

9. Нехорошев С.Н., Подрезов Ю.В., Романов А.С., Тимошенко З.В. Анализ особенностей возникновения и развития наводнений в европейских странах и на территории Российской Федерации в 2020 году». Журнал «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций». – 2021, № 2. Стр.92-101.

Сведения об авторах

Нехорошев Сергей Николаевич, старший научный сотрудник, начальник научно-исследовательского центра федерального государственного бюджетного учреждения «Всероссийский научно – исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайным ситуациям МЧС России» (федеральный центр науки и высоких технологий) (ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ)); тел.: 8-903-171-62-33; e-mail: nsergn@rambler.ru;

Подрезов Юрий Викторович, доцент, главный научный сотрудник ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ); Москва, ул. Давыдовская, д.7, тел. (495) 449 90 25, заместитель заведующего кафедрой Московского физико-технического института (государственного университета). 8-903-573-44-84, E-mail: uvp4@mail.ru

Романов Александр Семенович, заместитель начальника 5 центра ФГБУ ВНИИ ГЧС (ФЦ); тел.:8-903-625-92-47; e-mail: romalsem@yandex.ru.

Тимошенко Зинаида Владимировна - научный сотрудник ВИНТИ РАН, 125190 ул. Усиевича, 20, тел. 8 (499) 155-44-26, e-mail: tranbez@viniti.ru

УДК 614.8, 621.3, 620.9

DOI: 10.36535/0869-4179-2021-05-13

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКИЙ ПОДХОД ОБОСНОВАНИЯ СОСТАВА ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ АВТОНОМНОГО ПОЛЕВОГО ЛАГЕРЯ

Доктор техн. наук **В.А. Седнев**

Академия государственной противопожарной службы МЧС России

А.В. Седнев

Московский государственный технический университет
им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)

Разработан комплексный научно-методический подход обоснования необходимого количества источников электрической энергии и других электротехнических средств для электроснабжения жизнеобеспечения людей в автономных полевых лагерях, учитывающий особенности организации электроснабжения, позволяющий: обосновать мощ-

ности, номенклатуру и количество источников электрической энергии; рациональные варианты системы электроснабжения; оценить работу системы электроснабжения, основываясь на вероятности безотказной работы источника электрической энергии, а также учесть дополнительные влияющие факторы, в частности, выход источников электрической энергии по эксплуатационным причинам, выход из строя обслуживающего персонала, организацию технического обеспечения системы электроснабжения, его планирования.

Предлагаемый подход позволяет также разрешить противоречие между необходимостью организации электроснабжения жизнеобеспечения людей в автономных полевых лагерях и отсутствием обоснованной структуры источников электрической энергии для этих целей.

Ключевые слова: пункт временного размещения, потребители, электроэнергетическое обеспечение, организация.

**SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACH TO SUBSTANTIATING
THE COMPOSITION OF ELECTRIC ENERGY SOURCES
FOR LIFE SUPPORT POWER SUPPLY AUTONOMOUS FIELD CAMP**

**Dr (Tech) V.A. Sednev
Academy of state fire service of EMERCOM of Russia**

**A.V. Sednev
Moscow state technical University them. N. E. Bauman (national research University)**

A comprehensive scientific and methodological approach has been developed to substantiate the necessary number of sources of electric energy and other electrical and technical means for the power supply of life support for people in autonomous field camps, taking into account the peculiarities of the organization of electric supply, allowing: to justify the capacity, nomenclature and number of sources of electric energy; rational options for the electric supply system; to evaluate the operation of the power supply system based on the reliability of the trouble-free operation of the electric power source, as well as to take into account additional influencing factors, in particular, the output of electric power sources for operational reasons, the failure of maintenance personnel, the organization of technical support of the power supply system, its planning.

The proposed approach also allows us to resolve the contradiction between the need to organize electricity supply for the life support of people in autonomous field camps and the lack of a reasonable structure of electric energy sources for these purposes.

Keywords: temporary accommodation facility, consumers, electric power supply, organization.

Особенности организации электроснабжения и характеристика потребителей электрической энергии автономного полевого лагеря (на примере пункта временного размещения пострадавшего населения)

Система электроснабжения автономного полевого лагеря представляет собой [1-6] оборудованный в инженерном отношении район (пункт временного размещения пострадавшего населения, пункт временной дислокации спасательного формирования (военный городок) и др.), который должен обеспечивать нормальную жизнедеятельность людей и

минимальный комфорт (обеспечение водой, теплом, электрической энергией) и имеет, как правило, три зоны: жилую, административную, парко-хозяйственную.

В жилой зоне возводятся сооружения для управления, медпунктов, пострадавшего населения, личного состава спасательных подразделений. Типы сооружений и их исполнение - существующие. Размещение людей может быть кратковременным (до месяца) и продолжительным (зависит от обстановки).

При кратковременном возводятся простейшие постройки, сборно-разборные и контейнерные мобильные здания, при продолжительном - деревянные наземные и сборно-разборные и контейнерные мобильные здания.

Подача электрической энергии на кратковременный период осуществляется к сооружениям управления, на продолжительное время - к другим сооружениям в порядке, установленном соответствующими органами управления, на длительное - ко всем сооружениям, потребляющим электроэнергию. Основные задачи: освещение расположения сооружений, помещений различного назначения, зоны размещения техники; электроснабжение бытовых потребителей; электроснабжение техники и технологического оборудования от штатных источников электрической энергии; подзаряд аккумуляторных батарей. В реальных условиях часть элементов может отсутствовать или выполняться по упрощенному варианту, например, может отсутствовать освещение по периметру.

Потребители электрической энергии: приборы отопления, приготовления пищи, вентиляторы, осветительная сеть и др. Основными потребителями будут являться средства, размещенные в сооружениях. Разновременное потребление электрической энергии потребителями вызывает необходимость устройства установок, обслуживающих группу однотипных потребителей. При этом электроснабжение выгоднее осуществлять централизованно, уменьшая численность обслуживающего персонала и улучшая качество обслуживания.

Электрическую энергию для освещения и прочего оборудования целесообразно получать от электростанций функциональных зон, на время перерыва подачи электрической энергии могут использоваться аккумуляторы.

Основные задачи тыла: обеспечение потребностей в материальных средствах, в том числе, топливом и водой для бытовых нужд, для таких объектов, как кухни, бани; организация питания, банно-прачечное обслуживание людей.

Система электроснабжения автономного полевого лагеря состоит из отдельных подсистем электроснабжения [1-4, 7-13], состав и оснащение которых определяются составом функциональных зон, объемом задач, электрически не связанных между собой, объединенных единством цели, времени, места, решаемых задач.

Система электроснабжения включает в себя источники электрической энергии, комплекты кабельной сети, потребителей электрической энергии и элементы инфраструктуры, обеспечивающие функционирование системы электроснабжения. При этом может создаваться система городков, в которых важную роль занимает санитарное оборудование, обеспечивающее нормальные или близкие к ним санитарно-гигиенические и бытовые условия для людей.

Место расположения сооружений для людей необходимо оборудовать, учитывая следующие требования:

группа сооружений, располагаемых на отдельном участке, составляет полевой жилой городок;

при выборе участка следует руководствоваться требованиями санитарно-технического, хозяйственного и административного значения, в отдельных случаях - тактическими требованиями.

Площадь участка должна быть достаточна для предполагаемого размещения людей, а расположение объектов должно обеспечивать удобство их эксплуатации. Характер обо-

рудования определяется продолжительностью времени стоянки, количеством времени для производства работ, временем года, наличием сил и средств.

Электроснабжение спасательных формирований включает обеспечение электрической энергией техники и жизнедеятельности, поэтому потребители делятся на группы, входящие в состав специальной техники, и используемые для обеспечения деятельности спасательных формирований.

Для электроснабжения жизнеобеспечения спасательных формирований основными источниками электрической энергии являются местные электрические сети; в отсутствие их должны использоваться автономные электростанции.

Вопросы электроснабжения в населенном пункте или в пункте постоянной дислокации решает квартирно-эксплуатационная служба. При этом эксплуатация системы электроснабжения организуется в соответствии с Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей, Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей и другими нормативными документами.

Количество и наименование должностей для эксплуатации системы электроснабжения устанавливается исходя из численности размещаемого пострадавшего населения или организационно-штатной структуры спасательного формирования, количества оборудования и нормативов численности обслуживающего персонала, эксплуатирующего систему электроснабжения.

Ответственность за эксплуатацию системы электроснабжения возлагается на руководителя спасательного формирования, ответственного за электрохозяйство, а также на обслуживающий персонал, за которым закреплены электроустановки, - в объеме, определенном их функциональными обязанностями.

