

УДК 621.311-027.45:652.3

Концептуальные основы электробезопасности при работах в электроустановках с наведенным напряжением*

Ю.В. ДРОНОВА¹, А.А. МЮЛЬБАЕР², Ю.В. ЦЕЛЕБРОВСКИЙ³

¹ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, кандидат экономических наук, доцент кафедры производственного менеджмента и экономики энергетики. E-mail: dronova@corp.nstu.ru

² 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, ассистент кафедры техники и электрофизики высоких напряжений. E-mail: myulbaer@corp.nstu.ru

³ 630073, РФ, г. Новосибирск, пр. Карла Маркса, 20, Новосибирский государственный технический университет, доктор технических наук, профессор кафедры техники и электрофизики высоких напряжений. E-mail: 3460115@power.nstu.ru

Рассмотрены технические, психологические и экономические положения, позволяющие резко снизить или полностью исключить электротравматизм при работах в электроустановках с наведенным напряжением. Предложено ввести в действующие Правила по охране труда при работе в электроустановках категорию работ «Работы под наведенным напряжением». Сформулирован комплекс технических мероприятий, обеспечивающих безопасность проведения этих работ. Подчеркнуто, что нормативы на безопасное значение наведенных напряжений должны соответствовать принятой в РФ Системе стандартов безопасности труда. При проведении работ в электроустановке, находящейся под наведенным напряжением, инструментальные измерения наведенных напряжений и напряжений прикосновения должны быть обязательными элементами технологии. Введение этого положения в Правила позволит членам бригады определять реальные опасности, а руководителям работ – собирать статистический материал и совершенствовать мероприятия по защите от наведенных напряжений. Приведены технические характеристики разработанного комплекта аппаратуры для измерения наведенного напряжения, который включен в Государственный реестр средств измерений под номером 67173-17. Детально проанализирована возможность получения энергетическим предприятием дополнительных доходов от измерений наведенного напряжения и снижения электротравматизма. Для этого необходимо в соответствии с Трудовым кодексом разработать на предприятии дополнительные нормы и инструкции, обеспечивающие безопасность работающих в конкретных условиях. Основой для таких документов могут стать экономические критерии оценки рисков (вероятности несчастного случая), основанные на определенных показателях. К таким показателям относятся: чистый дисконтированный доход (с учетом компенсационных выплат пострадавшим и их семьям) и специальные показатели, основанные на концепциях нулевого риска и приемлемого риска. Рассмотрены зарубежные подходы к экономиче-

* Статья получена 29 сентября 2017 г.

ской оценке риска. На примере работ на ВЛ, находящейся под наведенным напряжением, рассчитан чистый дисконтированный доход от внедрения предложенных мероприятий, аппаратуры и снижения электротравматизма.

Ключевые слова: наведенное напряжение, нормирование, электробезопасность, технические мероприятия, измерения, аппаратура, электротравматизм, экономические критерии, экономический эффект

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-4-139-152

ВВЕДЕНИЕ

С позиций электробезопасности особенностью электроустановок электроэнергетических систем являются не только высокие номинальные напряжения электрооборудования, но и сильные электрические и магнитные поля, создаваемые этим оборудованием. Это порождает, по крайней мере, три проблемы, решаемые в настоящее время:

- воздействие электрического и магнитного полей на организм человека;
- электромагнитная совместимость оборудования;
- наведенные напряжения на отключенных частях электроустановки или на сторонних электропроводящих частях и коммуникациях [1–3].

Наведенные напряжения являются одной из причин электротравматизма, доля смертельных случаев при котором наиболее высока [4]. Это может быть обусловлено, по крайней мере, тремя взаимосвязанными причинами:

- неполнотой и недостатками действующих Правил по охране труда при эксплуатации электроустановок [5], которые не содержат специального раздела «Организация работ на оборудовании, находящемся под наведенным напряжением»;
- отсутствием практики измерений наведенного напряжения перед началом работ;
- игнорированием (недооценкой) экономических потерь энергопредприятий от электротравматизма и из-за нерациональной организации работ.

Эти принципиальные аспекты рассматриваются в настоящей статье.

1. КОНЦЕПЦИЯ БЕЗОПАСНОГО ПРОВЕДЕНИЯ РАБОТ В ЭЛЕКТРОУСТАНОВКЕ, НАХОДЯЩЕЙСЯ ПОД НАВЕДЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Наведенное напряжение может появиться как на отключенных токоведущих частях электроустановки, на которых предполагается производство работ, так и на открытых проводящих частях самой электроустановки, а также на объектах, расположенных вблизи нее (например, воздушные линии связи, трубопроводы и т. д.). Безопасность работ на сторонних объектах – это предмет отдельного исследования. При работах в самой электроустановке наведенное напряжение может появиться на заземленных частях оборудования, на раскатываемых проводах и кабелях (в том числе при измерении заземляющего устройства), на устройствах, связанных с отключенной ВЛ (линейные разъединители, аппаратура ВЧ-связи и т. п.).

