

УДК 623.438.324

*В.Ф. Климов, канд. техн. наук, С.А. Волосников, асп., А.И. Бобровский, инж.,  
Г.А. Кузнецов, инж.*

## ПРИМЕНЕНИЕ НЕТРАДИЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ТОКА В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ВГМ

### Введение

Пуск танкового двигателя является достаточно сложной и трудоемкой задачей и требует от механика-водителя приобретения необходимых навыков. Для осуществления надежного пуска требуется обеспечение подвода мощности к валу двигателя, которая должна составлять (20-25)кВт. Особенно затруднителен пуск двигателя в зимних условиях, при температуре окружающего воздуха ниже минус 25<sup>0</sup>С.

Пуск танкового двигателя возможен следующими способами:

- электростартером, с помощью аккумуляторных батарей (АКБ);
- воздушным пусковым устройством (сжатым воздухом);
- комбинированным (совместное использование АКБ и воздушного пускового устройства);
- пуск от внешних источников;
- пуск с буксира.

Преимущество использования каждого из способов зависит от многих факторов. Для пуска двигателя электростартерным способом необходима достаточная степень заряженности АКБ, которая должна составлять более 50% емкости в летний период эксплуатации и более 75% в зимний. Устанавливаемый стартер-генератор СГ-18 развивает мощность в стартерном режиме 21кВт. Однако невысокий КПД, который составляет 0,5-0,6, а также значительное время прокрутки двигателя при пуске определяют достаточно жесткие требования, предъявляемые к

мощности и энергоемкости источников питания. Пуск танкового двигателя воздушным пусковым устройством является эффективным при температуре масла двигателя не ниже плюс 50<sup>0</sup>С и наличия необходимого давления воздуха в системе воздухопуска в соответствии с температурой окружающей среды. Пуск от внешних источников возможно производить от однотипных машин, которые в своем составе имеют аналогичную или совместимую пускорегулирующую аппаратуру, электростартерным способом, а также воздушным пусковым устройством. Пуск танкового двигателя с буксира является менее предпочтительным и должен производиться только в случае невозможности пользования другими способами, так как в данном случае увеличивается износ цилиндропоршневой группы двигателя.

Применяемые на ВГМ стартерные свинцово-кислотные АКБ предназначены для питания потребителей электрической энергии при неработающем двигателе, обеспечения пуска двигателя, а также служат хорошим фильтром для бортовой электрической сети. Традиционное использование на танках четырех АКБ, в основном, определяется требованиями по обеспечению необходимой мощности и энергоемкости источников электрической энергии при пуске танкового двигателя. При этом, основные потребители электрической энергии включаются в работу при работающем двигателе, а следовательно, их питание происходит от стартер-генератора, работающего в генераторном режиме, и только в случае недостаточности его мощности необходимо подклю-

чение АКБ в бортовую систему питания потребителей.

### Постановка задачи

Пуск танкового двигателя требует значительно количества электроэнергии, а батареи, в зависимости от температуры электролита могут отдавать емкость в 2-4 раза меньше номинальной. Это происходит из-за увеличения вязкости электролита и снижении его диффузионной способности, в результате чего происходит повышение внутреннего сопротивления АКБ, что ведет к неизбежному снижению ее мощности и емкости. Таким образом, система электрического пуска двигателя со свинцово-кислотными стартерными АКБ не всегда обеспечивают надежный пуск двигателя в холодных условиях, при температуре окружающей среды ниже минус  $25^{\circ}\text{C}$ . Существует целый ряд технических средств, которые позволяют облегчить пуск танкового двигателя в зимних условиях. Среди них необходимо отметить следующие: включение масловпрыска перед пуском, для снижения сил трения цилиндрико-поршневой группы; автономный факельный подогрев, позволяющий прогревать воздушную смесь, поступающую в цилиндры двигателя; включение подогревателя перед осуществлением пуска для разогрева охлаждающей жидкости и масла; использование маловязкого масла М8В<sub>2</sub>С, которое позволяет осуществлять пуск без предварительного прогрева двигателя, при температурах окружающего воздуха до минус  $25^{\circ}\text{C}$ .

Одним из направлений совершенствования систем электрического пуска является улучшение характеристик АКБ, путем обеспечения необходимого теплового состояния, а также изыскание возможностей применения альтернативных источников энергии, которые по своим характеристикам должны превосходить традиционные источники электрической энергии.

