разряда, Вт/см .	14



Рис. II

Экранирующий комплект

- 1 - экранирующий халат ;
- 2 - экран для лица ;
- 3 - перчатки ;
- 4 - носки.



Рис. I2

Облегченный экранирующий комплект

- 1 - экранирующая накидка ;
- 2 - соединительные ленты ;
- 3 - токопроводящие манжеты ;
- 4 - токопроводящая обувь.

В работах [1,15] оценено влияние магнитной составляющей электромагнитного поля на персонал, обслуживающий электроустановки и выполняющий работы под напряжением. Показано, что допустимое значение напряженности магнитного поля, при которой продолжительность работ под напряжением возможна в течение полной рабочей смены, равно 1000 А/м. Кратковременно (на протяжении нескольких минут) допускается пребывание человека в поле с напряженностью 6000 А/м.

Напряженность магнитного поля в непосредственной близости от проводов ВЛ напряжением 750 кВ, определенная расчетным путем, составляет около 5800 А/м при максимальной нагрузке. При этом она резко снижается по мере удаления от токоведущих частей и уже на расстоянии 5 см не превышает 1000 А/м.

В целом, учитывая результаты производственных расчетов и измерений магнитного поля, можно утверждать, что при работах под напряжением на линиях 750 кВ персонал находится в местах с напряженностью магнитного поля величиной от нескольких А/м до 5-6 кА/м. Разработаны рекомендации по сокращению продолжительности работ в непосредственной близости к токоведущим частям. В технологических картах [2] предусмотрены условия, при которых пребывание вблизи токоведущих частей сокращено технологическим процессом и не превышает нескольких минут.

#### 4. ВЛИЯНИЕ РАБОТ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В научной литературе известно значительное количество работ, посвященное методам оценки экономической эффективности производства, в том числе и энергетического. На практике в настоящее время в процессе проектирования и эксплуатации оценка совокупности принимаемых технических решений производится по одному экономическому критерию - минимуму приведенных затрат  $Z$  с учетом капиталовложений  $K$ , издержек на эксплуатацию и амортизационные отчисления  $U$ , расходов на топливо и компенсацию потерь электроэнергии от нарушения электроснабжения у потребителя -  $У : Z = E_n \cdot K + U + Y$ .

Ремонт электроустановок под напряжением отличается характерной особенностью - сохранением работоспособности электроустановок в период их ремонтов и воздействием на все критерии эффективности СЭС: надежности, экономичности, качества электроэнергии, пропускной способности, управляемости, безопасности.

Решение об эффективности ПРН может быть оценено по результирующей сумме всех частных критериев, которые имеют различный физический смысл. В работах [19, 25] обоснована возможность оценки эффективности ПРН по стоимостной значимости. Показано, что в условиях дефицита генерирующих мощностей, отставания в развитии электросетевого хозяйства, ограничения потребителей из-за недостатка энергоресурсов при расчетах необходимо учитывать также дополнительный эффект от использования мощности, получаемый от снижения потерь мощности в системе от применения ПРН.

Правила устройства электроустановок регламентируют основные свойства СЭС. При проектировании СЭС выбираются схемы электроснабжения, соответствующие требованиям по категориям потребителей. Исходя из этого, при проектировании СЭС принимаются те или иные схемы соединения подстанций: одно-, двух- или многотрансформаторные подстанции; рассматривается возможность и целесообразность использования резервирования электроснабжения от независимых источников или резервирования по сетям низшего напряжения от соседних подстанций. При этом правила устройства электроустановок и правила технической эксплуатации предусматривают периодическое планомерное отключение отдельных элементов системы электроснабжения (линий электропередачи, оборудования подстанций) для проведения плановых ремонтов, что приводит или к снижению надежности электроснабжения или к обесточиванию потребителей на период выполнения ремонтных работ, увеличивая общую продолжительность обесточиваний (плановые + аварийные отключения). Применение ПРН, во-первых, исключает или снижает количество отключений потребителей, во-вторых, за счет регулярного выполнения профилактических работ снижает вероятность аварийных отключений, что следует учитывать при проектировании СЭС. В работах [13, 17, 26]