Мы уже неоднократно указывали [6, 7 и др.], что главным недостатком Правил по охране труда (как прошлых изданий, так и действующих [5]) является отсутствие специальной категории работ «Работы под наведенным напряжением». Необходимость введения такой категории (в дополнение к работам «со снятием напряжения» и «под напряжением») диктуется тем, что технические и организационные мероприятия в предлагаемой категории во многом отличаются от мероприятий в упомянутых категориях. В действующих Правилах [5], кроме того, в качестве объекта с наведенным напряжением рассматривается только воздушная линия электропередачи (ВЛ), что оставляет без нормативной поддержки работы на другом оборудовании, которое может оказаться под наведенным напряжением. В отношении работ на ВЛ нами предложен полный комплекс организационных и технических мероприятий, обеспечивающий безопасность работ [8]. Принципиальным в этом комплексе являются технические мероприятия.

Влияние электрического и магнитного полей создает как напряжения на отключенных (или сторонних) проводящих частях, так и токи в контурах с индуцированными электродвижущими силами. При участии в этих контурах земли (как проводника) на поверхности земли в месте ввода тока возникают напряжения прикосновения. Термин «наведенное напряжение» применяют как по отношению к напряжению на незаземленных объектах, так и к напряжению прикосновения. Далее мы будем различать эти термины, применяя термин «наведенное напряжение» только по отношению к напряжению на отключенных токоведущих частях.

С учетом сказанного главными положениями технических мероприятий при работах в электроустановках с наведенным напряжением должны быть следующие:

- отключение токоведущих частей;
- измерение напряжения прикосновения в местах производства работ;
- измерение наведенного напряжения на отключенных токоведущих частях;
- выбор мест, порядка и способов заземления отключенных токоведущих частей для обеспечения безопасности работ при наложении заземления;
- поочередное наложение заземления в выбранных местах;
- поочередное (последовательно с наложением заземления) измерение напряжения прикосновения в местах производства работ;
- корректировка схемы заземления и (или) усиление заземлителей в случае превышения нормируемых значений напряжения прикосновения.

Принципиальным вопросом электробезопасности является также согласование нормативов на безопасное значение напряжения. Правилами устройства электроустановок (ПУЭ) [9] введен термин: «1.7.43. Сверхнизкое (малое) напряжение (СНН) – напряжение, не превышающее 50 В переменного и 120 В постоянного тока». В нормальном режиме электроустановки СНН является мерой защиты от прямого прикосновения (1.7.50 ПУЭ). В Правилах по охране труда [5] фигурирует значение 25 В, ниже которого напряжения являются безопасными (это предполагается), и ВЛ не считается линией, находящейся под наведенным напряжением.

В соответствии с Законом о техническом регулировании [10] в части нормирования безопасности определяющим документом является

ГОСТ «Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов» [11]. Этот документ регламентирует норму напряжения прикосновения в нормальных режимах работы электроустановки 2 В (предел ошущения), а при возможности длительного воздействия – 20 В (предел судорог и болевого воздействия). Последняя цифра относится к случаю длительного замыкания на землю в электроустановке, что аналогично длительному протеканию наведенного тока. По-видимому, в указанном диапазоне (от 2 до 20 В) и должно лежать значение, определяющее опасное наведенное напряжение.

2. СОЦИАЛЬНО-ПСИХОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЙ НАВЕДЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Определить значения наведенного напряжения в различных точках электроустановки и при разных схемах заземления можно расчетом [12] и измерениями. Расчеты целесообразно проводить при проектировании (например, выбор трассы ВЛ), при составлении перечня линий, находящихся под наведенным напряжением, при подготовке к работам (составлении технологической карты) и т. п. При проведении работ в электроустановке, находящейся под наведенным напряжением, обязательными элементами технологии должны быть инструментальные измерения наведенных напряжений и напряжений прикосновения.

Здесь есть два психологических аспекта. Во-первых, практика эксплуатации и Правила безопасности не предполагают обязательного измерения наведенных напряжений и напряжений прикосновения перед работой и в процессе работы. В результате среди членов бригады не предусматриваются специалисты по измерениям, и ни у кого не возникает потребность в измерении наведенного напряжения перед наложением заземления (хотя проверка отсутствия напряжения производится). То есть перед началом работы члены бригады не имеют представления о возможных опасностях, а следовательно, игнорируют эти опасности. Изменить эту ситуацию можно лишь введением в Правила соответствующего технического мероприятия и всеобщим переобучением ремонтных и монтажных бригад. Последнее можно внедрять и без изменения Правил.