Главная задача состоит в правильном выборе объектов электроснабжения, варианта их электропитания, рациональном построении системы электроснабжения и ее инфраструктуры.

Учет особенностей размещения пострадавшего населения и спасательных формирований, а также стоящих перед ними задач позволит определить объемы электропотребления и создать эффективную систему электроснабжения жизнеобеспечения.

Эксплуатация систем электроснабжения жилых городков обеспечивается системой технического обслуживания и ремонта (положения и нормы, определяющие организацию и порядок проведения работ по техническому обслуживанию и ремонту электрооборудования для обеспечения постоянной его готовности). Для системы электроснабжения жилого городка принята планово-предупредительная система, включающая планирование, подготовку и выполнение технического обслуживания и ремонта с заданными последовательностью и периодичностью.

Такая система строится по методу принудительного выполнения технического обслуживания и ремонта, которые выполняются обслуживающим персоналом, за которым закреплено оборудование. Для выполнения этих работ определяется перечень необходимых материалов, основываясь на определении частоты потребности или среднемесечном расходе, учитывая особенности выхода электроустановок (средств) из строя по эксплуатационным причинам (в дальнейшем перечень пополняется). Расчет потребности производится по фактическому расходу на основании годового плана технического обслуживания и ремонта.

Система электроснабжения жизнеобеспечения пострадавшего населения и спасательных формирований в пунктах временного размещения организуется случайным образом с использованием народнохозяйственных источников электрической энергии различного назначения.

Таким образом, имеется противоречие между необходимостью организации электроснабжения жизнеобеспечения пострадавшего населения и спасательных формирований в

пунктах временного размещения и отсутствием обоснованной структуры источников электрической энергии для этих целей и теоретических основ по созданию такой системы электроснабжения.

Поэтому разработана методика, позволяющая путём применения положений расчёта электрических нагрузок, теории вероятностей и математической статистики, обосновать состав источников электрической энергии для электроснабжения жизнеобеспечения пострадавшего населения и спасательных формирований при полевом размещении в пунктах временного размещения.

Методика обоснования состава источников электрической энергии для электроснабжения жизнеобеспечения автономного полевого лагеря

Методика позволяет: обосновать мощность источников электрической энергии; рассчитать электрическую сеть; оценить работу системы электроснабжения, основываясь на вероятности безотказной работы источника электрической энергии; обосновать состав инженерных и других средств для обеспечения создания системы электроснабжения; обосновать рациональные варианты системы электроснабжения; учесть дополнительные факторы, влияющие на формирование состава источников электрической энергии для электроснабжения жизнеобеспечения людей в пунктах временного размещения (выход источников электрической энергии по эксплуатационным причинам, выход из строя обслуживающего персонала), планировать мероприятия технического обеспечения системы электроснабжения.

Выбор мощности источника электрической энергии для электроэнергетического жизнеобеспечения пострадавшего населения и спасательных формирований при их полевом размещении в пунктах временного размещения осуществляется по расчётной мощности объекта при соблюдении условий [1, 2]:

для бензиновых источников электрической энергии:

$$P_{н.иэ} \geq P_{нагр} \text{ при } T_{нагр} > 1 \text{ ч}, P_{н.иэ} \geq 0,9 P_{нагр} \text{ при } T_{нагр} \leq 1 \text{ ч}; \quad (1)$$

для дизельных источников электрической энергии:

$$P_{н.иэ} \geq P_{нагр.макс.}; K_{мин} P_{н.иэ} \geq P_{нагр.мин}, \quad (2)$$

где $K_{мин}$ – коэффициент, зависящий от типа двигателя.

Для источников электрической энергии системы электроснабжения автономных полевых лагерей мощность изменяется в зависимости от распорядка дня, времени года и для них может быть построен суточный график нагрузки, для чего определяют мощность электроприёмников, время их работы, затем для выбранного отрезка t определяется суммарная мощность потребителей, работа которых в этот момент должна быть обеспечена, и к большему из значений прибавляются потери мощности в сети (потери в меди $P_m = 8-10 \% P_{макс}$).

Зная величину P_m , можно определить переменные потери $P_t \%$ в любой момент t при мощности P_t : $P_t = P_m \% (P_t/P_{макс})$; если потери выражены в кВт, то $P_t = P_m(P_t^2/P_{макс}^2)$, и получаемые значения откладываются на графиках.

Для учёта несовпадения по времени потребления электрической энергии можно воспользоваться значениями коэффициента одновременности, на который нужно умножать значение установленной мощности перед суммированием (табл. 1), характеризующий

отношение потребляемой максимальной мощности ко всей установленной мощности электроприёмников [14-15].

Если суммарная мощность потребителей за время их работы существенно изменяется, то следует определить среднеквадратическое значение мощности нагрузки [16-21]:

$$P_{\text{срк}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i^2 \Delta t_i}{\sum_{i=1}^n \Delta t_i}} ; \quad (3)$$

где n – количество участков графика нагрузки, в пределах которых $P = \text{const}$;

i – номер участка;

Δt_i – продолжительность участка, в пределах которого $P_i = \text{const}$.

Таблица 1

Значение коэффициента одновременности

Объекты	Коэффициент одновременности
Помещения для размещения людей	0,6-1
Помещения при ночном освещении	0,1
Кухни, столовые	0,7-1
Наружное освещение	1

По характеру графика, величине максимальной мощности и продолжительности максимума нагрузки можно определить количество и мощность электроагрегатов [2].

Метод может быть использован для анализа работы системы электроснабжения за прошлое время при наличии данных и планирования производства электрической энергии на предстоящий период [22-25].

Тип и мощность источника электрической энергии определяются по каждому объекту применительно к условиям его функционирования. В соответствии с рассмотренными условиями подбирают источник электрической энергии или их группу: химический источник тока, электростанцию (бензиновую, дизельную) и др.

Одновременно может осуществляться выбор источника электрической энергии по уровню шума и звука и по уровню дыма. Выбор количества источников электрической энергии (табл. 2) осуществляется по расположению их относительно потребителей с учётом падения напряжения $\Delta U = 10 \% U_n$ и графика нагрузки.

Построение электрических сетей зависит от ряда факторов, основные из которых: напряжение сети, уровни нагрузок, требования к надёжности электроснабжения, экономичность, простота и удобство обслуживания.

Потребители в сооружении рекомендуется разделять на группы и распределение их выполнять так, чтобы значения групповой потребляемой мощности совпадали, что важно для равномерности загрузки фаз.

По конфигурации сети могут быть разомкнутыми и замкнутыми [1, 14].

Ввиду высокой вероятности повреждения сетей в полевых условиях целесообразно устраивать замкнутые сети, при этом потери напряжения в проводах следует определять в зависимости от способа присоединения нагрузки.

Выбор количества источников электрической энергии

Уровень системы электроснабжения (в соответствии с организационной структурой спасательных формирований или численностью населения)	1	2	3	4	5	Выше пятого уровня
Радиус объекта, м	0,5	75	200	500	800-1000	В зависимости от размещения на местности
Плечо передачи при напряжении (м): $U = 380 В$ $U = 220 В$	-	220	220	380	Автономное питание	
Количество источников электрической энергии	1	1	1	1	Зависит от количества объектов	

Если нагрузка в конце линии, то при передаче одинаковой мощности одного напряжения на одинаковое расстояние при одинаковой потере напряжения в проводах сечение каждого провода при трехфазном токе в 2 раза меньше, чем при однофазном переменном, а общий вес проводов равен 3/4 веса проводов при однофазном, что играет важное значение при создании системы.

Если нагрузка распределена по длине провода, то общая потеря напряжения в нём представима в виде наложения действия отдельных потребителей.

С учётом частых перемещений потребителей, для обеспечения устойчивой работы сеть должна иметь такую длину и сечение жил, чтобы ΔU не превышало 5 % U_n (для осветительной нагрузки, для остальных возможно ΔU до 20 % (по техническим условиям на приборы)).

Если временные линии электропередачи планируется использовать от нескольких дней до 1-2 лет, то они будут отличаться от устройства постоянных линий, и на них будут влиять местные условия, поэтому при их устройстве не может быть однозначного решения (по экономическим соображениям радиус действия сетей низкого напряжения ограничивается 0,5 км; при необходимости передавать электроэнергию на расстояние 5-10 км сеть выполняется на напряжение 3-10 кВ).

Задача построения сети многовариантна. Критерием выбора схемы является её экономичность по затратам средств на сооружение, эксплуатацию и расходу материала. Однако требования удобства эксплуатации и простоты могут превалировать над требованиями экономичности.

Таким образом, схема сети является синтезом комплекса факторов, определяющих её параметры.

Особенность сетей состоит в том, что если потребители и источники электрической энергии могут быть заданы, то в отношении их необходимо выбирать конфигурацию и производить электрический расчёт.