обоснованы принципы создания системы электроснабжения, адаптированной для обслуживания методами ПРН, представлены основные требования концепции создания правил устройства электроустановок нового типа (приспособленных для обслуживания под напряжением) в части разработки новых устройств для соединения элементов сети, новых коммутационных аппаратов, изолирующих устройств, принципов создания схем электроустановок и конструктивного исполнения установок. Показано, что применение ПРН позволяет упростить схемы электроустановок с учетом замены существующих разъединителей на специальные разъемы, конструкции которых и способы эксплуатации признаны изобретениями [ 33, 36, 39-43 ]. Предложена конструкция сети, обладающая преимуществами по надежности электроснабжения из-за ликвидации излишних элементов в схеме (разъединителей, блокировочных устройств между выключателями и разъединителями от неправильных действий), совмещенная в едином аппарате разъединителя с предохранителем на 0,4 и 10 кВ. Обоснован новый способ обслуживания электрической сети, выполненной с коммутационными аппаратами в виде разъемов, заключающийся в управлении аппаратами с помощью специальных устройств и шунтирования участков для проведения переключений в силовой цепи с использованием для этого специальных мобильных выключателей [ 18, 38 ]. Для устранения замыканий на землю в сетях с изолированной нейтралью разработана технология [14,50], использующая метод шунтирования поврежденной фазы на "землю" в месте производства работ. При этом обосновано, что в случае возникновения двойного замыкания на "землю", ток, протекающий в месте производства ремонтных работ, может достигать нескольких кА. Это требует выполнения ПРН по методу "человек-изоляция-токоведущие части". Обоснованы технологические средства и методы производства работ, обеспечивающие их безопасность для обслуживающего персонала.

Разработаны и утверждены технические требования: "Линии электропередачи высокого и сверхвысокого напряжения, адаптированные к проведению ремонтов под напряжением", "Распределительные устройства высокого и сверхвысокого напряжения, адаптированные к проведению ремонтов под напряжением", "Распределительные устройства 6-10кВ, приспособленные к проведению ремонтно-эксплуатационных работ без снятия напряжения". В них отражены требования к новым видам оборудования, изоляционным устройствам, схемам распределительных устройств, к конструкциям опор и порталов, к узлам крепления проводов и ошинок, к рабочим местам бригад, представлены основные предложения по изменению конструкций ВЛ и подстанций для ПРН. Они предполагают следующее:

- упрощение конструкций, максимальное сокращение в сети количества аппаратов, предназначенных для создания видимых разрывов и заземляющих устройств (что определялось ранее необходимостью ремонтов сети старыми традиционными методами с отключением и заземлением);

- разработку новых устройств для соединения элементов сети (проводов ВЛ и ошиновки распределительных устройств с аппаратами и трансформаторами), приспособленных для удобного отсоединения и подключения под напряжением;

- разработку и применение коммутационных аппаратов, обладающих значительным ресурсом (на порядок больше по сравнению с существующими) по количеству операций, а также приспособленных для обслуживания под напряжением (смазка трущихся деталей, очистка изоляции, возможность диагностики в рабочем состоянии контактов, изоляционной и дугогасящей среды);

- разработку новых изолирующих устройств (изоляторов линейных и опорных, изолирующих траверс и стоек) со специальным креплением проводов, позволяющих демонтировать провода и шины под напряжением, применение вместо голых изолированных самонесущих проводов;

- создание схем и конструкций распределительных устройств, обеспечивающих возможность ремонта всего оборудования без снятия напряжения с питающих и отходящих линий электропередач и силовых трансформаторов;

- повышение механической прочности конструктивных элементов (опор, траверс, проводов), оптимизацию изоляционных расстояний с целью обеспечения устойчивости работы электроустановок при стихийных воздействиях и исключения необходимости сетевого резервирования по условиям надежности электроснабжения при таких воздействиях;

- упрощение средств автоматизации сети, разработку и внедрение средств релейной защиты и автоматики, обеспечивающих самоконтроль исправности и готовности к работе и не требующих периодического отключения электроустановок для планово-предупредительных их проверок.

