

Скрипилев А. А., Скрипилев А. А., Ткаченко А. В.
A. A. Skripilev, A. A. Skripilev, A. V. Tkachenko

ПАРАМЕТРЫ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

PARAMETERS OF RELIABILITY OF ELECTRICAL POWER SUPPLY SYSTEMS

Скрипилев Александр Александрович – доцент кафедры «Электромеханика» Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27. E-mail: kem@knastu.ru.

Mr. Aleksandr A. Skripilev – Associate Professor, Electrical Engineering Department, Komsomolsk-on-Amur State Technical University (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681013, Komsomolsk-on-Amur, 27, Lenin str. E-mail: kem@knastu.ru.

Скрипилев Александр Александрович – старший диспетчер Центральной диспетчерской службы «филиал Дальневосточный» ОАО «Оборонэнерго» (Россия, Хабаровск); 680014, г. Хабаровск, Восточное шоссе, 30А. E-mail: info@dv.oln.sv.

Mr. Aleksandr A. Skripilev – Chief controller, Central Control Unit, Far East Branch, JSC «Oboronenerg» (Russia, Khabarovsk); 680014, Khabarovsk, 30A, Vostochnoye road. E-mail: info@dv.oln.sv.

Ткаченко Андрей Владимирович – главный инженер муниципального унитарного производственного предприятия электрических сетей г. Комсомольска-на-Амуре (Россия, Комсомольск-на-Амуре); 681005, г. Комсомольск-на-Амуре, ул. Просвещения, 1. E-mail: mupes@td-net.ru.

Mr. Andrey V. Tkachenko – Chief Engineering Officer, municipal unitary production enterprise of Komsomolsk-on-Amur electrical power systems (Russia, Komsomolsk-on-Amur); 681005, Komsomolsk-on-Amur, 1, Prosveshchenia Str. E-mail: mupes@td-net.ru.

Аннотация. В статье приводятся теоретические основы надежности систем электроснабжения, качественные и количественные показатели надежности, понятия и определения, характерные для объектов электроснабжения. Дается оценка влияния перерывов электроснабжения на ущерб, наносимый потребителям электроэнергии. Показано, что эффективность электроэнергетики страны зависит от надежности систем электроснабжения. Определены причины ненадежности основного и вспомогательного оборудования централизованных и автономных источников электроэнергии, к которым относятся старение и износ элементов, трудности технологического характера. Показаны пути совершенствования и повышения надежности электроснабжения потребителей в современных условиях. Определены принципы и средства обеспечения надежности, представлены унифицированные методы анализа и оценки показателей надежности на протяжении жизненного цикла систем электроснабжения на основе показателей безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости отдельных элементов с учетом их структурирования.

Summary. This article describes the theoretical basis of reliability of power supply system. It also provides qualitative and quantitative indicators of reliability, concepts and definitions, specific to the objects. The authors evaluate the impact of the interruption of electricity supply on damage to consumers of electricity. It is shown that the effectiveness of the country's electricity depends on the reliability of power supply systems. The authors determine causes of unreliability of main and auxiliary equipment of centralized and autonomous power sources, which include aging and wear-prone components, difficulties of technological nature. The research shows ways to improve and enhance the reliability of electricity in modern conditions. The authors identify the principles and means to ensure the reliability, represent universal methods of analysis and measurement of reliability during the life cycle of electrical systems based on reliability indicators, durability, reparability and persistence of units, taking into account their structuring.

Ключевые слова: система электроснабжения, надежность, резервирование, безотказность, долговечность, ремонтпригодность, сохраняемость, численные показатели надежности.

Key words: power supply system, reliability, redundancy, durability, maintainability, persistence, numerical indicators of reliability.

УДК 621.316.1

Проблема надежности любой технической системы, в том числе электрических станций, подстанций, линий электропередач, силовой, защитно-коммутационной управляющей, контрольно-диагностической информационной аппаратуры, представляет в настоящее время одну из главных проблем современной энергетики. Обеспечение необходимого уровня надежности систем электроснабжения имеет большое народнохозяйственное значение, т.к. перерывы в подаче электроэнергии могут привести к значительному материальному ущербу для потребителей, обусловленному недостатком электроэнергии в результате аварий, исчисляемому несколькими миллиардами киловатт-часов в год. И только постоянное совершенствование методов проектирования, технологии производства, монтажа, эксплуатации и прогнозирование развития энергетических систем позволяет в некоторой степени повысить их надежность.