Выбор сечений проводов осуществляется по допустимому нагреву при длительном режиме работы [1, 14]:

$$I_{доп} \geq \frac{I_{max}}{K_n}, \tag{4}$$

где I_{max} – расчётный ток нагрузки, А;

K_n – поправочный коэффициент на температуру окружающей среды.

Выражения для определения расчётного тока нагрузки известны [14, 18].

Для проверки сети по допустимому падению напряжения достаточно использовать следующие выражения:

для трехфазной сети:

$$\Delta U = \frac{LP}{\gamma SU}; \quad (5)$$

для однофазной сети:

$$\Delta U = \frac{2LP}{\gamma SU}, \quad (6)$$

где L – длина кабельной линии, м;
 P – мощность, передаваемая по кабелю, Вт;
 γ – удельная электропроводимость, м/Ом мм² (для меди $\gamma = 53$);
 S – сечение токоведущей жилы кабеля, мм²;
 U – напряжение источника, В.

При заданном ΔU значение требуемого сечения проводов из условий допустимых потерь напряжения [18] определяется по формуле:

$$S = \frac{\sum P_m l_m}{c \Delta U}, \quad (7)$$

где $P_m l_m$ – момент нагрузки, кВт м;
 l_m – длина участка с равномерно распределённой нагрузкой, м;
 c – коэффициент, зависящий от материала.

Сеть, рассчитанная по (7), соответствует условию наименьшего расхода проводникового материала. В целом сети потребителей характеризуются неравномерной нагрузкой даже при правильном распределении электроприёмников по фазам, что определяется случайным характером нагрузок.

Потери напряжения в такой сети неодинаковы по фазам, в связи с чем возникает необходимость в проверке режимов напряжений в каждой фазе (например, для A), которая целесообразна при длительном размещении подразделений (первая часть формулы дает потери напряжения в фазном, вторая – в нулевом проводе):

$$\Delta U_A = \frac{M_A}{2cS_A} + \frac{M_A - 0,5(M_B + M_C)}{2cS_0}; \quad (8)$$

где M_A, M_B, M_C – моменты нагрузки фаз, кВт м;
 S_A – сечение провода рассматриваемой фазы, мм²;
 S_0 – сечение нулевого провода, мм²;
 c – коэффициент, зависящий от материала проводов и напряжения сети.

При нескольких сосредоточенных нагрузках или, если участок линии имеет равномерно распределенную по длине нагрузку, сумма моментов нагрузки заменяется моментом одной нагрузки с длиной линии, равной приведенной длине.

Если на участках линии длиной l_1, l_2, l_3 нагрузки соответственно равны

$$P_1, P_2, P_3, \text{ то } P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3 = (P_1 + P_2 + P_3) l_{\text{прив}},$$

откуда:

$$l_{\text{прив}} = \frac{P_1 l_1 + P_2 l_2 + P_3 l_3}{P_1 + P_2 + P_3}. \quad (9)$$

В частности, для нагрузки, равномерно распределенной по длине линии:

$$l_{\text{прив}} = l_0 + \frac{l}{2}, \quad (10)$$

где l_0 – длина магистрального участка, м;

l – длина участка с равномерно распределенной нагрузкой, м.

При питании потребителей от двух источников электрической энергии мощность, передаваемая по линии от источников электрической энергии, определяется выражением [15]:

$$P_1 = \frac{p_1 L_1 + p_2 L_2 + p_3 L_3}{L_4}, \quad (11)$$

где L_4 – расстояние между источниками электрической энергии, м.

Определяется точка токораздела, в которой нагрузка питается от двух источников электрической энергии.

Сумма составляющих нагрузки равна $P_1 + P_2 = p_1 + p_2 + p_3$.

Одним из критериев качества электроэнергии являются отклонения напряжения на входе электроприёмников, которые изменяются в связи с изменением нагрузки в течение суток и выражаются формулой [15]:

$$V = \frac{100 (U_{\text{эл}} - U_{\text{ном}})}{U_{\text{ном}}}, \quad (12)$$

где $U_{\text{эл}}$ – напряжение на входе электроприёмника, В;

$U_{\text{ном}}$ – номинальное напряжение сети, В.

Допустимое отклонение напряжения для освещения [20, 25]:

- сооружений для людей $\pm 5\%$ (до 10%);

- для электроплиток, электроводонагревателей и приборов электроотопления $\pm 10\%$ (по техническим условиям на приборы возможно отклонение до 20%).

Удовлетворять всем требованиям одновременно невозможно, так как они противоречивы, например, требования безопасности заставляют применять высокое качество изо-

ляции, а требование экономичности – отказываться от нее; стремление к отсутствию отклонений от величины $U_{ном}$ и экономичности эксплуатации приводят к большим сечениям проводов, а стремление к экономичности возведения сети – к малым.

Вариант оптимальный в одних условиях для других оказывается неудовлетворительным. Правильный выбор сечения проводов состоит в экономичном соотношении между их установочными и эксплуатационными расходами с учётом сроков эксплуатации системы электроснабжения.

В основу оценки работы системы электроснабжения положена вероятность безотказной работы источника электрической энергии в течение времени функционирования объекта и в заданных условиях применения:

$$P(t)_{сэс} = P(t)_{изэ} = e^{-\frac{t}{T}} \quad (13)$$

Выбор по вероятности безотказной работы производится с целью сведения к минимуму перерывов в электроснабжении. Расчёт зависит от [1-2, 26-27]:

- интенсивности эксплуатации источника электрической энергии;
- наработки на отказ – T ;
- среднего времени простоя – $T_{п}$;
- среднего времени восстановления – $T_{в}$.

При известном времени выполнения задачи и времени работы источника электрической энергии $T_p = t$ определяется количество отказов, устанавливающее частоту обслуживания системы электроснабжения ремонтным подразделением:

$$n_{отк} = \frac{T_p + T_{po}}{T} \quad (14)$$

где T_{po} – наработка источника электрической энергии до включения в состав подразделения.

Данные по T , $T_{п}$, $T_{в}$ берутся из статистического расчёта эксплуатационной надёжности электроагрегатов и электростанций, при этом коэффициент технической готовности источника электрической энергии ($T/(T + T_{в})$) зависит от времени восстановления, которое равно:

$$T_{в} = T_{орг} + T_{он} + T_{ср} + T_{то} \quad (15)$$

где $T_{орг}$ – время на организацию восстановления источника электрической энергии, ч:

$$T_{орг} = T_{т} + T_{д} \quad (16)$$

где $T_{т}$ – время для обеспечения материальными средствами для ремонта – $M[T_{т}] = T_{п}$, ч;
 $T_{д}$ – время для доставки запасных частей, инструментов и принадлежностей и прибытия подвижных ремонтных средств, ч;

$T_{он}$ – время отыскания неисправности, ч;

$T_{ср}$ – среднее время ремонта, ч;

$T_{то}$ – время, требуемое для технического обслуживания, ч.

Основой для планирования мероприятий технического и тылового обеспечения является требуемое значение коэффициента технической готовности, который может представлять также отношение времени работы источника электрической энергии t_p ко времени работы и простоев $t_{пр} = T_b$:

$$K_{ТГ} = \frac{t_p}{t_p + t_{пр}} 100 \% . \quad (17)$$

Максимальное значение коэффициента технической готовности может быть достигнуто увеличением надежности источника электрической энергии (системы электроснабжения) или уменьшением времени простоя, что достигается продуманной организацией технического обслуживания, квалифицированным персоналом и материальным обеспечением ремонтных работ.

Например, подразделению численностью до 20-30 человек, выполняющему задачу в течение месяца, может быть выделен, исходя из его потребителей, источник электрической энергии мощностью 1 кВт.

С учётом времени работы источника электрической энергии и его наработки на отказ ремонтные органы должны произвести обслуживание системы электроснабжения на исходе второй недели, чтобы выполнить требования, предъявляемые к потребителям по надежности питания.

Учитывая, что время восстановления источника электрической энергии влияет на эффективность электроэнергетического обеспечения людей, ему может быть выделен еще минимум один источник электрической энергии.

Учёт выявленных закономерностей при обосновании комплекса средств системы электроснабжения позволит выполнить задачи электроснабжения жизнеобеспечения людей.

