

УДК 629.064.5

doi: 10.53816/23061456_2025_1–2_128

**МЕТОДИКА СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ
СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ВОЕННОЙ АВТОМОБИЛЬНОЙ
ТЕХНИКИ, ПРИМЕНЯЕМОЙ В УСЛОВИЯХ КРАЙНЕГО СЕВЕРА**

**METHODOLOGY FOR IMPROVING THE OPERATIONAL PROPERTIES
OF THE POWER SUPPLY SYSTEM FOR MILITARY VEHICLES USED
IN THE FAR NORTH**

В.А. Нечаева

V.A. Nechaeva

Военный институт (инженерно-технический)

Военная академия материально-технического обеспечения им. А.В. Хрулева

Все климатические районы Российской Федерации, кроме умеренного, создают особые условия для работы, хранения, обслуживания и ремонта образцов военной автомобильной техники, которые должны учитываться при организации эксплуатации. Особые условия, как правило, характеризуются сочетанием неблагоприятных факторов. Для районов Крайнего Севера свойственны не только низкая температура окружающего воздуха, ветры, но и эксплуатация в условиях бездорожья и, как следствие, движение с малой скоростью, что крайне отрицательно влияет на эксплуатационные свойства системы электроснабжения. В статье описан алгоритм реализации методики обеспечения совершенствования эксплуатационных свойств системы электроснабжения военной автомобильной техники, применяемой в условиях Крайнего Севера.

Ключевые слова: эксплуатационные свойства системы электроснабжения, коэффициент готовности, закон Джоуля — Ленца, температурный коэффициент напряжения, генераторная установка с импульсным регулированием напряжения, температура электролита.

All climatic regions of the Russian Federation, except temperate, create special conditions for the operation, storage, maintenance and repair of military vehicles, which must be taken into account when organizing operation. Special conditions are usually characterized by a combination of unfavorable factors. The regions of the Far North are characterized not only by low ambient temperatures and winds, but also by off-road operation and, as a result, low-speed movement, which has an extremely negative effect on the operational properties of the power supply system. The article describes an algorithm for implementing a methodology to ensure the improvement of the operational properties of the power supply system for military vehicles used in the Far North.

Keywords: operational properties of the power supply system, availability coefficient, Joule — Lenz law, temperature coefficient of voltage, generator set with pulse voltage regulation, electrolyte temperature.

Чем характерны особенности использования военной техники в условиях Крайнего Севера. Прежде всего, количество солнечных дней незначительно. В Южно-Курильске количество солнечных дней в году не превышает 69. Значительная часть года проходит в условиях полярной ночи или сумерек. Так, в районе поселка Диксон продолжительность полярной ночи превышает 80 суток, в районе Мурманска полярная ночь длится 46 суток. Зимой на Крайнем Севере продолжительность светового дня очень короткая. В Верхоянске продолжительность дня 22 декабря не превышает 49 минут, средняя продолжительность светового дня в зимний период не превышает 4 часов 42 минут. Более 19 часов в сутки солнце не показывается за горизонтом. В этот период ощущается полная темнота, но и после восхода солнца остается ощущение темноты, так как полностью над линией горизонта светило не появляется. Кроме того, районы Крайнего Севера, в том числе и в летние месяцы, подвержены сильным снегопадам, сопровождающимся снежными буранами. В Воркуте среднемесячные осадки января 2023 года в виде снега составили 78,2 мм. Разработанную методику предлагается использовать в районах Крайнего Севера, которые обусловлены сложными климатическими условиями с низкими температурными показателями, где температура окружающей среды понижается местами до минус 50 °С, именно в этих районах необходимо применять систему электроснабжения военной автомобильной техники с совершенствованными эксплуатационными свойствами.

Эксплуатационные свойства системы электроснабжения — это объективные особенности или признаки качества, которые характеризуют, в какой мере система соответствует требованиям эксплуатации. Совокупность эксплуатационных свойств можно разделить на общие, присущие всем видам электрооборудования, и специальные, имеющие значение для конкретных групп электрооборудования. К общим свойствам относятся надежность и технико-экономические свойства, а к специальным — технологические, энергетические, эргономические и другие свойства [1].

