

*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°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°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

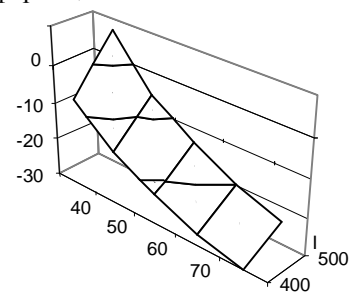


Рис. 2 График зависимости вида $t_{0\text{эл}} = f(I_{\text{ст.пуск}})$ для заданной степени разрядки $S_{\text{ост}}$

за счет термохимической составляющей зарядно-разрядных процессов в АКБ, и согласно тем же экспериментальным исследованиям составляет от 1⁰С до 1,5⁰С 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.