Проблема надежности применительно к системам электроснабжения понимается как бесперебойное и качественное электрическое питание потребителей, поэтому к системам электроснабжения предъявляются следующие основные требования:

- системы электроснабжения должны быть по возможности наиболее простыми, удобными в эксплуатации, пригодными для ремонта и оперативного обслуживания;
- схемы подстанций и сетей должны обеспечивать вывод электрооборудования с минимальными перерывами в электроснабжении;
- система электроснабжения должна обеспечивать потребителей электроэнергией после соответствующих переключений с учетом использования резервирования.

Надежность электроснабжения напрямую определяет возможность нормального функционирования потребителей. Перебои в электрообеспечении могут привести к значительному экономическому ущербу. С этой точки зрения надежность является экономической категорией, связанной с анализом материальных потерь потребителей. В связи с этим проблему повышения надежности следует рассматривать как комплексную технико-экономическую проблему, сопоставляя при этом затраты на проведение дополнительных мер с уменьшением ущерба от перерывов электроснабжения.

Основным способом повышения надежности на сегодняшний день является введение избыточности, которая на практике проявляется в следующих формах:

- 1) резервирование элементов, устройств и систем, т.е. повышение надежности путем введения структурной, функциональной, временной, информационной избыточности;
- 2) совершенствование схемно-конструктивных решений и качества используемых электротехнических решений;
- 3) совершенствование системы планово-предупредительных ремонтов и технического обслуживания электрооборудования;
- 4) разработка и внедрение автоматизированных систем контроля и управления процессами в электроэнергетических системах.

Избыточность в системах электроснабжения обеспечивается с помощью широкого спектра технических средств:

- релейной защиты от коротких замыканий;
- автоматического повторного включения;
- автоматического включения резерва;
- автоматического регулирования возбуждения;
- автоматической частотной разгрузки;
- увеличения пропускной способности межсистемных связей;
- использования резервных дизельных электростанций и т.д.

Второй не менее важной задачей, которую осуществляют электроэнергетические системы, является снабжение потребителей электроэнергией заданного качества. К понятию качества электроэнергии относятся как отказы в электроснабжении, так и нарушения и искажения формы питающего напряжения, поступающие из энергосистемы (грозовые разряды, различные коммута-

ционные напряжения, провалы напряжения). Искажения в электрическую систему нередко вносят и сами электроприемники с нагрузкой резкопеременного характера (преобразователи, мощные дуговые печи, электрический транспорт).

Требования по надежности электротехнических изделий в целом изложены в ГОСТ 20.39.312-85 «Комплексная система общих технических требований. Изделия электротехнические. Требования по надежности», а требования к системам электроснабжения потребителей – в нормативном документе «Правила устройства электроустановок». В соответствии с последними все электроприемники разделяются на три категории.

I категория – электроприемники, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой:

- опасность для жизни людей;
- значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего основного оборудования;
- массовый брак продукции;
- нарушение сложного технологического процесса или функционирования особо важных элементов коммунального хозяйства.

Особо выделяется группа электроприемников I категории, бесперебойная работа которых необходима для безаварийной остановки производства с целью предотвращения угрозы жизни людей, взрывов, пожаров и повреждения дорогостоящего основного оборудования. К данной группе электроприемников относятся, например, электродвигатели насосов водоохлаждения доменных печей и электродвигатели механизмов поворота конвертеров в черной металлургии. Электроприемники I категории должны обеспечиваться электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Перерыв при нарушении электроснабжения от одного из источников питания может быть допущен лишь на время автоматического восстановления питания. Для электроснабжения особой группы электроприемников I категории должно предусматриваться дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания. Это местные электростанции, электростанции энергосистем (шины генераторного напряжения), специальные агрегаты бесперебойного питания, аккумуляторные батареи и т.п.

II категория – электроприемники, перерыв электроснабжения которых приводит:

- к массовому недоотпуску продукции;
- массовым простоям рабочих, механизмов и промышленного транспорта;
- нарушению нормальной деятельности значительного количества городских и сельских жителей.