В работе [26] обоснованы объемы затрат по совершенствованию действующих электроустановок и изменению вновь создаваемого электрооборудования с целью его адаптации для обслуживания под напряжением. Расчеты показывают, что в действующих сетях затраты составят менее одного процента от стоимости объектов. В основном это касается изменения креплений проводов и изоляторов. Работы целесообразно проводить при капитальных ремонтах. При создании новых электрических аппаратов (выключателей, разъединителей, предохранителей, трансформаторов и т. д.) в их конструкциях необходимо предусматривать требования по обслуживанию под напряжением. При этом для всех аппаратов, кроме разъединителей, это не приведет к кардинальным изменениям конструкций, в основном переделываются узлы сочленения с ошиновкой. Разъединители, особенно в сетях 6-10 кВ, целесообразно заменять разъединительными силовыми аппаратами [36], которыми легко можно оперировать под напряжением. Это позволит резко уменьшить размеры распределительных устройств, что в условиях роста стоимости на землю приведет к их удешевлению. В распределительных сетях 10 - 35 кВ из-

меняется конструкция опор и изоляторов и креплений проводов, что приведет к удорожанию линейной части на 7 - 10 %. Уменьшение количества азединителей и упрощение подстанций приводит к их удешевлению на 14 - 15 процентов. При оценке эффективности ПРН следует учитывать возрастание затрат на выполнение ремонтных работ, вызываемое усложнением приспособлений для работ и затрат на подготовку персонала. Для работ на подстанции стоимость приспособлений по сравнению с затратами для линейной бригады увеличивается в 1,5 - 2 раза. Примерно в 2-5 раз возрастает стоимость приспособлений для ремонтной бригады на напряжении 10 - 35 кВ по сравнению со стоимостью оснащения бригады в сети 110 кВ - 750 кВ. Для каждого класса электроустановок (750 - 110 кВ; 35 - 6 кВ; 0,4 кВ) необходимо определять годовой экономический эффект от проведения ПРН как разность годовой экономии ресурсов и дополнительных затрат.

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{прн}} - Z_{\text{прн}} \quad (4-1)$$

где  $\mathcal{E}$  - годовой экономический эффект,  $\mathcal{E}_{\text{прн}}$  - экономия ресурсов от внедрения ПРН,  $Z_{\text{прн}}$  - затраты на внедрение комплекса работ, связанных с обеспечением ПРН.

В работе [19] показана методика оценки  $Z_{\text{прн}}$  с учетом ущербов детерминированного и вероятностного характера, имеющих место при отключении электроустановок для ремонтных работ. При оценке ущербов детерминированного характера рассмотрены два варианта: отключаемая в ремонт линия электропередачи является нерезервируемой и при оценке ущербов он определяется при условии погашения электроснабжения на период ремонтных работ. В резервируемой сети отключение элементов СЭС приводит к снижению уровней напряжения, пропускной способности.

Показано, что в качестве расчетных допустимо применение данных по замерам в системе электроснабжения в режимные дни. Вероятностные составляющие ущерба могут проявить себя только при авариях на линиях, резервирующих отключаемую линию. Учитывая вероятностный характер такого отключения, удельный вероятностный ущерб от отключения резервирующих линий может быть записан как сумма удельных вероятностных ущербов от отключения всех  $n$  резервирующих ВЛ:

$$Y_{\text{в}} = \sum_{j=1}^n Y_{\text{в}j} = \sum_{j=1}^n P_j \cdot Y_j \quad (4-2)$$

где  $Y_j$  - ущерб, обусловленный аварией на  $j$ -й линии при отключенной рассматриваемой нами основной ВЛ;  $P_j$  - вероятность отключения  $j$ -й резервирующей ВЛ. Для определения всех необходимо оценить детерминированную составляющую ущерба при отключении всех резервирующих ВЛ. Для оценки удельного вероятностного ущерба предполагается использовать идею эквивалентного преобразования сети, позволяющую определить самую значительную составляющую удельного вероятностного ущерба - ущерба от полного погашения потребителя. В сложном замкнутой

сети методом вероятностного эквивалентирования путем конечного числа преобразований сети определяется вероятность погашения каждого потребителя, что позволяет оценивать удельный вероятностный ущерб от отключения линии путем суммирования по всем потребителям с учетом их мощности и цены ущерба за 1 кВт.ч. Расчет выполняется дважды - один раз до отключения линии, другой - с отключенной линией. Удельный вероятностный ущерб, связанный с отключением данной ВЛ, определяется как разность полученных удельных вероятностных ущербов. Метод расчета реализуется на ЭВМ и позволяет вычислить удельный вероятный ущерб, обусловленный отключением потребителей с учетом всех возможных аварийных ситуаций.