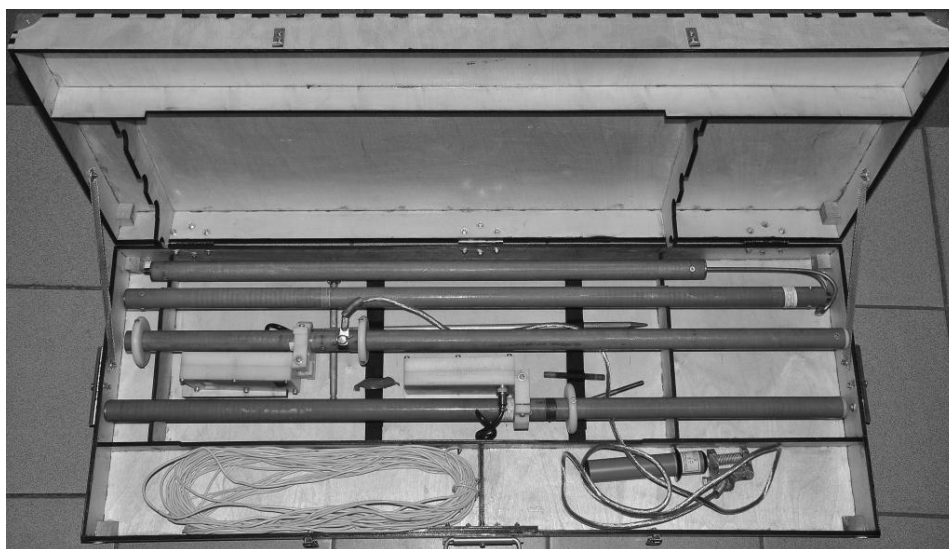
Во-вторых, если такие измерения сделать обычной практикой, у производителя работ и членов бригады будут представления о реальных (а не гипотетических) опасностях в конкретном месте и при конкретных действиях. При этом ответственный руководитель работ и выдающий наряд смогут накапливать статистический материал об опасных ситуациях и совершенствовать технические меры по защите от наведенного напряжения. Все это обязательно должно привести к повышению квалификации персонала и снижению (а то и вовсе исключению) электротравматизма от наведенного напряжения.

Рассмотренные психологические аспекты могут быть реализованы только при наличии соответствующей технической базы. Наведенные напряжения могут иметь значения от нескольких вольт до десятков киловольт. В общем случае это требует наличия широкодиапазонной аппаратуры и квалифицированного персонала в области высоковольтных измерений. Для решения

поставленной задачи аппаратура должна удовлетворять, по крайней мере, двум требованиям:

- обеспечивать одновременное измерение (в различных местах) наведенного напряжения и напряжения прикосновения;
- быть максимально простой в использовании и позволяющей проводить измерения лицам средней квалификации (III–IV группы по электробезопасности).

В настоящее время этим требованиям удовлетворяет комплект аппаратуры, разработанный в Новосибирском государственном техническом университете (см. рисунок).



Комплект аппаратуры для измерения значений наведенного напряжения в транспортном ящике

Разработанный комплект аппаратуры состоит из двух независимых средств измерений. Первое предназначено для измерения напряжения прикосновения (СИ1), второе – для измерения наведенного напряжения на отключенных проводах (СИ2). Основные технические и метрологические характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1

Технические и метрологические характеристики комплекта аппаратуры для измерения значений наведенного напряжения

| Характеристики | СИ1 | СИ2 |
|---|-------------|-------------|
| Наибольшее измеряемое напряжение U_{max} , В | 5000 | 20 000 |
| Наименьшее измеряемое напряжение, U_{min} , В | 2 | 2 |
| Пределы измерений напряжения: | | |
| 1-й поддиапазон, В | 2...199 | 2...199 |
| 2-й поддиапазон, кВ | 0,20...1,99 | 0,20...1,99 |
| 3-й поддиапазон, кВ | 2,0...5,0 | 2,0...20,0 |

Окончание табл. 1

| Характеристики | СИ1 | СИ2 |
|---|----------------|----------------|
| Переключение пределов измерения напряжения | Автоматическое | Автоматическое |
| Входное сопротивление постоянному току, МОм | 10,2±0,51 | 40,8±2,04 |
| Средний срок службы, лет | 10 | 10 |
| Средняя наработка на отказ, час, не менее | 10 000 | 10 000 |
| Допускаемая относительная основная погрешность c/d по ГОСТ 8.401, % | 5/0,5 | 5/0,5 |
| Межповерочный интервал, лет | 2 | 2 |
| Испытательное напряжение, выдерживаемое в течение 5 мин, кВ | 11 | 40 |
| Уровень защиты оболочки | IP53 | IP53 |

Комплект аппаратуры прошел сертификацию и включен в Государственный реестр средств измерений под номером 67173-17.

3. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ПРИ ПОВЫШЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

3.1. КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕРОПРИЯТИЙ ПО ПОВЫШЕНИЮ БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

Создание безопасных условий труда в РФ является прямой обязанностью работодателя (ст. 212 ТК РФ) [13]. Работодатель обязан дополнительно к Государственным регламентам разрабатывать внутренние нормативные акты, предотвращающие наступление несчастных случаев. Однако зачастую перечень мер по созданию безопасных условий труда и критериев безопасности определяется самим работодателем и включает только исполнение требований действующего законодательства, а не реальное повышение безопасности труда работников в конкретных условиях производства.