Электроприемники II категории рекомендуется обеспечивать электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания. Для электроприемников II категории при нарушении электроснабжения от одного из источников питания допустимы перерывы электроснабжения на время, необходимое для включения резервного питания действиями дежурного персонала или выездной оперативной бригады. Допускается питание электроприемников II категории по одной воздушной линии, в том числе с кабельной вставкой, если обеспечена возможность проведения аварийного ремонта этой линии за время не более суток. Кабельные вставки этой линии должны выполняться двумя кабелями, каждый из которых выбирается по наибольшему длительному току воздушной линии. Допускается питание электроприемников II категории по одной кабельной линии, состоящей не менее чем из двух кабелей, присоединенных к одному общему аппарату. При наличии централизованного резерва трансформаторов и возможности замены поврежденного трансформатора за время не более суток допускается питание электроприемников II категории от одного трансформатора.

III категория – все остальные электроприемники, не подходящие под определение I и II категорий.

Для электроприемников III категории электроснабжение может выполняться от одного источника питания при условии, что перерывы электроснабжения, необходимые для ремонта или замены поврежденного элемента системы электроснабжения, не превышают одних суток.

Качество электрической энергии нормируется по ГОСТ 13109-97 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

Сводная информация о категориях надежности приведена в табл. 1.

Таблица 1

Категории надежности электроснабжения

Категория	Количество источников	Примечание
Особая группа первой категории	3	В качестве третьего (второго) независимого источника можно использовать дизель-электрические станции или источники бесперебойного питания
Первая категория	2	
Вторая категория	2 (1)	Рекомендуется питание от двух источников
Третья категория	1	Количество источников питания не нормируется

Вопросы обеспечения надежности возникают при эксплуатации любого технического устройства, поэтому для использования унифицированных методов анализа и воспроизводимости оценки показателей надежности принята единая терминология, которая приведена в национальном стандарте РФ ГОСТ Р 53480-2009 «Надежность в технике. Термины и определения». При этом основными терминами, характерными для объектов электроснабжения, наряду с общими терминами, определениями и основными понятиями, можно считать следующие:

- понятия, относящиеся к состоянию и временам;
- понятия, относящиеся к отказам и неисправностям;
- величины и показатели безотказности, долговечности и сохраняемости;
- понятия, величины и показатели, относящиеся к техническому обслуживанию и его поддержке;
- показатели готовности;
- понятия, относящиеся к разработке и анализу.

Вышеуказанный стандарт позволяет рассматривать надежность как свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, которые характеризуют способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения, транспортирования и после ремонтов.

Традиционно считается, что надежность является сложным свойством, которое в зависимости от назначения изделия и условий его применения состоит из сочетаний следующих свойств: безотказности, долговечности, ремонтпригодности, сохраняемости. Кроме того, для объектов, являющихся потенциально опасными, к которым следует отнести и электроэнергетические объекты, важными понятиями являются «безопасность», «живучесть» и «устойчивость», которые требуют их учета при проектировании и эксплуатации.

Безотказность характеризует свойство объекта непрерывно сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при регламентированной системе технического обслуживания и производимых ремонтов.

Ремонтпригодность – это приспособленность объекта к предупреждению и обнаружению причин возникновения отказов, повреждений и устранению их последствий путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

Сохраняемость – свойство объекта, характеризующее его способность выполнять в заданных пределах требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования.

С позиции теории надежности изделие может находиться в исправном состоянии, неисправном, работоспособном и неработоспособном, причём термин «исправное состояние» шире, чем понятие «работоспособное состояние». Работоспособный объект (в отличие от неисправного) удовлетворяет лишь требованиям нормативно-технической документации. Эти требования обеспечивают его нормальное функционирование. Работоспособное изделие может быть неисправным, однако его повреждения не настолько существенны, чтобы могли препятствовать его функционированию.

Объект переходит из работоспособного в неработоспособное состояние вследствие события, которое называется отказом. В теории надежности понятие отказа занимает одно из главных мест, т.к. теория надежности – это наука, изучающая закономерности появления отказов в различных технических системах. Время возникновения отказа зависит от большого числа случайных факторов, зачастую между собой никак не связанных. В связи с этим рассчитывать время возникновения отказа достаточно трудно, а еще труднее его измерить.

