

*И.Б. Безденежных ст. преп., С.Н. Якимец, А.В. Некрасов, В.А. Мосьпан канд-ты техн. наук  
(Украина, Кременчуг, Кременчугский национальный университет имени М. Остроградского)*

## **ВЫБОР КРИТЕРИЯ ТЕРМООПТИМИЗАЦИИ ДЛЯ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

**Введение.** В процессе проектирования автомобильной системы электроснабжения (СЭ) разработчик решает две задачи, связанные с поддержкой заданного качества напряжения бортсети и выполнения противоречивых требований по обеспечению условий зарядки аккумуляторных батарей (АБ).

Известно, что качество решения первой задачи определяет надежность и сроки службы всего электрооборудования (ЭО) транспортного средства (ТС). Сложность решения второй задачи обусловлена тем, что АБ в системе СЭ используется не только как своеобразный фильтр для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения генераторной установки, но и как резервный источник питания, а также источник питания в системе пуска (СП).

Существующая проблема постоянного недозаряда АБ в процессе эксплуатации ТС приводит к снижению характеристик электростартерного пуска, ее сульфатации и снижению сроков службы.

Используемый на практике способ улучшения пусковых характеристик за счет выбора АБ большей емкости дает кратковременный эффект, т.к. в этом случае недозаряд усиливается в еще большей степени.

Улучшение согласования уровня напряжения бортовой сети с зарядными характеристиками АБ, полученное в [1], также не обеспечивает полного решения проблемы. В этих условиях АБ остается самым слабым звеном в составе СЭ по надежности и срокам эксплуатации.

Очевидно, что процесс модернизации должен базироваться на системном подходе к проектированию СЭ в целом, а не только на усовершенствованиях отдельных компонентов, таких как генератор, АБ или регулятор напряжения (РН).

Это означает, что повышение качества зарядки невозможно без мер противодействия процессам сульфатации и применения температурной коррекции зарядного напряжения за счет общей термооптимизации СЭ.

**Цель работы.** Обоснование и выбор критерия термооптимизации СЭ транспортного средства с использованием расширенной адаптивной модели управления.

**Материал и результаты исследований.** Термостабилизация зарядных режимов в СЭ является важным фактором продления срока службы АКБ. Автоматическое изменение зарядного напряжения в зависимости от температуры электролита предотвращает его выкипание в летний период, а в зимний предотвращает сульфатацию электродов.

Например, известен способ формирования напряжения для зарядки АКБ от автомобильных генераторов [2], который предусматривает нелинейный закон изменения напряжения. В пределах допустимого диапазона 13,2-15,6 В, бортовое напряжение изменяется с оптимальным значением коэффициента температурной коррекции. За его границами напряжение стабилизируется на нижнем и верхнем пределе соответственно при экстремально высоких или низких температурах эксплуатации. Иначе говоря, речь идет об эксплуатации ТС в пределах диапазона температур от  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $+400^{\circ}\text{C}$ , что соответствует умеренным климатическим условиям эксплуатации.

За пределами указанного диапазона для СЭ принято компромиссное решение, при котором дальнейшая коррекция напряжения в большую сторону не имеет смысла, поскольку процесс зарядки АКБ фактически прекращается уже при  $-100^{\circ}\text{C}$ , а надежность работы ЭО при этом снижается.

В реальных условиях процесс поддержания энергобаланса ТС фактически неуправляем и усугубляется тем, что под зимним периодом эксплуатации принято считать условия, при которых температура окружающей среды устанавливается ниже плюс 50С. Следовательно, такое решение нельзя считать оптимальным, а "остывшая" АБ становится главной причиной отсутствия нужного электроснабжения для стартера. При этом ухудшение разрядных характеристик – результат не только снижения тока отдачи, но и резкого ухудшения условий зарядки АБ, что хорошо видно из представленной фирмой "iQ POWER Technology" (Германия) [3] сравнительной диаграммы для АБ, изготовленной по стандартной технологии (рис.1).



**Рис. 1. Влияние температуры электролита на разрядно-зарядный потенциал стартерной АБ**

Отмеченная взаимозависимость показывает, что одной температурной коррекцией бортового напряжения уже недостаточно и требуется разработка в целом термооптимизированной СЭ.