В мировой практике в отношении создания условий безопасного труда применяется отличный от упомянутого подход. Общая концепция Европейского союза (ЕС) сводится к развитию двух основных направлений: установлению единых минимальных требований защиты работников на производстве и разработке методик оценки и управления производственным риском (фактами несчастного случая) [14]. В ЕС разработан целый ряд директив и стандартов (89/654/ЕЕС, 89/655/ЕЕС, 89/656/ЕЕС, 90/269/ЕЕС, 90/270/ЕЕС, ISO 14001, ISO 9001, OHSAS 18001, ISO 31000: 2009 и др.), в которых закреплены основные положения анализа, управления и оценки риска. Подход к повышению безопасности труда на основе теории рисков предполагает использование экономического критерия оценки: выгодно то или иное мероприятие по предотвращению несчастного случая или нет. При расчете экономического критерия могут быть использованы разные показатели.

Коммерческие показатели. Наиболее известны такие показатели оценки эффективности вложения средств, как чистый дисконтированный доход (ЧДД), срок окупаемости, внутренняя норма доходности и т. д. Но здесь возникает этическая проблема, связанная с гуманитарными или социальными потерями, которые несет общество от травматизма или гибели работника. В мировой практике решение этой проблемы также переведено в экономическую плоскость за счет больших компенсационных выплат семьям пострадавших. Например, в Великобритании гибель работника может обойтись предприятию от 1 млн фунтов стерлингов.

Специальные показатели оценки риска. К ним относят оценки, получаемые при использовании двух основных подходов: концепции нулевого риска, в соответствии с которой необходимо реализовывать любые мероприятия по предотвращению несчастных случаев на производстве, и концепции приемлемого риска или метода ALARP [15, 16, 17]. Появление специальных критериев оценки риска связано с невозможностью использования исключительно коммерческих оценок (например, когда мероприятия по повышению безопасности труда очень затратные, но они необходимы по требованию законодательства).

В Великобритании и странах ЕС всё сводится к созданию работодателем условий труда, которые будут соответствовать минимально возможному уровню риска (ALARP-уровню). Критическим значением уровня риска является 10^{-5} или 10^{-4} в зависимости от типа производства, т. е. гибель одного работника на 10 000 или 100 000 работающих в год. В случае если частота несчастных случаев выше критического значения, то вне зависимости от стоимости мероприятий они должны быть реализованы. Если частота несчастных случаев ниже критического значения, то появляется понятие приемлемости риска, т. е. возникает необходимость проведения дополнительных оценок для обоснования принятия решения о реализации мероприятия. На практике чаще всего предлагают использовать следующие показатели для таких оценок:

- коэффициент диспропорции DF, который показывает отношение затрат на предотвращение несчастного случая к предполагаемому эффекту, т. е. снижению компенсационных выплат. Этот показатель может варьироваться в пределах от 2 до 10.

- Значение УСПСС (устанавливаемая стоимость предупреждения статистической смерти) определяется как цена снижения риска для персонала. Обычно это значение устанавливается самой компанией и показывает тот размер средств, которые компания готова потратить, чтобы предупредить любую смерть на производстве. Если стоимость новых мероприятий ниже чем УСПСС, то мероприятие однозначно внедряется без учета вероятности гибели сотрудника. В США значение УСПСС составляет от 2 до 8 млн долл.

- Удельная стоимость предотвращения смерти. Этот показатель учитывает вероятность гибели работника. В США его значение колеблется в пределах от 20 тыс. долл. до 10^{12} долларов.

В практике российских компаний работодатели не всегда готовы реализовывать меры, имеющие экономический эффект, критерии приемлемости практически не применяются.

3.2. ПРИМЕР ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ

Рассмотрим применение экономических показателей к оценке мероприятий по повышению безопасности труда при проведении работ на ВЛ, включающих измерения наведенного напряжения. Для принятия решения о необходимости этих мер проведем сначала экономическую оценку с помощью показателя коммерческой эффективности ЧДД с использованием данных [18–20]. ЧДД будет складываться из разницы коммерческого эффекта от применения комплекта аппаратуры для измерения значений наведенного напряжения и затрат при использовании измерительной аппаратуры в соответствии с действующими стандартами РФ:

$$\text{ЧДД} = \sum_{t=0}^T \left[\left(R^{(t)} - \Delta Z_{\text{обс}}^{(t)} \right) \right] \frac{1}{(1+E)^t}.$$

Здесь $R^{(t)}$ – коммерческий эффект от применения устройств для измерения значений наведенного напряжения на t -м шаге расчета; $\Delta Z_{\text{обс}}^{(t)}$ – затраты на обслуживание вновь вводимых устройств; T – продолжительность эксплуатации устройств; t – шаг расчета; E – ставка дисконта.

В общем случае коммерческий результат $R^{(t)}$ от применения комплекта аппаратуры для измерения значений наведенного напряжения в энергосистеме определяется следующими положениями:

- составляющая дохода компании остается неизменной;
- снижаются постоянные затраты, связанные с компенсационными выплатами и с затратами на техническое обслуживание и ремонт комплекта аппаратуры для измерения значений наведенного напряжения.