Предложенная методика позволяет оценивать вероятный ущерб не только из-за вывода в ремонт линии электропередачи. Аналогично может быть оценен вывод в ремонт любых других элементов сети, влияющих на надежность электроснабжения (генераторов, трансформаторов, выключателей, систем шин и др.). В результате разработана методика инженерного расчета эффективности ПРН с учетом всех составляющих, влияющих на СЭС, реализованная на ЭВМ.

Определение экономического эффекта, имеющего все равносильные его составляющие, еще не позволяет создать экономический механизм заинтересованности во внедрении системы ПРН из-за наличия большого количества соисполнителей и различных их отношений к собственности энергетических объектов и ответственности за нарушение электроснабжения (производственное энергетическое объединение, предприятие электрических сетей, район электрических сетей, потребитель). Известно, что энергоснабжающая организация по действующим нормативам несет ответственность только за недоотпуск электроэнергии, а не за фактический ущерб у потребителя, который вызван нарушением электроснабжения. Основная идея создания механизма заинтересованности предприятий во внедрении этой техники [17] заключается в установлении системы принудительных платежей предприятиями, обслуживающими электроустановки, за ущерб, возникающий из-за снижения экономичности и надежности электрической сети при отключениях для проведения ремонтно-эксплуатационных работ.

Максимальная эффективность СЭС может быть достигнута только при выполнении всего комплекса работ, связанного с внедрением ПРН:

- разработка и совершенствование конструкций элементов энергосистем, адаптированных для обслуживания под напряжением;
- разработка устройств и приспособлений для обслуживания электроустановок под напряжением;
- разработка новых приемов и методов обслуживания электроустановок под напряжением.

В работе [20] выполнена оценка безопасности работ под напряжением. При проведении работ в электроустановках поражение персонала происходит в большинстве случаев не из-за того, что он работал под

напряжением или со снятием напряжения, а из-за того, что человек, предполагая работу на отключенной электроустановке, приближался на недопустимое расстояние к токоведущим частям, находящимся под напряжением или ошибочно попадал на соседнюю электроустановку, находящуюся под напряжением. При работе со снятием напряжения безопасность персонала зависит не только от правильных действий лиц, непосредственно участвующих в выполнении работы, но и в значительной мере от правильности и согласованности действий широкого круга работников, занятых подготовкой рабочего места. Достаточно часто травмирование оперативно-ремонтного персонала происходит непосредственно при выполнении операций по подготовке рабочего места: производство оперативных переключений, проверка отсутствия напряжения, наложение заземлений.

При работах под напряжением (ПРН) сужается круг лиц, непосредственно занятых подготовкой рабочего места, упрощаются операции подготовки. Персонал, сознавая особую ответственность работы, действует более внимательно и организованно, при подготовке к работе обращает особое внимание на достаточность мер безопасности и исправное состояние средств защиты от поражения электротоком. Безопасность работ обеспечивается применением специальных технологий, изолированных инструментов, накладок, специальной одежды. Комплекс применяемых при ПРН организационных и технологических мер, обеспечивает более высокий уровень безопасности работ под напряжением по сравнению с традиционными методами работ. Особую роль играет применение специально разработанной системы подготовки персонала [12,14], которая сочетает теоретическое обучение с отработкой методов производства работ на действующих полигонах с устройствами регулирования напряжения. Разработаны методики и программы подготовки рабочих и инженерно-технических работников, создан центр подготовки персонала с действующими полномасштабными макетами электроустановок на все классы напряжения от 0,4 до 750 кВ, что позволило за период с 1983 года по настоящее время обучить методам ПРН более 10 тыс. человек.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационной работе изложены научно-обоснованные технические и технологические решения в области создания и сервисного обслуживания электроустановок 0,4 - 750 кВ, внедрение которых вносит существенный вклад в научно-технический прогресс в энергетике.