Это означает, что в зимних условиях эксплуатации поддержка благоприятного теплового режима АБ становится приоритетной задачей для обеспечения условий зарядки и возможности осуществления холодного пуска.

Известный способ подогрева осуществляется установкой внутри АБ между дном ее моноблока и опорных призм электронагревателей, выполненных в виде графитизированных волокон во фторопластовой изоляции с подключением к электросети автомобиля через термовыключатель типа 38.3761, представленный в [4] как способ автоматического регулирования температуры электролита (САРТА).

Эффективность такого способа подогрева была подтверждена положительными результатами испытаний автомобилей КРАЗ в условиях эксплуатации при температурах – 400С ÷ – 450С [5]. Однако этот способ не получил широкого распространения из-за повышенной стоимости АБ такого типа, трудоемкости монтажа и обслуживания, низкого коэффициента использования, а также проблем, связанных с надежностью в процессе эксплуатации. С учетом высокой энергоемкости нагревателей привязка уровня напряжения к процессам зарядки ограничивается простым дискретным переходом на "зимний режим" работы РН.

Пределы регулирования температурного диапазона +5÷150С заложены эмпирически без обоснования энергобаланса.

Фактически предложение использовать электрообогревные АБ и терморегулятор можно отнести к дополнительным конструктивно- и эксплуатационно-независимым средствам облегчения пуска.

Благодаря развитию новых электрообогревных технологий для обеспечения управляемого теплового режима АБ не требуется решения сложных конструкторско-технологических задач.

Предложение по использованию обогревного контейнера, отвечающего требованиям безопасной эксплуатации, с применением взрывозащищенных нагревательных элементов производства фирмы Tranberg (Норвегия) защищено патентом Украины [6].

Конструкция нагревателя легко вписывается в существующую установку АБ на автомобиле. Типовой ряд изделий, предлагаемый фирмой-производителем, позволяет подобрать необходимый по мощности нагреватель для АБ различных емкостей.

По результатам исследований условий направленной теплопередачи [7] был предложен метод расчета необходимой мощности обогрева АБ для последующего выбора необходимого нагревателя.

В предлагаемом новом подходе применение подогрева АБ рассматривается не как вспомогательное средство для облегчения электростартерного пуска двигателя, а как возможность оптимизации теплового режима АБ для поддержания режима зарядки и надежного пуска.

В этом случае функции СЭ расширяются за счет обеспечения поддержки работоспособного технического состояния АБ как своего важнейшего элемента. Это означает, что для полной адаптации к условиям эксплуатации ТС система управления СЭ должна включать дополнительную функцию активной коррекции теплового режима АБ.

Таким образом, в процессе проектирования СЭ, кроме известных оптимизационных задач по обеспечению качественного электропитания систем ЭО в условиях изменения оборотов и нагрузки [1] и повышению степени заряженности АБ за счет формирования адаптивного уровня бортового напряжения [8], появляется новая задача. Эта задача связана с необходимостью коррекции теплового режима в случае невозможности согласования бортового напряжения с зарядными характеристиками АБ. При этом выбор оптимального теплового режима коррелируется с условиями обеспечения процесса зарядки и возможности электростартерного пуска при сохранении энергобаланса в любых неблагоприятных условиях эксплуатации.

Как показано в [9], при системном подходе, кроме анализа режимов работы СЭ, важна оценка влияния выбранной емкости АБ на надежность запуска двигателя. Очевидно, что при выполнении нормативных требований к системе пуска гарантированное обеспечение электростартерного пуска двигателя характеризует эффективность СЭ в целом.

Учитывая, что электростартерный пуск является наиболее тяжелым эксплуатационным режимом АБ, за критерий оптимизации может быть принят температурный режим, при котором АБ в состоянии обеспечить нужное электроснабжение для стартера.

В этом случае потребуется информационная поддержка для оценки технического состояния АБ по текущей температуре электролита, остаточной емкости и максимальному возможному разрядному току.

Возможным решением такой задачи можно считать разработку адаптивного РН [10], в котором используется контроль АБ под нагрузкой стартерным разрядом. Достоинство предложенного способа контроля в проведении диагностических мероприятий в составе ТС без вывода АБ из работы системы ЭО и без использования вспомогательных средств, в отличие от способа, ранее предлагавшегося в [11].

