

УДК 621.3

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОННЫХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ПЕРСОНАЛА И УСТРОЙСТВ КОНТРОЛЯ ОПАСНЫХ ФАКТОРОВ

Братухин А.В., старший преподаватель¹

E-mail: usr02334@vyatsu.ru

Дюкин И.Р., аспирант²

E-mail: lester0125@yandex.ru

Сидоров А.И., доктор технических наук, профессор²

E-mail: sidorovai@susu.ru

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Вятский государственный университет», г. Киров, Россия

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Вятский государственный агротехнологический университет», г. Киров, Россия

Аннотация. Статья рассматривает проблему безопасности при обслуживании электроустановок с использованием логико-вероятностных моделей. Авторы исследуют влияние качества электротехнических средств (ЭТС) на вероятность возникновения несчастных случаев. Подчеркивается актуальность проведения исследований, направленных на повышение качества ЭТС, с целью снижения числа электротравм при обслуживании электроустановок. Доказана необходимость продолжения этих работ. В заключении отмечается, что обобщение результатов исследований предоставит основу для разработки общих рекомендаций для разработчиков, изготовителей и пользователей ЭТС и устройств контроля опасных и вредных факторов, способствуя повышению безопасности в работе с электрооборудованием.

Ключевые слова: электротравматизм, летальный исход, логико-вероятностная модель, электротехнические средства.

IMPROVING THE QUALITY OF ELECTRONIC MEANS OF PERSONNEL PROTECTION AND HAZARD CONTROL DEVICES

Bratukhin A.V., senior lecturer¹

E-mail: usr02334@vyatsu.ru

Dyukin I.R., postgraduate student²

E-mail: lester0125@yandex.ru

Sidorov A.I., doctor of technical sciences, professor²

E-mail: sidorovai@susu.ru

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State University», Kirov, Russia

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vyatka State Agrotechnological University», Kirov, Russia



Annotation. The article considers the problem of safety in the process of maintaining electrical installations using logical-and-probabilistic models. The authors investigate the influence of the electrical protective equipment (EPE) quality on the accidents probability. The urgency of conducting research aimed at improving the quality of the EPE has been emphasized in order to reduce the number of electrical injuries during the process of maintaining electrical installations. The necessity of continuation of these works has been proved. In conclusion, it is noted that the generalization of the research results will provide the basis for working out general recommendations for developers, manufacturers and users of the EPE and the devices for monitoring dangerous and harmful factors, contributing to increased safety in working with electrical equipment.

Keywords: electrotraumatism, fatal outcome, logical-and-probabilistic model, electrical protective equipment.

Имеющиеся статистические данные говорят о том, что в электроэнергетике остается по-прежнему высокий уровень травматизма, в том числе электротравматизма. Электротравматизм отличается исключительно высокая тяжесть последствий.

Анализ распределения несчастных случаев (НС) на предприятиях ПАО «Россети» за период 2010-2022 гг. установил, что общее число пострадавших составило 4 157 человек. Доля смертельных НС составила 14% (572 чел.), т. е. каждый седьмой случай имеет летальный исход.

Статистика травматизма с летальным исходом на поднадзорных Ростехнадзору энергетических объектах за период 2011-2020 гг. [1] показала, что 63,5% смертей происходит при осуществлении работ на оборудовании классом напряжения 6-35 кВ. Необходимо отметить, что высокие показатели травматизма на этих объектах связаны с их большим количеством в электроэнергетике.

В результате анализа распределения количества пострадавших по виду оборудования, на котором произошел НС (рисунок 1), выявлено, что чаще всего летальный исход регистрируется при работе в распределительных устройствах свыше 1 кВ (35,2%) и на воздушных линиях электропередачи (ВЛ) (28,3%). Как правило, это связано с недостаточной квалификацией и оснащенностью



средствами защиты обслуживающего персонала и контроля опасных факторов.



Рисунок 1 – Круговая диаграмма с распределением количества пострадавших в НС за период 2011-2020 гг. по группам по виду оборудования

Также при анализе травматизма было определено, что большое число НС происходит при выполнении работ на ВЛ со снятием напряжения (наиболее часто применяемый вид работ). Поэтому значительное внимание в отрасли уделяется обеспечению качественного контроля отсутствия напряжения на токоведущих частях.

Помимо классифицируемых, как основное электрозащитное средство (ЭЗС) указателей напряжения (УН) для выполнения этой операции с девяностых годов стали применяться сигнализаторы напряжения (СН) различных типов [2]. СН можно разделить на две большие группы: индивидуальные (СНИ) и стационарные (СНС). СНИ в свою очередь делятся на автоматические (как правило устанавливаются на защитной каске персонала, поэтому встречается название – СН касочный (СНК) и неавтоматические (используются при нажатии кнопки включения). Виды СН представлены на рисунке 2.





