

О НОРМАХ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ РАБОТ НА ВЛ, НАХОДЯЩИХСЯ ПОД НАВЕДЁННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Целебровский Ю.В.

Приведен ряд ошибок, выявленных при работе с нормативной документацией. Даны предложения о внесении корректировки в нормативно техническую документацию.

Работы на воздушных линиях электропередачи проводятся обычно в соответствии с руководящими документами и стандартами предприятия (Правилами безопасности, Типовыми инструкциями, Методическими указаниями и т.п.). В отношении работ на ВЛ, находящихся под наведённым напряжением, также существует ряд подобных документов различного уровня, призванных обеспечить безопасность проведения работ в условиях воздействия проходящих рядом действующих ВЛ или контактных сетей переменного тока железной дороги.

Практика проведения этих работ квалифицированным персоналом служб ВЛ, показывает, что выполнение всех предписываемых правилами и инструкциями мероприятий и действий сопряжено порой со значительным техническим и организационным усложнением работ. Ряд положений правил и инструкций истолковывается неоднозначно представителями различных служб, задействованных в процессе подготовки работ. Некоторые указания этих документов оказываются избыточными, а другие, наоборот, недостаточными для обеспечения безопасности работ. Нередки несчастные случаи при работах на ВЛ, связанные с наведённым напряжением. Это показывают обзоры несчастных случаев по РАО ЕЭС за последние годы.

Тяжесть электротравмы при попадании под напряжение, в том числе и наведённое, легко можно прогнозировать, базируясь на цифрах стандарта «Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [1], составленного на основе экспериментальных исследований, проведённых в России и за рубежом. Предельные значения напряжений переменного тока частотой 50 Гц, регламентируемые этим стандартом, и последствия их превышения сведены в таб. 1.

Таблица 1
Последствия воздействия напряжений на человека (по ГОСТ 12.1.038-82)

Предельное напряжение, В	Время воздействия, с	Последствие превышения предельных значений	Ссылка на таблицу ГОСТ 12.1.038-82
2	600	Возникает ощущение тока	Табл. 1
20	Свыше 1	Судороги мышц, «неотпускание»	Табл. 2
65	Свыше 1,0 до 5,0	Фибрилляция сердца	Табл. 3
100	1,0		
130	0,7		
200	0,5		
400	0,2		
500	0,1		

К сожалению, нормируемые ГОСТом значения никоим образом не учитываются в правилах и инструкциях по обеспечению безопасности работ на ВЛ, находящихся под наведённым напряжением.

В настоящем докладе не ставится цель подробно разбирать достоинства и недостатки ведомственных и местных правил, инструкций и методических указаний по работам на ВЛ. Все они в той или иной степени учитывают требования Правил устройства электроустановок (ПУЭ) [2] и Межотраслевых правил по охране труда (правил безопасности) при эксплуатации электроустановок (ПОТ Р М) [3]. Последний основополагающий документ и являются основным объектом нашего критического анализа.

ПОТ Р М в отношении мероприятий, обеспечивающих безопасность работ, выделяют две категории работ:

- работа без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них.
- работы со снятием напряжения.

В первую категорию входит и работа на ВЛ, находящихся под наведённым напряжением: «Работа без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них: Работа, выполняемая с прикосновением к токоведущим частям, находящимся под напряжением (работам или наведённым), или на расстоянии от этих частей менее допустимых».¹

Для работ со снятием напряжения раздел 3 ПОТ Р М предусматривает известные Технические мероприятия, обеспечивающие безопасность работ со снятием напряжения. Работы без снятия напряжения на ВЛ (4.15 ПОТ Р М) для обеспечения электробезопасности проводятся по одной из двух схем (4.15.21):

- путем применения изолирующих средств человеком, находящимся на земле,
- путем изоляции человека от земли и уравнивания² потенциалов экранирующего комплекта, рабочей площадки и провода.

