



Международный журнал информационных технологий и энергоэффективности

Сайт журнала:

<http://www.openaccessscience.ru/index.php/ijcse/>



УДК 621.311

## АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ МЕТОДОВ КОЛИЧЕСТВЕННОЙ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

<sup>1</sup>Мартынов А.П., Головинов В.В., Гладкина Е.М., Малышев А.М., Гаркушин Д.М. ФГБОУ ВО "ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ", АЗОВО-ЧЕРНОМОРСКИЙ ИНЖЕНЕРНЫЙ ИНСТИТУТ - ФИЛИАЛ В Г. ЗЕРНОГРАДЕ, Зерноград, Россия (347740, Ростовская область, Зерноградский район, город Зерноград, ул. им Ленина, д. 21), e-mail: <sup>1</sup>alpmart@mail.ru

Оценка уровня надежности электроэнергетических систем является весьма сложной и нетривиальной задачей. В настоящее время существуют различные подходы и методы количественной оценки надежности. Но сохраняется актуальность разработки новых упрощенных методов ее оценки, что подтверждается основными разделами энергетической стратегии России на период до 2030 г. и концепцией обеспечения надежности в электроэнергетике.

Ключевые слова: Теория надежности, структурная надежность, функциональная надежность, показатели надежности, методы оценки надежности.

## THE RELEVANCE OF THE DEVELOPMENT OF QUANTITATIVE METHODS RELIABILITY ASSESSMENTS OF ELECTRIC POWER SYSTEMS

<sup>1</sup>Martynov A.P., Golovinov V.V., Gladkina E.M., Malyshev A.M., Garkushin D.M. "DON STATE AGRARIAN UNIVERSITY", AZOV-BLACK SEA ENGINEERING INSTITUTE - BRANCH IN ZERNOGRAD, Zernograd, Russia (347740, Rostov region, Zernogradsky district, Zernograd city, Lenin street, 21), e-mail: <sup>1</sup>alpmart@mail.ru

Assessing the reliability of electric power systems is a very difficult and non-trivial task. Currently, there are various approaches and methods for quantifying reliability. However, the development of new simplified methods of its assessment remains relevant, which is confirmed by the main sections of Russia's energy strategy for the period up to 2030 and the concept of ensuring reliability in the electric power industry.

Keywords: Reliability theory, structural reliability, functional reliability, reliability indicators, reliability assessment methods.

Надежность – это свойство объекта выполнять заданные функции в заданном объеме при определенных условиях функционирования [1]. Если мы рассматриваем надежность электроэнергетических систем, то здесь понятие надежности можно трактовать как способность этих систем обеспечивать электроэнергией требуемого качества потребителей в любой момент времени, т.е. не допуская перерывов электроснабжения, а также сведение к минимуму аварийных ситуаций, которые могут повлечь за собой опасность для жизни и здоровья людей или нанести вред окружающей среде. Объектом в электроэнергетической системе может быть отдельный ее элемент (изделие), комплект оборудования (например трансформаторная подстанция), какая-то часть системы или система в целом [1, 2].

В общей теории надежности выделяют понятия структурной и функциональной надежности. Структурная надежность подразумевает исследование структуры электроэнергетической системы, деление ее на отдельные элементы, надежность которых определяется отдельно, с последующей оценкой влияния каждого элемента на надежность всей системы. Функциональная надежность определяет насколько система или отдельная ее часть правильно и в заданном объеме выполняет все требуемые функции [3 - 6].

