

## **ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ОТЫСКАНИЯ НОВЫХ РЕШЕНИЙ, ПОВЫШАЮЩИХ НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ 6-10 кВ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ОДНОФАЗНЫХ ЗАМЫКАНИЙ НА ЗЕМЛЮ**

**Чернышов В.А., Лукьянов Г.В., Даровых А.С.**  
*Россия, г. Орёл, ФГБОУ ВО «ОГУ им. И.С.Тургенева»*

***Аннотация:** В центре внимания статьи находится научная теоретическая постановка проблемы, мешающей эффективному функционированию современных систем электроснабжения 6-10 кВ с изолированной нейтралью. Рассматриваются современные реалии их технологической отсталости и предпосылки возникновения. Представлен критический анализ практикующихся способов отыскания однофазных замыканий на землю, обуславливающих высокую вероятность возникновения двойных замыканий на землю и нарушения надежности электроснабжения потребителей. Обосновывается необходимость разработки и внедрения новых эффективных схемотехнических решений, позволяющих воздушным электрическим сетям 6-10 кВ вернуть утраченное преимущество режима изолированной нейтрали.*

***Ключевые слова:** воздушная электрическая сеть 6-10 кВ с изолированной нейтралью; однофазное замыкание на землю; двойное замыкание на землю; перенапряжение; шаговое напряжение; оперативно-выездная бригада; надежность электроснабжения потребителей.*

Как известно, из истории развития отечественной электроэнергетики, прародителями современных воздушных распределительных электрических сетей 6-10 кВ с изолированной нейтралью, являлись электрические сети напряжением 6,6 - 19 кВ [1]. Они впервые появились более века назад, когда первые ручейки всеобщей электрификации, преодолевая бескрайние просторы Советской России, несли свет и тепло в удаленные от цивилизации сельскохозяйственные, захолустные районы. Изолированный режим работы данных электрических сетей, был принят не случайно, а с целью обеспечения надежности электроснабжения сельских потребителей, при возникновении в сети однофазных замыканий на землю (ОЗНЗ). Это было оправдано тем, что, при возникновении ОЗНЗ, межфазное напряжение на первичных обмотках потребительских подстанций не изменялось и питающееся от них сельскохозяйственное электрооборудование (молотильные станы, водокачки, крупорушки и др.) продолжало работу в штатном режиме. Обратной стороной медали, при этом, являлось формирование опасного шагового напряжения, зона действия которого распространялась на 8-10 метров от места возникновения ОЗНЗ, а также повышение напряжения относительно земли в  $\sqrt{3}$  раз, на неповрежденных фазах электрически связанной сети [2]. Очевидно, что с увеличением времени существования ОЗНЗ в воздушной электрической сети, увеличивалась и вероятность возникновения событий связанных с электропоражением людей и животных, в зонах действия шагового напряжения. Также очевидно, что с увеличением времени существования перенапряжений в электрической сети, увеличивалась вероятность возникновения режима двойного замыкания на землю (ДЗНЗ), сопровождающегося нарушением электроснабжения потребителей. Однако, высокий запас прочности мало изношенной линейной изоляции, а также небольшие, на тот момент времени, протяженность и разветвленность воздушных электрических сетей 6,6-19 кВ, позволяли электромонтерам быстро отыскивать и устранять ОЗНЗ, в большинстве случаев, еще до наступления, выше рассмотренных негативных последствий. Субъективные человеческие факторы: идеологический настрой, зашкаливающий энтузиазм, серьезное отношение к делу, также содействовали оперативности отыскания ОЗНЗ, даже несмотря на то, что правилами безопасности и правилами устройства для электроэнергетических сооружений сильных токов низкого и высокого напряжений, изданными в 1921 году [3], время отыскания ОЗНЗ не нормировалось. Только, почти 30 лет спустя первое издание ПУЭ, изданное двумя частями в 1949 и 1950 годах [3], стало регламентировать время, отводимое для отыскания ОЗНЗ на ВЛЭП 6-10 кВ не более двух часов.

На сегодняшний день ситуация кардинально изменилась. Казалось бы, все хорошо, и научно-технический прогресс щедро одарил отечественную электроэнергетику разными инновационными технологиями и прогрессивными инженерно-техническими решениями. Чего только стоит тепловизорный мониторинг ВЛЭП, осуществляемый при помощи беспилотных летательных аппаратов [4], или высокоэффективная коммутация токов в вакууме [5], не говоря уже о возможностях интеллектуальных систем управления и контроля, выполненных на базе цифровых технологий [6]. Однако статистика аварийности и электротравматизма в современных распределительных сетях 6-10 кВ, общая протяженность которых превышает 1 миллион километров, печально свидетельствует о том, что их работу вряд ли можно считать высокоэффективной и этому есть соответствующие причины [7].

Для качественного и своевременного выполнения, полного объема ремонтно-восстановительных работ, соответствующего указанной протяженности, даже в рамках текущей эксплуатации, ежегодно требуются колоссальные материальные, трудовые и денежные ресурсы, не говоря уже о ресурсах, необходимых для проведения их своевременной реконструкции и модернизации [8].