а)



б)



в)

Рисунок 2 – Виды СН: а) стационарный СНС 6-10-У2 «Кристалл-С»,
б) касочный СНК-10, в) индивидуальный СНИН 6-10

При пользовании СН нельзя забывать, что они не предназначены для определения отсутствия напряжения на токоведущих частях электроустановок, для чего могут быть использованы только УН. То есть необходимо помнить, что отсутствие сигнала не говорит об отсутствии напряжения и наоборот – наличие сигнала о наличии напряжения. Несмотря на справедливость данного высказывания, можно уверенно сказать, что при правильном применении СН совместно с УН повышается оперативность проверки отсутствия напряжения и безопасность работ в целом.

Любой несчастный случай является следствием травмоопасных ситуаций, частота появления которых определяется уровнем электробезопасности для данного вида работ. Большинство смертельных электротравм происходит из-за нескольких общих событий-предпосылок, которые необходимо учитывать при анализе возникновения травмоопасной ситуации.

Провести анализ причин возникновения НС и определить меры снижения вероятности его возникновения помогает создание логико-вероятностной



модели (ЛВМ) [3]. Она составляется в соответствии с технологической цепочкой выполнения каких-либо работ в виде событий, которые могут произойти и привести к НС. Численно события выражаются через вероятность их возникновения. Рассмотрим ЛВМ, поясняющую возможность возникновения НС при техническом обслуживании ВЛ 6-10 кВ со снятием напряжения (рисунок 3).

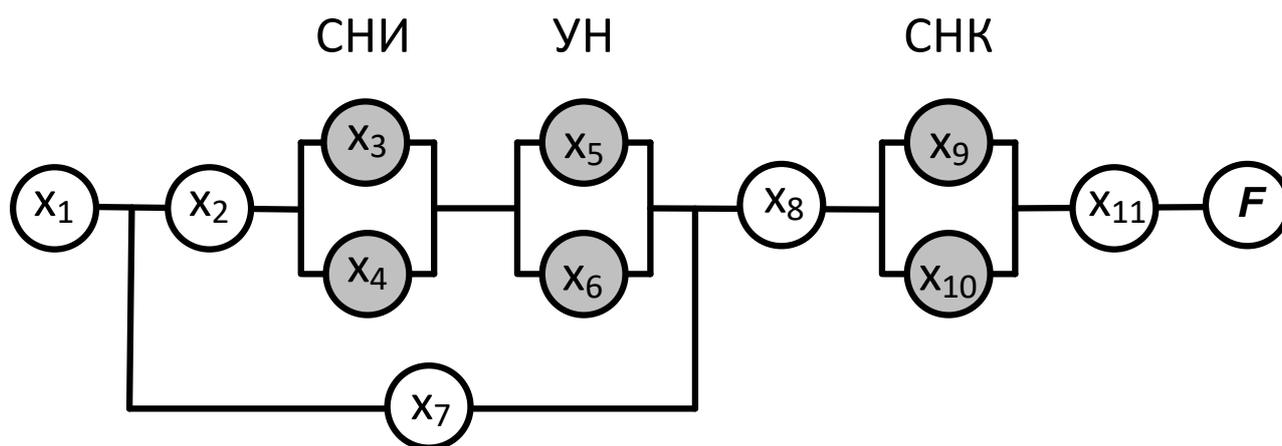


Рисунок 3 – ЛВМ, поясняющая возникновение травмоопасной ситуации при техническом обслуживании ВЛ 6-10 кВ со снятием напряжения

ЛВМ (рисунок 3) для этого случая включает 11 событий ($x_1 \dots x_{11}$) (таблица 1) и их связи, что наглядно показывает механизм возникновения НС (F). Значение вероятности возникновения НС – $\tilde{P}(F)$ определяется значениями вероятности ($\tilde{p}(x_1) \dots \tilde{p}(x_{11})$) каждого события. Эти значения определяются при помощи статистики травматизма, либо при ее отсутствии – с помощью экспертных оценок.

В расчетах по европейским требованиям безопасности допустимое значение вероятности возникновения НС оценивается порядка 10^{-7} . В России это значение гораздо выше – порядка 10^{-5} . Совершенствование ЭЗС, в том числе электронных, является важным направлением повышения уровня



электробезопасности, позволяющим снизить вероятность несчастного случая.

