УДК: 621.316.9

**ОБОСНОВАНИЕ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТИ РАЗРАБОТКИ ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, НАПРАВЛЕННЫХ НА НЕЙТРАЛИЗАЦИЮ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ 10 КВ**

***Чернышов В.А., Даровых А.С., Лукьянов Г.В.***

*Россия, г. Орел, ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева»*

*Аннотация: В статье рассматривается специфика функционирования воздушных электрических сетей напряжением 10 кВ с изолированной нейтралью в условиях возникновения однофазных замыканий на землю, а также изложен алгоритм отыскания данных повреждений. На основании особенностей современного развития электроэнергетики обосновывается необходимость разработки простых и вместе с тем эффективных инженерно-технических решений, не использующих цифровые технологии и интеллектуальные системы управления, но способные при этом обеспечивать надежную работу электросетевой инфраструктуры 10 кВ с однофазным повреждением изоляции, в том числе и в условиях чрезвычайных ситуаций.*

*Ключевые слова:**воздушная электрическая сеть 10 кВ с изолированной нейтралью; однофазное замыкание на землю; шаговое напряжение, электротравматизм; перенапряжение изоляции; двойное замыкание на землю, надежность и бесперебойность электроснабжения.*

Воздушные электрические сети с изолированной нейтралью используются в единой энергетической системе России на протяжении долгого периода времени. В настоящее время значительная часть повреждений в таких сетях вызвана однофазными замыканиями на землю (ОЗНЗ) [1], которые происходят из-за обрывов проводов и пробоя изоляции, при этом фазное напряжение у потребителей не изменяется, что позволяет им продолжать работу в штатном режиме. Следует отметить, что при возникновении ОЗНЗ в электрической связанной сети возникают опасные перенапряжения, которые, в свою очередь, являются причиной возникновения двойного замыкания на землю (ДЗНЗ). Также возникновение ОЗНЗ является причиной формирования потенциально-опасной зоны действия шагового напряжения, в месте повреждения изоляции. Современные циркуляры обязывают диспетчеров незамедлительно отключать линию при установлении факта возникновения повреждения ее изоляции, и организовывать отыскание места повреждения при снятом напряжении [2]. На первый взгляд, эти мероприятия направленны на предупреждение электротравматизма [3] людей и животных, оказавшихся вблизи места повреждения изоляции, а также на устранение возникших в электрической сети перенапряжений изоляции. Но вместе с тем, данные мероприятия значительно осложняют оперативно-выездной бригаде процесс поиска ОЗНЗ, а также негативно сказываются на жизнедеятельности различных агропромышленных потребителей, испытывающих в это время перебой в электроснабжении. На современных модернизированных подстанциях существует дежурный персонал, который в случае возникновения ОЗНЗ на одной из воздушных линий, отходящих от подстанции, получает сигнал от устройства неселективной сигнализации и приступает к отысканию поврежденного направления, путем поочередного выключения и включения высоковольтных выключателей [4]. При отключении линии с поврежденной изоляцией, устройство неселективной сигнализации перестает формировать сигнал. Дежурный персонал сообщает диспетчеру номер линии с ОЗНЗ и на поиски места повреждения выдвигается оперативно-выездная бригада [5]. В случае отсутствия на подстанции дежурного персонала, устройство контроля изоляции формирует сигнал диспетчеру о факте возникновения ОЗНЗ в электрической связанной сети. На подстанцию выдвигается оперативно-выездная бригада, которая действуя по выше описанному алгоритму, определяет номер отходящей линии с ОЗНЗ и под руководством диспетчера приступает к отысканию и устранению места с поврежденной изоляцией. Как показывает практика, процесс отыскания ОЗНЗ в таком случае может занимать достаточно длительный период времени (от одного часа и более).