Оценка компенсационных выплат. Последствия от случаев поражения электрическим током от наведенного напряжения в соответствии с российским законодательством (125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» [21]) оплачиваются Фондом социального страхования РФ (ФСС). Тем не менее в большинстве энергетических компаний предусмотрены дополнительные компенсационные выплаты пострадавшим работникам или их семьям.

Возможны следующие последствия «i» от поражения током при наведенном напряжении:

- гибель работника;
- признание работника инвалидом (1-й, 2-й или 3-й степени ограничения способности к трудовой деятельности).

В зависимости от тяжести последствий могут быть произведены следующие дополнительные компенсационные выплаты (данные из коллективных договоров энергетических компаний).

Единовременные выплаты:

- на каждого иждивенца – в размере годового заработка погибшего;
- инвалидам, имеющим 3-ю степень ограничения способности к трудовой деятельности, – не менее 75 % годового заработка;
- инвалидам, имеющим 2-ю степень ограничения способности к трудовой деятельности, – не менее 50 % годового заработка;
- инвалидам, имеющим 1-ю степень ограничения способности к трудовой деятельности, – не менее 30 % годового заработка;
- единовременная материальная помощь в размере 21 000 руб.

Периодические выплаты (доплата к пенсии):

- несовершеннолетним детям погибшего на производстве работника – в размере 3000 рублей ежемесячно на каждого ребенка;
- неработающему инвалиду, получившему инвалидность в результате увечья по вине работодателя, – в размере 1000 рублей ежемесячно до наступления пенсии по старости.

Проведем расчет компенсационных выплат для Западно-Сибирского региона с использованием данных об электротравматизме, приведенных в [22, 23]:

- общее количество несчастных случаев – 128 в год;
- доля несчастных случаев в электрических сетях – 28 %;
- доля несчастных случаев в Западно-Сибирском регионе – 6 %;
- доля несчастных случаев со смертельным исходом – 50 %;
- доля несчастных случаев с тяжелыми последствиями – 25 %.

Таким образом, число несчастных случаев в Западно-Сибирском регионе – 2 случая в год; число несчастных случаев со смертельным исходом в Западно-Сибирском регионе – один случай в год; число несчастных случаев с тяжелыми последствиями в Западно-Сибирском регионе – один случай в два года (с учетом округления).

Для определения компенсационных выплат на основании информации о подтвержденных случаях составим портрет среднестатистического работника, подвергающегося риску оказаться пораженным электрическим током от наведенного напряжения.

Квалификация работника – электромонтер 4-го разряда.

Личные данные: возраст – до 40 лет, женат, имеет одного иждивенца в возрасте 5 лет.

Размер средней заработной платы – 30 000 руб. в месяц.

Исходя из этих данных был определен размер среднегодовых компенсационных выплат сетевой компанией в Западно-Сибирском регионе из-за наступления несчастного случая, который составил 701 000 руб. в год.

Оценка коммерческого эффекта. В расчете была учтена необходимость приобретения оборудования для измерения наведенного напряжения и напряжения прикосновения. Количество комплектов, которое будет приобретено за период обновления инноваций нового устройства (10 лет), принималось равным от 6 до 12 из расчета два комплекта на один участок предприятия электрических сетей. Срок службы устройства в соответствии с паспортными данными составляет 10 лет.

Число измерений наведенного напряжения k зависит от того, какие изменения будут внесены в стандарты организации по измерению наведенного

напряжения или в действующие Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок (ПОТЭЭ). На этапе технико-экономического обоснования было принято значение k в диапазоне от 50 до 300 измерений в год на одно устройство (в соответствии с рекомендациями по эксплуатации комплекта аппаратуры).

Результаты расчета чистого дисконтированного дохода представлены в табл. 2.

Таблица 2

Расчет экономического эффекта от использования комплекта аппаратуры при разном количестве измерений ЧДД, рублей

| Количество измерений в год | 100 | 150 | 200 | 250 | 300 |
|----------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 6 комплектов | 1 457 902 | 1 928 656 | 2 399 409 | 2 870 163 | 3 340 916 |
| 8 комплектов | 1 488 038 | 1 958 791 | 2 429 545 | 2 900 298 | 3 371 052 |
| 10 комплектов | 1 518 173 | 1 988 927 | 2 459 680 | 2 930 434 | 3 401 187 |
| 12 комплектов | 1 548 309 | 2 019 062 | 2 489 816 | 2 960 569 | 3 431 323 |

Проведенный расчет показал, что мероприятия по измерению наведенного напряжения имеют экономический эффект даже при использовании коммерческих показателей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Снижения или полного исключения электротравматизма от наведенного напряжения можно достичь комплексом мероприятий, включающим следующее:

– введение в Правила охраны труда при эксплуатации электроустановок категории работ «Работы под наведенным напряжением» и описания технических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность проведения работ этой категории;

– обязательное измерение наведенных напряжений и напряжений прикосновения перед началом и в процессе работы;

– всеобъемлющее обучение персонала мерам безопасности и работе с измерительной аппаратурой при работах в электроустановке с наведенным напряжением.