Функциональная надежность подразделяется на балансовую и режимную надежность. Балансовая надежность рассматривает систему с точки зрения достаточности ресурсов (генерирующих мощностей), нехватка которых может повлечь ухудшение качества электрической энергии, отключение части потребителей электрической энергии или опрокидывание генераторов на электростанциях, что может перейти в лавинообразный процесс и остановить работу всей системы. Чтобы избежать подобных ситуаций и обеспечить высокий уровень балансовой надежности необходимо создавать новые генерирующие мощности и обеспечивать резервирование системы, а также обеспечивать своевременное техническое обслуживание, текущие и капитальные ремонты электроустановок [7]. Режимная надежность обусловлена режимами работы системы и может зависеть от балансовой надежности. Различные режимы работы электроэнергетических систем могут приводить к аварийным ситуациям, отключению участков системы, части потребителей электроэнергии, снижению ее показателей качества, установленных ГОСТ Р 32144-2013 [5].

На современном этапе развития электроэнергетических систем задачи оценки их надежности весьма актуальны для обеспечения бесперебойного электроснабжения производственных и коммунально-бытовых потребителей, ведь для этого необходимо правильно оценивать уровни надежности.

Исследованию проблемы надежности и ее количественной оценке посвящены работы многих зарубежных и российских ученых: В.Я. Хорольский, М.А. Таранов, А.М. Исупова, Б. Дилон, Ф. Прошан, В.В. Зорин, Н.А. Казак, А.А. Гришкевич, В.В. Тисленко, Р. Алан, Б.В. Гнеденко, и многих других.

В электроэнергетических системах наиболее существенным является оценка их функциональной надежности, т.е. с точки зрения выполнения требуемых функций по обеспечению бесперебойного и качественного электроснабжения, так как различные внешние и внутренние факторы могут привести к нарушению этих функций или их отказу. А это в свою очередь может привести к весьма негативным последствиям, таким как выход оборудования из строя, опасности для людей и окружающей среды, значительным экономическим ущербам. В связи с этим оценку и учет надежности электроэнергетических систем требуется производить при их проектировании, строительстве и эксплуатации [8].

В настоящее время разработаны и применяются различные методы количественной оценки уровней надежности электроэнергетических систем. Какие-то из них можно назвать классическими, другие же только появились, третьи продолжают свое развитие.

Сегодня для определения уровня надежности электроэнергетических систем существуют только достаточно хорошие математические методы и модели, но включающие в себя ряд допущений. При оценке надежности этих систем необходимо учитывать их особенности, а не только теоретические модели. Надо отметить, что основной трудностью определения надежности здесь является невозможность проведения натурных

экспериментальных исследований. Из всего выше сказанного можно сделать вывод, что создание новых и совершенствование существующих методов оценки надежности электроэнергетических систем является актуальной задачей [2].

Теория надежности как наука возникла в пятидесятых годах двадцатого столетия. Основная ее задача – это разработать и изучить методы, которые обеспечат эффективность работы разных элементов (изделий, устройств, систем) в процессе их эксплуатации [9].

В настоящее время вопросам надежности посвящено большое количество работ, они вызывают немалый интерес во всем мире. Однако, несмотря на большое количество работ в данной области, в настоящее время актуальность этой темы не снижается. Связано это с тем, что подключаются новые потребители, создаются сложные системы электроснабжения.

На практике специалист в области электроэнергетики постоянно принимает разные решения: выбирает оптимальные варианты системы; подбирает режимы работы систем в условиях, которые отличаются от нормальных; производит ремонты, замены и оперативные переключения. На выбор данных решений оказывает влияние большое число разных факторов. Для некоторых из них можно произвести количественный анализ и расчет, вследствие чего можно сузить область возможных вариантов принятия решений; другие не поддаются количественному описанию. Это приводит к неопределенности при выборе решений. Несмотря на это, специалистам необходимо их принимать, соединяя практические знания с количественными расчетами и инженерной интуицией, а также проводить качественный анализ проводимых задач. При этом возникает риск выбора ошибочных и неоптимальных решений. Соответственно, чем больше разнообразных факторов, которые нельзя просчитать, тем больше вероятность того, что можно принять неправильные решения и получить их отрицательные последствия. Надежность среди всех разнообразных факторов занимает особое место. Поэтому появилась потребность в количественной оценке аварийных ситуаций и их последствий.

