

ИССЛЕДОВАНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ



В.А. Бугреев



К.С. Моренко

Проанализированы направления существующих исследований в области надежности магистральных и распределительных электрических сетей. Рассмотрены технические и организационно-технические аспекты повышения надежности электроснабжения. Дана классификация средств повышения надежности электроснабжения потребителей. Изучены факторы, влияющие на надежность электроснабжения и обеспеченность ресурсами на предприятии.

Ключевые слова: надежность электроснабжения, потребители электрической энергии, качество электрической энергии

EDN: LJDNLY

Надежность электроснабжения потребителей — свойство электрической сети обеспечивать электрической энергией потребителей в любой момент времени в нужном количестве и необходимого качества.

Вопросы надежности и перспектив надежности потребителей изучаются достаточно давно [1].

В настоящее время потребители предъявляют более высокие требования к качеству электроснабжения и эти требования необходимо выполнять путем внедрения рациональных схем электроснабжения,

модернизации оборудования и организационных мероприятий, позволяющих снизить время простоя при повреждениях и ремонтах. Предварительно необходимо выработать подход к оценке надежности, на основании которого будет оцениваться будущий эффект. Существует большое количество подходов к комплексной оценке надежности электроснабжения [2;3].

На надежность электроснабжения влияет множество факторов, среди которых: высокие значения гармонических составляющих, короткие замыкания

Бугреев Виктор Алексеевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Электрификация и электроснабжение» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: надежность сложных технических систем. Автор более 80 научных работ, в том числе трех монографий. Имеет 16 патентов на изобретения.

Моренко Константин Сергеевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Федерального научного агроинженерного центра ВИМ. Область научных интересов: возобновляемая энергетика. Автор 40 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет два патента на изобретения.

Моренко Сергей Алексеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: системы энергетики. Автор 25 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет три патента на изобретения.

Чехов Антон Павлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: электрические машины, информационные технологии в производстве. Автор 45 научных работ, в том числе двух монографий и семи учебных пособий. Имеет три патента на изобретения.

Чехов Павел Антонович, аспирант кафедры «Электрификация и электроснабжение» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: информационные технологии в системе «РЖД». Автор пяти научных работ, в том числе одного учебного пособия.

и снижения напряжения. Отдельные исследования посвящены влиянию показателей нормальных режимов работы сети на общую надежность ее работы. Подтверждается необходимость использования комплексного информационного подхода для прогнозирования режимов работы и обеспечения надежности [4].

Материалы и методы

Для обеспечения надежного электроснабжения в электроснабжающих организациях создаются информационные, транспортные системы, системы связи и другие необходимые структуры. Такие сети получили название умных сетей [5]. Рациональное размещение этих структур в пределах предприятия представляет собой огромную работу, направленную на поддержание работоспособности, надежности и эффективности снабжения электрической энергией потребителей.

Современные методы разработки и эксплуатации электрических сетей предполагают применение математического аппарата для количественной оценки надежности, позволяющей спроектировать и эксплуатировать систему в рациональных режимах с точки зрения экономической и энергетической эффективности [6].

Используемые в теории надежности математические методы предназначены для расчетов отдельных узлов электрических сетей. Они не всегда учитывают условия эксплуатации отдельных устройств [7].

Чаще всего системы электроснабжения представляют собой рассредоточенные объекты, взаимодействие которых обеспечивается средствами связи, транспортными коммуникациями, расположением и назначением ремонтно-эксплуатационных баз и бригад. Отдельно изучается надежность сетей с распределенными генераторами [8].

Средства надежного электроснабжения условно можно разделить на технические и организационно-технические (рисунок).

Технические методы предполагают дополнительные материальные вложения в электрооборудование, что означает строительство новых объектов и реконструирование старых, а также строительство дополнительных объектов для обеспечения необходимого уровня надежности [7;9].

Организационно-технические мероприятия предполагают квалифицированное управление и рациональную организацию работ, проводимых эксплуатирующими и обслуживающими организациями.