Результатом выполненных работ является следующее:

1. Осуществлено теоретическое обоснование принципов организации обслуживания электроустановок под напряжением. Исследована электрическая прочность воздушных изоляционных промежутков, изоля-

ционных конструкций и обоснованы способы производства работ под напряжением с учетом обеспечения безопасности проведения работ. Результаты исследований положены в основу и использованы при создании отраслевых нормативов по безопасности работ под напряжением для электроустановок всех классов напряжения.

2. Разработаны технологические карты производства работ под напряжением для электроустановок всех классов напряжения от 0,4 до 750 кВ, принципы и алгоритмы создания новых технологий производства работ, определены основные направления комплексного совершенствования технологий ремонтных работ. Технологические карты на 180 видов работ допущены в качестве отраслевых нормативов, применяемых при эксплуатации энергосистем.

3. Выполнены исследования и оценены особенности воздействия электромагнитных полей на человека при проведении работ под напряжением. Впервые обоснована необходимость разделения пространства вблизи электроустановок на зоны с различными требованиями по защите персонала. Обоснованы требования к защите персонала от влияния электрического поля в различных зонах с учетом использования защитных экранирующих комплектов одежды. Разработаны конструкции таких комплектов и организовано их массовое производство.

4. Разработаны необходимые технические средства для производства работ под напряжением (изолированный инструмент с двухслойным пластмассовым покрытием, жесткие и гибкие изолирующие конструкции, штанги переноса потенциала, стеклопластиковые лестницы, изолирующие штанги-манипуляторы, монтерские кабины и передвижные тележки, предохранительные устройства и др.), конструкции которых, в отличие от существовавших ранее, позволили повысить безопасность производства работ, снизить физические нагрузки, повысить производительность труда.

5. Выполненные исследования показали необходимость создания специальной системы подготовки персонала для работ под напряжением. Создан центр подготовки персонала с действующими полигонами на напряжении до 750 кВ (ежегодно обучается около 1200 человек).

6. Обоснована концепция создания электроустановок нового поколения, адаптированных для обслуживания под напряжением. Разработаны технологические требования к их конструктивному исполнению, которые в отличие от существующих, предусматривают применение:

- новых изолирующих устройств (изоляторов, изолирующих траверс, стоек) с устройствами специального крепления проводов;
- схем и конструкций распредустройств, обеспечивающих возможность ПРН;
- новых коммутационных аппаратов, приспособленных для обслуживания без снятия напряжения;
- новых устройств для соединения элементов сети (проводов и

ошиновки с аппаратами распределительных устройств), сокращения в сети количества аппаратов для создания видимых разрывов и установки заземляющих устройств ;

- конструктивных элементов (опор, траверс, изоляторов, проводов) повышенной механической прочности с оптимизированными изоляционными расстояниями, обеспечивающими устойчивость при стихийных воздействиях.

7. Исследованы особенности влияния ПРН на эффективность системы электроснабжения. Показано, что внедрение методов обслуживания электроустановок под напряжением определяет возможность перехода к новой более эффективной системе электроснабжения. Разработан и осуществлен комплекс работ по созданию новой системы электроснабжения, предусматривающий:

- разработку и совершенствование конструкций и аппаратов с целью их адаптации для ПРН ;
- разработку устройств и приспособлений для обслуживания электроустановок под напряжением;
- разработку новых приемов и методов ПРН.

8. Важнейшим достижением является то, что метод обслуживания электроустановок под напряжением признан в энергосистемах Украины, как один из основных способов производства работ. С начала 1982 г. обучено работам под напряжением для энергосистем Украины более 10 тысяч человек, среди них значительная часть - инженерно-технические работники, в том числе главные инженеры энергообъединений и предприятий, которые лично опробовали и оценили технологичность работ и эффективность средств защиты путем непосредственного приближения к токоведущим частям и выполнения отдельных операций. Это во многом способствовало преодолению психологического барьера, который в начальный период внедрения ПРН тормозил расширение работ в энергосистемах.