Возможны случаи, когда для выполнения задач и рационального построения системы электроснабжения необходимо определить количество инженерных и других средств. При планировании потребностей в них целесообразно использовать выражение:

$$M_{\text{макс}} = \frac{K_{УС} V_n}{K_{И} П_T T_n} e^{-T_o}, \quad (18)$$

где $M_{\text{макс}}$ – необходимое количество инструмента, шт.;

V_n – подлежащий к выполнению объём работ, определяется по результатам предварительной оценки решаемых задач и выражается в единицах измерения технической производительности средства;

$K_{УС}$ – коэффициент участия средства в объёме работ, зависит от типа средства, вида задачи и способов её выполнения;

$П_T$ – производительность средства для видов работ (определяется по паспортным данным);

T_n – нормативное время выполнения задачи, ч, задаётся при принятии решения на выполнение задачи и включает время приведения в готовность, выдвижения и развертывания в районе действия;

T_o – наработка средства на отказ, ч;

$K_{И}$ – коэффициент использования средства в виде работ, характеризует возможную интенсивность его применения и определяется как:

$$K_{И} = \frac{T_p}{T_{\text{раз}} + T_p + T_{\text{св}} + T_{\text{П}} + T_o}, \quad (19)$$

где $T_p, T_{раз}, T_{св}, T_{п}, T_o$ – соответственно, время работы, развертывания, свертывания, перемещения и обслуживания, ч.

Практически любая задача требует применения нескольких типов средств, которые для вида работ образуют однородные комплекты, и для определения их необходимого количества можно использовать выражение [1, 2]:

$$N = \frac{K_{уС} V_{н}}{K_{и} Z П_{Т} T_{н}} e^{-\frac{T_{н}}{T_o}}, \quad (20)$$

где Z – количество инструментов в комплекте, шт.

Для решения задач электроснабжения жизнеобеспечения людей могут рассматриваться различные варианты системы электроснабжения.

Выбор рациональной осуществляется на основе значений вероятности безотказной работы и коэффициента технической готовности и при выборе варианта электроснабжения в качестве показателя эффективности может рассматриваться объём выполняемых задач электроснабжения, достигаемый объектом при заданной безотказности на единицу суммарных затрат:

$$E = \frac{P}{\left(1 + \frac{K_{э}}{K_o}\right) \cdot \left(1 + \frac{M_{э}}{M_o}\right) \cdot \left(1 + \frac{T_{э}}{T_o}\right)}, \quad (21)$$

где P – вероятность безотказной работы системы электроснабжения;

$K_{э}$ – стоимость электрооборудования объекта;

K_o – стоимость объекта;

$M_{э}$ – масса электрооборудования, кг;

M_o – грузоподъемность транспортного средства источника электрической энергии, кг;

$T_{э}$ – трудозатраты на техническое обслуживание электрооборудования;

T_o – трудозатраты на обслуживание объекта.

В целях поддержания постоянной готовности спасательных подразделений в пунктах временного размещения должны [28-29] заблаговременно проводиться мероприятия по накоплению запасов материальных средств, создаваться дублирующие системы энерго-, тепло-, водоснабжения и приготовления пищи.

Рекомендации по составу и применению средств для жизнеобеспечения людей в пунктах временного размещения

В основу функционирования системы электроснабжения жизнеобеспечения автономного полевого лагеря (пункта временного размещения пострадавшего населения и спасательных формирований) положено следующее: система электроснабжения представляет собой комплекс источников электрической энергии, ремонтных органов и резерва источников электрической энергии, а ее состояние определяется состоянием этих элементов.

Учет моделей размещения пострадавшего населения и действий спасательных формирований позволяет обосновать комплекс средств, включающий совокупность штатных

источников электрической энергии специальной техники и источников электрической энергии для жизнеобеспечения людей, устройства преобразования и распределения электрической энергии, комплекты кабельной сети, осветительных и иных средств, а также элементы инфраструктуры, обеспечивающей функционирование системы электроснабжения.

Минимально достаточная обеспеченность источниками электрической энергии, питающими потребители техники, должна быть равна минимально достаточной обеспеченности спасательных подразделений этими объектами.

Критерием устойчивости системы электроснабжения является способность обеспечивать потребителей электрической энергией требуемого количества и необходимого качества [1].

Под минимально допустимым для электроснабжения жизнеобеспечения понимается такое количество источников электрической энергии, которое необходимо для потребителей, обеспечения нормальных условий жизни людей и сохранения боеспособности подразделений.

Количество систем электроснабжения определяется количеством и потребляемой мощностью потребителей, размещением их на местности, требованиями по надежности питания и включают в себя источники электрической энергии, комплекты кабельной сети, потребители электрической энергии и элементы инфраструктуры, обеспечивающие работу системы.

Стоимость комплекса средств жизнеобеспечения складывается из стоимости отдельных источников электрической энергии и средств обеспечения жизнедеятельности.

Включение комплекса средств, например, в штат спасательных подразделений позволит выполнять им задачи по электроснабжению потребителей жизнеобеспечения пункта временного размещения пострадавшего населения.

При организации системы целесообразно [23, 30-31] создание групповых и автономных систем электроснабжения (как исключение, централизованной), при этом потребности в источниках электрической энергии, запасных частях, инструментах и принадлежностях при подготовке к действиям в полевых условиях и при обслуживании пункта временного размещения могут принимать значения, приведенные в табл. 3.

Минимально достаточная потребность подразделений может быть определена из следующего выражения, исключая долю источников электрической энергии соответствующего предназначения для электроснабжения потребителей I-ой категории:

$$M_{\text{мин}}^{\text{ИЭЭ}} = (a_1^{\text{осв}}b + a_2^{\text{осв}}K_{\text{исп}}^{\text{осв}}(1 - \frac{1-b}{2}))c^{\text{осв}} + (a_1^{\text{сил}}b + a_2^{\text{сил}}K_{\text{исп}}^{\text{сил}}(1 - \frac{1-b}{2}))c^{\text{сил}} + (a_1^{\text{зар}}b + a_2^{\text{зар}}K_{\text{исп}}^{\text{зар}}(1 - \frac{1-b}{2}))c^{\text{зар}} + (a_1^{\text{инж}}b + a_2^{\text{инж}}K_{\text{исп}}^{\text{инж}}(1 - \frac{1-b}{2}))c^{\text{инж}}, \quad (22)$$

где a_1 – доля электростанций для электроснабжения потребителей I-ой категории, соответственно, для осветительных, силовых, зарядных и инженерных - 0,3; 0,6; 0; 0,4;

a_2 - то же для потребителей II-ой категории: 0,7; 0,4; 1; 0,4; $K_{\text{исп}}$ - коэффициент использования источников электрической энергии: 0,8; 0,9; 0,6; 0,9;

$(1 - \frac{1-b}{2})$ - множитель, учитывающий изменение потребностей в источниках электрической энергии, обеспечивающих потребители II-ой категории (потребители системы электроснабжения жизнеобеспечения отнесены ко II-ой категории по надежности питания);

c - доля источников электрической энергии от штатного количества.

Потребности системы электроснабжения в источниках электрической энергии, запасных частях, инструментах и принадлежностях

Вариант функционирования системы электроснабжения	Потребности в средствах, %			
	О	З	С	ЗИП
Подготовка системы электроснабжения к работе	60	80	20	40
Обслуживание пункта временного размещения	80	20	30	30

где О, З, С – соответственно, осветительная, зарядная и силовая электростанция (электроагрегат).

Накопление ремонтных комплектов для системы электроснабжения осуществляется в соответствии с нормативными документами. Запасы ремонтных комплектов (групповых) могут быть определены выражениями:

$$N_{гк} = \sum 0,3 N_{ш.і}^{ІЭЭ} / 2 (4;10), \quad (23)$$

где 0,3 - доля выпуска источников электрической энергии после 1986 г.;
 $N_{ш.і}^{ІЭЭ}$ - штатное количество источников электрической энергии і-го типа;
 2;4;10 - норма накопления комплектов (один на 2, 4 и 10 источников электрической энергии).

В целях функционирования системы жизнеобеспечения пункта временного размещения могут потребоваться различные силы и средства, потребность в которых определяется следующим образом [1]:

количество полевых кухонь:

$$K = П / В, \quad (24)$$

где П - количество людей, состоящих на обеспечении, чел,
 В - возможности кухни по обеспечению горячей пищей, обеды;

количество автомобилей под продовольствие:

$$A = m П N / K_{И} Г, \quad (25)$$

где m - масса одной суточной дачи продовольствия по норме, т (0,0025);
 N - установленная норма возимого запаса продовольствия, с/д;
 $K_{И}$ - коэффициент использования грузоподъемности автомобиля - 0,83 (средний);
 Г - нормативная грузоподъемность автомобиля данной марки, т;

количество автомобилей для подвоза воды:

$$A = H П N / Г, \quad (26)$$

где А - количество автоцистерн, ед;
 Н - суточная потребность воды на одного человека (участника), т.