Таблица 1 – Элементы ЛВМ, поясняющие возникновение
травмоопасной ситуации

Событие	Содержание события
x_1	Работа со снятием напряжения
x_2	Не выполнено отключение напряжения
x_3	Не выполнена проверка отсутствия напряжения с помощью СНИ
x_4	Не сработал СНИ с земли
x_5	Не проверено отсутствие напряжения с помощью УН
x_6	Не сработал УН
x_7	Ошибочное включение напряжения
x_8	Не наложено защитное заземление
x_9	Нет или неисправен СНК
x_{10}	Не распознан сигнал СНК о наличии напряжения
x_{11}	Прикосновение к токоведущим частям

Анализ ЛВМ (рисунок 3) выявил наиболее уязвимые места модели (выделены серым цветом): x_3 , x_4 , x_5 , x_6 , x_9 , x_{10} . К ним относятся невыполнение проверки отсутствия напряжения, неисправность или даже отсутствие ЭЗС, нераспознавание сигнала об опасности. Причины связаны с низким качеством используемых ЭЗС, которые не соответствуют выдвигаемым специалистами требованиям и нормирующим документам. По этой причине, в частности, имеют место ошибки при проведении контроля наличия напряжения, а также факты неприменения требуемых инструкциями защитных и контролирующих средств.

Развитие электроники в 2000-х гг. открыло возможности для создания различных типов ЭЗС и устройств контроля других существующих в электроэнергетике опасных и вредных факторов. Низкое качество используемых в электроэнергетике электронных средств защиты персонала подтверждается итогами различных смотров-конкурсов, регулярно проводимых ПАО «Россети». Так, в результате всероссийского смотра-конкурса ЭЗС, проведенного ОАО «МРСК Холдинг», в 2010 году было выявлено много



недостатков [4] и в итоге не рекомендовано к использованию 62,5% представленных на конкурс видов УН до 1000 В, 57,7% УН свыше 1000 В, 50% СНК (рисунок 4).



Рисунок 4 – Итоги смотра-конкурса ЭЗС, проведенного ОАО «МРСК Холдинг»

В связи с этим актуальна задача, заключающаяся в поиске способов повышения надёжности ЭЗС, улучшения их технических и эксплуатационных характеристик. Актуальность поставленной задачи также подтверждается отраслевыми приказами и программами, направленными на повышение безопасности работ, в которых много внимания уделяется разработке новых и совершенствованию используемых видов ЭЗС [5, 6, 7].

Для решения поставленной задачи авторами было принято решение использовать в качестве объекта исследований комплекс электрозащитных средств и устройств контроля опасных и вредных факторов, разработанных в Научно-производственном центре (НПЦ) «Электробезопасность», созданном



при кафедре электротехники и электроники Вятского государственного университета в 1995 г. по инициативе ОАО «Кировэнерго» и РАО «ЕЭС России». В настоящее время промышленно выпускается и эксплуатируется в электросетевых предприятиях страны 14 видов ЭЗС и устройств контроля опасных и вредных факторов [8], выбранных для проведения исследований, направленных на повышение качества, и в первую очередь – надежности этих устройств. Далее в статье приведены более подробно описания четырёх широко распространённых типов приборов.

Сигнализатор напряжения индивидуальный «Ива-Н». СНИ «Ива-Н» (рисунок 5) позволяет с земли или с опоры определять наличие напряжения на ВЛ электропередачи напряжением 6-10 кВ. Особенности: возможность осуществлять контроль заземления электроустановок и поиск фазного провода, находящегося под напряжением в сетях 0,4 кВ. СНИ «Ива-Н» сертифицирован, промышленно производится с 1997 г. Находится в эксплуатации более 65 000 штук.



Рисунок 5 – Внешний вид СНИ «Ива-Н»

Характеристики СНИ «Ива-Н»:

Габаритные размеры мм	130x52x22
Форма сигнализации	световая и звуковая
Продолжительность работы от одного комплекта элементов, не менее, ч.	100
Номинальное напряжение источника питания (два элемента АА), В	3
Масса, г, не более	120
Температурный диапазон, °С	от -45 до +40
Срок службы, год, не менее	6

Сигнализатор напряжения касочный «Радиус». СНК «Радиус» предназначен для предупреждения рабочего персонала о приближении на опасное расстояние к токоведущим частям ВЛ 6-10 кВ. Особенность заключается в установке СНК «Радиус» в виде вставки внутрь защитной каски (рисунок 6), что дает ряд преимуществ: защита от внешних воздействий,



маломощный источник питания для звуковой сигнализации, увеличенный срок службы элемента питания. СНК «Радиус» сертифицирован, промышленно производится с 2009 г. Находится в эксплуатации более 80 000 штук.