В данной статье рассматриваются некоторые способы повышения эффективности работы системы

электрического пуска двигателя при низкой температуре окружающей среды за счет совместного использования аккумуляторных батарей и емкостных накопителей энергии.

Известны конструкции обогреваемых АКБ, внутри которых встроены электрические нагревательные элементы, способные осуществлять прогревание электролита с интенсивностью  $(1,5-2,5)^{\circ}\text{C}/\text{мин}$  [1]. Электрические нагревательные элементы расположены в каждом аккумуляторе, а суммарная мощность на батарею составляет порядка 1200Вт. Чтобы обеспечить работоспособность обогреваемых АКБ, необходимо применение специальной аппаратуры управления для осуществления контроля теплового состояния батареи и поддержания температуры электролита в заданном режиме. Обогреваемые АКБ имеют больший вес в сравнении с обычными АКБ, что ведет к возрастанию трудоемкости по их снятию с машины для проведения технического обслуживания, а также повышается их стоимость.

Известны также конструктивные мероприятия по разогреву АКБ путем пропускания через них переменного тока, выделяющего на их активном сопротивлении тепловую мощность [2]. В состав данного устройства входит источник переменного тока, трансформатор для согласования внутреннего сопротивления АКБ с внутренним сопротивлением источника и регулятор температуры электролита АКБ, который обеспечивает подключение источника тока к трансформатору, когда температура электролита опускается ниже заданной. В качестве датчика температуры электролита установлен терморезистор. Недостатком является то, что для разогрева электролита четырех АКБ со скоростью  $2,5^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ , суммарная затрачиваемая мощность достигает 11кВт. Таким образом, для обеспечения разогрева электролита АКБ требуется значительная мощность дополнительного источника тока. Следовательно, реализацию данных устройств наиболее целесообразно про-

изводить вне изделия, а значит их применение возможно обеспечивать в местах постоянной дислокации, то есть в парках хранения техники.

### Решение задачи

Другим эффективным направлением совершенствования системы электрического пуска двигателей является использование нетрадиционных для военно-гусеничных машин источников энергии – накопителей энергии. В данном случае подразумевается использование емкостных накопителей (ЕН) энергии, преимущество которых в сравнении с традиционными источниками энергии состоит в том, что они способны накапливать в себе энергию, заряжаясь от АКБ, достаточную для обеспечения пуска двигателя и разряжаться в стартерном режиме большим током. При этом их заряд происходит от АКБ зарядными токами, которые значительно меньше токов стартерного режима.

Суммарный момент сопротивления пускаемого двигателя, приведенный к валу стартера, можно разложить в виде суммы моментов:

$$M_{ДВС} = (\eta_{ПР} \cdot i_{ПР})^{-1} \cdot [M_{СР} + M_{К} + A \exp^{(-BW)} + M_{СП}] \quad (1)$$

где:  $\eta_{ПР}$  - КПД привода стартера;  $i_{ПР}$  - передаточное отношение привода;  $M_{СР}$  - среднее значение момента сопротивления двигателя электростартерному прокручиванию;  $M_{К}$  - момент сил компрессии;  $M_{СП}$  - момент сопротивления силовой передачи;  $A \exp^{(-BW)}$  - момент сопротивления при страгивании вала двигателя.

Для определения среднего значения момента сопротивления двигателя электростартерному прокручиванию  $M_{СР}$ , можно использовать следующую эмпирическую зависимость:

$$M_{СР} = (B + C \cdot w_{ДВ}) \cdot v^D \cdot V_{ДВ} \cdot F \quad (2)$$

где:  $B, C, D, F$  – эмпирические коэффициенты, которые зависят от числа и расположения цилиндров;

$v^D$  - кинематическая вязкость смазки;  $V_{ДВ}$  - объем двигателя;  $w_{ДВ}$  - частота вращения коленвала двигателя.

При осуществлении расчета пуска «холодного» двигателя, в уравнении (2) необходимо вводить температурные зависимости вязкости масла.