2. Внедрение названных технических и организационных мер помимо исключения электротравматизма от наведенного напряжения позволит получить чистый дисконтированный доход от 2 млн руб. в год на одно предприятие.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gouda O.E., El Dein A.Z., Mostafa A.H. Effect of electromagnetic field of overhead transmission lines on the metallic gas pipe-lines // Electric Power Systems Research. – 2013. – Vol. 103. – P. 129–136.
2. A simulator for calculating normal induced voltage on communication line / J. Heo, H. Seo, S. Lee, Y. Kim, Ch. Kim // Journal of Electrical Engineering and Technology. – 2014. – Vol. 9, N 4. – P. 1394–1400.
3. Influence of neighboring transmission lines on the measurement transmission line UVN options at the operating frequency / S. Wang, W. Hu, G. Zou, Z. Wu, S. Li, Z. Sun // Dianwang Jishu. – 2014. – Vol. 38, N 5. – P. 1162–1168.
4. Мюльбаер А.А. Анализ причин несчастных случаев при работах на воздушных линиях электропередачи, находящихся под наведенным напряжением // Новое в российской электроэнергетике. – 2017. – № 4. – С. 71–77.
5. Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Омега-Л, 2014. – 139 с.
6. Целебровский Ю.В. Безопасность работ на ВЛ, находящихся под наведенным напряжением. Неточности определений и противоречия в нормативных документах // Новости электротехники. – 2008. – № 3 (52). – С. 60–63.
7. Целебровский Ю.В. Нормативные основы безопасности работ под наведенным напряжением // Энергетик. – 2010. – № 5. – С. 34–36.
8. Мюльбаер А.А., Целебровский Ю.В. О безопасности работ на объектах, находящихся под наведенным напряжением // Энергетик. – 2017. – № 12. – С. 71–77.
9. Правила устройства электроустановок. Разд. 1. Общие правила. Гл. 1.1, 1.2, 1.7, 1.9; Разд. 7. Электрооборудование специальных установок. Гл. 7.5, 7.6, 7.10. – 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2003. – 176 с.
10. Федеральный закон РФ от 15.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
11. ГОСТ 12.1.038–82. Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов // Система стандартов безопасности труда. – Изд. офиц. – М.: Изд-во стандартов, 1996. – Ч. 3. – С. 237–243.
12. Мюльбаер А.А. Особенности расчета наведенного напряжения на отключенной цепи двухцепной воздушной линии электропередачи // Научный вестник НГТУ. – 2016. – № 3. – С. 146–160.
13. Трудовой кодекс Российской Федерации от 30.12.2001 № 197-ФЗ (ред. от 29.07.2017, с изм. и доп., вступ. в силу с 01.10.2017).
14. Charter of Fundamental Rights of the European Union [Electronic resource]. – 18 December 2000. – (Official Journal of the European Communities; 2000/C 364/01). – URL: http://www.europarl.europa.eu/charter/pdf/text_en.pdf (accessed: 01.09.2017).
15. The health and safety toolbox: how to control risks at work [Electronic resource]. – London, 2014. – URL: <http://www.hse.gov.uk/pUbns/priced/hsg268.pdf> (accessed: 01.09.2017).
16. International standard IEC 60364-4-41:2005. Lowvoltage electrical installation. Pt. 4-41: Protection for safety. Protection against electric shock. – 5th ed. – Geneva: IEC, 2005.
17. UC Santa Barbara Physics [Electronic resource]: website. – URL: <http://www.physics.ucsb.edu> (accessed: 01.09.2017).
18. Методические рекомендации по оценке эффективности и разработке инвестиционных проектов и бизнес-планов в электроэнергетике на стадии предТЭО и ТЭО: (с типовыми примерами): официальное издание / ОАО РАО «ЕЭС России», ОАО «Науч. центр прединвестиционных исследований». – М.: НЦПИ: ОАО РАО «ЕЭС России», 2008. – Кн. 1, 2.
19. СТО ОАО «ФСК ЕС» 56947007-29.240.55.018–2009. Методические указания по определению наведенного напряжения на отключенных воздушных линиях, находящихся вблизи действующих ВЛ. – М.: ФСК ЕС, 2009. – 35 с. – (Стандарт организации).
20. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов: утв. Минэкономики РФ, Минфином РФ, Госстроем РФ 21.06.1999 N ВК 477. – 2-е изд. – М.: Экономика, 2000. – 421 с.

21. Федеральный закон от 24 июля 1998 г. № 125-ФЗ «Об обязательном социальном страховании от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний» (с изменениями и дополнениями).

22. Обзор травматизма в организациях электроэнергетики. – М.: Объединение РаЭл, 2016. – 120 с.

23. Жуков Ю.И. Электротравматизм в российской энергетике (2000–2009 гг.) [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.elec.ru/analytics/elektrotvamatizm-v-rossijskoj-energetike-20002009> (дата обращения: 10.12.2017).

Дронова Юлия Владимировна, кандидат экономических наук, доцент кафедры производственного менеджмента и экономики энергетики Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – экономика энергетики, экономическое обоснование проектов в энергетике. E-mail: dronova@corp.nstu.ru.