Отказы классифицируются:

- по характеру проявления (внезапные и постепенные);
- связи с параллельно появляющимися отказами (зависимые и независимые);
- физической картине процесса (катастрофические и параметрические);
- степени влияния на работоспособность объекта (полные и частичные).

Кроме того, отказы подразделяются на конструкционные, производственные и эксплуатационные. Следует заметить, что границы между категориями отказов достаточно условны. Одни и те же отказы могут трактоваться по-разному в зависимости от того, рассматривается изделие отдельно или является составной частью другого изделия.

Отличительной особенностью понятия «сбой» от понятия «отказ» является то, что восстановление работоспособного состояния может быть обеспечено без производства ремонта.

Для ряда элементов, составляющих энергетическую систему, физическое изнашивание связано и с календарной продолжительностью эксплуатации, и с объемом работы изделия. В связи с этим наработку изделия, работающего непрерывно, следует измерять в единицах календарного времени, в то время как для изделий, работающих в повторно-кратковременном и кратковременном режимах, наработку можно выражать через объем произведённой работы или число рабочих циклов. Строго говоря, принципиальная разница между наработкой и временем отсутствует, поэтому наработка, ресурс и остаточный ресурс относятся к категории временных понятий.

Применительно к конкретному изделию в качестве временных показателей применяются термины «наработка до отказа», «наработка между отказами», «время восстановления», «ресурс», «срок службы», «срок сохраняемости», «остаточный ресурс», причём опыт эксплуатации электротехнических изделий показывает, что вышеуказанные показатели характеризуются значительным статистическим разбросом.

Показатели надежности имеют количественные характеристики, которые определяются в соответствии со статистической теорией надежности, причём эти параметры могут оцениваться как единичными, так и комплексными показателями, которые в отличие от единичных количественно характеризует не менее двух свойств, составляющих надежность. В качестве таких показателей обычно рассматриваются:

- коэффициент готовности, характеризующий вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени, кроме времени, в течение которого его применение по назначению не предусмотрено;
- коэффициент оперативной готовности, характеризующий надежность изделия;
- коэффициент вынужденного простоя, определяющий вероятность того, что в произвольный момент времени объект окажется в неработоспособном состоянии;
- коэффициент технического использования.

Коэффициент готовности k_{Γ} позволяет учесть время, затраченное на восстановление объекта, и определяется следующим соотношением:

$$k_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{i=1}^n t_{bi}} = \frac{T_p}{T_p + T_B},$$

где t_{pi} – i -й интервал времени исправной работы элемента (наработка на отказ); t_{bi} – интервал времени восстановления элемента после i -го отказа; n – число отказов.

Таким образом, коэффициент готовности показывает относительное время нахождения электрооборудования в состоянии готовности к применению в процессе эксплуатации, характеризуя два свойства электрооборудования: его безотказность и ремонтпригодность, но не учитывает простой электрооборудования при проведении плановых мероприятий по эксплуатации электроустановок.

Коэффициент оперативной готовности k_{OG} представляет собой вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент времени и, начиная с этого момента времени, будет безотказно работать в течение заданного интервала. Заметим, что вероятность нахождения объекта в работоспособном состоянии в любой момент времени характеризуется коэффициентом готовности, а работоспособность объекта в течение заданного интервала времени $(t + \Delta t)$ определяется вероятностью безотказной работы, следовательно

$$k_{OG} = k_{\Gamma} \cdot \left(1 - \frac{n(t)}{N}\right), \quad (1)$$

где $n(t)$ – число объектов, отказавших на интервале времени Δt ; N – число объектов, работоспособных в начальный момент времени t .

Кроме стационарного коэффициента оперативной готовности, определяемого по выражению (1), различают нестационарный коэффициент оперативной готовности – вероятность того, что объект, находясь в режиме ожидания, окажется работоспособным в заданный момент времени t , отсчитываемый от начала работы, и будет работать безотказно в течение заданного интервала времени Δt , и средний коэффициент оперативной готовности, т.е. усредненное на заданном интервале времени Δt значение нестационарного коэффициента оперативной готовности.