Результаты и обсуждение

Важным составляющим в повышении надежности воздушных линий электропередач является срок службы опор. В европейских странах для опор линий

электропередач широко применяются деревянные опоры и по стоимости такие опоры конкурируют с железобетонными. В России существуют заводы, которые выпускают деревянные пропитанные опоры для линий электропередач напряжением до 35 кВ. Пропитка осуществляется составом ССА производства английской фирмы Rentokil Ltd. и выполняется в автоклавах. Срок службы пропитанной древесины составляет 40–45 лет в контакте с почвой в условиях умеренного климата [7]. Производятся исследования по оптимальному проектированию надежных опор ВЛ [10].

Еще одна важная составляющая надежности линий электропередач — это провода. Использование голого провода для воздушных линий не всегда позволяет получить необходимое значение надежности системы. Опыт применения изолированных проводов в энергосистеме Северо-Запада России показал полное отсутствие отключений линий из-за перекрытия проводов падающими деревьями, схлестывания проводов, перекрытия на поросль. Оказалось, что в случае падения деревьев линия может нормально работать в течение нескольких месяцев. Это позволяет убирать деревья в плановом порядке [9].

Снег и гололед не вызывают повреждений линий. Стоимость провода, отвечающего требованиям гололедной нагрузки не более чем в полтора раза выше, что в условиях эксплуатации достаточно быстро окупается.

Применение изолированных проводов снижает требование к чистоте изоляторов, что также увеличивает надежность системы.

Трансформаторы и трансформаторные подстанции имеют достаточно высокий технический уровень исполнения и являются весьма надежным звеном системы при соблюдении условий эксплуатации большинства имеют срок службы более 25 лет. При этом около 32% подстанций 10/0,4 кВ в условиях эксплуатации загружены только на 40%, что приводит к нерациональному расходу электрической энергии [11].

Наиболее повреждаемыми элементами подстанций являются распределительные устройства. В период межсезонья возникает высокая вероятность образования росы на изоляторах, что приводит к повреждению и распределительных устройств.

Высокая повреждаемость разъединителей в условиях эксплуатации может быть снижена путем частых технических обслуживаний и ремонтов, что трудно осуществимо в условиях недостатка материальных и людских ресурсов.

Одним из способов повышения надежности электроснабжения является сетевое резервирование. В настоящее время около 85% подстанций 110/35 кВ

оснащено сетевым резервированием в виде двухстороннего питания. Около 7% сетей напряжением 6–10 кВ оснащены автоматическим сетевым резервом.

Системами телесигнализации оснащены практически 100% сетей напряжением 110 кВ. В сетях более низкого напряжения 0,38–10 кВ менее 1% подстанций имеют телесигнализацию и менее 0,1% имеют телеуправление. В то же время доказано, что использование датчиков на линии может значительно повысить надежность электроснабжения [12].

В настоящее время уровень автоматизации в электрических сетях достаточно низкий, для принятия решения о возможных областях применения и эффек-

тивности использования средств автоматизации необходимо провести обобщающие исследования. Такие исследования позволят разработать более эффективные конструкции средств и устройств автоматизации. Для комплексной автоматизации необходимо учитывать возможно большее количество факторов, что позволит получить экономический эффект от внедрения таких устройств. Для проведения теоретического исследования необходима математическая модель, позволяющая сделать анализ системы с учетом возможностей эксплуатации. Важно использовать комплекс средств автоматизации, поскольку по отдельности эти средства могут давать существенно меньший эффект.



Рисунок. Классификация средств обеспечения надежности электроснабжения

В качестве защитных устройств в сети 0,38 кВ используются предохранители и автоматические выключатели. В сети 6–35 кВ для этого применяются электромеханические реле с зависимой от тока выдержкой времени.

Большая часть ныне эксплуатируемых устройств релейной защиты выполнена на базе электромеханических реле, доля устройств на микроконтроллерах не превышает 1%. При этом более половины устройств уже отработали свой ресурс. Из-за их старения увеличивается разброс характеристик, что ставит под угрозу надежность электроснабжения и качество электрической энергии, а также увеличивает затраты на обслуживание. Количество случаев неправильной работы этих устройств составляет около 0,7%, что тоже увеличивает затраты на обслуживание. Релейная защита от однофазных замыканий на землю действует только на сигнал.