Различие диагностических методов еще и в том, что интегральный показатель стартерного разряда для оценки снижения емкости АБ дополнен нахождением максимального тока стартерного разряда. Таким образом, введение контроля электростартерного разряда АБ и его интегрально-дифференциальный анализ дает представление не только о техническом состоянии АБ, но и необходимом тяговом крутящем моменте для запуска двигателя.

Кроме объективной оценки технического состояния, эта мера позволяет прогнозировать состояние АБ, при котором возможен пуск в заданных условиях эксплуатации.

Это означает, что информации о температуре электролита и степени заряженности АБ достаточно для оценки ее способности к обеспечению пускового крутящего момента.

В результате пересчета экспериментально полученных разрядных вольтамперных характеристик АБ при разных температурах электролита для минимально допустимого напряжения при пуске двигателя выводится зависимость  $t_{0\text{эл}} = f(I_{\text{ст. пуск}})$  для заданной степени разряженности  $S_{\text{ост}}$ . Для ее различных значений можно получить семейство зависимостей указанного вида, которое используется для проведения расчетных операций с применением программно-технических средств.

Аналитическая зависимость для минимальной температуры электролита АБ с известной остаточной емкостью, обеспечивающей надежный запуск двигателя  $t_{0\text{эл. опт}} = f(S_{\text{ост}}, I_{\text{ст. макс}})$ , предложена в [12].

График этой функции, построенный при помощи Microsoft Excel, показан на рис. 2 и позволяет выполнять необходимые расчеты без дискретной формы представления информации.

Очевидно, что в случае невозможности осуществления электростартерного пуска с параметрами, полученными при предыдущей попытке пуска, тепловой режим АБ должен быть откорректирован с использованием внешнего электроподогрева. С учетом высокой энергоемкости электроподогрева при его применении напряжение в бортовой сети, по рекомендациям [4, 5], не должно опускаться ниже уровня, соответствующего форсированному режиму зарядки.

В этой связи важным вопросом становится оценка оптимального диапазона теплового режима АБ.

Понятно, что энергетически затратный метод используемый в СА-РТА неприемлем, поскольку электронагрев действует в диапазоне 5-120С, что фактически исключает зимний вариант эксплуатации для ТС.

В целях энергосбережения порог включения электронагрева может определяться по снижению скорости или отсутствию зарядки.

Условием прекращения нагрева становится оценка возможности повторного пуска по текущему состоянию заряженности АБ и достижению минимально необходимой температуры электролита. Этим обеспечивается минимизация энергозатрат при сохранении работоспособности систем пуска и СЭ.

Процесс коррекции теплового режима АБ осуществляется в рамках контроля температуры электролита и отклонений степени заряженности АКБ с заданным шагом дискретизации и последующим пересчетом нового значения оптимальной температуры  $t_{0\text{эл. опт}}^0$ .

При повторных запусках двигателя, а значит дополнительных потерях емкости АБ пересчет приведет к повышению  $t_{0\text{эл. опт}}$  и необходимости продолжения процесса нагрева. При росте зарядной емкости расчетное значение  $t_{0\text{эл. опт}}$  будет снижаться, тем самым сокращая длительность нагрева.

Плавающий уровень  $t_{0\text{эл. опт}}^0$  фактически означает адаптацию теплового режима к реальным условиям эксплуатации.

Для снижения времени действия высокого бортового напряжения СЭ в силу его отрицательного действия на ЭО верхний предел нагрева можно ограничить уровнем 50С, определяющим порог начала зимней эксплуатации. В этом случае длительность нагрева существенно сокращается, что экспериментально подтверждено при испытаниях САРТА [5]. Дальнейшее повышение  $t_{0\text{эл. опт}}$  электролита обеспечивается

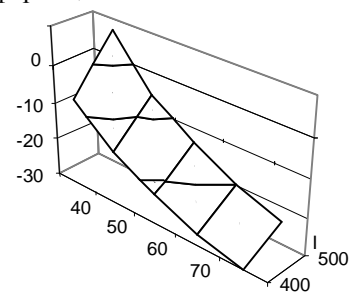


Рис. 2 График зависимости вида  $t_{0\text{эл}} = f(I_{\text{ст.пуск}})$  для заданной степени разрядки  $S_{\text{ост}}$

за счет термохимической составляющей зарядно-разрядных процессов в АКБ, и согласно тем же экспериментальным исследованиям составляет от 1<sup>0</sup>С до 1,5<sup>0</sup>С в час эксплуатации ТС.