Реализация предлагаемой методики предполагает два этапа, которые являются равнозначными. На первом этапе обеспечивается совершенствование энергетических свойств системы

электроснабжения. Второй этап предусматривает выполнение процесса, направленного на повышение надежности. Алгоритм методики совершенствования эксплуатационных свойств системы электроснабжения военной автомобильной техники, применяемой в условиях Крайнего Севера, представлен на рис. 1.

Одним из комплексных показателей такого эксплуатационного свойства системы электроснабжения, как надежность, является коэффициент готовности, который характеризует вероятность того, что в данный момент времени система находится в работоспособном состоянии. Стационарное значение коэффициента готовности K_r определяется как:

$$K_r = \frac{t_o}{t_o + t_{о6}}, \quad (1)$$

где t_o — средняя наработка изделия между отказами, ч;

$t_{о6}$ — среднее время, необходимое для обеспечения работоспособного состояния, ч.

Выражение (1) дает полный ответ на вопрос о том, как повысить значение комплексного показателя надежности системы электроснабжения. Коэффициент готовности будет стремиться к единице при снижении знаменателя, а именно его составной части, которой является среднее время, необходимое для обеспечения работоспособного состояния. При неработающем двигателе наиболее рационально это время будет расходоваться для поддержания работоспособного состояния источника электропитания, так как только с помощью аккумуляторной батареи (АБ) можно дать импульс остальным устройствам системы электрооборудования для их последующего использования по назначению.

ЭДС аккумуляторной батареи с понижением температуры электролита изменяется незначительно. В то же время вязкость электролита, а следовательно, и его сопротивление возрастают и, как следствие, увеличивается падение напряжения на внутреннем сопротивлении аккумуляторной батареи. Вязкость электролита увеличивает сопротивление прохождению электрического тока, затрудняет перемешивание, необходимое для проникновения свежего электролита в поры активной массы электродов. Внутреннее сопротивление аккумуляторной батареи