Работы на ВЛ под наведённым напряжением, на одной отключённой цепи многоцепной ВЛ выделяются в отдельный раздел (4.15.43 – 4.15.58). Следует заметить, что пофазный ремонт ВЛ, относящийся по природе опасности также к наличию наведённого напряжения описывается в ПОТ Р М отдельными параграфами (4.15.59 – 4.15.62), а работы на грозозащитном тросе действующей ВЛ в ПОТ Р М почему-то вообще не рассматриваются.

Проанализируем, во-первых, насколько правомерно отнесение работ под наведённым напряжением к категории «без снятия напряжения на токоведущих частях или вблизи них». Для анализа составим табл.2, в которую сведём мероприятия по обеспечению безопасности работ на ВЛ без снятия напряжения и со снятием напряжения и сопоставим эти мероприятия с мероприятиями при работах на ВЛ под наведённым напряжением.

В клетках таблицы показаны ссылки на параграфы ПОТ Р М, которые требуют выполнения того или иного мероприятия. Прежде всего следует отметить, что работы на ВЛ под наведённым напряжением имеют свои отличительные особенности. Во-первых, линия под наведённым напряжением – это отключённая линия, но, с другой стороны, на ней существуют напряжения, обусловленные влиянием соседних линий. С этих позиций источник напряжения не отключён. Далее, на ВЛ, находящихся в зоне влияния, требуется измерение напряжения. Такое измерение заменяет по сути «проверку отсутствия напряжения», которую делают в отключенных электроустановках перед наложением заземления. Наложение заземления на месте работ на ВЛ под наведённым напряжением обязательно, однако одной из особенностей является случай разземления концов ВЛ в РУ (это требование более подробно будет рассмотрено нами в дальнейшем).

Если чисто визуально оценить таблицу 2, то видно, что при работах на ВЛ под наведённым напряжением в большей степени выполняются мероприятия, характерные для категории работ «со снятием напряжения». Однако присутствуют и признаки работ категории «без снятия напряжения».

Работы на ВЛ, находящейся в зоне влияния, работы на отключённой цепи многоцепной ВЛ, работы на отключённой фазе при пофазном ремонте, работы на грозозащитном тросе действующей ВЛ, кроме того, имеют и такие специфические особенности как:

¹ Здесь и далее курсивом в кавычках выделяются формулировки нормативных документов.

² Здесь в ПОТ Р М применён неверный термин - «уравнивание». См. 1.7.32 ПУЭ: «Уравнивание потенциалов – электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов»

- неопределённость режима источника наводимого напряжения (меняющаяся нагрузка, возможные короткие замыкания);
- различная природа составляющих наведённого напряжения (индуктивная, ёмкостная) требующая различных мер безопасности;
- одновременность работ, проводимых с земли и на проводе;
- возможность одновременной работы нескольких бригад на одном объекте по разным нарядам и с разными производителями работ;
- меняющаяся конфигурация схемы и наводимых напряжений при работах по замене проводов и тросов и т.д.

Таблица 2

Сравнительный анализ требований ПОТ Р М к обеспечению безопасности работ

Мероприятия	Без снятия напряжения			Со снятием напряжения				
	Применение изолирующей штанги	Изоляция работающего от земли	Уравнивание потенциалов	Отключения	Вывешивание запрещающих плакатов	Проверка отсутствия напряжения	Установка заземления	Ограждение рабочего места, вывешивание плакатов
Работа на ВЛ без снятия напряжения	4.15.21	4.15.21	4.15.21					
Работа на ВЛ под наведённым напряжением	4.15.45		4.15.44	4.15.43	4.15.43	4.15.52	4.15.45-4.15.51, 4.15.53	

Таким образом, напрашивается вывод: работы на ВЛ, находящихся в зоне влияния действующих ВЛ или контактной сети железной дороги, работы на отключённой цепи многоцепной ВЛ, работы на отключённой фазе при пофазном ремонте, работы на грозозащитном тросе действующей ВЛ должны быть выделены в отдельную категорию «работы под наведённым напряжением». К этой категории могут быть отнесены дополнительно и такие работы, как, например, прокладка кабелей и проводов по ОРУ действующей подстанции, измерение характеристик заземляющих устройств, работы по замене наземных труб водоводов на подстанции и другие работы, где наведённое напряжение может представлять опасность.