При этом на современных, так называемых цифровых подстанциях, релейная защита и автоматика которых выполнена с использованием интеллектуальных систем микропроцессорного контроля и управления, а передача и прием аппаратной информации осуществляется по беспроводным каналам GSM связи [6], процесс отыскания и отключения линии с ОЗНЗ быстротечен и не приводит к негативным последствиям, рассмотренным ранее. По всей видимости, в рамках крупномасштабной программы «Цифровая трансформация», современный электросетевой комплекс 10 кВ ждут коренные структурные изменения. Поэтому он все больше и больше будет зависть от цифровых информационно-телекоммуникационных технологий. Хорошо это или плохо, время покажет! Ну а пока, анализ существующих вариантов и альтернативных возможностей повышения эффективности функционирования воздушных электрических сетей 10 кВ с изолированной нейтралью, позволяет авторам сделать следующие нетривиальные выводы.

Современный вектор развития научно-технического прогресса, ориентирован преимущественно на дальнейшую разработку и активное внедрение на объектах электроэнергетики, разнообразных цифровых технологий и интеллектуальных систем микропроцессорного контроля и управления. Радужная перспектива, отмеченного явления, на первый взгляд напоминающего коллаборацию энергетических процессов и информационно-коммуникационных технологий, на самом же деле далеко обманчива. В реальности, имеет место процесс, когда одна коммерциализированная информационно-коммуникационная система, под управлением маркетологов, паразитирует на другой энергетической системе, необоснованно беря под контроль все управляющие функции и порождая при этом все новые технологические процессы, требующие контроля. В итоге, это оказывает на распределительные электрические сети 10 кВ весьма негативный эффект, заключающийся в их неготовности эффективно функционировать в условиях возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) техногенного или природного характера, когда будут выведены из строя микропроцессорные системы управления или откажут беспроводные каналы передачи информации. В этой связи крайне недальновидно и неосмотрительно ставить во главу угла только развитие цифровых технологий и необоснованное внедрение микропроцессорного контроля и управления. Очень важно развивать и совершенствовать способы непосредственного противодействия возникновению ненормальных режимов работы, к которым, в частности относится ОЗНЗ. Данные способы должны использовать новые схемотехнические решения и алгоритмы функционирования, позволяющие идентифицировать, блокировать и нейтрализовать ОЗНЗ. Наиболее ярким примером такого, инженерно-технического решения, позволяющего не отключая линию быстро выявлять ОЗНЗ, является высокоомное резистивное заземление нейтрали в сети 10 кВ, впервые предложенное и внедренное Петерсеном в начале 20 века [7]. В качестве примера, также можно упомянуть применение ВЛ с проводами защищенными изоляцией (ВЛЗ) [8], самовосстанавливающихся ВЛЭП [9], полимерных изоляторов [10], а также установку между траверсами и заземляющими выпусками ж/б опор нелинейных ограничителей перенапряжения [11], предложенные научными коллективами уже в настоящее время. Таким образом, разработка и внедрение эффективных и вместе с тем простых инженерно-технических решений, направленных, в том числе и на поддержание стабильной и безопасной работы систем электроснабжения 10 кВ, в условиях возникновения однофазных повреждений изоляции и не допускающих при этом снижение надежности электроснабжения потребителей является актуальной задачей [12].

Коллектив кафедры электрооборудования и энергосбережения целеустремленно и методично работает в данном направлении. На сегодняшний день авторы разработали радикальное схемотехническое решение, позволяющее не нарушать электроснабжение потребителей при возникновении в электрической сети однофазного повреждения изоляции, в течение всего периода времени, необходимого для его отыскания, а также минимизировать вероятность возникновения электротравматизма людей и животных в зоне его существования. В настоящее время по результатам НИРС подготовлена заявка на предполагаемое изобретение.

Список литературы

1. Лихачев Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов / Ф.А. Лихачев // М.: Энергия, 1971. – 152 с.

2. Арцишевский, Я.Л. Определение мест повреждения линий электропередачи в сетях с изолированной нейтралью / Я.Л. Арцишевский // М.: Высш. Шк., 1988. – 94 с.

3. Пушенко, С.Л. Анализ электротравматизма среди рабочих / С.Л. Пушенко, Стасева Е.В., Демченко С.Г., Насонова С.Ю., Теньгаева А.Н // Безопасность техногенных и природных систем. – 2020. С. 2-6

4. Набатов, К.А. Высоковольтные вакуумные выключатели распределительных устройств: учебное пособие / К.А. Набатов, В.В. Афонин. – Тамбов: Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.