Проведенные исследования и полученные научные и инженерно-технические результаты позволили впервые в отечественной практике создать на уровне лучших мировых достижений массовое производство инструментов, приспособлений, защитных экранирующих комплектов и осуществить на предприятиях электрических сетей выполнение больших объемов работ без отключения линий электропередачи, что дает возможность получать экономический эффект в Украине порядка 20 млн. руб. в год ( в ценах 1990 г.).

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### 1. МОНОГРАФИИ

1. Удод Е. И. Ремонт электроустановок под напряжением. - Киев: Техника, - 1986. - 170 с.
2. Технологические карты производства работ под напряжением на ВЛ 220-750 кВ / Удод Е. И., Кульматицкий О. И., Таловерья В. Л., Под редакцией Удода Е. И. - К.: Техника, - 1988. - 200 с.

### II. СТАТЬИ, ДОКЛАДЫ, ПРЕПРИНТЫ .

3. Удод Е. И. Ремонт высоковольтных линий электропередачи. - Киев: УкрНТОЭ и ЭП, - 1981. - 55 с.
4. Попков В. И., Удод Е. И. Выбор изоляции по результатам ее стендовых испытаний //... Изоляции воздушных линий и распределительных устройств в районах с загрязненной атмосферой: Сб. науч. трудов НИИЛТ. - Л.: Энергоатомиздат, - 1983. - с. 26-31.
5. Удод Е. И., Алферов С. Е., Кульматицкий О. И., и др. Ремонт ВЛ 220-750 кВ под напряжением // Электрические станции. - 1985. - №5. - С. 52-54.
6. Удод Е. И., Кульматицкий О. И., Таловерья В. Л. Ремонт электрических сетей, находящихся под напряжением. - Киев: УкрНТО и ЭП, - 1985, 53 с.
7. Удод Е. И., Король В. С., Таловерья В. Л., Кульматицкий О. И. Защитная экранирующая одежда для работ под напряжением // Электрические станции. - 1985. - №9. - С. 58-61.
8. Скляр В. Ф., Удод Е. И. Эффективность ремонтных работ под напряжением в электрических сетях // Электрич. станции, - 1985. №12. - С. 53-57.
9. Удод Е. И. Опыт работ под напряжением на линиях электропередачи Минэнерго УССР // Энергетика и электрификация: Сер. Эксплуатация и ремонт электрических сетей. - 1986. - Вып. 11. - С. 3-5.
10. Удод Е. И., Молчанов В. Н., Царук В. А. и др. Инструмент для работы под напряжением в электроустановках 0,38 кВ // Электрич. станции. - 1987. - № 2. - С. 43-45.
11. Скляр В. Ф., Удод Е. И., Кульматицкий О. И. Ремонт натяжных гирлянд ВЛ 220-750 кВ // Энергетик, - 1987, - №2, С. 19-20.
12. Скляр В. Ф., Удод Е. И., Молчанов В. Н. и др. Ремонт электроустановок под напряжением // Электрические станции. - 1987. - №6. - С. 56-57.
13. Удод Е. И., Шевляков В. И. Проблемы повышения надежности электроснабжения сельскохозяйственных потребителей. - Киев: "Знание" УССР, - 1987. - 18 с.
14. Удод Е. И., Красинский В. Н. Учебный центр по подготовке персонала к работам под напряжением // Энергетик. - 1988. - №12. -
15. Вакуленко А. А., Кульчицкий М. И., Таловерья В. Л., Удод Е. И. Опыт работ под напряжением на ВЛ 0,4-750 кВ Киевэнерго // Энергетика и электрификация: Сер. эксплуатация и ремонт электрических сетей. - 1988. - Вып. 11. - С. 12-14.
16. Яшин Ю. Н., Соломатов В. Н., Шарова Л. И., Таловерья В. Л., Удод Е. И. Применение полимерных изоляторов для производства работ под напряжением // Энергетика и электрификация: Сер. Эксплуатация и ремонт электрических сетей. - 1988. - Вып. 12. - С. 13-14.
17. Удод Е. И. Оптимизация системы электроснабжения при ремонте

электроустановок под напряжением // Электрич. станции. - 1989- №8. - С. 57-60.