В советские годы, благодаря государственной политике планирования народного хозяйства, финансирование мероприятий, направленных на развития воздушных электрических распределительных сетей 6-10 кВ было достаточным. В смутные 90-е годы политические и экономические потрясения в стране привели к тому, что новым собственникам электроэнергетического комплекса было не до того, чтобы заниматься техническим перевооружением воздушных электрических сетей. В настоящее время, мы имеем физически и морально изношенную инфраструктуру 6-10 кВ, в которой новоиспеченная фея Цифровизация, к сожалению, еще не успела облететь каждую подстанцию. Поэтому неконтролируемые ОЗНЗ зачастую приводят к отключениям ВЛЭП релейной защитой, в связи с возникновением на них ДЗНЗ. В частности, это происходит и тогда, когда на подстанции срабатывает устройство неселективной сигнализации и ее дежурный персонал, или, прибывший в ее расположение, персонал ОВБ, по заданию диспетчера, оперативно реализуют проверенный временем «дедовский» метод поиска, «с игровым азартом» производя поочередное кратковременное выключение и включение отходящих ВЛЭП, в надежде с нескольких попыток угадать номер поврежденного присоединения. При этом, они руководствуются тем, что при отключении ВЛЭП с ОЗНЗ, устройство неселективной сигнализации перестает действовать на сигнал. Согласно действующим правилам организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики [9], процесс отыскания места повреждения изоляции на ВЛЭП 6-10 кВ проводится исключительно при снятом напряжении. До недавнего времени персоналу ОВБ разрешалось производить поиск ОЗНЗ на ВЛЭП 6-10 кВ под напряжением, при помощи переносных приборов: «Поиск», «Волна», «Зонд», при неукоснительном соблюдении правил техники безопасности [10]. Конечно, отыскание места возникновения ОЗНЗ, на отключенной ВЛЭП 6-10 кВ, в полной мере обеспечивает безопасность персонала ОВБ, а также позволяет предотвратить негативное воздействие перенапряжений на линейную изоляцию. Однако данный поиск является весьма сложным и специфичным видом работ, он может растянуться на весьма продолжительный период времени, зависящий от многочисленных факторов: времени суток, времени года, погодных условий, рельефа местности, протяженности ВЛЭП, а также уровня профессионализма персонала ОВБ. Следует упомянуть, что в целях облегчения и ускорения процесса отыскания ОЗНЗ персонал ОВБ практикует способ, позволяющий сузить зону поиска и установить участок ВЛЭП с ОЗНЗ. Для этого по согласованию с диспетчером, он разделяет ВЛЭП с ОЗНЗ на две части и, связавшись по радию с дежурным подстанции или оставшимся на подстанции членом ОВБ, просит кратковременно подать напряжение на ВЛЭП с ОЗНЗ. В случае, если устройство контроля изоляции по-прежнему формирует сигнал, делается вывод о том, что ОЗНЗ находится на участке ВЛЭП до места разделения, соответственно если сигнала нет, то ОЗНЗ находится на участке ВЛЭП после места разделения. Несмотря на то, что рассмотренный способ

существенно ускоряет процесс отыскания ОЗНЗ на ВЛЭП 6-10 кВ, он весьма негативно влияет на питающихся от этой линии потребителей, которые в ожидании стабильного электроснабжения испытывают дополнительные социальные потрясения, т.к. это может вывести из строя имеющееся у них электрооборудование. При этом, данный способ может привести к возникновению ДЗНЗ на этой, или любой другой ВЛЭП, спровоцировав пробой изоляции одной из разноименных фаз.

Учитывая рассмотренные в статье сложности, связанные с идентификацией ОЗНЗ в современных системах электроснабжения 6-10 кВ, следует, что основное преимущество режима изолированной нейтрали, заложенное родоначальниками отечественной энергетики, на сегодняшний день полностью утрачено. В этой связи, весьма актуальным и востребованным является разработка новых способов, позволяющих предотвращать возникновение ДЗНЗ в воздушных электрических сетях 6-10 кВ, имеющих однофазное повреждение изоляции и обеспечивать высокий уровень надежности электроснабжения потребителей. На сегодняшний день, коллектив кафедры электрооборудования и энергосбережения активно работает в данном направлении. Результатом этой работы является разработка нескольких радикальных схмотехнических решений, по материалам которых, в настоящее время, оформляются заявки на предполагаемое изобретение. Ожидается, что данные схмотехнические решения, позволят сетям с изолированной нейтралью избавиться от груза технологической отсталости и вернуть ранее заложенное в них предназначение.