Потребности в материальных средствах определяются по формулам:

$$\Pi_{к\text{ РСЕ } (T)}^б = P_{к}^б + (P_{к}^б K_{п}^б) + H_{зк}^б; \quad (27)$$

$$\Pi_{кт}^б = \Pi_{к\text{ РСЕ }}^б M_{к}^б; \quad (28)$$

где $\Pi_{к\text{ РСЕ } (T)}^б$ - потребность б-го вида материальных средств для к-го потребления, РСЕ (заправка, суточная дача - с/д, комплект - компл., процентное отношение к численности людей, технике, количеству или массе вида материального средства), в единицах массы, т;

$P_{к}^б$ - ориентировочный расход вида материальных средств для к-го потребителя в предстоящих действиях, РСЕ;

$K_{п}^б$ - коэффициент вероятных потерь вида материальных средств в ходе предстоящих действий, доли ед.;

$H_{зк}^б$ - нормы запасов вида материальных средств для к-го потребителя к концу действий, РСЕ;

$M_{к}^б$ - масса РСЕ вида материальных средств от к-го подразделения, т.:

$$M_{к}^б = (M_{едк} / 1000) K_{едк}, \quad (29)$$

где $M_{едк}$ - масса бк, с/д, спасателя, кг;

$K_{едк}$ - количество техники к-го вида, личного состава в подразделении, ед., чел.

К комплексу средств и системе электроснабжения могут быть предъявлены следующие требования [1, 2, 9, 32]:

однотипность характеристик источников электрической энергии спасательных подразделений с аналогичными характеристиками гражданских электроустановок;

высокая мобильность источников электрической энергии, в том числе возможность их установки без грузоподъемных средств;

быстрота развертывания источников электрической энергии и кабельной сети: для освещения объектов и питания бытовых электроприборов необходимо использовать кабельную сеть осветительных электростанций. Существующие типы электростанций имеют комплекты сетей, не предназначенных для электроснабжения территориально-рассредоточенных потребителей, и их применение оправдано в мобильных комплексах, отсюда возникает проблема создания быстровозводимых систем электроснабжения. Решение ее видится в создании быстровозводимых электротехнических комплектов широкого назначения (для электроснабжения различных потребителей при питании от собственных электростанций, при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций и др.);

безопасность эксплуатации электротехнических средств и электрооборудования: в 90% случаев травмы получают вследствие плохой организации эксплуатации средств в местах, где имеются сети временного электроснабжения (до 1000 В). Сравнительная оценка опасностей при эксплуатации систем электроснабжения позволяет разработать предложения по повышению электробезопасности обслуживающего персонала из числа личного состава спасательного подразделения.

Проблемы предупреждения травматизма решаются организационно-техническими мероприятиями, которые целесообразно внедрять в практику эксплуатации систем электроснабжения;

простота и надежность распределительной сети, унификация ее элементов с устройствами подключения потребителей, включение в их состав устройств защиты от коротких замыканий и перегрузки.

При эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В происходит 75-80 % электротравм и такое положение складывается в полевых лагерях;

внедрение современных методов и средств измерения сопротивления заземляющего устройства в сетях напряжением до 1000 В, позволяющих повысить точность измерения и защиту людей от поражения электрическим током, а также приводящих к упрощению способов и устройств измерения;

обеспеченность запчастями и расходными материалами для ремонта и восстановления источников электрической энергии на месте.

Работа по обеспечению рационального использования электроэнергии на нужды бытовых потребителей может проводиться на основе плана организационно-технических мероприятий. Для проведения ее следует учитывать расход электроэнергии для всех потребителей, временные нормы расхода электроэнергии на выполнение различных работ и нормы расхода на освещение.

К мероприятиям по упорядочению использования освещения и экономии электрической энергии могут быть отнесены [1, 2, 15, 20, 25]:

сокращение длины (замена) проводов перегруженных участков сетей и рациональное перераспределение нагрузок между линиями;

анализ установленной мощности и работы осветительных установок (разукрупнение групп электроприемников);

применение местного освещения и проверка соответствия освещенности сооружений установленным нормам;

контроль состояния осветительных сетей, коммутационной и осветительной аппаратуры.

В плане организации системы электроснабжения и обеспечения функционирования комплекса средств из структуры системы электроснабжения вытекают следующие выводы и предложения:

1. Для электроснабжения средств жизнеобеспечения необходимы источники электрической энергии и целесообразно вводить их в штат спасательных подразделений;

2. Обслуживающий персонал источников электрической энергии необходимо готовить в процессе служебной подготовки личного состава;

3. От отделения иметь штатного электромеханика, способного выполнять операции с источниками электрической энергии (пуск, подключение нагрузки, регулирование напряжения, останов, заправка, техническое обслуживание) и знающего правила техники безопасности;

4. Текущий ремонт (ТР-2, ТР-3) проводить штатными электромеханиками по заявкам подразделений. Ремонтные органы должны оказывать помощь обслуживающему персоналу в выполнении сложных операций, что может быть реализовано за счет модульной конструкции, обеспечивающей быстрое устранение неисправностей источников электрической энергии агрегатным методом непосредственно у потребителя, повышая эффективность использования источников электрической энергии.

Источники электрической энергии повышенной сложности ремонта (ТР-3) целесообразно передавать в отдельное ремонтное подразделение, а технику капитального ремонта - в ремонтные предприятия.

Учитывая, что ремонтно-восстановительные службы спасательных формирований взаимодействуют с ремонтными заводами, необходимо оценивать надежность видовой структуры электротехнических средств системы электроснабжения и оптимальность построения видовой структуры ремонтируемых электротехнических и других средств.

5. Основой для планирования мероприятий технического и тылового обеспечения является реализация требуемого значения коэффициента технической готовности системы электроснабжения.

Оптимальная организация технического обеспечения, его планирования и управления позволяет обеспечить требуемые показатели коэффициента технической готовности.

Организация ремонта определяется подразделением, его назначением и решаемой задачей, а анализ неисправностей [1] источников электроэнергии указывает на необходимость обеспечения их ремонтными комплектами, приспособления и инструмент которых при наименьшем количестве их типоразмеров должны быть универсальными, обеспечивая выполнение различных работ. Требования к их составу могут быть определены на основе анализа возможностей системы восстановления и ремонта [33].

Реорганизация структуры подразделений и их возрастающая мобильность выделяют приоритетные направления развития источников электрической энергии, основными из которых являются:

1. Модернизация имеющихся и разработка новых электроагрегатов. Эти направления характеризуются повышающимися требованиями к источникам электрической энергии:

- повышение надежности, выражающееся в уменьшении времени восстановления источников электрической энергии, и увеличение их коэффициента технической готовности;

- улучшение эргономики, обитаемости и технической эстетики, - должно выполняться в соответствии с ГОСТами, при этом, например, целесообразно предъявлять повышенные требования к уровню шума;

- удобство технического обслуживания и ремонта, - конструкции источников электрической энергии должна обеспечивать модульную замену их элементов в полевых условиях, что позволит унифицировать источники электрической энергии и упростить их эксплуатацию;

- повышение требований правил техники безопасности при эксплуатации источников электрической энергии должно предусматривать повышение быстродействия и эффективности защиты людей от поражения электрическим током;

2. Унификация видов источников электрической энергии, использование генераторов с переключением обмоток с 230 на 28,5 В (115) и генераторов переменного тока с выпрямителями.

Конструкция универсального по напряжению синхронного генератора вместе с регулятором напряжения позволит получать различные виды постоянного и переменного напряжения с одновременным регулированием его по двум каналам для различных потребителей. Такие источники электрической энергии могут быть включены в состав модульных систем электроснабжения, которые имели бы необходимые распределительные устройства, и аппаратуру и позволяли использовать их как силовые, осветительные и (или) зарядные источники электрической энергии в зависимости от потребностей;

3. Обеспечение связи при разработке источников электрической энергии с образцами, выпускаемыми промышленностью. Номенклатура источников электрической энергии должна допускать применение источников электрической энергии, используемых в экономике.

4. Совершенствование индивидуальной системы электроснабжения. Повышающееся количественно и качественно оснащение человека различными индивидуальными средствами, использующими электрическую энергию, позволяет рассматривать его как объект электроснабжения.

Экипировка его требует энерговооруженности 0,4-1,5 кВт и разработки индивидуальных источников электрической энергии, удовлетворяющих жестким требованиям по массогабаритным характеристикам, мощности и запасенной электрической энергии.

Дополнительные факторы, влияющие на формирование комплекса средств для электроснабжения жизнеобеспечения людей

Состав источников электрической энергии для электроснабжения жизнеобеспечения автономных полевых лагерей, который определяется на основе расчета электрических нагрузок их потребителей, а также состав запасных частей, инструментов и принадлежностей

могут быть уточнены и служат примером оценки устойчивости системы электроснабжения, критерием устойчивости которой является способность обеспечивать потребителей электрической энергией.