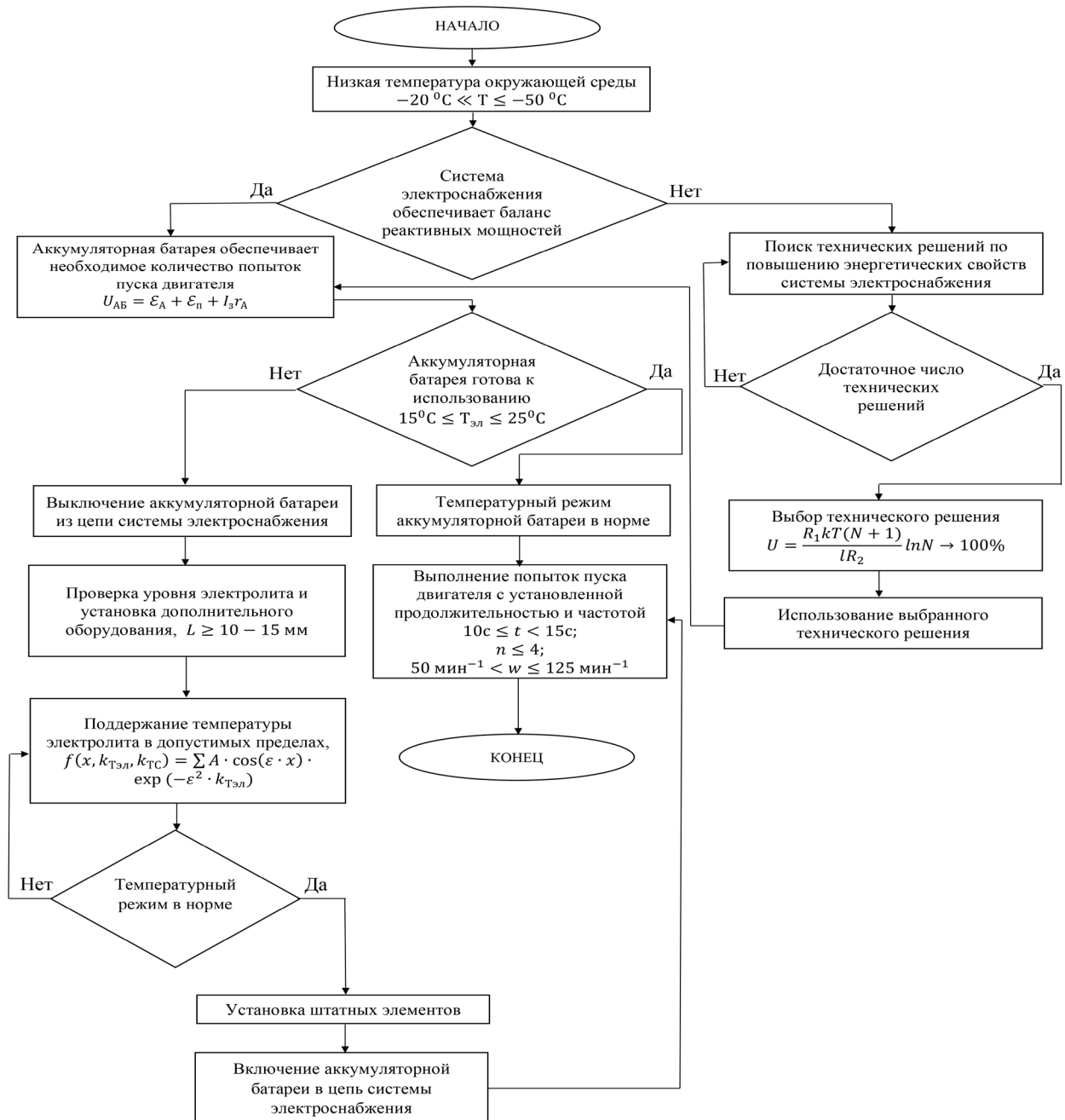


Рис. 1. Алгоритм методики совершенствования эксплуатационных свойств системы электропитания военной автомобильной техники, применяемой в условиях Крайнего Севера

непостоянно, изменяется с изменением температуры электролита. При низких температурах внутреннее сопротивление возрастает. Увеличение внутреннего сопротивления аккумуляторной батареи при низких температурах существенно ухудшает условия пуска двигателя [2].

Повышение коэффициента готовности системы электропитания, повышение количества

ва гарантированных попыток пуска двигателя внутреннего сгорания с установленной продолжительностью в тяжелых климатических условиях Крайнего Севера возможно за счет поддержания температурного режима электролита аккумуляторной батареи.

Взаимосвязь параметров тепловой подготовки электролита аккумуляторной батареи и

показателя готовности к пуску двигателя военной автомобильной техники в условиях низких температур можно представить выражением:

$$G_r = f(\tau_{\text{тп}}, T_{\text{эл}}),$$

где $\tau_{\text{тп}}$ — время температурного подогрева электролита, с;

$T_{\text{эл}}$ — температура электролита, °С.

Рассмотрим мероприятия, последовательная реализация которых позволит повысить значение коэффициента готовности системы электроснабжения и обеспечит необходимое количество попыток пуска силовой установки при длительном нахождении военной техники при неработающем двигателе с низкой температурой окружающего воздуха.

Смоделируем повседневную ситуацию, для чего предположим, что после выполнения определенного задания и отсутствия необходимости дальнейшей эксплуатации военную автомобильную технику устанавливают на стоянку закрытого или открытого типа. Размещать технику необходимо исключительно на ровной, горизонтальной поверхности для того, чтобы аккумуляторная батарея автомобиля находилась в горизонтальном положении и исключалась возможность ее наклона. Выполнять данную операцию следует для того, чтобы электролит был размещен по внутренней поверхности аккумуляторной батареи равномерно.

Математически горизонтальную плоскость можно описать при помощи уравнения, учитывающего положение и ориентацию плоскости, а следовательно, и размещенной на ней техники в трехмерном пространстве:

$$ax + by + cz + d = 0,$$

где a , b и c — коэффициенты, представляющие вектор нормали плоскости;

d — расстояние от начала координат по вектору нормали.