#### Список литературы

1. Электрификация СССР. Сборник документов и материалов 1926-1932 гг. – М.: Экономика, 1966. – С.52-59.
2. Барг, И.Г. Воздушные линии электропередачи: Вопросы эксплуатации и надежности / И.Г. Барг, В.И. Эдельман. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 258 с
3. Грудинский, П.Г. 100-летие правил устройства электротехнических установок / П.Г. Грудинский, А.Л. Фаерман // Электричество, №12. – 1983. – С. 64-67
4. Арбузов, Р.С. Современные методы диагностики воздушных линий электропередачи / Р.С. Арбузов, А.Г. Овсянников. – Новосибирск: Наука, 2009. – 135 с.
5. 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.
6. Цифровая энергетика: новая парадигма функционирования и развития / под ред. Н.Д. Рогалева. – М.: Издательство МЭИ, 2019. – 300 с.
7. Качанов А.Н., Повышение надежности, безопасности и эффективности функционирования воздушных электрических сетей 10 кВ при возникновении однофазных замыканий на землю / А.Н. Качанов, Б.Н. Мешков Б.Н., А.Е. Печагин, М.Ш. Гарифуллин // Международная научно-практическая конференция «Электрические сети: надежность, безопасность, энергосбережение и экономические аспекты». – 2021. – С. 23-28
8. Мешков, Б.Н. Анализ влияния инвестиций в техническое обслуживание на частоту аварийных отказов ВЛ 6-10 кВ / Б.Н. Мешков, В.А. Чернышов // Агротехника и энергообеспечение, № 3 (3). – 2014. – С. 54-63
9. Правила организации технического обслуживания и ремонта объектов электроэнергетики. Последняя редакция. – М.: ЦЕНТРМАГ, 2022. – 388 с.
10. Арцишевский, Я.Л. Определение мест повреждения линий электропередачи в сетях с изолированной нейтралью / Я. Л. Арцишевский // М: Высш. Шк., 1988. – 94 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)

**Лукьянов Геннадий Владимирович**, магистрант 1 курса, направления 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)

*Даровых Алина Сергеевна, магистрант 1 курса, направления 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)*

**UDC: 621.316.9**

## **JUSTIFICATION OF THE NEED TO FIND NEW SOLUTIONS INCREASING THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY SYSTEMS 6-10 kV IN THE OCCURENCE OF SINGLE-PHASE EARTH FAULT**

Chernyshov V.A., Lukyanov G.V., Darovykh A.S.  
Russia, Oryol I.S. Turgenev»

***Abstract:** The focus of the article is the scientific theoretical formulation of the problem, which interferes with the effective functioning of modern 6-10 kV power supply systems with an isolated neutral. The modern realities of their technological backwardness and the prerequisites for their occurrence are considered. A critical analysis of the practiced methods of finding single-phase earth faults, which cause a high probability of occurrence of double earth faults and a violation of the reliability of consumer power supply, is presented. The necessity of development and implementation of new effective circuit solutions is substantiated, allowing 6-10 kV overhead electrical networks to regain the lost advantage of the isolated neutral mode.*

***Key words:** overhead electrical network 6-10 kV with isolated neutral; single-phase earth fault; double short to ground; overvoltage; step voltage; operational team; reliability of power supply to consumers.*

### **Bibliography**

1. Electrification of the USSR. Collection of documents and materials 1926-1932. - M.: Economics, 1966. - S.52-59.
2. Barg, I.G. Overhead power lines: Issues of operation and reliability / I.G., Barg, V.I. Edelman. - M.: Energoatomizdat, 1985. - 258 p.
3. Grudinsky, P.G. Grudinsky, A.L. Faerman // *Electricity*, No. 12. - 1983. - S. 64-67
4. Arbuzov, R.S. Modern methods for diagnosing overhead power lines / R.S. Arbuzov, A.G. Ovsyannikov. - Novosibirsk: Nauka, 2009. - 135 p.
5. 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.
6. Digital energy: a new paradigm of functioning and development / ed. N.D. Rogalev. - M.: MPEI Publishing House, 2019. - 300 p.
7. Kachanov A.N., Improving the reliability, safety and efficiency of 10 kV air power networks in the event of single-phase ground faults / A.N. Kachanov, B.N. Meshkov B.N., A.E. Pechagin, M.Sh. Garifullin // International Scientific and Practical Conference "Electric Networks: Reliability, Safety, Energy Saving and Economic Aspects". - 2021. - S. 23-28
8. Meshkov, B.N. Analysis of the impact of investment in maintenance on the frequency of emergency failures of 6-10 kV overhead lines / B.N. Meshkov, V.A. Chernyshov // *Agricultural technology and energy supply*, No. 3 (3). - 2014. - S. 54-63
9. Rules for the organization of maintenance and repair of electric power facilities. Last edition. - M.: TSENTRMAG, 2022. - 388 p.
10. Artsishevsky, Ya.L. Determining the places of damage to power lines in networks with isolated neutral / Ya. L. Artsishevsky // M: Higher. Shk., 1988. - 94 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)

**Lukyanov Gennady Vladimirovich**, 1st 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)

**Darovykh Alina Sergeevna**, 1st 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)