Для оценки комплекса средств для электроснабжения жизнеобеспечения автономных полевых лагерей необходимо также определить дополнительные факторы, влияющие на его формирование, рассмотреть устойчивость системы электроснабжения и ее реакцию на возможные изменения.

Дополнительными факторами являются:

- выход источников электрической энергии по эксплуатационным причинам;
- выход из строя обслуживающего персонала;
- несоответствие номенклатуры запасных частей, инструментов и принадлежностей элементам, выходящим из строя;
- потеря системы восстановления и снабжения запасными частями, инструментами и принадлежностями.

Для функционирования системы электроснабжения характерны [1, 34]:

при подготовке к действиям – выход источников электрической энергии по техническим причинам и некомплект личного состава;

при выполнении задач – выход источников электрической энергии по техническим причинам и выход из строя обслуживающего персонала.

Особенностями, влияющими на выход из строя источников электрической энергии по эксплуатационным причинам, являются длительная их эксплуатация (до 18 час/сут) и обслуживание неподготовленным личным составом.

Вероятность выхода источника электрической энергии из строя по эксплуатационным причинам равна [1]:

$$Q(t_{он}) = 1 - e^{-\lambda_{он} t_{он}}, \quad (30)$$

где $t_{он}$ - время эксплуатации источника электрической энергии, час.

Интенсивность отказов источника электрической энергии:

$$\lambda = \lambda_1 + \lambda_2, \quad (31)$$

где λ_1 и λ_2 - соответственно, интенсивность отказов в период эксплуатации и «стареющих» источников электрической энергии, 1/час; λ_1 определяется по выражению:

$$\lambda_1 \cong \begin{cases} 7,2 * 10^{-4} * P^2 - 2,71 * 10^{-2} * P + 0,303, & \text{если } P = 0,5 \dots 30 \\ 0,07, & \text{если } P > 30 \end{cases}. \quad (32)$$

Для «стареющих» средств:

$$\lambda_2 = \frac{1}{\sigma_T * \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(t - T_{cp})^2}{2\sigma_T^2}\right) * \left(1 - F\left(\frac{t - T_{cp}}{\sigma_T}\right)\right)^{-1}; \quad (33)$$

где $F(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{u^2}{2}} du$ - интеграл Лапласа;

T_{cp} и σ_T – соответственно, математическое ожидание и стандарт времени работы источника электрической энергии до отказа, ч; t - текущее время эксплуатации источника электрической энергии:

$$t \cong 1,314 * 10^5 + 8,76 * 10^4 |\eta_1 + \eta_2 - 1|, \quad (34)$$

где η_1, η_2 - случайные числа, генерируемые датчиком случайных чисел.

Факт выхода источника электрической энергии из строя по эксплуатационным причинам может быть установлен следующим образом:

если $e^{-\lambda t} < \eta$, то не считается вышедшим из строя;

если $e^{-\lambda t} \geq \eta$, то считается вышедшим из строя.

Трудоемкость ремонта источника электрической энергии при выходе его из строя рассчитывается по выражению:

$$t_p^{эп} \cong \begin{cases} 280P_{БП}^{эп} + 44P_{ТР}^{эп} - \text{для дизельных} \\ 124P_{БП}^{эп} + 16P_{ТР}^{эп} - \text{для бензиновых} \end{cases}, \quad (35)$$

где $P_{БП}^{эп}$ ($P_{ТР}^{эп}$) - вероятность выхода источника электрической энергии из строя по эксплуатационным причинам с большой трудоемкостью (в текущий ремонт).

На основе обработки статистической информации получены выражения для вычисления вероятности [1]:

для дизельных: $P_{БП}^{эп} \cong (1,28 * 10^{-5} P^2 - 2,29 * 10^{-3} P + 0,291) * 10^{-2}; \quad (36)$

для бензиновых: $P_{БП}^{эп} \cong (5,48 * 10^{-2} P^2 - 5,77 * 10^{-1} P + 1,35) * 10^{-2}. \quad (37)$

Средние значения вероятностей выхода из строя элементов источника электрической энергии по эксплуатационным причинам приведены в табл. 4, где узлы, блоки и агрегаты источников электрической энергии закодированы.

Системы: зажигания и дизельная автоматика - 1; смазки - 2; топливная - 3; охлаждения - 4; газораспределения - 5; пуска, аккумуляторная батарея - 6; 7 - блок цилиндров; 8 - блок-картер; 9 - соединительная муфта; 10 - капот, рама; 11 - генератор; 12 - система возбуждения; 13 - блоки автоматики, кабельная сеть; 14 - контрольно-измерительные приборы, прибор контроля изоляции, реле безопасности персонала.

В состав систем электроснабжения входят также аккумуляторные батареи (рис.1) различных типов, которые могут быть резервными и основными источниками электроснабжения средств освещения и связи, перерыв в питании которых может привести к невыполнению задач, поэтому должны учитываться вопросы надежности аккумуляторных батарей.

Параметры надежности аккумуляторных батарей приведены в табл. 5. При оценке выхода из строя источников электрической энергии по эксплуатационным причинам математическое ожидание и стандарт трудоемкости их ремонта могут быть определены по кривым на рис. 2 (предполагается, что закон распределения трудоемкости ремонта нормальный).

Вероятности выхода из строя элементов источника электрической энергии по эксплуатационным причинам

Тип источника электрической энергии	Код элемента конструкции источника электрической энергии													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
АБ-0,5; ЭБ-0,5-ВО; АБ-1; ЭБ-1-ВО	0,35	0	0,07	0	0	0,30	0,26	0,01	0,03	0	0,01	0,09	0	0,02
АБ-2; ЭБ-2-ВО; ЭБ-2-ВЗ; АБ-4; ЭБ-4-ВО; ЭБ-4-ВЗ	0,26	0,04	0,07	0	0,09	0,10	0,28	0,01	0,05	0	0,01	0,08	0	0,01
АБ-8; ЭБ-12-ВС; ЭБ-8И; АБ-12; ЭБ-16-ВС	0,16	0,04	0,04	0,28	0,10	0,08	0,15	0,01	0,04	0	0,01	0,07	0,01	0,01
АД-10; ЭД-10-ВС	0,12	0,04	0,28	0,04	0,03	0,10	0,23	0,01	0,01	0	0,07	0,05	0,02	0,01
АД-20; ЭД-20-ВС	0,05	0,02	0,23	0,08	0,03	0,10	0,22	0,01	0,01	0	0,01	0,05	0,02	0,01
АД-30; ЭД-30	0,08	0,04	0,11	0,06	0,06	0,20	0,34	0,01	0,01	0	0,08	0,07	0,02	0,02
ЭД-50-ВС	0,03	0,09	0,12	0,24	0,16	0,20	0,14	0,01	0,01	0	0,09	0,06	0,02	0,01
ЭД-100-ВС	0,14	0,10	0,06	0,14	0,04	0,10	0,21	0,01	0,01	0	0,08	0,10	0,02	0,01

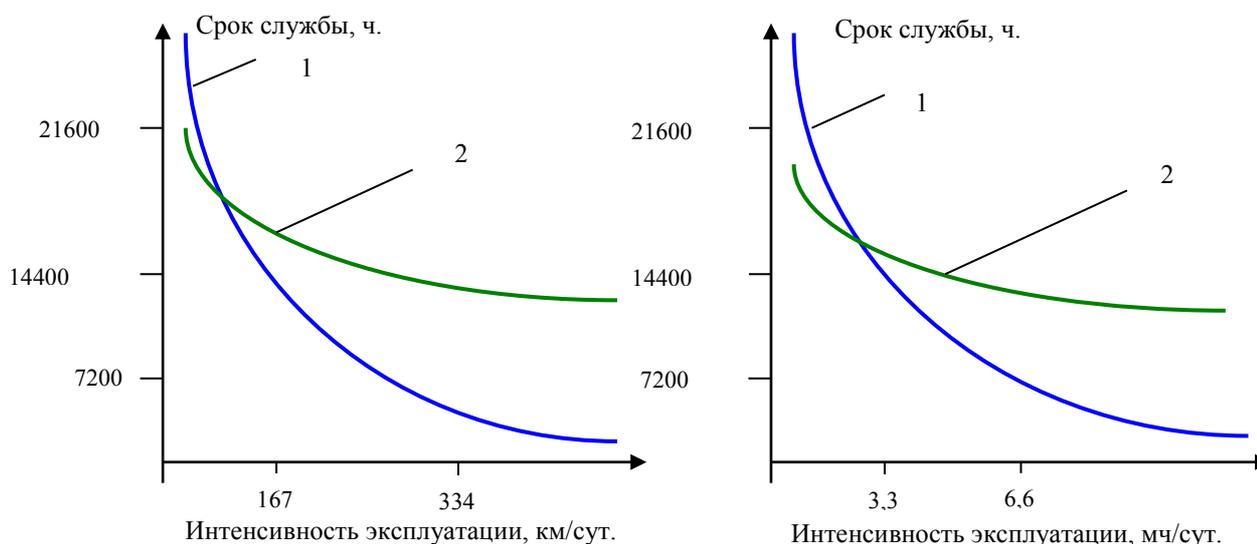


Рис. 1. Зависимость срока службы аккумуляторных батарей от интенсивности эксплуатации для батарей емкостью до 60 Ач (1) и свыше (2)