Затем останавливают двигатель, уточняют продолжительность времени нахождения военной автомобильной техники на стоянке. Кроме этого, уточняют прогноз температуры окружающей среды на период пребывания техники на стоянке и, в случае возникновения условий для продолжительного времени ее нахождения при

низкой температуре окружающей среды, в обязательном порядке обесточивают всю бортовую сеть. С этой целью разрывают электрическую цепь системы электрооборудования автомобиля, для чего отключают аккумуляторную батарею при помощи выключателя массы.

Следующим действием является демонтаж пробки заливной горловины третьего аккумулятора аккумуляторной батареи. Для наглядности выполняемых мероприятий используем рис. 2, на котором схематично отобразим и рассмотрим устройство, с помощью которого выясним процесс совершенствования эксплуатационных свойств системы электроснабжения военной автомобильной техники.

Затем проверяют уровень электролита в третьем аккумуляторе, который, при необходимости, корректируют, доводя до нормы, делая его выше 10–15 мм от поверхности пластин аккумуляторной батареи 2. Вместо выкрученной пробки заливной горловины третьего аккумулятора аккумуляторной батареи вкручивают термореле 4, корпус которого выполнен из кислотостойкого материала и соприкасается с поверхностью электролита, а контакты замыкаются при достижении минимально допустимой температуры электролита аккумуляторной батареи. Термореле конструктивно соединено с одной стороны с конденсатором 5. Заряд конденсатора 5 осуществляется через выпрямитель 7,

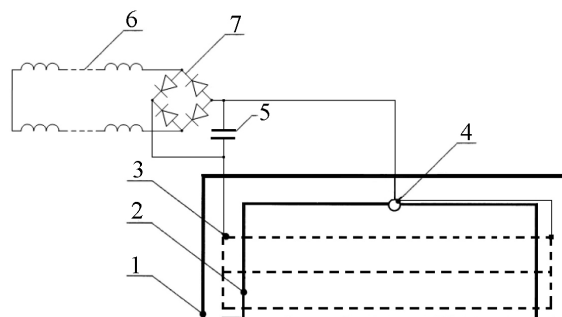


Рис. 2. Схема устройства, использование которого позволит обеспечить совершенствование эксплуатационных свойств системы электроснабжения военной автомобильной техники: 1 — аккумуляторный отсек; 2 — аккумуляторная батарея; 3 — электронагревательный элемент; 4 — термореле, с корпусом из кислотостойкого материала; 5 — конденсатор; 6 — рекуперативный амортизатор на основе линейного электродвигателя с постоянными магнитами; 7 — выпрямитель

выполненный по мостовой схеме, от рекуперативного амортизатора на основе линейного электродвигателя с постоянными магнитами 6. При движении транспортного средства по неровностям дороги рекуперативный амортизатор будет вырабатывать переменный ток. Этот ток преобразуется в постоянный выпрямителем 7. В результате произойдет заряд конденсатора. С другой стороны термореле 4 соединено с электронагревательным элементом 3. Электронагревательный элемент выполнен в виде греющей пленки, которая состоит из карбоновых полос, соединенных медной шиной с использованием специальных контактов из серебряной пасты. Карбоновые нагревательные элементы с двух сторон заламинированы в специальный электротехнический полиэстер, который обеспечивает полную водонепроницаемость пленки и высокую защиту от электрического пробоя [3].

Электронагревательный элемент также соединен с конденсатором и размещен равномерно по периметру аккумуляторного отсека 1, который, в свою очередь, выполнен из теплоизоляционного материала. Включается в работу электронагревательный элемент при снижении температуры электролита и достижения минимально допустимого значения 19,5 °С посредством замыкания контактов термореле 4. Таким образом обеспечивается повышение температуры электролита аккумуляторной батареи и, в случае достижения максимально допустимого значения 23,5 °С температуры электролита, электронагревательный элемент перестает функционировать посредством размыкания контактов термореле и прекращения подачи энергии от конденсатора.

Формализовано, для нагревателя можно записать тепловой баланс как:

$$\delta Q_1 = \delta Q_2 + \delta Q_3,$$

где δQ_1 — тепло, выделяемое нагревателем при заданном токе и времени;

δQ_2 — тепло, идущее на нагрев нагревателя;

δQ_3 — тепло рассеиваемое.