Мюльбаер Александр Александрович, аспирант, ассистент кафедры техники и электрофизики высоких напряжений Новосибирского государственного технического университета. Основное направление научных исследований – электромагнитная совместимость воздушных линий электропередачи переменного тока. E-mail: myulbaer@corp.nstu.ru.

Целебровский Юрий Викторович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры техники и электрофизики высоких напряжений Новосибирского государственного технического университета. Основные направления научных исследований: электромагнитная совместимость в электроэнергетике, молния и молниезащита, заземление в электроустановках. E-mail: celebrovskij@corp.nstu.ru.

Conceptual basis of electrical safety of work in electrical installations with induced voltage*

Yu. V. DRONOVA¹, A. A. MYULBAER², Yu. V. TSELEBROVSKY³

¹ *Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, PhD (Econ.), associate professor at the department of industrial management and power engineering economics. E-mail: dronova@corp.nstu.ru*

² *Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, assistant lecturer at the department of high voltage engineering and electrophysics. E-mail: myulbaer@corp.nstu.ru*

³ *Novosibirsk State Technical University, 20, K. Marx Prospekt, Novosibirsk, 630073, Russia, D. Sc. (Eng.), professor at the department of high voltage engineering and electrophysics. E-mail: 3460115@power.nstu.ru*

Technical, psychological and economic conditions that make it possible to reduce or completely eliminate electric injuries when working in electric installations with induced voltage are considered in the paper. It is proposed to enter the category "work under induced voltage in electrical installations" in the current Occupational Safety Rules: A set of technical measures to ensure the safety of this work is formulated. It is emphasized that standards for the safe norm of induced voltages should be in accordance with the Occupational Safety Standards System adopted in the Russian Federation. During the work in the installation under induced voltage, instrumental measurements of the induced voltage and the touch voltage should be mandatory requirements for the technology. The introduction of this provision in the Rules will allow the team members to determine a real danger and supervisors will be able to gather statistical material and to improve measures aimed at protecting against induced voltages. Technical

* Received 29 September 2017.

characteristics of the developed facilities for measuring inductive voltages included in the State Register of measuring instruments, No. 67173-17 are given. The possibility for an energy company to make an additional profit from measuring induced voltages and decreasing electrical injury is analyzed. To do this it is necessary to develop additional rules and regulations that ensure safety of employees in specific circumstances in accordance with the Labor code. Criteria for the assessment of economic risk (probability of failure) based on certain indicators can form the basis of such documents. These indicators include net discount profit (taking into account compensation payments to victims and their families), and special indicators based on conceptions of zero risk and acceptable risk. Foreign approaches to economic valuation of risk are analyzed. On the example of work on overhead lines under induced voltage a net discounted income from the implementation of the proposed activities, equipment and from a reduction in electrical injuries is calculated.

Keywords: induced voltage, regulation, electrical safety, technical measures, measurements, instruments, electrical injuries, economic criteria, economic effect

DOI: 10.17212/1814-1196-2017-4-139-152

REFERENCES

1. Gouda O.E., El Dein A.Z., Mostafa A.H. Effect of electromagnetic field of overhead transmission lines on the metallic gas pipe-lines. *Electric Power Systems Research*, 2013, vol. 103, pp. 129–136.
2. Heo J., Seo H., Lee S., Kim Y., Kim Ch. A simulator for calculating normal induced voltage on communication line. *Journal of Electrical Engineering and Technology*, 2014, vol. 9, no. 4, pp. 1394–1400.
3. Wang S., Hu W., Zou G., Wu Z., Li S., Sun Z. Influence of neighboring transmission lines on the measurement transmission line UVN options at the operating frequency. *Dianwang Jishu*, 2014, vol. 38, no. 5, pp. 1162–1168.
4. Myul'baer A.A. Analiz prichin neschastnykh sluchaev pri rabotakh na vozdushnykh liniyakh elektroperedachi, nakhodyashchikhsya pod navedennym napryazheniem [Analysis of the causes of accidents during work on overhead power transmission lines under induced voltage]. *Novoe v rossiiskoi elektroenergetike – New in the Russian Electrical Power-Engineering*, 2017, no. 4, pp. 71–77.
5. *Pravila po okhrane truda pri ekspluatatsii elektroustanovok* [Rules for labor protection in the operation of electrical installations]. Moscow, Omega-L Publ., 2014. 139 p.
6. Tselebrovskii Yu.V. Bezopasnost' rabot na VL, nakhodyashchikhsya pod navedennym napryazheniem. Netochnosti opredelenii i protivorechiya v normativnykh dokumentakh [Safety of work on overhead lines under induced voltage. Inaccuracy of definitions and contradictions in normative documents]. *Novosti elektrotehniki – The News of Electrical Engineering*, 2008, no. 3 (52), pp. 60–63.
7. Tselebrovskii Yu.V. Normativnye osnovy bezopasnosti rabot pod navedennym napryazheniem [Normative basis of work safety under induced voltage]. *Energetik*, 2010, no. 5, pp. 34–36.
8. Myul'baer A.A., Tselebrovskii Yu.V. O bezopasnosti rabot na ob'ektakh, nakhodyashchikhsya pod navedennym napryazheniem [On the safety of work on objects under the induced stress]. *Energetik*, 2017, no. 12, pp. 71–77.
9. *Pravila ustroystva elektroustanovok* [Rules for the installation of electrical installations]. 7th ed. Moscow, NTs ENAS Publ., 2003. 176 p.
10. Federal'nyi zakon RF ot 15.12.2002 g. № 184-FZ "O tekhnicheskoy regulirovani" [Federal Law of the Russian Federation "On Technical Regulation"].
11. GOST 12.1.038-82. Predel'no dopustimye znacheniya napryazhenii prikosnoveniya i tokov [State standard 12.1.038-82. Maximum permissible levels of pick-up voltages and currents]. *Sistema standartov bezopasnosti truda* [Occupational safety standards system]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1996, pt. 3, pp. 237–243.
12. Myul'baer A.A. Osobennosti rascheta navedennogo napryazheniya na otklyuchennoi tsepi dvukhtsepoi vozdushnoi linii elektroperedachi [Specificity of induced voltage calculation in the