Параметры надежности аккумуляторных батарей

Тип батареи	Ресурс, циклы	Ресурс, м. ч.	Минимальный срок службы, ч	Гарант. срок после текущего ремонта, ч.	Гарантийный срок после капитального ремонта, ч
3СТ-95 ПМС; 6СТ-90 ЭМС		1500	12960	11520	5760
6СТ-75 ЭМС		2500	17280	11520	5760
6СТ-190 ЭМС		600	12960	11520	5760
6СТЭН-140М; 6СТ-140Р; 12СТ-85Р		800	43200	8640	4320
12СТ-70М		600	43200	8640	4320
3МТ-8; МТ-12; 6МТС-9; 22, 140			34560	8640	4320
6СТ-105		2500	17280	11520	5760
НКГЦ-3,5	500		25920		
3НКГ-10Д			8640		
10НКГ-8К	250		43200		

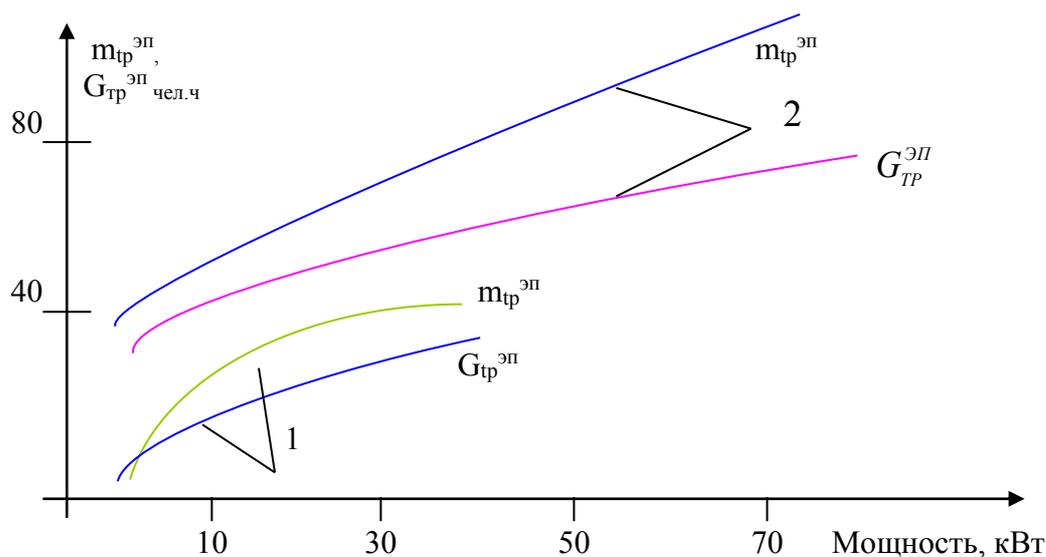


Рис. 2. Математическое ожидание и стандарт трудоемкости ремонта источника электрической энергии при выходе из строя по эксплуатационным причинам (1 - для бензиновых, 2 - для дизельных)

Окончательное значение трудоемкости ремонта источника электроэнергии:

$$t_p \cong m_{tp} + \eta \sigma_{tp}, \tag{38}$$

где m_{tp} и σ_{tp} - математическое ожидание и стандарт трудоемкости ремонта, определяемые по формулам или кривым на рис. 2.

Таким образом, при организации системы ремонта, расчете потребности средств и комплектующих, определении трудоемкости и периодичности выхода средств в ремонт, следует основываться на закономерностях структуры эксплуатируемых средств объектов жизнеобеспечения, а также выхода из строя источников электрической энергии (электростанции, электроагрегаты, аккумуляторные батареи и др.) по эксплуатационным причинам и обслуживающего персонала, что позволит выработать требования к надежности системы электроснабжения.

Показателями, характеризующими укомплектованность подразделений, обслуживающих пункты временного размещения, в источниках электрической энергии, являются:

- поток выхода из строя

$$\lambda = n(t)/Nt \text{ и } \lambda_{\text{БП}} = n_{\text{БП}}(t)/Nt, \quad (39)$$

где $n(t)$ - количество источников электрической энергии, вышедших из строя в ремонт за время t ;

$n_{\text{БП}}(t)$ – количество источников электрической энергии, вышедших в безвозвратные потери за время t ; N - начальное количество источников электрической энергии;

- поток восстановления

$$\mu = \mu_p + \mu_{\text{рез}}, \quad (40)$$

где μ_p - параметр потока ремонта;

$\mu_{\text{рез}}$ - параметр потока резерва.

Поток отремонтированных источников электрической энергии определяется потоком средств, направленных для ремонта, а также возможностями ремонтных органов по их восстановлению.

Параметр потока ремонта определяется через суммарную трудоемкость ремонта вышедших из строя средств (вместо количества источников электрической энергии):

$$\lambda = K_{\text{п}} t_p(t) / 200 N_0 t \text{ - для дизельных;} \quad (41)$$

$$\lambda = K_{\text{п}} t_p(t) / 100 N_0 t \text{ - для бензиновых;} \quad (42)$$

где $t_p(t)$ - суммарная трудоемкость ремонта за время t ;

N_0 - исходное количество источников электрической энергии;

$K_{\text{п}}$ - коэффициент потерь, учитывающий возможности ремонтных органов.

Система восстановления представляет собой систему массового обслуживания смешанного типа и вероятность того, что заявка будет обслужена [35-36]:

$$P_{\text{обс}} = 1 - P_{\text{отк}}, \quad (43)$$

где вероятность отказа

$$P_{\text{отк}} = 1 - (1 - P_{\text{отк.в}})(1 - P_{\text{отк.2,3}})(1 - P_{\text{отк.5}}); \quad (44)$$

где $P_{\text{отк.в}}$ - вероятность отказа в ремонте источника электрической энергии из-за ограниченности возможностей ремонтных органов;

$P_{\text{отк.2,3}}$ и $P_{\text{отк.5}}$ - вероятность отказа в ремонте источника электрической энергии из-за отсутствия технического имущества для текущего и капитального ремонтов.

Общее количество, соответствующее трудоемкости ремонта:

$$t_{рв} = t_p P_{обс}, \quad (45)$$

а параметр потока ремонта источника электрической энергии

$$\mu_p = t_{рв} / t_p t_{ром}, \quad (46)$$

где $t_{ром}$ - время работы ремонтного органа на месте.

Параметр потока резервных источников электрической энергии в подразделения, зависящий от обстановки и транспортных возможностей:

$$\mu_{рез} = (K_{фг} K_{тв} / K_v) * (n_{рез}(t) / Nt), \quad (47)$$

где $n_{рез}(t)$ - количество источников электрической энергии, выделенных из резерва за время t ;

N - общее количество источников электрической энергии к началу выполнения задачи;

$K_{фг}$ - коэффициент, учитывающий физико-географические условия;

значение коэффициента K_v определяется как:

$$K_v = 1 + V/10, \quad (48)$$

где V - средняя скорость перемещения ремонтных подразделений.

Для техники пополнение источниками электрической энергии по мере их расходования проводится за счет резерва и за счет источников электрической энергии, отремонтированных в ремонтных органах.

Вероятность получения источников электрической энергии из резерва для системы электроснабжения исключена, поэтому единственный путь восполнения вышедших из строя её источников электрической энергии (при условии, что они находятся в штате) - их восстановление в полевых условиях.

Для обеспечения функционирования комплекса средств и усиления возможностей системы технического обслуживания и ремонта должны быть разработаны соответствующие предложения, требующие также учета закономерностей выхода из строя элементов системы электроснабжения по эксплуатационным причинам. Если по каким-то причинам возможности ремонтных органов будут ограничены, описанная схема расчетов позволит оценить количество средств, подлежащих восстановлению в вышестоящем ремонтном органе.

Таким образом, учитывая структуру и возможности системы технического обслуживания, для обеспечения функционирования системы жизнеобеспечения людей при полевом размещении необходимо проводить мероприятия по усилению возможностей системы технического обслуживания и ремонта, учитывающие закономерности выхода из строя элементов системы электроснабжения в результате внешних и внутренних воздействий.