Используя закон Джоуля — Ленца, запишем:

$$I^2 R \tau = c_{p1} m_1 (T_k - T_0) + \alpha S_1 (T - T_0) \tau, \quad (2)$$

где I — ток, идущий через нагреватель, А;

R — сопротивление нагревателя, Ом;

τ — время, с;

c_{p1} — удельная теплоемкость нагревателя, Дж/К;

m_1 — масса нагревателя, кг;

T_k и T_0 — температуры в момент времени 0 и τ , К;

α — коэффициент теплоотдачи;

S_1 — площадь сечения аккумулятора, м²;

T — переменная температура в момент времени τ , К.

В условиях компактной сборки аккумуляторного отсека тепло, рассеиваемое аккумулятором, можно не учитывать. Тогда:

$$\delta Q_3 = \delta Q_4,$$

где Q_4 — тепло, идущее на нагрев аккумулятора. Справедлива будет разность:

$$\delta Q_1 - \delta Q_2 = \delta Q_4.$$

Используя выражение (2) получим:

$$I^2 R \tau - c_{p1} m_1 (T_k - T_0) = \alpha S_1 (T - T_0) \tau, \quad (3)$$

Из выражения (3) можно получить зависимости конечной температуры аккумулятора от параметров нагрева [4–5].

Температуру электролита в расчетной точке можно получить, используя выражение для вычисления избытка температуры в электролите:

$$\vartheta(X, K_{T_{\text{эл}}}, K_{\text{тс}}) = \sum A \cdot \cos(\varepsilon \cdot X) \cdot \exp(-\varepsilon^2 \cdot K_{T_{\text{эл}}}),$$

где ϑ — избыток температуры, °С;

X — координата исследуемой точки нагрева;

$K_{T_{\text{эл}}}$ — уточняющий коэффициент влияния температуры электролита АБ на готовность к пуску двигателя, %;

$K_{\text{тс}}$ — коэффициент эквивалентной толщины слоя электролита;

A — константа функции;

ε — коэффициент взаимосвязи координаты исследуемой точки нагрева и эквивалентного времени подготовки.

Процесс поддержания температурного режима электролита аккумуляторной батареи цикличен. При понижении температуры работа

устройства, изображенного на рис. 2, повторяется, тем самым обеспечивается поддержание температурного режима источника питания при неработающем двигателе военной автомобильной техники, эксплуатируемой в тяжелых климатических условиях Крайнего Севера, и повышается коэффициент готовности системы электрообеспечения.

Завершающим этапом обеспечения совершенствования эксплуатационных свойств системы электрообеспечения военной автомобильной техники посредством повышения коэффициента готовности является выполнение гарантированных попыток пуска двигателя. Количество гарантированных попыток должно быть не менее четырех, частота вращения коленчатого вала дизеля должна находиться в диапазоне от 50 мин⁻¹ до 125 мин⁻¹. При возникновении необходимости использовать военную технику выкручивают термореле и на его место устанавливают штатную пробку заливной горловины третьего аккумулятора аккумуляторной батареи. Включают в бортовую сеть аккумуляторную батарею и выполняют необходимое количество попыток пуска двигателя автомобиля с установленной продолжительностью.

Таким образом, выполнение перечисленных операций предлагаемой методики обеспечивает повышение количества гарантированных попыток пуска двигателя внутреннего сгорания с установленной продолжительностью за счет совершенствования такого эксплуатационного свойства системы электрообеспечения, как надежность.

Наиболее важным энергетическим свойством системы электрообеспечения является обеспечение баланса генерируемой и потребляемой мощностей. Баланс активных мощностей определяет главным образом частоту в системе электрообеспечения, а баланс реактивных — напряжение в узлах. Этот баланс должен обеспечить выполнение необходимого количества попыток пуска двигателя военной техники с установленной продолжительностью [6].