Коэффициент вынужденного простоя k_{Π} представляет собой отношение времени вынужденного простоя к сумме времен работоспособного состояния и вынужденных простоев за один и тот же календарный отрезок времени

$$k_{\Pi} = 1 - k_{\Gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{pi}}{\sum_{i=1}^n t_{pi} + \sum_{i=1}^n t_{bi}} = \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{р}} + T_{\text{в}}}.$$

Коэффициент готовности и вынужденного простоя связаны между собой относительным коэффициентом простоя $k_{\Pi O}$:

$$k_{\Pi O} = \frac{k_{\Pi}}{k_{\Gamma}} = \frac{T_{\text{в}}}{T_{\text{р}}}.$$

Коэффициент технического использования $k_{ТИ}$ представляет собой отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, связанных с техническими обслуживаниями и ремонтами объекта за тот же период времени. На основании статистических данных коэффициент технического использования определяется следующим соотношением:

$$k_{ТИ} = \frac{T_{\Sigma}}{T_{\Sigma} + T_{\text{р}\Sigma} + T_{\text{ТО}\Sigma}},$$

где T_{Σ} – суммарная наработка объекта (например, за год); $T_{p\Sigma}$ – суммарное время простоев из-за плановых и неплановых ремонтов; $T_{ТО\Sigma}$ – суммарное время простоев оборудования из-за проведения планово-предупредительных технических обслуживаний.

Коэффициент технического использования по сравнению с коэффициентом готовности является более универсальным и общим показателем, т.к. учитывает все виды простоев объекта.

К потребительским качествам систем электроснабжения относится способность системы к обеспечению надежного питания электропотребителей, поэтому оценка дефицита мощности и недоотпуск электроэнергии и связанная с этим показателем оценка ущерба от ненадежности электроснабжения приобретают особую важность и актуальность.

В технической литературе по надежности систем электроснабжения [1; 2] рекомендуется рассматривать две составляющие ущерба, одна из которых определяется числом перерывов при заданной мощности нагрузки (до перерыва) и стоимостью ущерба от внезапного перерыва, а вторая зависит от величины удельного ущерба и математического ожидания недоотпущенной энергии.

Для годовых графиков нагрузки предприятий с трёхсменным режимом работы и коэффициентом заполнения графика, близким к единице, недоотпуск электроэнергии (дефицит мощности) $P_g(t)$ может быть определён при известном среднем ожидаемом числе перерывов электроснабжения и соответствующих величинах отключаемых нагрузок. Для предприятий с резко изменяющимся графиком потребления электроэнергии технико-экономические расчёты ведутся по количеству недоотпущенной энергии. Если отказ в работе объекта произошёл в момент t_0 , а восстановление работоспособного состояния длилось t_b , то возникает дефицит мощности $P_g(t)$:

$$P_g(t) = P(t) - P_p,$$

где $P(t)$ – текущее значение мощности; P_p – резервное значение мощности.

Так как время возникновения отказа и время восстановления работоспособного состояния объекта – случайные величины, то значение дефицита мощности $P_g(t)$ и соответствующее значение недоотпуск электроэнергии $\Delta W_a(t)$ также являются случайными величинами:

$$\Delta W_a(t) = \int_{t_0}^{t_0+t_b} P_g(t) dt.$$

Если за рассматриваемый период недоотпуск электроэнергии составляет Δt , то интегральное значение недоотпущенной электроэнергии составит

$$\Delta W_a(t) = [P(t) - P_p] \cdot \Delta t.$$

Эффективность работы электроснабжающих организаций по обеспечению надежного электроснабжения оценивается показателем относительного удовлетворения потребителя электроэнергией:

$$\Pi = \frac{W_a(t) - \Delta W_a(t)}{W_a(t)},$$

где $W_a(t)$ – суммарное заявленное потребителем количество электроэнергии за рассматриваемый период.

Ущерб, наносимый потребителю в результате недоотпуска электроэнергии по причине отказа системы электроснабжения, можно определить по формуле

$$Y = y_0 [P(t) - P_p] \cdot \Delta t = y_0 \cdot \Delta W_a(t),$$

где y_0 – удельный ущерб от недоотпуска электроэнергии потребителям 1 кВт·ч электроэнергии, р./кВт·ч, величина которого рекомендована научно-техническим советом Минэнерго при экономическом обосновании решений, связанных с повышением надежности распределительных электрических сетей, в том числе при расчётах экономического эффекта от внедрения мероприятий по повышению надежности проектируемых и действующих электрических сетей.