Далее в докладе мы сосредоточимся только на анализе требований, изложенных в разделе «Работы на ВЛ под наведённым напряжением; на одной отключённой цепи многоцепной ВЛ» (4.15.43 – 4.15.58 ПОТ Р М).

Остановимся вначале на определении воздушной линии под наведённым напряжением [3]. «Воздушная линия под наведённым напряжением: ВЛ и ВЛС³, которые проходят по всей длине или на отдельных участках вблизи действующих ВЛ или вблизи контактной сети электрифицированной железной дороги переменного тока и на отключённых проводах которых при различных схемах их заземления (а также при отсутствии заземлений) и при наибольшем рабочем токе действующих ВЛ (контактной сети) наводятся напряжения более 25 В».

В приведённом определении существует большая неопределённость, заключённая в словах «...при различных схемах их заземления (а также при отсутствии заземлений)...».

³ ВЛС – воздушная линия связи

Эта неопределённость не позволяет эксплуатирующим организациям точно определить путём измерений относится ли ВЛ к рассматриваемой категории или нет, так как перебрать все возможные схемы заземления практически невозможно, а измерения на ВЛ без заземления методически сложны и весьма опасны. В то же время более точное определение лежит на поверхности.

Прежде чем перейти к предлагаемой формулировке остановимся кратко на механизмах появления наведённого напряжения. Появление наведённого напряжения связано с влиянием действующей линии на отключённую, и это влияние можно подразделить на 3 типа:

- ёмкостное влияние,
- индуктивное влияние.
- кондуктивное влияние.

Ёмкостное влияние.

Под этим типом влияния понимают возникновение электрического заряда на отключённой ВЛ под действием электрического заряда ВЛ, находящейся под рабочим напряжением. Соотношение значений этих зарядов зависит от соотношения ёмкостей: СВЛ-ВЛ и СВЛ-земля. Здесь СВЛ-ВЛ - ёмкость между проводами действующей и отключённой ВЛ, а СВЛ-земля- ёмкость между проводами отключённой ВЛ и землёй. Ёмкостное влияние не зависит от нагрузки действующей ВЛ. Оно полностью исчезает после надёжного (с малым сопротивлением) заземления отключённой ВЛ хотя бы в одной точке.

Индуктивное влияние.

Под этим типом влияния понимают возникновение на отключённой ВЛ продольной ЭДС от переменного магнитного поля действующей ВЛ. Наличие поперечных ёмкостных и активных сопротивлений⁴ приводит к появлению напряжений «провод – земля». Индуктивное влияние проявляется как на разземлённой, так и на заземлённой отключённой ВЛ.

Кондуктивное влияние.

Под этим типом влияния понимают возникновение напряжения на отключённой ВЛ при обрыве провода на действующей ВЛ, пересекающей отключённую, в месте пересечения. Если не принимать во внимание малую вероятность такого случая, то он оказывается наиболее опасным из-за недопустимо больших напряжений прикосновения к заземлённым опорам и механизмам. По-видимому, из-за малой вероятности этого случая меры по защите от этой опасной ситуации не рассматриваются даже и в разделе ПОТ Р М «Работы в пролётах пересечения с действующими ВЛ» (4.15.33-4.15.42). Далее мы также не будем рассматривать этот случай.

Рассмотрим индуктивное влияние, которое создаёт напряжения на ВЛ при любых схемах заземления и без заземления проводов отключённой ВЛ.

При параллельном следовании отключённой и влияющей ВЛ можно рассмотреть два крайних случая:

- отключённая ВЛ не заземлена, или заземлена в одной точке на середине длины;
- отключённая ВЛ заземлена с одной стороны на подстанции, другой конец разземлён.

Распределения напряжения «провод-земля» для этих двух случаев представлены на рис.1 и 2. Приведённые на рисунках расчётные значения напряжений соответствуют следующим исходным данным: расстояние между влияющей и отключённой ВЛ – 100 м; длина параллельного следования – 150 км; ток нагрузки влияющей ВЛ 500 кВ – 300 А.