Независимо от температуры окружающей среды эксплуатации военной автомобильной техники снижение степени заряженности аккумулятора и увеличение ее внутреннего сопротивления неизбежно приведут к снижению средней частоты вращения коленчатого вала. Эти параметры связаны и зависят друг

от друга. Причиной снижения средней частоты прокручивания механизмов двигателя в стартовом режиме является тот факт, что внутреннее сопротивление аккумулятора непостоянно. Оно зависит как от степени заряженности, так и от изменения температурных показателей. В свою очередь заряженность аккумуляторной батареи также зависит от внутреннего сопротивления, которое оказывает влияние на состояние активной массы электродов аккумуляторной батареи [7–8].

Напряжение аккумуляторной батареи при ее заряде можно определить, используя следующую зависимость:

$$U_{AB} = \mathcal{E}_A + \mathcal{E}_n + I_3 r_A,$$

где $\mathcal{E}_n$ — ЭДС поляризации, В;

$\mathcal{E}_A$ — ЭДС аккумулятора, В;

I_3 — сила зарядного тока, А;

r_A — внутреннее сопротивление аккумулятора, Ом.

Со временем, особенно при интенсивной эксплуатации военной автомобильной техники на незначительные расстояния при низких температурах, активная масса электродов теряется, изменяется их структура и уменьшается рабочая поверхность. В результате внутреннее сопротивление аккумулятора заметно увеличивается, а заряженность, как было установлено, уменьшается. С понижением температуры вязкость электролита возрастает. Сульфат свинца, который неизбежно образуется в результате разряда аккумуляторной батареи, практически является изолятором, и, как следствие, сопротивление электродов и электролита увеличивается. Все перечисленное и является причиной снижения заряженности аккумуляторной батареи и ухудшения условий пуска двигателя при низких температурах [9].

Если аккумуляторная батарея заряжена не на сто процентов, то минимальная температура, при которой возможен пуск, становится, естественно, еще выше. Из этого и следует вывод о необходимости повысить требования к обеспечению увеличения степени заряженности аккумулятора при эксплуатации военной автомобильной техники в условиях Крайнего Севера с низкими температурами окружающей среды.

Для обеспечения гарантированного пуска двигателя необходимо создать условия, при которых аккумуляторная батарея постоянно была бы практически полностью заряжена, а температура электролита соответствовала бы допустимой. Регулярное нахождение аккумуляторной батареи в состоянии полного заряда в значительной степени положительно влияет на продолжительность ее срока службы.

Анализ конструкции и способов использования системы электроснабжения позволяет утверждать, что существующие методы заряда аккумуляторных батарей в период непосредственной эксплуатации военной техники не позволяют решить задачу поддержания ее в полностью заряженном состоянии, необходимым для обеспечения гарантированного пуска двигателя при эксплуатации в условиях низких температур. Причиной этого являются: игнорирование температурной зависимости ЭДС полностью заряженного аккумулятора и значительная погрешность в выборе напряжения, при котором производят заряд батарей. Становится очевидной необходимость использования в условиях низких температур окружающей среды специализированной системы электроснабжения с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

Недостатком эксплуатируемых в настоящее время систем электроснабжения военной автомобильной техники является использование в их составе генераторных установок с регуляторами напряжения, в которых источником опорного напряжения являются параметрические стабилизаторы. Эксплуатация таких регуляторов напряжения в обязательном порядке приводит к чувствительной температурной погрешности регулирования. Доказательство данного утверждения заключается в следующем: действительно, разность напряжений между эмиттерами транзисторов, включенных по схеме, показанной на рис. 3, определяется выражением [10]:

$$\Delta U = \frac{kT}{e} \ln N,$$

где k — постоянная Больцмана, Дж/К;
 T — абсолютная температура, К;
 e — заряд электрона, Кл;

N — отношение токов коллекторов транзисторов, задаваемое выбором сопротивлений, включенных в цепи коллекторов.

Значение этого напряжения может быть определено с использованием другого математического выражения:

$$\Delta U = I_2 R_3.$$

Сопоставив оба выражения, получим:

$$I_2 = \frac{kT}{eR_3} \ln N.$$

Тогда ток через сопротивление R_4 можно найти, применив следующую зависимость:

$$I_4 = \frac{kT(N+1)}{eR_3} \ln N.$$

Напряжение на этом сопротивлении будет определяться как отношение:

$$U_4 = \frac{R_4 kT(N+1)}{eR_3} \ln N.$$

Если напряжение U_4 сложить с напряжением между базой и эмиттером транзистора, то получим напряжение на базах транзисторов. Установив в узле «а» напряжение, численно равное ширине запрещенной зоны полупроводника, выходное опорное напряжение источника становится фактически не зависящим от температуры.