disconnected circuit of a double-circuit overhead electric power transmission line]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2016, no. 3, pp. 146–160.

13. *Trudovoi kodeks Rossiiskoi Federatsii ot 30.12.2001 № 197-FZ* (red. ot 29.07.2017, s izm. i dop., vstup. v silu s 01.10.2017) [The Labor Code of the Russian Federation N 197-ФЗ of December 30, 2001 (as amended on July 29, 2017, as amended and supplemented, effective as of October 1, 2017)].

14. *Charter of Fundamental Rights of the European Union*. 18 December 2000. *Official Journal of the European Communities*, 2000/C 364/01. Available at: http://www.europarl.europa.eu/charter/pdf/text_en.pdf (accessed 01.09.2017).

15. *The health and safety toolbox: how to control risks at work*. London, 2014. Available at: <http://www.hse.gov.uk/pubns/priced/hsg268.pdf> (accessed 01.09.2017).

16. *International standard IEC 60364-4-41:2005. Lowvoltage electrical installation*. Pt. 4-41: *Protection for safety. Protection against electric shock*. 5th ed. Geneva, IEC, 2005.

17. *UC Santa Barbara Physics*: website. Available at: <http://www.physics.ucsb.edu> (accessed 01.09.2017).

18. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti i razrabotke investitsionnykh proektov i biznes-planov v elektroenergetike na stadii predTEO i TEO: (s tipovymi primerami)* [Methodical recommendations on the evaluation of efficiency and the development of investment projects and business plans in the electric power industry (with typical examples)]. RAEX («Expert RA»), Nauchnyi tsentr predinvestitsionnykh issledovaniy. Moscow, NTsPI Publ., 2008, bk. 1, 2.

19. *STO OAO "FSK ES" 56947007-29.240.55.018–2009. Metodicheskie ukazaniya po opredeleniyu navedennogo napryazheniya na otklyuchennykh vozdukhnykh liniyakh, nakhodyashchikhsya vblizi deistvuyushchikh VL* [Standard of organization Federal Grid Company 56947007-29.240.55.018–2009. Guidelines for determination of the induced voltage of disconnected overhead lines near existing overhead line]. Moscow, FSK ES Publ., 2009. 35 p.

20. *Metodicheskie rekomendatsii po otsenke effektivnosti investitsionnykh proektov* [Methodical recommendations on the evaluation of the effectiveness of investment projects]. Moscow, Ekonomika Publ., 2000. 421 p.

21. RF Federal Law "On compulsory social insurance against accidents at work and occupational diseases" of July 24, 1998 N 125-FZ (as amended and additions). (In Russian).

22. *Obzor travmatizma v organizatsiyakh elektroenergetiki* [Overview of injuries in the organizations of the electric power industry]. Moscow, RaEI Association Publ., 2016. 120 p.

23. Zhukov Yu.I. *Elektrotravmatizm v rossiiskoi energetike (2000–2009 gg.)* [Electrotraumatism in the Russian energy sector]. Available at: <http://www.elec.ru/analytics/elektrotravmatizm-v-rossijskoj-energetike-20002009> (accessed 10.12.2017).

Для цитирования:

Дронова Ю.В., Мюльбаер А.А., Целебровский Ю.В. Концептуальные основы электробезопасности при работах в электроустановках с наведенным напряжением // Научный вестник НГТУ. – 2017. – № 4 (69). – С. 139–152. – doi: 10.17212/1814-1196-2017-4-139-152.

For citation:

Dronova Yu.V., Myulbaer A.A., Tselebrovsky Yu.V. Kontseptual'nye osnovy elektrobezopasnosti pri rabotakh v elektroustanovkakh s navedennym napryazheniem [Conceptual basis of electrical safety in work in electrical installations with induced voltage]. *Nauchnyi vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta – Science bulletin of the Novosibirsk state technical university*, 2017, no. 4 (69), pp. 139–152. doi: 10.17212/1814-1196-2017-4-139-152.