

# СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К РАСЧЕТУ И ИЗМЕРЕНИЮ ЗНАЧЕНИЙ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

М. А. Драко

*РУП «Белэнергосетьпроект»*

*Белорусский национальный технический университет, г. Минск*

Научный руководитель М. А. Короткевич

В процессе эксплуатации воздушных линий (ВЛ) проводится их ремонт и техническое обслуживание.

Наибольшую опасность для персонала, с точки зрения поражения электрическим током, представляют собой работы под наведенным напряжением:

- на ВЛ, находящихся в зоне влияния действующих ВЛ или контактной сети железной дороги;
- на отключенной цепи двухцепной ВЛ;
- на отключенной фазе при пофазном ремонте;
- на грозозащитном тросе действующей ВЛ.

Согласно [1] отключенные воздушные линии (ВЛ), проходящие по всей длине или на отдельных участках вблизи действующих ВЛ, а также контактной сети электрофицированной железной дороги переменного тока, и на заземленных проводах (грозозащитном тросе) которых наводится напряжение более 25 В, в пересчете на максимальный ток влияющей ВЛ, являются находящимися под наведенным напряжением. Другими словами, наведенное напряжение на заземленных проводах отключенной и заземленной по концам линии (в распределительном устройстве) не должно превышать 25 В при наибольшем токе влияющей ВЛ.

Проведение работ на таких ВЛ имеет свои специфические особенности, связанные с:

- неопределенностью режима источника наведенного напряжения;
- изменяющимися топологическими параметрами электрической сети, что вызвано реконструкцией существующих и строительством новых ВЛ;
- различной природой составляющих наведенного напряжения и др.

Наведенное напряжение на проводах и грозозащитном тросе отключенной ВЛ состоит из электростатической и электромагнитной составляющих.

По степени опасности наведенного напряжения, возникающего на заземленной ВЛ, выделяются участки, имеющие следующие характеристики:

- зона безопасного прикосновения к проводу (на проводах и тросах наведенное напряжение относительно земли на заземленном рабочем месте не превышает 25 В);

– зона опасного прикосновения к проводу (на проводах и тросах наведенное напряжение относительно земли на заземленном рабочем месте не может быть снижено до 25 В).

Зоны действия наведенного напряжения изменяются в зависимости от режимов заземления ВЛ, находящейся под наведенным напряжением.

В случае сближения отключенной и действующей ВЛ на отдельных участках максимальных значений наведенного напряжения следует ожидать:

- по концам участков их совместного прохождения;
- в точках наибольшего сближения отключенной и влияющей ВЛ, проходящих под углом друг к другу;
- при пересечении отключенной и влияющей ВЛ под углом отличным от 90°.

Напряжение на незаземленных проводах ВЛ, находящейся под наведенным напряжением, могут достигать сотен и даже тысяч вольт, а в случае возникновения короткого замыкания на влияющей ВЛ – десятков киловольт.

Проблемам физической сущности наведенного напряжения, а также выполнению организационных и технических мероприятий, обеспечивающих безопасность работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением, посвящен ряд зарубежных исследований [2]–[6].

Вместе с тем за четыре года действия введенного технического кодекса установившейся практики ТКП-427 [1] в Беларуси не проводились комплексные исследования находящихся под наведенным напряжением ВЛ, базирующиеся на решении расчетной задачи нахождения значения наведенного напряжения (прогнозировании) вкупе с последующими замерами на отключенной ВЛ, подтверждающими или отрицающими результаты аналитического расчета.

Для оценки уровня наведенного напряжения на подверженной влиянию ВЛ автором предложен системный подход, включающий анализ математического аппарата аналитического метода прогнозирования и экспериментального метода исследования, разработанных РУП «Белэнергосетьпроект» и применяемых в белорусской энергосистеме.

Особенность оценки наведенного напряжения расчетным методом состоит в учете того, что ВЛ по всей длине не являются однородными (разная протяженность участков сближения влияющей и отключенной ВЛ, а также расположение проводов и тросов на опорах, в том числе в варианте фаз, наличие заземления рабочего места на отключенной ВЛ). Для составления системы уравнений необходимо разбить ВЛ на однородные участки и общее решение задачи выражать через частные решения для однородных участков.