Из рисунка ясно видно, что наибольшие наведённые напряжения появляются при заземлении линии на конце. При этом при параллельном следовании влияющей ВЛ наибольшее напряжение фиксируется на другом конце линии. При сближениях и пересечениях с влияющей ВЛ максимальные напряжения могут возникать в других местах. Но любые варианты приводят к однозначному определению ВЛ, находящейся под наведённым напряжением: ВЛ и ВЛС, которые проходят по всей длине или на отдельных участках вблизи дейст-

⁴ Поперечное ёмкостное сопротивление – это сопротивление, обусловленное ёмкостью $C_{\text{ВЛ-земля}}$, а поперечное активное сопротивление – это сопротивление току утечки через изоляцию и, главным образом, – сопротивление заземления заземлённых проводов.

вующих ВЛ или вблизи контактной сети электрифицированной железной дороги переменного тока и на отключенных проводах которых *при заземлении их на одном конце в РУ подстанции на другом конце линии и/или в любой другой точке провода*, наводится напряжение больше 25 В.

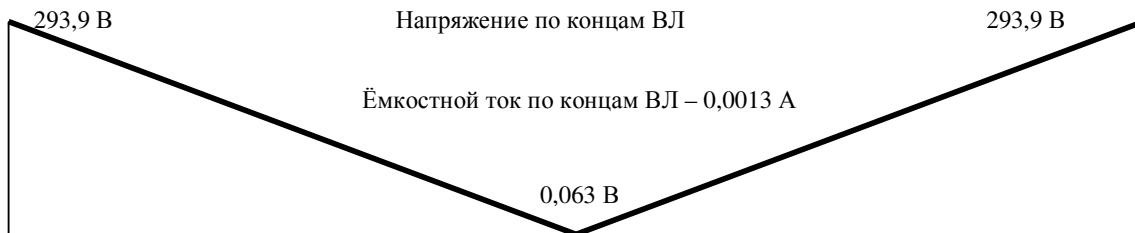


Рис. 1. Распределение наведенного напряжения на незаземлённой ВЛ

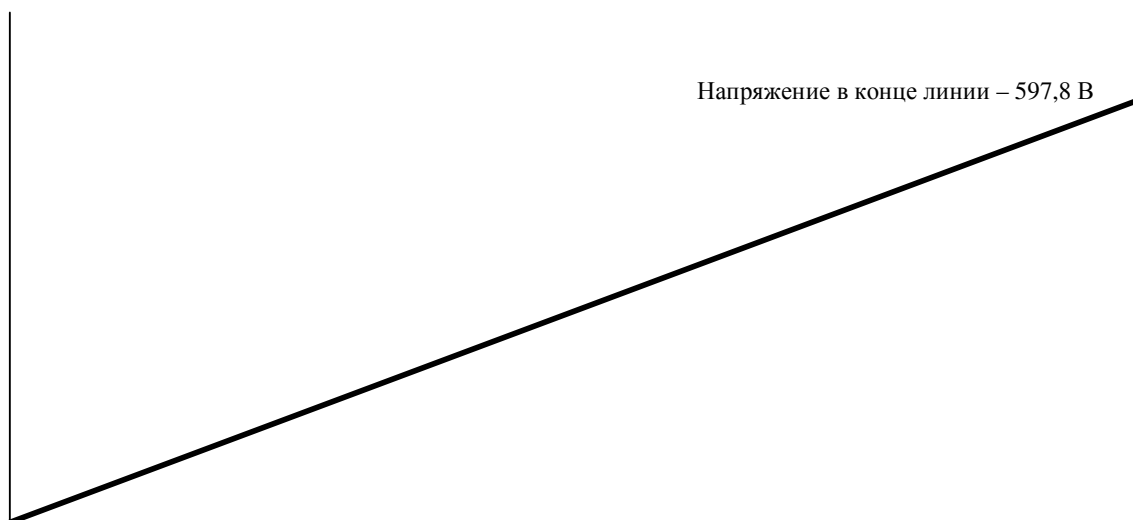


Рис. 2. Распределение наведенного напряжения по ВЛ, заземлённой с одного конца

Аналогичного мнения придерживаются и автор [4], который предлагает такую формулировку: «ВЛ и ВЛС, которые проходят по всей длине или на отдельных участках вблизи действующих ВЛ или вблизи контактной сети электрифицированной железной дороги переменного тока и при заземлении которых (отключённых ВЛ или ВЛС) на одном конце – на другом конце наводится напряжение более 25 В в пересчёте на максимальное влияние действующей ВЛ (наибольший рабочий ток одиночной ВЛ, наибольший эквивалентный ток нескольких ВЛ) или контактной сети». Как уже говорилось, при сближающихся и пересекающихся ВЛ максимальное напряжение возможно не на конце ВЛ, а в других местах, в частности, в месте пересечения, поэтому предложенное нами определение является более общим. Оно позволяет четко определить методику измерений и однозначно составить список ВЛ, находящихся под наведённым напряжением.

