

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПО ОБЕСПЕЧЕНИЮ НАДЁЖНОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПУНКТА ВРЕМЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ПОСТРАДАВШЕГО В ЧС НАСЕЛЕНИЯ**

*Приведены основные показатели надёжности системы электроснабжения пункта временного размещения населения, пострадавшего в чрезвычайных ситуациях, при размещении в полевых условиях.*

*Ключевые слова: пострадавшее население, система электроснабжения, показатели, методы оценки и способы повышения надёжности.*

**V.A. Sednev, S.V. Cherednichenko**

## **SUGGESTIONS FOR ENSURING THE RELIABILITY OF POWER SUPPLY OF THE TEMPORARY ACCOMMODATION CENTER FOR THE POPULATION SUFFERED IN EMERGENCIES**

*The main indicators of reliability of system of power supply of the temporary accommodation of the population suffered in emergencies, when placed in the field are presented.*

*Key words: the suffered population, power supply system, indicators, evaluation methods and ways to improve the reliability.*

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 1 февраля 2016 г.

Для решения задач жизнеобеспечения населения, пострадавшего в *чрезвычайных ситуациях (ЧС)*, создаются пункты временного размещения, где установлено большое количество различных потребителей *электрической энергии (ЭЭ)*, требующих обеспечения нормального функционирования.

Электроснабжение *пункта временного размещения пострадавшего населения (ПВР ПН)* является одним из элементов его инженерного оборудования, а *система электроснабжения (СЭС)* ПВР ПН, представляющая совокупность различных технических устройств для выполнения заданных функций, должна обеспечивать [1, 2] безопасность, надёжность и удобство при эксплуатации, необходимое качество и бесперебойность электроснабжения. её элементами являются отдельные виды оборудования, узлы или составные части, характеристики которых влияют на надёжность СЭС в целом.

Каждый элемент системы электроснабжения (электроагрегат, трансформатор, линия электропередачи и т. п.) может рассматриваться, как система, состоящая из отдельных деталей и узлов. При проектировании СЭС расчёт показателей надёжности производят [3, 4], исходя из количественных характеристик надёжности её элементов, полученных на основании обработки данных эксплуатации или при испытаниях новых образцов.

Надёжность системы электроснабжения есть свойство выполнять своё назначение, обеспечивая электроприёмники ЭЭ в достаточном количестве и требуемого качества в течение времени выполнения объектом задач. Это свойство характеризует технические возможности системы электроснабжения.

Теория надёжности изучает показатели, методы оценки и способы повышения надёжности систем, возможности выявления характеристик надёжности экспериментальным путём, методы эксплуатации систем, обеспечивающие повышение их надёжности, и исследует, в основном, случайные явления и процессы, вызывающие нарушение нормального режима работы системы, поэтому её математическим аппаратом являются теория вероятностей и математическая статистика [3-5].

Особенности СЭС ПВР ПН: неоднородность структуры, содержащей постоянные и периодически действующие элементы, например, устройства защиты и автоматики, и процессов с элементами, в процессе эксплуатации проходящих техническое обслуживание (ТО) без прекращения работы системы; многофункциональность СЭС, питающей большое количество разных электроприёмников.

Элементы СЭС и система в целом могут находиться в работоспособном и неработоспособном состоянии. При работоспособном состоянии СЭС значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют [4] требованиям нормативно-технической (конструкторской) документации. Работоспособное состояние подразделяется на рабочее, когда элементы СЭС функционируют, и нерабочее, когда находятся в готовности к действию, но в данный момент не функционируют (резервные элементы).

Неработоспособное состояние подразделяется на неисправное и отключенное для технического обслуживания.

Неисправное состояние – такое, при котором элемент или система не соответствуют хотя бы одному из предъявляемых нормативно-технической (конструкторской) документацией требований. Переход в неисправное состояние происходит в результате отказа – события, заключающегося в нарушении работоспособного состояния элемента или системы.

Отказом элемента СЭС называют такое событие, когда в результате механических или электрических повреждений элемент перестает передавать или вырабатывать ЭЭ или качество её снижается по сравнению с допустимыми параметрами; отказ СЭС [3] – это отказ или совокупность отказов элементов, когда в расчётной точке прекращается питание электроприёмников или качество ЭЭ недопустимо ухудшается на срок, нарушающий нормальное выполнение поставленных задач.

Безотказность есть свойство элемента или системы электроснабжения сохранять работоспособность в течение некоторой наработки без вынужденных перерывов. Успешное выполнение СЭС своих задач можно характеризовать наработкой до первого отказа или отказами.