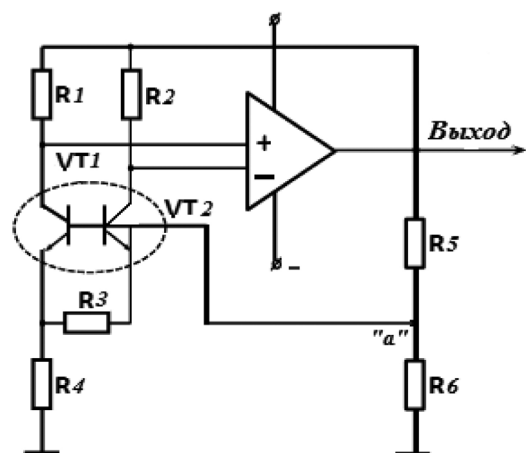


Рис. 3. Стабилизатор с «шириной запрещенной зоны полупроводника»

В основе работы описанной схемы находится разность напряжений между прямосмещенными p - n -переходами. Указанная разность чрезвычайно незначительна и составляет всего ~ 20 мВ. По этой причине работа рассмотренной схемы возможна при наличии операционного усилителя, в качестве которого предлагается модульный многокаскадный усилитель, обладающий достаточно высоким коэффициентом усиления.

В отдельных случаях полная компенсация температурной зависимости не отвечает требованиям, предъявляемым к источнику со стороны потребителей. Именно это относится к процессу заряда аккумуляторной батареи, ЭДС которой изменяется в зависимости от температуры подкапотного пространства. Из этого следует, что выходное напряжение стабилизатора должно зависеть от температуры. Эту зависимость необходимо установить такой же, как и температурная зависимость ЭДС батареи [11].

Регулировка температурного коэффициента напряжения возможна путем варьирования двух переменных: N или R_4 . Отношение токов коллекторов транзисторов N чаще всего выбирают порядка десяти и поддерживают неизменным на заданном уровне с помощью операционного усилителя. Следовательно, регулировку температурного коэффициента напряжения целесообразно осуществлять путем изменения величин резисторов R_3 или R_4 .

Эффект компенсации отрицательного температурного коэффициента напряжения между базой и эмиттером биполярного транзистора достигается за счет пониженного (по сравнению со схемой с нулевым температурным коэффициентом напряжения) потенциала точки соединения входов дифференциального усилителя на транзисторах.

Напряжение на сопротивлении R_4 линейно зависит от температуры и может использоваться при построении схем в качестве датчика температуры [12].

Делается вывод о том, что совершенствование эксплуатационных свойств, а именно энергетических свойств системы электроснабжения возможно посредством применения в ее структуре технического решения в виде генераторной установки с импульсным регулированием напряжения. Это достигается использованием в схеме генераторной установки регулятора напряжения,

содержащего рассмотренный стабилизатор и операционный усилитель. Использование указанных элементов позволит повысить коэффициент полезного действия и точность регулирования напряжения заряда аккумуляторной батареи в установленных пределах.

Таким образом, предлагаемая методика совершенствования эксплуатационных свойств системы электроснабжения позволяет выполнить контроль и обеспечить готовность источника электроэнергии военной техники при неработающем двигателе, повысить энергетические свойства военной автомобильной техники.