Остановимся теперь на двух других требованиях ПОТ Р М, изложенных в 4.15.53 и 4.15.54:

4.15.53. Если на отключённой ВЛ (цепи), находящейся под наведённым напряжением, не удастся снизить это напряжение до 25 В, необходимо работать с заземлением проводов только на одной опоре или на двух смежных. При этом заземлять ВЛ (цепь) в РУ не допускается. Допускается работа бригады только с опор, на которых установлены заземления, или на проводе в пролёте между ними.

Здесь возникает, по меньшей мере, два вопроса. Во-первых, в рассматриваемом разделе ПОТ Р М не описаны конкретные технические мероприятия по снижению наведённого напряжения, а если отнести работу на такой ВЛ к разряду работ без снятия напряжения, то используемые в этом случае технические решения (описаны выше) никогда не снизят наведённого напряжения. Во-вторых, и это главное, предлагается разземлить ВЛ в РУ, что приведёт: а) к повышению напряжения во всех точках ВЛ, кроме места работ, где установлено заземление, б) снизит надёжность заземления (одна точка вместо трёх). Это иллюстрируется на рис.1 и 3.

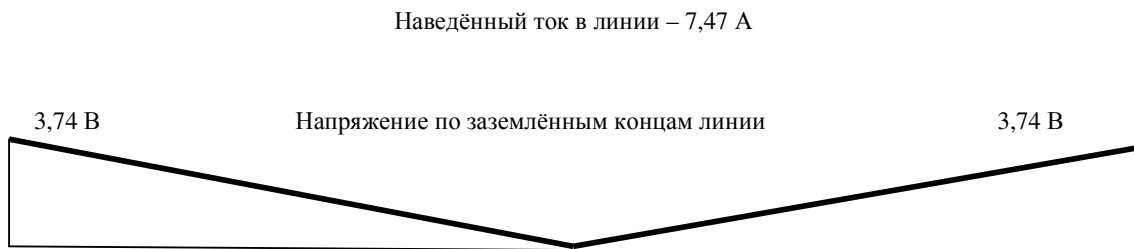


Рис 3. Распределение наведённого напряжения по ВЛ, заземлённой по концам

Из рис.3 видно, что на ВЛ, заземлённой по концам на ЗУ РУ не наводится напряжения выше 4 В, в то время как на разземлённой ВЛ (рис.1) при тех же условиях напряжения достигают 300 В. Если учитывать возможные несимметричные короткие замыкания (КЗ) на влияющей ВЛ, то наведённые напряжения, естественно, увеличатся, но в обоих случаях.

По-видимому, опасения появления высоких напряжений при КЗ легли в основу следующего требования:

4.15.54. При необходимости работы в двух и более пролётах (участках) ВЛ (цепь) должна быть разделена на электрически не связанные участки посредством разъединения петель на анкерных опорах. На каждом из таких участков у мест установки заземлений может работать лишь одна бригада.

Это требование самое трудоёмкое, но сомнительное в отношении повышения электробезопасности. Действительно, рассмотрим ту же ВЛ, что и ранее, но заземлённую не только в ОРУ, но и в двух точках на местах работ (шлейфы на анкерных опорах не разрезаются). Возникающие токи и напряжения показаны на рис.4.