5. Зуб, Н.С. Определение места повреждения ЛЭП 6-10 кВ при однофазном замыкании на землю / Н.С. Зуб // Международный научный журнал «Инновационная наука». – 2017. С. 46-49

6. Шмойлов, А.В. Селективность и техническая эффективность релейной защиты и автоматики / А.В. Шмойлов // Известия Томского политехнического университета. – 2008. С. 89-95

7. Petersen W. Der aussetzende Erdschluss. ETZ, Bd 38, S.553-555; ETZ, Bd 47, S.564-566; ETZ, Bd48, 1917.

8. Беспрозванных, А.В. Влияние толщины изоляции защищенных проводов высоковольтных ЛЭП на их пропускную способность по току / А.В. Беспрозванных, В.М. Золотарев, Ю.А. Антонец // Техника Сильных электрических и магнитных полей. Кабельная техника. – 2018. С. 41-46

9. Иванов, Р.В. Самовосстанавливающиеся воздушные линии электропередачи 6–10 кВ. Опыт применения в ПАО «Россети Московский регион» / Р.В. Иванов // Электроэнергия. Передача и распределение, №2(21). – 2021. С. 26-28

10. Ассоциация «Электросетьизоляция». Полимерные изоляционные конструкции для ВЛ. Развенчиваем мифы / Электроэнергия. Передача и распределение, №6(69). –2021. С. 88-91

11. Качанов, А.Н. Повышение эффективности функционирования воздушных электрических сетей 6-10 кВ с изолированной нейтралью при однофазных повреждениях изоляции / А.Н. Качанов, В.А. Чернышов, Б.Н. Мешков, М.Ш. Гарифуллин, Е.А. Печагин // Вести высших учебных заведений Черноземья: науч.-техн. и производств. журнал. – 2021. – С. 80-94

12. Шуин, В.А. Защиты от замыканий на землю в электрических сетях 6-10 кВ / В.А. Шуин, А.В. Гусенков // М.: НТФ «Энергопрогресс», 2001. – 104 с.

**Чернышов Вадим Алексеевич,** кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования и энергосбережения ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, тел. 89536132255, E-mail: [blackseam78@mail.ru](mailto:blackseam78@mail.ru)

**Даровых Алина Сергеевна,** магистрант 1 курса, направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, тел. 89803676427, E-mail: [alinkadarovyh1@gmail.com](mailto:alinkadarovyh1@gmail.com)

**Лукьянов Геннадий Владимирович**, магистрант 1 курса, направление подготовки 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника» ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С. Тургенева», г. Орел, Наугорское шоссе, д. 29, тел. 89532929906, E-mail: [lukyanov220@mail.ru](mailto:lukyanov220@mail.ru)

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

**UDC: 621.316.9**

**JUSTIFICATION OF THE FEASIBILITY OF THE DEVELOPMENT OF ENGINEERING AND TECHNICAL SOLUTIONS AIMED AT THE NEUTRALIZATION OF SINGLE-PHASE EARTH FAULT IN A 10 KV NETWORK**

***Chernyshov V.A., Darovykh A.S., Lukyanov G.V.***

*Russia, Orel, FSBEI HE «OSU named after I.S. Turgenev»*

***Abstract:*** *The article discusses the specifics of the functioning of overhead electrical networks with a voltage of 10 kV with an isolated neutral in the conditions of the occurrence of single-phase earth faults, and also outlines an algorithm for finding these damages. Based on the features of the modern development of the electric power industry, the necessity of developing simple and at the same time effective engineering and technical solutions that do not use digital technologies and intelligent control systems, but are capable of ensuring reliable operation of the 10 kV power grid infrastructure with single-phase insulation damage, including conditions of emergencies.*

***Key words:*** *overhead electrical network 10 kV with isolated neutral; single-phase earth fault; step voltage, electrical injury; isolation overvoltage; double ground fault, reliability and uninterrupted power supply,*

Bibliography

1. Likhachev F.A. Ground faults in networks with isolated neutral and with compensation of capacitive currents / F.A. Likhachev // M.: Energy, 1971. - 152 p.