Список источников

1. Малкин В.С. Теоретические основы технической эксплуатации: конспект лекций для студентов ВУЗов. Тольятти: ТГУ, 2004. 242 с.
2. Набоких В.А. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учебник для студентов учреждений среднего профессионального образования. М.: Издательский центр «Академия», 2013. 240 с.
3. Нечаев В.В., Воробьев Е.В., Тарасенко А.А. Методики технического диагностирования цилиндропоршневой группы дизелей холодной пусковой прокруткой коленчатого вала // Инженерный вестник Дона. 2018. № 3 (50). 23 с.
4. Нечаев В.В. Методика поиска и распознавания видов отказа автомобильной техники // Грузовик: транспортный комплекс, спецтехника. Вып. 7. М.: Инновационное машиностроение, 2020. С. 21–27.
5. Нечаев В.В., Нечаева В.А. Конструкция генераторной установки для современного образца военной автомобильной техники // Наука и военная безопасность. 2022. № 3 (30). С. 22–27.
6. Программа для расчета скорости движения двухзвенной гусеничной машины на плаву: свид. о госуд. рег. програм. для ЭВМ № 2023661584 Рос. Федерация. № 2023660233; заявл. 11.05.2023; опублик. 01.06.2023.
7. Нечаев В.В. Метод диагностирования автомобильной аккумуляторной батареи // Мир транспорта и технологических машин. 2023. № 1–1 (80). С. 12–18.
8. Нечаев В.В. Моделирование системы регламентированного технического обслуживания автомобильной техники // Строительные и до-

рожные машины. Вып. 12. М.: Инновационное машиностроение, 2019. С. 37–40.

9. Чижков Ю.П. Электрооборудование автомобилей и тракторов: учебник для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки «Транспортные машины и транспортно-технологические комплексы». М.: Машиностроение, 2007. 654 с.

10. Гармаш Ю.В. Улучшение эксплуатационных характеристик системы электроснабжения автомобиля // Новые информационные технологии в научных исследованиях: Материалы XVI Всероссийской научно-технической конференции студентов, молодых ученых и специалистов. Рязанский государственный радиотехнический университет. 2011. С. 266–267.

11. Аринин И.Н. Техническая эксплуатация автомобиля: учеб. пособие для вузов. Ростов: Феникс, 2015. 308 с.

12. Ютт В.Е. Электрооборудование автомобилей: учеб. для студентов Вузов. М: Горячая Линия–Телеком, 2009. 439 с.

References

1. Malkin V.S. Theoretical foundations of technical operation: lecture notes for university students. Tolyatti: TSU, 2004. 242 p.

2. Nabokikh V.A. Electrical equipment of cars and tractors: textbook for students of institutions of secondary vocational education. M.: Publishing center «Academy», 2013. 240 p.

3. Nechaev V.V., Vorobyov E.V., Tarasenko A.A. Methods of technical diagnostics of the cylinder piston group of diesel engines by cold cranking // Engineering Bulletin of the Don. 2018. № 3 (50). 23 p.

4. Nechaev V.V. Methods of searching and recognizing types of failure of automotive equip-

ment // Truck: transport complex, special equipment. Issue 7. Moscow: Innovative Mechanical Engineering, 2020. Pp. 21–27.

5. Nechaev V.V., Nechaeva V.A. Design of a generator set for a modern model of military automotive equipment // Science and military security. 2022. № 3 (30). Pp. 22–27.

6. Certificate of state registration of a computer program No. 2023661584 Russian Federation. A program for calculating the speed of a two-link tracked vehicle afloat : No. 2023660233 : application 05/11/2023 : published 06/01/2023.

7. Nechaev V.V. Method of diagnosing an automobile battery // The world of transport and technological machines. 2023. № 1–1 (80). Pp. 12–18.

8. Nechaev V.V. Modeling of the system of regulated maintenance of automotive equipment // Construction and road vehicles. Issue 12. Moscow: Innovative Mechanical Engineering, 2019. Pp. 37–40.

9. Chizhkov Yu.P. Electrical equipment of cars and tractors [Text]: textbook for students of higher educational institutions studying in the field of training «Transport vehicles and transport and technological complexes». Moscow: Mashinostroyeniye Publ., 2007. 654 p.

10. Garmash, Yu.V. Improvement of the operational characteristics of the car's power supply system // New information technologies in scientific research: Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Technical Conference of Students, Young Scientists and Specialists. Ryazan State Radio Engineering University. 2011. Pp. 266–267.

11. Arinin I.N. Technical operation of the car: A textbook for universities. Rostov: Feniks Publ., 2015. 308 p.

12. Yutt V.E. Electrical equipment of cars: a textbook for university students. Moscow: Hotline – Telecom, 2009. 439 p.