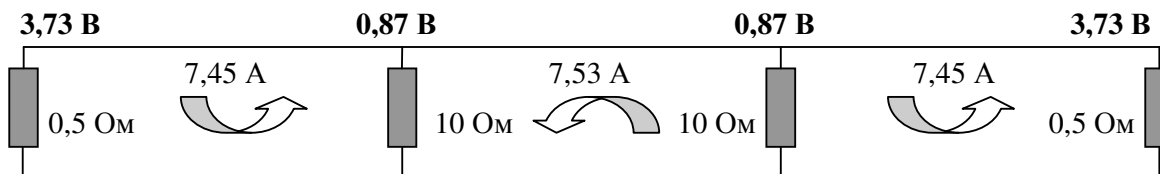


Рис 4. Распределение наведённых напряжений и токов по ВЛ, заземлённой в четырёх точках

На рис.4 показаны контурные токи, возникающие в результате индуктивного влияния. Протекание этих токов через заземляющие устройства создаёт напряжения на ЗУ, и, как часть этих напряжений – напряжения прикосновения к месту заземления (опорам ВЛ). Следует подчеркнуть, что через ЗУ РУ протекают полные наведённые токи, но в силу малых сопротивлений заземления возникающие напряжения невелики. Через заземляющие устройства на линии протекают разницы токов прилегающих контуров, и поэтому, несмотря на повышенные сопротивления заземления, возникающие напряжения невелики. При разрезе ли-

нии контурный ток не изменится, зато напряжение в месте заземления возрастёт в несколько раз. Разве от этого улучшится безопасность? Очевидно, и это доказывает приведённый пример, что при коротких замыканиях во влияющей ВЛ рассуждения останутся прежними. Только напряжения возрастут в десятки раз. В РУ они не будут представлять опасности, равно как и у мест хорошего заземления на ВЛ (см. табл. 1), а при разрезе ВЛ превысят все допустимые нормы.

Обратимся теперь к основополагающему документу – главе 1.7 ПУЭ [2]. ПУЭ устанавливает:

1.7.53. Защиту при косвенном прикосновении⁵ следует выполнять во всех случаях, если напряжение в электроустановке превышает 50 В переменного и 120 В постоянного тока.

В помещениях с повышенной опасностью, особо опасных и в наружных установках выполнение защиты при косвенном прикосновении может потребоваться при более низких напряжениях, например, 25 В переменного и 60 В постоянного тока м или 12 В переменного и 30 В постоянного тока при наличии требований соответствующих глав ПУЭ.

Защита от прямого прикосновения⁶ не требуется, если электрооборудование находится в зоне системы уравнивания потенциалов⁷, а наибольшее рабочее напряжение не превышает 25 В переменного или 60 В постоянного тока в помещениях без повышенной опасности и 6 В переменного или 15 В постоянного тока во всех случаях.

Заметим вначале, что приведённые термины «прямое прикосновение» и «косвенное прикосновение» не относятся в прямую к отключённой ВЛ, находящейся под наведённым напряжением. Однако, по сути, косвенное прикосновение – это прикосновение к заземлённым токопроводящим частям, а прямое – прикосновение к незаземлённым, но находящимся под напряжением. Поэтому по отношению к проводам ВЛ, на которых имеется наведённое напряжение, терминологию ПУЭ можно трактовать так:

Прикосновение к проводу, который не заземлён в точке прикосновения – это прямое прикосновение.

Прикосновение к проводу, заземлённому в точке прикосновения, – это косвенное прикосновение.

Если мы определили ВЛ, находящуюся под наведённым напряжением, как наружную электроустановку, напряжение в которой превышает 25 В, то в полном соответствии с 1.7.53 ПУЭ в этой электроустановке необходимо применять меры защиты от косвенного прикосновения:

1.7.51. Для защиты от поражения электрическим током... должны быть применены по отдельности или в сочетании следующие меры защиты при косвенном прикосновении:

защитное заземление; [автоматическое отключение питания]; уравнивание потенциалов; выравнивание потенциалов; [двойная или усиленная изоляции]; [сверхнизкое (малое) напряжение]; [защитное электрическое разделение цепей]; изолирующие (непроводящие) помещения, зоны, площадки.