Следует заметить, что перерывы в подаче электрической энергии (помимо ущерба от нарушения технологического процесса потребителей) связаны с недоиспользованием оборудования системы электроснабжения и необходимостью проведения аварийно-восстановительных работ:

$$Y_p = \tau_\Sigma \cdot N_{p.п} \cdot S_\text{ч} \cdot \mu \left(1 + \frac{\mu_c}{100}\right) \cdot k_{p.м},$$

где τ_Σ – суммарная продолжительность отключений во всех элементах сети за год, определяемая по среднестатистическим показателям годовой продолжительности отключений элементов сети [3]; $N_{p.п}$ – число ремонтного персонала, задействованного на устранение аварии; $S_\text{ч}$ – часовая тарифная ставка ремонтного персонала, р./ч; μ – коэффициент дополнительных начислений на зарплату; μ_c – процент отчислений в фонд социального страхования; $k_{p.м}$ – коэффициент затрат на материалы, транспортные и накладные расходы.

Определение показателей надежности систем электроснабжения позволяет принимать рациональные решения в процессе их эксплуатации. Для решения задач по оценке надежности и прогнозированию работоспособности объекта необходимо составить математическую модель, для получения которой необходимо провести испытания, вычислить статистические оценки и аппроксимировать их аналитическими функциями. Основной особенностью оценки показателей надежности по статистическим данным является ограниченность материала для точного определения характеристик, поэтому все методы оценки надежности систем электроснабжения, основанные на аналитических расчётах и натурных испытаниях, имеют два основных недостатка: большую трудоёмкость и невысокую точность. Испытания на надежность в общем позволяют исключить перечисленные недостатки, если их проводить достаточно длительно и на очень большом количестве изделий, но такие испытания по своей сути представляют собой физическое моделирование [4; 5].

Наиболее распространёнными в теории надежности являются статистическое и численно-аналитическое моделирование надежности систем электроснабжения. В первом случае используется метод Монте-Карло, который заменяет физический эксперимент математическим исследованием, сохраняя сущность и характер эксперимента с использованием статистических методов для обработки результатов, по которым оцениваются показатели надежности. Метод статистических испытаний получил широкое распространение благодаря своей универсальности, простой вычислительной схеме и весьма простой оценке полученных результатов.

Численно-аналитические методы основаны на использовании теории вероятностей и математического моделирования, они позволяют найти зависимости между вероятностями безотказной работы элементов системы в зависимости от режимов ее работы.

Независимо от метода определения показателей надежности основу расчёта составляют экспериментальные данные, получаемые либо при эксплуатации электроэнергетических систем, либо при испытаниях. Испытания на надежность – это заключительная часть процесса исследований, связанная с определением показателей надежности. Методики проведения испытаний на надежность определяются различными нормативно-техническими документами различных уровней – от государственных стандартов до технических условий. В качестве контролируемых вы-

ходных параметров надежности обычно выбираются средняя наработка на отказ, интенсивность отказов отдельных элементов, число отказов однотипных элементов, которые являются основой для установления закона распределения вероятности безотказной работы, интенсивности отказов, среднего времени безотказной работы и плотности распределения вероятности отказов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фокин, Ю. А. Вероятностные методы в расчётах надежности электрических систем / Ю. А. Фокин. – М.: МЭИ, 1983. – 216 с.
2. Голоколос, Д. А. Анализ влияния конструкционных факторов на надежность герметичных электромеханических преобразователей / Д. А. Голоколос [и др.] // Ученые записки Комсомольского-на-Амуре государственного технического университета. – 2013. – № IV-1 (16). – С. 29-34.
3. Водяников, В. Т. Экономическая оценка проектных решений в энергетике АПК: учеб. пособие / В. Т. Водяников. – М.: Колосс, 2008. – 263 с.
4. Хорольский, В. Я. Надежность электроснабжения: учеб. пособие / В. Я. Хорольский, М. А. Таранов. – М.: ФОРУМ: ИНФРА, 2014. – 128 с.
5. Гук, Ю. Б. Теория надежности в электроэнергетике: учеб. пособие / Ю. Б. Гук. – Л.: Энергоатомиздат, 1990. – 208 с.