Обеспечение текущими запасами в электрических сетях зачастую отсутствует или недостаточно из-за нехватки материальных средств [13].

Выводы

Рациональная организация поиска повреждений с применением технических средств позволяет значительно ускорить поиск повреждений. Необходимо иметь в виду, что использование приборов в электрических сетях по ряду причин (финансовых и невысокой эффективности использования) ограничено [14].

Работа бригад будет эффективна при условии достаточно высокого уровня квалификации персонала и обеспеченности ресурсами. Все перечисленное говорит о необходимости совершенствования системы и структур электрических сетей.

Необходимо проводить обобщающие исследования вопроса надежности, принимая во внимание не только факторы отказов электроснабжения, но и отклонений от нормального режима, обеспеченности организаций материальными и человеческими ресурсами для выполнения работ соответствующей квалификации, рациональности и эффективности организационных процессов предприятий. 

Литература

1. Billinton R., Allan R.N. Power-system reliability in perspective // *Electronics and Power*. – 1984. – Т. 30, №3. – С. 231–236.
2. Gibadullin A.A. Assessment of the level of stability and reliability of the electric power complex // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2020. – Т. 837, №1. – С. 012007.
3. Byk F., Myshkina L., Khokhlova K. Power supply reliability indexes // *International Conference «Actual Issues of Mechanical Engineering» 2017 (AIME 2017)*. – Atlantis Press, 2017.
4. Zatsepina V.I., Zatsepin E.P. Reliability of power supply systems under the influence of negative factors // *2017 International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM)*. – IEEE, 2017. – С. 1–4.
5. Fang X. et al. Smart grid—The new and improved power grid: A survey // *IEEE communications surveys & tutorials*. – 2011. – Т.14, №4. – С. 944–980.
6. Shpiganovich A., Zatsepina V., Stepanov V. Power-supply systems reliability control // *EAI endorsed transactions on energy web*. – 2018. – Т.5, №19.
7. Васильев, А.П. Средства обеспечения надежности электроснабжения потребителей / А.П. Васильев, А.Г. Турлов. – Текст: непосредственный // *Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики*. – 2006. – №3–4. – С. 19–35.
8. Shi W., Song P., Liu C. Power supply reliability of distribution network including distributed generation [J] // *East China Electric Power*. – 2007. – Т.35, №7. – С. 37–41.
9. Пухальская, О.Ю. Повышение надежности электроснабжения потребителей сельскохозяйственного назначения за счёт применения покрытых проводов на линиях напряжением 10 кВ / О.Ю. Пухальская, К.М. Медведев. – Текст: непосредственный // *Агротехника и энергообеспечение*. – 2018. – №2 (19). – С. 53–59.

10. Mathakari S. et al. Reliability based optimal design of electrical transmission towers using multi objective genetic algorithms //Computer Aided Civil and Infrastructure Engineering. —2007. —Т. 22 , №4. —С. 282—292.
11. Будзко, И.А. Электроснабжение сельского хозяйства: учебник для студентов вузов по специальности 311400 «Электрификация и автоматизация сельского хозяйства» / И.А. Будзко, Т.Б. Лещинская, В.И. Сукманов. —Москва: Колос, 2000. —535 с. —ISBN 5-10-003172-7. —Текст: непосредственный.
12. Yang Y. Power line sensor networks for enhancing power line reliability and utilization: дис. —Georgia Institute of Technology, 2011.
13. Опыт эффективного повышения надежности электроснабжения сельских потребителей / Р.В. Солопов, В.П. Кавченков, Л.И. Долецкая, А.И. Магон. —Текст: непосредственный // Успехи современной науки. —2017. —Т.1, №5. —С. 175—179.
14. Беликов, Р.П. Использование средств контроля и коммутации для дистанционного отыскания и устранения повреждений применительно к разветвленным электрическим сетям 6(10) кВ / Р.П. Беликов, И.Н. Фомин. —Текст: непосредственный // Агротехника и энергообеспечение. —2017. —№4 (17). —С. 77—86.