Цель отключения СЭС для технического обслуживания – обеспечить безотказность за счёт предупреждения отказов, вызванных старением и износом её элементов. Время технического обслуживания – промежуток времени между отключением элементов для его проведения и моментом восстановления их работоспособности. В техническое обслуживание входит определенный перечень работ, выполняемых обслуживающим персоналом. Отключение для технического обслуживания производится в планируемые моменты времени, когда для этого подготовлены материалы, силы и средства. При этом СЭС являются восстанавливаемыми, то есть обслуживающий персонал восстанавливает отказавшие элементы, не дожидаясь отказа в целом (восстановление [5, 6] – это процесс ремонта или замены отказавшего элемента новым или отремонтированным).

Временем восстановления является не только продолжительность ремонта – это время на определение характера отказа, доставку материалов и оборудования, различные мероприятия и непосредственно на ремонт СЭС или отказавшего элемента. Время восстановления, как и наработка, является величиной случайной, и зависит от характера отказов, квалификации обслуживающего персонала, организации ремонтных работ и пр.

Свойство СЭС, заключающееся в приспособленности к предупреждению, обнаружению и устранению отказов и неисправностей путем проведения ТО и ремонтов, называется ремонтпригодностью [3, 5], оказывающей существенное влияние на показатели надёжности СЭС.

Для повышения её надёжности может предусматриваться резервирование (использование дополнительных элементов вместо отказавших или отключаемых для технического обслуживания), характеризующееся кратностью (отношением числа резервных элементов к числу основных), способом включения (постоянно включенный или резервирование замещением) и режимом работы резервных элементов (нагруженный или горячий, ненагруженный или холодный резерв), методом резервирования: при общем резерве резервируется система или её часть, состоящая из нескольких элементов; при раздельном резерве возможна поэлементная замена отказавших элементов независимо от остальных; при скользящем резерве один и тот же резервный элемент может заменять любой из нескольких основных.

Надёжность СЭС обуславливается правильным выбором параметров её элементов и монтажом, правильной эксплуатацией, применением безотказных и ремонтпригодных элементов, резервированием элементов, требующих ТО.

Таким образом, показатели надёжности СЭС обуславливаются характеристиками элементов, схемами их соединения и режимами работы. Наиболее часто надёжность системы и её элементов оценивают вероятностью безотказной работы [1] – вероятностью того, что в течение заданного промежутка времени  $t$  при нормальных условиях эксплуатации не возникнет отказа,

то есть наработка до отказа  $T$  будет больше заданного времени  $t$ . При наличии данных об отказах однотипных элементов их вероятность безотказной работы:

$$P(t) = \frac{N_0 - n(t)}{N_0} = \frac{N(t)}{N_0}, \quad (1)$$

где  $N_0$  – число элементов в начале испытания;

$n(t)$  – число отказавших элементов в течение времени  $t$ ;

$N(t)$  – число работающих элементов к моменту времени  $t$ .

Вероятность безотказной работы является основным количественным показателем надёжности СЭС в случае, если отказ её исключает возможность выполнения ПВР своих задач, например, электроэнергетического обеспечения пострадавшего населения, и ею оценивается надёжность СЭС при отсутствии связи с государственной энергосистемой и обеспечении потребителей ЭЭ от автономных источников электрической энергии. В то же время вероятность безотказной работы неудобна для оценки надёжности простых элементов, – их характеризуют частотой или средней частотой отказов [5]: первая характеристика удобна для оценки элементов разового применения и электронных устройств, но для оценки СЭС затруднительна; вторая представляет собой среднее количество отказов элементов в единицу времени по отношению к числу работающих элементов при условии, что отказавшие элементы восстанавливаются, – такую величину можно подсчитать по статистическим данным, полученным при эксплуатации СЭС.

В практике используют [1] интенсивность отказов  $\lambda$ , являющуюся основной характеристикой безотказности СЭС, – вероятность отказа системы или элемента в единицу времени после заданного момента времени  $t$  при условии, что до этого момента отказ не произошёл.

Интенсивность отказов элементов СЭС с течением времени изменяется: в период приработки возрастает; в период нормальной эксплуатации практически неизменна; в период износа и старения возрастает.

Период приработки устраняют [3] путём обкатки электроагрегатов и пробной эксплуатации электрооборудования в период монтажа и наладки, а период износа и старения исключается системой планово-предупредительных осмотров и ремонтов. Поэтому  $\lambda = \text{const.}$ , а

$$P(t) = 1 - \lambda t. \quad (2)$$

Интенсивность отказов для элементов системы электроснабжения можно определять по статистическим данным об отказах в период нормальной эксплуатации, полагая её равной средней частоте отказов [3]:

$$\lambda = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t}, \quad (3)$$

где  $n(\Delta t)$  – число отказов однотипных элементов за время  $\Delta t$ ;

$N_0$  – общее число эксплуатирующихся элементов данного типа.