2. Artsishevsky, Ya.L. Determining the places of damage to power lines in networks with isolated neutral / Ya.L. Artsishevsky // M.: Vyssh. Shk., 1988. - 94 p.

3. Pushenko, S.L. Analysis of electrical injuries among workers / S.L. Pushenko, Staseva E.V., Demchenko S.G., Nasonova S.Yu., Tengaeva A.N. // Safety of technogenic and natural systems. – 2020. P. 2-6

4. Nabatov, K.A. High-voltage vacuum switches of distributing devices: study guide / K.A. Nabatov, V.V. Afonin. - Tambov: Publishing House of GOU VPO TSTU, 2010. - 96 p.

5. Zub, N.S. Determining the location of damage to power transmission lines 6-10 kV with a single-phase earth fault / N.S. Tooth // International Scientific Journal "Innovative Science". – 2017. P. 46-49

6. Shmoylov, A.V. Selectivity and technical efficiency of relay protection and automation / A.V. Shmoylov // Proceedings of the Tomsk Polytechnic University. – 2008. S. 89-95

7. Shuin, V.A. Ground fault protection in electrical networks 6-10 kV / V.A. Shuin, A.V. Gusenkov // M.: NTF "Energoprogress", 2001. - 104 p.

8. Evminov, L.I. Application of resistive neutral grounding in electrical networks 6-35 kV / L.I. Evminov, T.V. Alferov // Bulletin of GGTU im. ON. Sukhoi. – 2022. P. 53-67

7. Petersen W. Der aussetzende Erdschluss. ETZ, Bd 38, S.553-555; ETZ, Bd 47, S.564-566; ETZ, Bd48, 1917.

8. Bezprozvannykh, A.V. Influence of the insulation thickness of protected wires of high-voltage power lines on their current carrying capacity / A.V. Bezprozvannykh, V.M. Zolotarev, Yu.A. Antonets // Technique of Strong Electric and Magnetic Fields. Cable technology. – 2018. P. 41-46

9. Ivanov, R.V. Self-healing overhead power lines 6–10 kV. Application experience in PJSC Rosseti Moscow Region / R.V. Ivanov // Electricity. Transfer and distribution. – 2021. P. 26-28

10. Association "Electric network isolation". Polymeric insulating structures for overhead lines. Debunking the myths / Electricity. Transmission and distribution, No. 6(69). -2021. pp. 88-91

11. Kachanov, A.N. Improving the efficiency of functioning of air electrical networks 6-10 kV with isolated neutral in case of single-phase insulation damage / A.N. Kachanov, V.A. Chernyshov, B.N. Meshkov, M.Sh. Garifullin, E.A. Pechagin // News of higher educational institutions of the Chernozem region: scientific and technical. and productions. magazine. - 2021. - S. 80-94

12. Shuin, V.A. Ground fault protection in electrical networks 6-10 kV / V.A. Shuin, A.V. Gusenkov // M.: NTF "Energoprogress", 2001. - 104 p.

**Chernyshov Vadim Alekseevich**, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electrical Equipment and Energy Saving, FSBEI HE "OSU named after IS Turgenev", Orel, Naugorskoe highway, 29, room. 228l, tel. 89536132255, E-mail: [blackseam78@mail.ru](mailto:blackseam78@mail.ru)

**Darovykh Alina Sergeevna**, 1nd year undergraduate, direction of training 04/13/02 "Electricity and electrical engineering" FSBEI HE "OSU named after I.S. Turgenev", Oryol, Naugorskoe highway, 29, tel. Turgenev OSU Oryol, Naugorskoe highway, 29, tel. 89803676427, E-mail: [alinkadarovyh1@gmail.com](mailto:alinkadarovyh1@gmail.com)

**Lukyanov Gennady Vladimirovich**, 1nd year undergraduate, direction of training 04/13/02 "Electricity and electrical engineering" FSBEI HE "OSU named after I.S. Turgenev", Oryol, Naugorskoe highway, 29, tel. Turgenev OSU Oryol, Naugorskoe highway, 29, tel. 89532929906, E-mail: [lukyanov220@mail.ru](mailto:lukyanov220@mail.ru)