Характеристики СНК «Радиус»:



Рисунок 6 – Внешний вид

СНК «Радиус»

Габариты, мм	295x240x12,5
Форма сигнализации	звуковая
Продолжительность работы от одного элемента питания, не менее, мес.	12
Номинальное напряжение источника питания (дисковый литиевый элемент типа CR2450), В	3
Масса СНК (без каски), г, не более	75
Температурный диапазон, °С	от -45 до +40
Срок службы, год, не менее	6

Указатель напряжения до 1000 В «Комби». Универсальный указатель напряжения до 1000 В (УНН) «Комби» (рисунок 7) предназначен для контроля напряжения в цепях постоянного тока до 500 В и переменного тока до 380 В.



Рисунок 7 – Внешний вид

УНН «Комби»

Характеристики УНН «Комби»

Габаритные размеры, мм	130x52x22
Форма сигнализации	световая и звуковая
Напряжение индикации, В	12
Номинальное напряжение источника питания (один элемент АА), В	1,5
Масса, г, не более	200
Температурный диапазон, °С	от -25 до +40
Срок службы, год, не менее	6



УНН «Комби» может быть использован в качестве однополюсного УН для определения фазных проводов, проверки целостности электрической цепи. Особенности: отсутствие переключателей, автоматическое определение уровня напряжения, рода тока и полярности постоянного напряжения. УНН «Комби» соответствует требованиям стандарта ГОСТ 20493-2001 «Указатели напряжения» [9]. УНН «Комби» сертифицирован, промышленно производится с 2002 года. Находится в эксплуатации более 35 000 штук.

Ультразвуковой измеритель расстояний ИР «Даль». ИР «Даль» (рисунок 8) позволяет без приближения к токоведущим частям и без снятия напряжения с ВЛ электропередачи определять расстояние от поверхности земли до трёх проводов. Входит в оснащение оперативно-ремонтных бригад.



Рисунок 8 – Внешний вид
ИР «Даль»

Характеристики ИР «Даль»:

Диапазон измерения, м	3,5... 15
Погрешность (приведенная) измерений, не более, %	2
Габаритные размеры, мм	200x90x70
Количество измерений, не менее	10 000
Номинальное напряжение источника питания (четыре элемента АА), В	6
Масса, г, не более	400
Температурный диапазон, °С	от -10 до +40
Срок службы, год, не менее	6

ИР «Даль» сертифицирован, зарегистрирован в Госреестре средств измерений под № 40490-09, промышленно производится с 1999 г. Находится в эксплуатации более 18 000 штук.

Исследования надежности и других характеристик вышеназванных ЭЗС и устройств контроля высоты подвеса проводов позволили системно выработать рекомендации, использование которых позволило существенно повысить



качество этих приборов, что подтверждается постоянным спросом и увеличением количества приборов, эксплуатирующихся электросетевыми предприятиями страны (рисунок 9). Данные за 2001-2023 гг. предоставлены НПЦ «Электробезопасность».