В настоящее время основной тенденцией в энергетике является создание больших энергообъединений, у которых имеется сложная структура, с одной стороны – это приводит к увеличению доли системных аварий, в результате которых единичный отказ может повлечь за собой каскадное развитие аварии и охватить значительную часть энергообъединения, с другой стороны – объединение позволяет получить значимые экономические преимущества. Поэтому необходимо проанализировать все затраты, связанные с повышением уровня надежности. Чтобы повысить надежность довольно часто принимают решения о резервировании или дублировании достаточно большого количества потребителей, что приводит к большим капитальным затратам, следовательно, это решение должно быть надлежащим образом обосновано. Рассчитав ущерб, нанесенный потребителям из-за перерыва электроснабжения, убытки из-за аварийного ремонта, и расходы, направленные на повышение надежности, можно оптимизировать уровень надёжности электроэнергетического оборудования и систем в целом [8].

Существенный рост потребления электрической энергии связан с качественным изменением потребителей. Последнее определено введением новых технологий и углублением электрификации разных производств, что приводит к увеличению зависимости нормального функционирования потребителей от надежности снабжения электрической энергией [10]. Это может привести к значительному материальному ущербу из-за нарушения

энергоснабжения, а в некоторых случаях привести к масштабам национального бедствия, доказательством чему служат ряд аварий в разных странах мира, например, США – Канада в августе 2003 г.; Швеция – Дания – Италия в сентябре 2003 г.; в мае 2005 г. – авария в Москве; в июне 2005 г.- авария в Благовещенске, Амурской области. Таким образом, ряд непредвиденных и случайных причин может привести к потере электроэнергии, либо снизить ее качество у части или даже у всех потребителей системы электроснабжения. Нарушение электроснабжения из-за системных аварий, как уже говорилось выше, может привести к серьезному ущербу, который может быть также связан с угрозой для жизни людей. Например, Нью-Йоркская авария в США привела к тому, что более чем на десять часов на территории с населением приблизительно 30 миллионов человек была практически приостановлена жизнедеятельность. Ущерб от данной аварии, по предварительным расчетам, превышал сто миллионов долларов [8].

В некоторых электроэнергетических системах число аварий может достигать в течение года нескольких десятков, а годовой недоотпуск электроэнергии из-за последствий аварий – нескольких миллиардов киловатт-часов. Суммарная общая мощность генераторов, которые одновременно простаивают в аварийном ремонте, составляет десятки миллионов киловатт. Всевозможные последствия от ненадежности элементов системы становятся существенными, в связи с этим необходимо постоянно совершенствовать методы, позволяющие прогнозировать развитие, проектирование, строительство, монтаж и эксплуатацию электроэнергетических систем, с помощью которых можно было бы наиболее полно учитывать надежность и экономично тратить средства, которые выделяются на её обеспечение [8]. Таким образом, на сегодняшний день оценка показателей надежности систем электроснабжения становится одной из важных задач развития в области энергетики.

Создание новых и расширение без того сложных электроэнергетических систем требует таких методов оценки надежности, которые бы позволили при проектировании учитывать опыт эксплуатации, провести анализ различных вариантов обеспечения надежности, а также спрогнозировать надежность новых энергосистем.

Существующие на сегодняшний момент различные методы количественной оценки показателей надежности электроэнергетических систем весьма громоздки, поэтому вопросы выбора и применения упрощенных методов расчета надежности, позволяющие более эффективно, и с меньшими вычислительными затратами решать задачи оценки надежности, приобретают большое значение.

Таким образом, количественная оценка уровня надежности различных схем электроснабжения является в современных условиях актуальной темой, что подтверждается основными разделами энергетической стратегии России на период до 2030 г. и концепции обеспечения надежности в электроэнергетике [7,11].