Учет рассмотренных закономерностей при формировании средств позволит выполнить задачи электроснабжения жизнеобеспечения людей. Выполнение расчёта с применением предлагаемого научно-методического подхода позволяет обосновывать необходимое количество источников электрической энергии и других электротехнических средств для электроснабжения жизнеобеспечения людей в автономных полевых лагерях

не только с учетом применения положений расчета электрических нагрузок потребителей, но и с учетом дополнительных влияющих факторов, в частности, с учетом выхода источников электрической энергии по эксплуатационным причинам, выхода из строя обслуживающего персонала, организации технического обеспечения системы электроснабжения, его планирования, ремонта.

Литература

1. Седнев В.А. Теоретические основы обеспечения электроэнергетической безопасности войсковых формирований: монография. Академия ГПС МЧС России. - 2019. 236 с.
2. Седнев В.А. Методология оптимального управления и прогнозирования параметров электропотребления объектов. В сборнике: Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2009. труды Третьей Международной конференции. Учреждение Российской академии наук Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН; Общая редакция: С.Н. Васильев, А.Д. Цвиркун. - 2009. С. 250-268.
3. Седнев В.А., Чередниченко С.В. Научно-методический подход организации электроснабжения пунктов временного размещения пострадавшего населения. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2016. № 3. С. 61-75.
4. Седнев В.А., Чередниченко С.В. Обоснование структуры и состава системы электроснабжения пункта временного размещения пострадавшего населения. Экология и развитие общества. - 2017. №1 (20). С. 27-34.
5. Седнев В.А. Статическая модель оценки устойчивости номенклатуры и численности технических средств МЧС России (на примере электротехнических средств). В сборнике: Управление развитием крупномасштабных систем. Материалы второй международной конференции. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова. Общая редакция - С.Н. Васильев, А.Д. Цвиркун. - 2008. Т.1. С. 290-294.
6. Седнев В.А. Модель динамики структуры СЭС жизнеобеспечения войск (населения, объектов). В сборнике: Управление развитием крупномасштабных систем. Материалы второй международной конференции. Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова; Общая редакция - С.Н. Васильев, А.Д. Цвиркун. - 2008. Т.1. С. 285-290.
7. Седнев В.А. Техноценологические методы построения и управления развитием многоуровневых систем. Монография. Москва. - 2019. 2-е изд., перераб. 205 с.
8. Седнев В.А. Особенности обоснования требований к системам электроснабжения пунктов временного размещения пострадавшего населения. Технологии техносферной безопасности. 2016. № 6 (70). С. 178-188.
9. Седнев В.А. Научно-методический подход обоснования системы электроснабжения автономных полевых лагерей. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. - 2018. № 4. С. 13-18.
10. Смуров А.В., Седнев В.А., Седнев А.В. Мероприятия по повышению надежности электроснабжения потребителей. В сборнике: Военная безопасность России: взгляд в будущее. Материалы 4-й Международной научно-практической конференции научного отделения № 10 Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Москва: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. - 2019. Т. 1. С. 294-300.
11. Седнев В.А., Чередниченко С.В., Гончаров В.Л. Требования к пунктам временного размещения пострадавшего в ЧС населения. Технологии техносферной безопасности. - 2016. № 4 (68). С. 140-148.
12. Седнев В.А., Чередниченко С.В. Организация жизнеобеспечения пунктов временного размещения населения. Экология и развитие общества. - 2016. №1 (16). С. 66-72.
13. Седнев В.А., Чередниченко С.В. Основы организации электроснабжения пункта временного размещения пострадавшего в ЧС населения. Технологии техносферной безопасности.- 2016. № 3 (67). С. 181-191.
14. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий. – М.: Энергоатомиздат. - 1995. – 416 с.

15. Тульчин И. К., Нудлер Г. И. Электрические сети и электрооборудование жилых и общественных зданий. – М: Энергоатомиздат. - 1990. – 480 с.
16. Седнев В.А. Теоретические основы построения и развития электроэнергетического обеспечения объектов. Электрика. - 2010. № 3. С. 39-45.
17. Седнев В.А. Теоретические основы построения и развития электроэнергетического обеспечения объектов. Электрика. - 2010. № 4. С. 35-40.
18. Артемов А.И. Электроснабжение цеха промышленного предприятия. – М.: Изд-во МЭИ. - 1990. – 118 с.
19. Седнев В.А. Организация электроснабжения подвижного пункта управления МЧС России. Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. - 2017. №6. С. 59-68.
20. Справочник по электроснабжению промышленных предприятий. Промышленные электрические сети / Под ред. А.А. Федорова и Г.В. Сербиновского. – М.: Энергия. - 1980. – 576 с.
21. Седнев В.А. Методика оценки и оптимизации структуры видового состава электротехнических средств системы электроснабжения. Промышленная энергетика. - 2016. № 7. С. 38-46.
22. Седнев В.А. Методика обоснования и пути повышения эффективности электроэнергетического обеспечения объектов в условиях ресурсных ограничений. Технологии техносферной безопасности. - 2016. № 1 (65). С. 154-164.
23. Седнев В.А., Седнев А.В. Методика оценки и обоснования видовой структуры средств инженерных подразделений. Промышленная энергетика. - 2019. №9. С. 47-55.
24. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Научные основы техногенной безопасности: монография / Под общ. ред. Махутова Н.А. М.: МГОФ "Знание". - 2015. 936 с.
25. Справочник энергетика строительной организации / Под ред. В.Г.Сенчева. Часть 1. Электроснабжение строительства. – М.: Стройиздат. - 1991. – 646 с.
26. Седнев В.А., Чередниченко С.В. Предложения по обеспечению надёжности электроснабжения пункта временного размещения пострадавшего в ЧС населения. Технологии техносферной безопасности. - 2016. № 4 (68). С. 149-154.
27. Седнев В.А. Пути повышения надёжности электроснабжения сельских потребителей. Пожары и чрезвычайные ситуации: предотвращение, ликвидация. - 2018. № 1. С. 58-62.
28. Седнев А.В. Особенности информационно-аналитического обеспечения принятия решений в территориальных органах управления. В книге: Гражданская оборона на страже мира и безопасности. Материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 4-х частях. Ч. III. Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. - 2021. С. 283-293.
29. Седнев А.В., Седнев В.А. Пути повышения эффективности деятельности организационной структуры. В книге: Гражданская оборона на страже мира и безопасности. Материалы III Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны. В 3-х частях. Ч. II. Проблемы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. - 2019. С. 380-388.
30. Седнев В.А., Седнев А.В. Научно-методические подходы оценки эффективности действий спасательных формирований. В книге: Гражданская оборона на страже мира и безопасности. Материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны : в 4 ч. Ч. I. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2021. – 311 с. – С. 196-204.
31. Седнев В.А., Седнев А.В. Научно-методические подходы оценки влияния инженерного обеспечения на выполнение задач спасательными формированиями. В книге: Гражданская оборона на страже мира и безопасности. Материалы V Международной научно-практической конференции, посвященной Всемирному дню гражданской обороны : в 4 ч. Ч. I. – М.: Академия ГПС МЧС России. - 2021. – 311 с. – С. 204-212.
32. Седнев В.А., Седнев А.В. Инженерно-технические мероприятия по подготовке электроэнергетических сооружений и систем к устойчивому функционированию. Промышленная энергетика. - 2019. № 10. С. 11-18.
33. Лексин В.И., Сугаков В.Г. Применение передвижных электроагрегатов и электростанций для автономного электроснабжения потребителей. Калининград: КВИУИВ. - 1990. - 72 с.

34. Безопасность России. Правовые, социально-экономические и научно-технические аспекты. Тематический блок "Национальная безопасность". В 6 т. Ч. 1. Научные основы безопасности и защищенности критически важных для национальной безопасности объектов / Под общ. ред. *Н. А. Махутова*. М.: МГОФ "Знание". - 2012. 896 с.

35. Седнев В.А. Теоретические основы построения и управления развитием структуры средств системы жизнеобеспечения объектов. Электрика. - 2009. № 7. С. 43-47.

36. Седнев В.А. Теоретические основы построения и управления развитием структуры средств системы жизнеобеспечения объектов. Электрика. - 2009. № 8. С. 38-46.

Сведения об авторах

Седнев Владимир Анатольевич, профессор, Академия государственной противопожарной службы МЧС России. 129366, г. Москва, ул. Бориса Галушкина, 4, тел. (495) 617-26-83, (926) 531-29-24, sednev70@yandex.ru

Седнев Анатолий Владимирович, студент, Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет). 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, stolya2000@mail.ru.