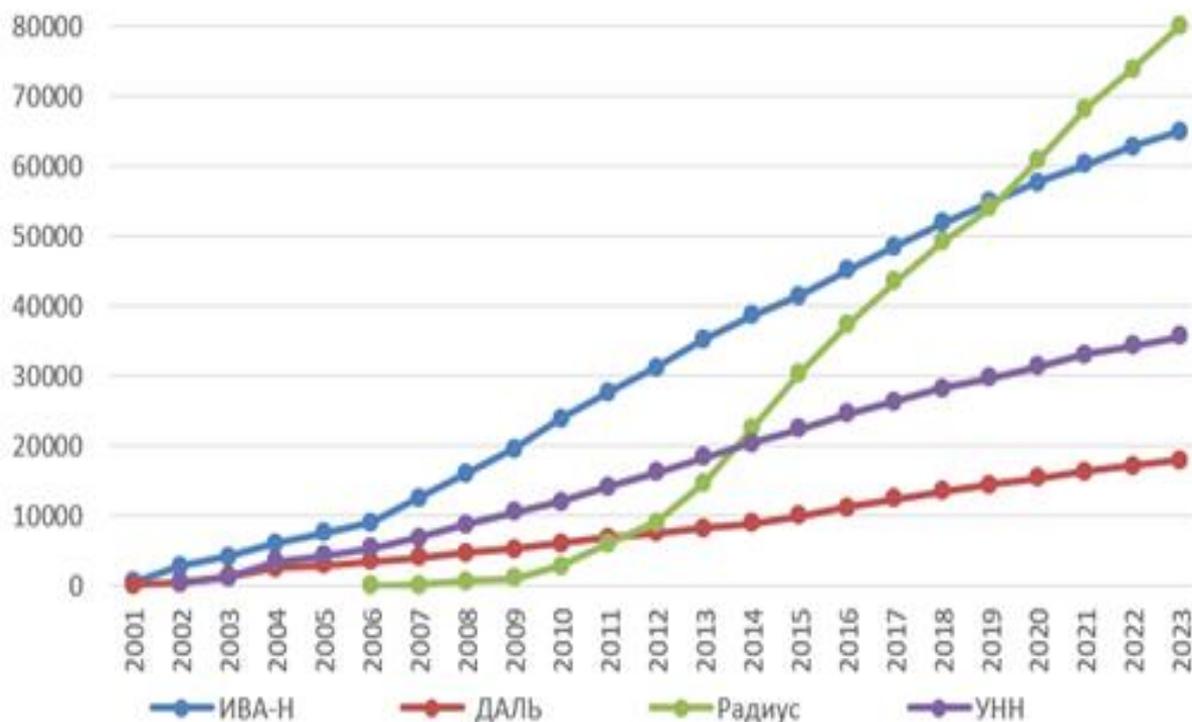


Рисунок 9 – Количество ЭЭС, эксплуатирующихся в энергосистемах РФ

В качестве иллюстрации процесса совершенствования приборов на рисунке 10 показано, как менялись внешний вид и печатная плата СНИ «Ива-Н» от опытного образца 1996 г. до настоящего времени. С середины 2010-х гг. использование микропроцессорной техники и технологии поверхностного монтажа (SMT) элементов позволили расширить функциональные возможности



приборов и качество [10] (образец платы СНИ «Ива-Н» 2019 г. изображен на рисунок 10).



Рисунок 10 – Этапы совершенствования СНИ «Ива-Н»

Выводы:

1. Логико-вероятностные модели дают возможность оценить влияние качества ЭЗС на вероятность возникновения несчастного случая.
2. Проведение исследований, повышающих качество ЭЗС, являются актуальным направлением по снижению количества несчастных случаев при обслуживании электроустановок. Очевидна целесообразность продолжения этих работ.
3. Обобщение результатов исследований позволит выработать общие рекомендации для разработчиков, изготовителей и пользователей ЭЗС и устройств контроля опасных и вредных факторов.



Список источников

1. Каримов Т. М., Гаврилов А. А. Анализ причин несчастных случаев со смертельным исходом на объектах, поднадзорных Ростехнадзору // Научный Лидер. 2021. №. 15. С. 123–128.
2. Порядок применения электротехнических средств в электросетевом комплексе ПАО «Россети» : стандарт организации ПАО «Россети» : СТО 34.01-30.1-001-2016 : дата введения 01.10.2016.
3. Красных А. А., Морозов А. С., Хлебников В. А. Логико-вероятностная модель возникновения травмоопасных ситуаций при эксплуатации воздушных линий электропередачи напряжением 6-35 кВ // Электробезопасность. 2003. № 2–3. С. 62–68.
4. Красных А. А., Литвинов Д. Г., Казаковцев В. В. Сигнализаторы напряжения индивидуальные касочные // Энергетик. 2016. № 7. С. 14-17.
5. Политика в области охраны труда группы компаний «Россети» : приложение 1 к Положению о системе управления охраной труда в группе компаний «Россети» : утверждено приказом ПАО «Россети» от 21.09.2023 № 412.
6. Программа мероприятий по реализации в ПАО «Россети Юг» и АО «ВМЭС» концепции нулевого травматизма в 2022 году : приложение № 2 к приказу ПАО «Россети Юг» от 01.10.2022 № 2.
7. Красных А. А., Братухин А. В. Современные указатели напряжения // Молодежь Сибири – науке России : сборник материалов НПК «НОУ СИБУП», Красноярск. 2012. Часть I. С. 306–309.
8. Устройства контроля опасных факторов, связанных с эксплуатацией воздушных линий электропередачи. А. А. Красных, А. В. Братухин, Д. Г. Литвинов, И. И. Машковцев // Электробезопасность. 2014. № 4. С. 18–26.



9. ГОСТ 20493-2001. Указатели напряжения. Общие технические условия : межгосударственный стандарт : издание официальное : утвержден Постановлением Государственного комитета РФ по стандартизации и метрологии от 19.12.2002 : дата введения 2004-01-01 // М. : Издательство стандартов, 2003. 12 с.
10. Кривошеин И. Л., Братухин А. В., Агалакова Л. М. Разработка индивидуального сигнализатора напряжения // Сборник материалов НПК Общество, наука, инновации : сб. материалов НПК. Киров : ВятГУ, 2017. С. 1286–1291.