Другие характеристики системы электроснабжения [1]:

• наработка на отказ – среднее значение времени (математическое ожидание) наработки элемента или системы между отказами:

$$M [T] = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}, \quad (4)$$

где  $T_i$  – наработка до  $i$ -го отказа;

$n$  – число отказов от начала эксплуатации;

• наработка до отказа – математическое ожидание наработки до первого отказа:

$$M_{\text{cp}} = \frac{\sum_{i=1}^{N_0} T_i}{N_0}, \quad (5)$$

где  $T_i$  – наработка до отказа;

$N_0$  – количество наблюдаемых систем (элементов).

Характеристикой элементов СЭС, позволяющей оценивать их ремонтнопригодность, является среднее время восстановления элементов [3] – среднее время вынужденного или регламентированного простоя, вызванного отысканием и устранением одного отказа,

$$T_{\text{в}} = \frac{\sum_{i=1}^n T_{\text{в}i}}{n}, \quad (6)$$

где  $T_{\text{в}i}$  – время восстановления работоспособности после каждого  $i$ -го отказа;  
 $n$  – количество отказов.

Зная интенсивность отказов и среднее время восстановления элемента, можно оценить относительное время его нормальной работы в период между техническими обслуживаниями, которое называют коэффициентом готовности,

$$K_{\text{г}} = 1 - K_{\text{в}}. \quad (7)$$

Коэффициент готовности, выражающий вероятность работоспособности СЭС в произвольно выбранный момент времени, – второй основной показатель надёжности, и основной при питании от государственной энергосистемы.

Элементы СЭС имеют [1, 3-8] и другие характеристики, оценивающие их ремонтнопригодность:

- частота технических обслуживаний (отношение числа отключений для технического обслуживания к сумме времени работоспособного состояния и времени восстановления за определенный период);

- среднее время технического обслуживания (среднестатистическое значение по опыту эксплуатации);

- коэффициенты технического обслуживания (относительное время на техническое обслуживание) и использования (относительное время нормальной работы).

Часть характеристик надёжности можно получить на основании статистических данных ( $\lambda$ ,  $T_B$  и др.), другую часть – расчётным путём ( $P(t)$ ,  $K_T$ ).

При проектировании надёжность СЭС удобно оценивать вероятностью безотказной работы, коэффициентами готовности и технического использования. Статистические данные для проектируемой СЭС получить нельзя, а для существующей затруднительно определить, – поэтому показатели её надёжности определяют расчётным путем, исходя из характеристик безотказности и ремонтпригодности элементов. При построении схем электроснабжения ПВР ПН можно руководствоваться определенными принципами:

если предусматривается длительная работа потребителей I и II категорий, то можно предусматривать два внешних независимых ввода. При отсутствии такой возможности необходим запуск резервной дизельной электрической станции, что нецелесообразно, так как расходуется моторесурс электроагрегатов и требуется их поддержание в "горячем" резерве. Если длительная работа не требуется, то достаточно одного внешнего ввода;

для внешней части СЭС рассредоточенного объекта целесообразно применение "глубокого ввода", при котором источники высшего напряжения максимально приближены к потребителям электроэнергии;

во внешней части системы электроснабжения могут использоваться воздушные и кабельные линии электропередачи, но целесообразно использование воздушных, так как сооружение их дешевле, быстрее обнаруживаются и ликвидируются повреждения, а во внутренней части должны использоваться кабельные линии электропередачи (живучесть их значительно выше воздушных линий электропередачи).

Таким образом, определение количественных показателей надёжности создаваемой системы электроснабжения ПВР ПН позволяет сравнивать её варианты по надёжности, задавать требования по надёжности, выявлять наименее надежные элементы и разрабатывать оптимальные схемы электроснабжения.

### Литература

1. **Седнев В.А.** Методика обоснования комплекса средств системы электроснабжения жизнеобеспечения войсковых формирований при полевом размещении // Электрификация металлургических предприятий Сибири. № 12. 2005. С. 285-291.
2. **Седнев В.А., Чередниченко С.В.** Основы организации электроснабжения пункта временного размещения пострадавшего в ЧС населения // Технологии техносферной безопасности: интернет-журнал. Вып. 3 (56). 2016. С 181-191. <http://ipb.mos.ru/ttb>.
3. **Федоров А.А.** Основы электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергия, 1972. 416 с.
4. **Михайлов В.В.** Надёжность электроснабжения промышленных предприятий. М.: Энергия. 1973. 175 с.
5. **Калабро С.Р.** Принципы и практические вопросы надёжности. М.: изд-во "Машиностроение", 1966. 376 с.
6. **Седнев В.А.** Методология оптимального управления и прогнозирования параметров электропотребления объектов // Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2009: труды третьей Международной конференции. М.: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. 2009. С. 250-268.
7. **Седнев В.А.** Теоретические основы построения и управления развитием структуры средств системы жизнеобеспечения объектов // Электрика. 2009. № 7. С. 43-47.
8. **Седнев В.А.** Теоретические основы построения и управления развитием структуры средств системы жизнеобеспечения объектов // Электрика. 2009. № 8. С. 38-46.