18. Удод Е. И., Шевляков В. И. Принципы создания распределительных сетей повышенной надежности. Электрические станции. - 1991 N 2. С. 49-51.

19. Удод Е. И., Таловерья В. Л., Федоровский Г. К. Экономический механизм, стимулирующий внедрение ремонта электроустановок без отключения от сети. // Электрические станции. - 1991 N 4 - С. 56-59.

20. Удод Е. И. Оценка безопасности работ под напряжением. // Энергетика и электрификация. - 1991 N4- С. 19-21.

21. Удод Е. И. Принципы создания технологии и технологической оснастки работ под напряжением. / Энергетика и электрификация. - 1992 - N1. - С. 19-20.

22. Удод Е. И. Нижник Л. И. Расчет эффективности экранирующей одежды для работ под напряжением. / Энергетика и электрификация. - 1992- N 2. - С. 19-20.

23. Удод Е. И. Экранирующие комплекты спецодежды для работ под напряжением в электроустановках 220-750 кВ // Техн. электродинамика. - 1992. - N2. - С. 108.

24. Удод Е. И., Нижник Л. П. Распределение напряжения по натяжной гирлянде изоляторов при проведении ремонтных работ, // Техн. электродинамика. - 1992. - N 3. - С. 3-6.

25. Удод Е. И. Научно-технические основы ремонта электроустановок под напряжением препр. / АН Украины. Институт электродинамики: 724/ - Киев, - 1992- С. 72.

26. Удод Е. И. Проблемы повышения эффективности ремонта электроустановок под напряжением. // Техн. электродинамика. - 1993. - N 1.

### III АВТОРСКИЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА

27. А. С. N 1228177 МКИ N 02G 1/02. Устройство для замены гирлянд изоляторов воздушных линий электропередачи, находящихся под напряжением. / Кульматицкий О. И., Удод Е. И., Спивак И. Д., Кутин В. М.

- Оpubл. 30.04.86, Бюл. N16 - С. 229.

28. А. С. 1311569 МКИ N02 1/2. Устройство для замены изоляторов и арматуры натяжных гирлянд высоковольтных линий электропередачи под напряжением. / Е. И. Удод, О. И. Кульматицкий, В. М. Кутин, Н. Д. Спивак. Оpubл. 15.05.87. Бюл. N 18. - С. 259.

29. А. С. 1479994 МКИ N 02 1/2. Устройство для замены изоляторов натяжных гирлянд высоковольтных линий электропередачи под напряжением. / А. П. Водольчук, А. И. Козаченко, Е. И. Удод, В. Л. Таловерья, Н. Б. Попель. - Оpubл. 15.05.89. Бюл. N 18. - С. 211-212.

30. А. С. 1474774 МКИ N02 1/2. Устройство для обслуживания высоковольтных линий электропередачи, находящихся под напряжением. / А. И. Козаченко, В. И. Плохонин, Б. Попель, В. Л. Таловерья, Е. И. Удод. - Оpubл. 23.04.89. Бюл. N15. - С. 249.

31. А. С. 1488905 МКИ N 02 1/2. Устройство для выполнения работ на воздушных линиях электропередачи, находящихся под напряжением. / Е. И. Удод, Р. Ф. Стасенко, Г. П. Крыжов. - Оpubл. 23.07.89. Бюл. N 23. - С. 252.

32. А. С. 1551336 МКИ А 41 Д 13/00. Защитная экранирующая одежда. / Е. И. Удод, В. Л. Таловерья, В. И. Павленко, В. С. Король, А. П. Водольчук. - Оpubл. 23.03.90. Бюл. N 11. - С. 19.

33. А. С. 1552249 МКИ N 01 N 33/02. Контактный разъем. / Е. И. Удод, М. Т. Романенко, Г. П. Крыжов. - Оpubл. 23.03.90. Бюл. N 11. - С. 223.