Благодаря этому диапазон термокоррекции напряжения бортсети автоматически сужается в соответствии с достигнутым тепловым режимом АБ.

Это означает, что введение дополнительной функции коррекции теплового режима АБ в СЭ обеспечит ее полную адаптацию к условиям эксплуатации ТС.

Использование метода адаптивного изменения уровня бортового напряжения в СЭ [8] позволяет сформировать управляемый зарядный процесс не только в зависимости от степени зарядки АБ и пассивной термокомпенсации, но и с учетом корректировки теплового режима АБ в зависимости от протекания зарядно-разрядных процессов.

Регулятор напряжения [10] на основе адаптивного способа поддержки уровня напряжения имеет гибкую структуру, в которой формируются все необходимые диагностические данные о техсостоянии АКБ для оценки необходимого режима термооптимизации СЭ в части применения обычной термокомпенсации или управляемого подогрева.

Таким образом СЭ кроме основной задачи обеспечения необходимого качества напряжения в бортсети впервые решает задачу управляемого поддержания положительного энергобаланса, выполнение которого важно для гарантированного пуска двигателя ТС.

#### **Выводы.**

1. Дано обоснование возможности введения функции управления тепловым режимом для адаптивной СЭ.
2. Предложен критерий оценки режима термооптимизации СЭ и выбор пределов регулирования в зависимости от возможности стартерного разряда АКБ для гарантированного пуска двигателя.
3. Разработан алгоритм работы СЭ с учетом контроля зарядного и теплового режима АКБ для идентификации ее технического состояния в составе транспортного средства.

#### **Список литературы**

1. Патент на корисну модель UA18024 U, H02J7/04. Пристрій регулювання напруги автомобільного генератора / Безденежних І.Б., Фомовська О.В.; опубл. 16.10.06. Бюл. № 10, 2006.
2. Патент RU 2006130, кл. H02J7/00, – Регулятор напряжения / Адамчук А.В. Опубл. 15.01.1994.
3. EUROFORUM, Elektroniksysteme im Automobil Мюнхен, 14. – 15. февраля 2002, iQ Power Technology
4. Чишков, Ю.П. Электрооборудование автомобилей [Текст]/ Ю.П. Чишков, А.В. Акимов – М.: За рулем, 1999. – 384 с.
5. Безденежных, И.Б. Выбор элементов системы электростартерного пуска холодного двигателя с применением устройств терморегулирования электролита аккумуляторных батарей [Текст]/ И.Б. Безденежных Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип.4/2003(21). – С.40-42.
6. Декларацийний патент на корисну модель UA14347, H01M10/42. Спосіб полегшення “холодного пуску” автомобільного двигуна за рахунок підігріву акумуляторних батарей / Безденежних І.Б., Безденежних Л.А.; опубл. 15.05.06. Бюл. № 5.
7. Безденежных, И.Б. Исследование возможности и условий применения наружных электронагревателей для подогрева аккумуляторных батарей [Текст]/ И.Б. Безденежных, Е.В. Фомовская / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 1/2006(37). – С.37-40.
8. Патент на корисну модель UA51513 U, H02J7/04. Спосіб підтримки напруги в бортовій мережі транспортного засобу / Безденежних І.Б., опубл. 26.07.10. Бюл. № 14, 2010.
9. Безденежных, И.Б. Исследование возможности применения обобщенных параметров вольтамперной характеристики аккумуляторных батарей для оценки пусковой мощности стартеров [Текст] / И.Б. Безденежных, О.В. Луговая / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 6/2005(35). – С.88-91.
10. Патент на корисну модель UA31853 U, H02J7/04. Пристрій регулювання напруги автомобільного генератора / Безденежних І.Б.; опубл. 25.04.08. Бюл. № 8, 2008.
11. Ютт, В.Е. Диагностика электрооборудования автомобилей [Текст]: Обзор /НИИНавтопром; В.Е. Ютт, О.С. Гольдштейн.– М.: НИИНавтопром, 1971. – 56 с.
12. Безденежных, И.Б. Разработка адаптивной модели управления для устройств терморегулирования электролита аккумуляторных батарей [Текст] / И.Б. Безденежных / Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Вип. 1/2006(37). – С. 37-40.

*Рекомендовано до друку: проф. Андрусенко О.М.*