Однородный участок в пределах зоны сближения ВЛ, для которого ищется частное решение, считается активным участком, другие участки – пассивными. Расчетное значение наведенного напряжения в заданной точке провода, подверженной влиянию ВЛ, представляется в виде геометрической суммы составляющих наведенного напряжения от каждого активного участка рассматриваемого провода. Если точка наблюдения расположена в пределах активного участка, то составляющая наведенного напряжения от влияния на этом участке находится непосредственно из частного решения. В случае если точка наблюдения расположена вне активного участка, то составляющая наведенного напряжения от влияния на этот участок находится путем распространения значения наведенного напряжения с начала или конца активного участка до точки наблюдения.

При записи дифференциальных уравнений для расчета наведенного напряжения на активном участке ВЛ считается, что напряжения и токи в цепях влияющей ВЛ яв-

ляются заданными и их значения не зависят от токов и напряжений находящейся в зоне ее влияния ВЛ.

Дальнейшие полевые измерения наведенного напряжения выполняются на отключенной ВЛ при нормальном режиме работы влияющей ВЛ в тех местах, где на основе расчетов можно ожидать наибольшие значения наведенных напряжений (прогнозируемой зоны опасного прикосновения к проводу).

Заземление ВЛ, рабочего участка и рабочих мест выполняется с помощью следующих типов заземлений: подстанционного, дополнительного, линейного, базового и (или) специального [1].

В качестве специальных заземлителей необходимо использовать систему «трос-опоры» ВЛ, локальные заземлители, устанавливаемые в зоне расположения опоры, заземляющие устройства соседних линий, а также комбинации из системы «трос-опоры» и локальных заземлителей.

В момент проведения измерений должны быть получены от оперативного персонала подстанции значения режимных параметров влияющей ВЛ.

Полученные при измерениях значения наведенных напряжений должны быть приведены к максимально допустимым значениям протекающих по влияющей ВЛ токов путем пересчета.

На основании вышеизложенных положений специалистами РУП «Белэнерго-сетьпроект» разработана методика выполнения измерений значений наведенного напряжения, устанавливающая порядок выполнения измерений наведенного напряжения на отключенных ВЛ, проходящих вблизи действующих ВЛ напряжением 110 кВ и выше. Средством измерения выступает прибор электроизмерительный многофункциональный 43104.

Экспериментальные измерения наведенного напряжения были проведены в филиале «Слуцкие электрические сети» РУП «Минскэнерго» на одной из отключенной ВЛ 110 кВ.

Проведенное исследование показало, что значения наведенного напряжения, полученные аналитически (методом прогнозирования) и экспериментально, методом прямого измерения, практически совпадают. Некоторая погрешность объясняется внутренним сопротивлением средства измерения и переменным характером нагрузки.

Для своевременного принятия мер по обеспечению безопасности при проведении ремонтных и профилактических работ на воздушных линиях электропередачи предлагается заблаговременно выявлять места ожидаемых максимальных значений наведенного напряжения на участках совместно проходящих ВЛ с целью проведения контрольных измерений наведенного напряжения, которое в пересчете на максимальный ток влияющей ВЛ не должно превышать 25 В.

При выявлении путем измерений участков отключенной ВЛ со значениями наведенного напряжения, превышающими регламентируемые, и недостаточностью принимаемых мер по его снижению эффективным решением может стать разработка и установка специальных низкоомных заземлителей на прилегающих опорах выведенной в ремонт ВЛ.

#### Литература

1. ТКП 427–2012 Правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок / М-во энергетики Респ. Беларусь. – Минск : Энергопресс, 2013. – 160 с. : ил.
2. Вантеев, А. И. Проблемы обеспечения безопасности работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением / А. И. Вантеев // Энергетик. – 2008. – № 11. – С. 5–7.

3. Целебровский, Ю. В. Безопасность работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением / Ю. В. Целебровский // Новости электротехники. – 2008. – № 3.
4. Целебровский, Ю. В. О безопасности работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением. Анализ технических мероприятий / Ю. В. Целебровский // Новости ЭлектроТехники. – 2008. – № 4 (52). – С. 90–91.
5. Целебровский, Ю. В. О безопасности работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением. Реальные опасности и методики измерения напряжений / Ю. В. Целебровский // Новости ЭлектроТехники. – 2009. – № 1 (55). – С. 54–57.
6. Шарандин, А. А. Наведенное напряжение и защита от него / А. А. Шарандин. – М. : НТФ «Энергопрогресс», 2016. – 40 с. : ил. [Библиотечка электротехники, прил. к журн. «Энергетик». – Вып. 3 (207)].