34. А. С. 1563781 МКИ В 05 Д 1/38. Способ получения электроизоляционного покрытия. / Е. И. Удод, В. А. Царук, Д. И. Вальдман. - Оpubл. 15.05.90. Бюл. - N 15. - С. 43.
35. А. С. 1584014 МКИ Н 02 1/2. Тележка для передвижения по проводам расщепленной фазы воздушной линии электропередачи /А. П. Лигинский, Н. В. Юпель, В. Л. Таловерья, Е. И. Удод. - Оpubл. 07.08.90. Бюл. N29. - С. 235.
36. А. С. 15997951 МКИ Н 01 31/00. Разъединительный силовой аппарат. / Е. И. Удод, М. Т. Романенко, Г. П. Крызов, В. А. Царук, В. И. Доля. - Оpubл. 07.10.90. Бюл. N37. - С. 178.
37. А. С. 1592893 МКИ Н 02 1/02. Способ устранения однофазных замыканий на землю под напряжением. /Е. И. Удод, М. Т. Романенко, Г. П. Крызов. - Оpubл. 15.09.90. Бюл. -N34. - С. 243-244.
38. А. С. 1628181 МКИ Н 02 1/02. Способ обслуживания электрической сети. /Е. И. Удод, В. И. Шевляков, М. Т. Романенко, Г. П. Крызов, В. А. Царук. - Оpubл. 15.02.91. Бюл. N6. - С. 179.
39. А. С. 1638753 МКИ Н 02 7/05. Зажим для провода воздушной линии электропередачи и способ его установки на изолирующих траверсах. /Е. И. Удод, Г. П. Крызов, В. А. Царук, В. А. Степанчук. - Оpubл. 30.03.91 Бюл. - N12. - С. 107.
40. А. С. 1629331 МКИ Н 01 43/00. Разъединительная штанга. /Е. И. Удод, Г. П. Крызов, В. А. Царук, А. Н. Булах. - Оpubл. 15.12.91. Бюл. - N 46. -С. 233-234.
41. А. С. 1644241 МКИ Н 01 31/00. Разъем. / Е. И. Удод, Г. П. Крызов, М. Т. Романенко, В. А. Царук. - Оpubл. 23.04.91. Бюл. - N15. -С. 219.
42. А. С. 1638754 МКИ 7/05. Зажим для провода воздушной линии электропередачи и способ его установки на изолирующих траверсах. /Е. И. Удод, Г. П. Крызов, В. А. Царук, В. А. Степанчук. - Оpubл. 30.03.91. Бюл. - N12 - С. 168.
43. А. С. 1686494 МКИ Н 01 В 17/22. Устройство для крепления провода воздушной линии электропередачи. /Е. И. Удод, Г. П. Крызов, В. А. Царук - Оpubл. 23.10.91. Бюл. - N39. - С. 46.
44. А. С. 1723612 МКИ Н 02 П 1/02. Изолирующее устройство на самоходных вышках или подъемниках для работ под напряжением. /В. Г. Левченко, В. Н. Андрущенко, Е. И. Удод - Оpubл. 30.09.92. Бюл. N12. - С. 72.

Личный вклад. Автором самостоятельно разработаны научно-технические основы создания и обеспечения ремонтно-эксплуатационного обслуживания электроустановок, адаптированных для обслуживания без отключения от сети. В основных публикациях, написанных в соавторстве, лично автору принадлежит: анализ, научное обоснование проблемы, подготовка и редактирование рукописи: 2, 4 - 14, 18, 19, 22, 24; участие в экспериментах и обработка экспериментальных данных : 15, 16, обоснование идеи, участие в разработке и формулировке признаков изобретения ( 21 - 44). В изобретениях права соавторам принадлежат в равной мере.

Соискатель:



Подписано к печати 9.03.93г.      Формат 60x84/16  
Бумага офсетная Усл.-печ.лист, 2,0. Уч.-изд. лист 2,0.  
Тираж 150. Заказ 282.

---

Полиграф. уч-к Института электродинамики АН Украины,  
252057, Киев-57, проспект Победы, 56.

471023

A-26.916

Av 26.916

IDENTITY NUMBER 21848  
IDENTITY NUMBER 21848

IDENTITY NUMBER 21848

IDENTITY NUMBER 21848

IDENTITY NUMBER 21848

IDENTITY NUMBER 21848

IDENTITY NUMBER 21848

IDENTITY NUMBER 21848