В скобках заключены меры, которые проблематично применить при работах на ВЛ, а жирным выделены наиболее предпочтительные меры для рассматриваемого случая. В других докладах [6,7] мы рассмотрим применение этих мер для обеспечения безопасности при работах на ВЛ под наведённым напряжением.

⁵ 1.7.12. Косвенное прикосновение – электрический контакт людей или животных с открытыми проводящими частями, оказавшимися под напряжением при повреждении изоляции

⁶ 1.7.11. Прямое прикосновение – электрический контакт людей или животных с токоведущими частями, находящимися под напряжением

⁷ 1.7.32 Уравнивание потенциалов – электрическое соединение проводящих частей для достижения равенства их потенциалов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В «Межотраслевых правилах по охране труда при эксплуатации электроустановок» работы на ВЛ, находящихся под наведённым напряжением, неверно отнесены к категории работ «без снятия напряжения». Специфика опасностей и характер технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ при наличии наведённого напряжения, обуславливают необходимость выделения таких работ в отдельную группу «работы в электроустановках при наличии наведённого напряжения».

2. Определение воздушной линии под наведённым напряжением требует уточнения. Предлагается уточнённое определение: «ВЛ и ВЛС, которые проходят по всей длине или на отдельных участках вблизи действующих ВЛ или вблизи контактной сети электрифицированной железной дороги переменного тока и на отключенных проводах которых при заземлении их на одном конце в РУ подстанции на другом конце линии и/или в любой другой точке провода, наводится напряжение больше 25 В».

3. Параграфы Межотраслевых правил, касающиеся разземления ВЛ в РУ и разъединения петель на анкерных опорах, ухудшают условия электробезопасности и усложняют организацию работ. Они должны быть исключены из правил безопасности при эксплуатации электроустановок.

4. ВЛ, находящуюся под наведённым напряжением, в соответствии с ПУЭ можно отнести к наружным электроустановкам, напряжение в которых превышает 25 В, и для обеспечения электробезопасности при работах применить одну или сочетание мер, предусмотренных 1.7.51 ПУЭ.

ЛИТЕРАТУРА

[1] ГОСТ 12.1.038-82 Электробезопасность. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов = Electric safety. Maximum permissible values of pick-up voltages and currents – Переизд. янв.1996 с изм. 1.- Введ. 30.06.82. Система стандартов безопасности труда. Часть 3. – М.: Изд-во стандартов, 1996. С. 237-243. УДК 621.316.92.006.354. Группа Т58 СССР.

[2] Правила устройства электроустановок ПУЭ. Седьмое издание. Раздел 1 Общие правила. / Министерство энергетики Российской Федерации. Утв. 08.07.2002. Введ. 01.01.2003. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2003. С. 5-97

[3] Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации электроустановок. ПОТ Р М – 016 -2001, РД 153-34.0-03.150-00. / министерство труда и социального развития РФ, Министерство энергетики РФ. Утв. 05.01.2001. Введ. 01.07.2001. – М.: Издательство НЦ ЭНАС, 2001. - 192 с.

[4] Беляков Ю.С. Ещё раз про технику безопасности при работах на воздушных линиях электропередачи, находящихся под наведённым напряжением // Электрические станции. 2004. №6. С.60-66.

[5] Леднев В.В. Андронов В.А. Нестеров С.В. Целебровский Ю.В. Экспериментальные исследования наведённых напряжений на ВЛ 110-500 кВ. См. настоящий сборник.

[6] Иваницкий Ю.М., Целебровский Ю.В. Организационно-технические мероприятия при производстве работ на воздушных линиях электропередачи, находящихся под наведенным напряжением. (Проект внутреннего стандарта АО «КЕГОС» Республики Казахстан для работ на ВЛ под наведённым напряжением). См. настоящий сборник.