## Список литературы

1. ГОСТ 27.002–2015. Надежность в технике. Термины и определения. М.: Стандартинформ, 2016. 24 с.
2. Анищенко В.А. Надежность систем электроснабжения: учеб. пособие. Мн.: УП «Технопринт», 2002. 160 с.

3. Васильев И.Е. Надежность электроснабжения: учебное пособие для вузов. М. Издательский дом МЭИ, 2014. 174 с.
4. Куликов А. Л., Осокин В. Л., Папков Б. В., Шилова Т. В. Расширение понятия «надежность» в современной электроэнергетике // *Вестник НГИЭИ.* 2018. № 3 (82). С. 88-98.
5. Манов Н.А., Хохлов М.В., Чукреев Ю.Я. Методы и модели исследования надежности электроэнергетических систем / под ред. Н.А. Манова: монография. Сыктывкар.: изд-во Коми научного центра УрО РАН, 2010. 292 с.
6. Чукреев Ю.Я. Модели обеспечения надежности электроэнергетических систем. Сыктывкар, 1995. 173 с.
7. Энергетическая стратегия России на период до 2030 года, утв. распоряжением Правительства Российской Федерации от 13.11.2009 г. №1715-р [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026/> (дата обращения 28.03.2019).
8. Папков Б. В., Куликов А. Л. Теория систем и системный анализ для электроэнергетиков. М. : Изд-во Юрайт, 2016. 470 с.
9. Воропай Н.И. Теория систем для электроэнергетиков: учебное пособие. Новосибирск: Издательская фирма РАН, 2000. 273 с.
10. Папков Б.В., Пашали Д.Ю. Надежность и эффективность электроснабжения: учебное пособие. Уфа: УГАТУ, 2005. 380 с.
11. Воропай Н.И. Концепция обеспечения надежности в электроэнергетике// Воропай Н. И., Ковалёв Г. Ф., Кучеров Ю. Н. и др. – М.: ООО ИД «ЭНЕРГИЯ», 2013. 212 с.

## References

1. GOST 27.002–2015. Reliability in technology. Terms and definitions. Moscow: Standartinform, 2016. p. 24
2. Anishchenko V.A. Reliability of power supply systems: textbook. manual. Mn.: UP "Technoprint", 2002. p.160
3. Vasiliev I.E. Reliability of power supply: a textbook for universities. M. Publishing House of the Moscow Institute of Economics, 2014. p.174 .
4. Kulikov A. L., Osokin V. L., Papkov B. V., Shilova T. V. Expansion of the concept of "reliability" in modern electric power industry. Vestnik NGIEI. 2018. No. 3 (82). pp. 88-98.
5. Manov N.A., Khokhlov M.V., Chukreev Yu.Ya. Methods and models of reliability research of electric power systems / edited by N.A. Manov: monograph. Syktyvkar.: publishing house of the Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 2010. p. 292 .
6. Chukreev Yu.Ya. Models for ensuring the reliability of electric power systems. Syktyvkar, 1995. p.173 .
7. The Energy Strategy of Russia for the period up to 2030, approved by the decree of the Government of the Russian Federation dated 11/13/2009 No. 1715-r [Electronic resource]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/1026/> / (accessed 03/28/2019).
8. Papkov B. V., Kulikov A. L. Theory of systems and system analysis for electroenergetics. Moscow : Yurayt Publishing House, 2016. p. 470.

9. Voropai N.I. Theory of systems for electric power engineers: a textbook. Novosibirsk: Publishing Company of the Russian Academy of Sciences, 2000. p.273.
  10. Papkov B.V., Pashali D.Yu. Reliability and efficiency of power supply: a textbook. Ufa: UGATU, 2005. p.380.
  11. Voropai N.I. The concept of ensuring reliability in the electric power industry// Voropai N. I., Kovalev G. F., Kucherov Yu. N. et al. – М.: ООО ID ENERGIA, 2013. p. 212.
-