Момент сил компрессии можно определить по следующей формуле:

$$M_{К} = \sum_{i=1}^{i=K} (P_i - P_a) \cdot \left( \frac{\pi \cdot d^2}{4} \right) \cdot r \cdot \sin(\alpha + \beta) / \cos \beta \quad (3)$$

где:  $P_i$  - текущее давление в  $i$ -м цилиндре;  $P_a$  - давление воздуха в начале такта сжатия;  $d$  - диаметр цилиндра;  $r$  - радиус кривошипа;  $K$  - число цилиндров;  $\alpha$  - текущий угол поворота вала двигателя;  $\beta$  - фаза, соответствующая положению поршня в  $i$ -м цилиндре относительно поршня в первом.

В случае питания стартера от ЕН выполняется следующее условие:

$$U_{СТ} = U_H = U_0 - C^{-1} \cdot \int_0^t I_{СТ} \cdot dt \quad (4)$$

где:  $U_{СТ}$  - напряжение на стартере;  $U_H$  - напряжение накопителей;  $U_0$  - начальное значение напряжения накопителей при пуске;  $C$  – электрическая емкость накопителей;  $I_{СТ}$  - сила тока стартера.

Мощность сопротивления электростартерному прокручиванию двигателя определяем по предложенной формуле [3]:

$$P_0 = \frac{M_{ДВС} \cdot n_{П}}{974 \cdot \eta_{ПР}} \quad (5)$$

где:  $P_0$  - мощность сопротивления электростартерному прокручиванию двигателя;  $n_{П}$  – пусковая частота вращения вала двигателя.

Для определения тока стартера, соответствующего максимальной мощности, воспользуемся формулой:

$$I_{СТ} = \frac{2 \cdot 10^3 \cdot P_0}{(U_H - \Delta U_{Ц}) \cdot \eta_{ММ}} + \frac{I_{ХХ}}{2} \quad (6)$$

где:  $I_{СТ}$  – ток стартера, соответствующий максимальной мощности;  $\Delta U_{щ}$  – падение напряжения в щеточно-коллекторном узле;  $\eta_{ММ}$  – магнитно-механический КПД стартера;  $I_{ХХ}$  – ток холостого хода стартера.

Существуют различные варианты подключения ЕН в систему электрического пуска, которые выбираются, главным образом, исходя из характера и параметров процесса заряда накопителей от мощного источника тока, которым являются АКБ, или разряда на нагрузку, соизмеримую с сопротивлением стартерной цепи системы электрического пуска.

При осуществлении пуска двигателя от аккумуляторов напряжение на стартере определяется количеством подключаемых АКБ, а также их параметрами. При этом, пускорегулирующая аппаратура обеспечивает автоматическое переключение батарей на питание стартера напряжением +48В, а остальных потребителей на время пуска двигателя – напряжением +24В.

Наиболее приемлемым вариантом подключения АКБ совместно с ЕН является разделение их на две группы: группа АКБ и группа ЕН, которые подключены параллельно, с возможностью подключения каждой из групп на последовательное соединение с получением напряжения питания стартера +48В, для обеспечения работы стартерного режима и осуществления пуска двигателя. При этом, на время пуска двигателя, необходимо обеспечить питание остальных потребителей, напряжением +24В от АКБ. В данном случае, возможно производить пуск двигателя, как от АКБ, так и от ЕН, а также осуществлять переключения режимов пуска от АКБ к ЕН и наоборот с любыми интервалами времени. Обеспечение работы данного схемного решения и реализация на изделии предполагает разработку аппаратуры управления по осуществлению пуска двигателя.

Так как емкостные накопители в режиме максимального разряда способны отдавать достаточно большой ток, который может достигать 2500А, то при осуществлении пуска двигателя стартером целесообразно на начальной стадии произвести кратковременное подключение АКБ, а затем произвести подключение емкостных накопителей с одновременным отключением АКБ из электрической стартерной цепи. В случае, если пуск двигателя не состоялся, а ЕН разрядились, то необходимо вновь произвести подключение стартера к аккумуляторам, для продолжения протекания процесса электрического пуска двигателя. Также необходимо отметить, что включение АКБ для осуществления пуска двигателя перед включением накопителей, позволяет сохранить заряд накопителя во время протекания электромеханического процесса в системе «стартер-привод-двигатель». Благодаря этому, возможно обеспечить более полное использование энергии накопителя при пуске двигателя. Также сохраняется возможность осуществления пуска двигателя комбинированным способом, при совместном использовании системы электрического пуска и воздушного пускового устройства. Немаловажную роль в пользу накопителей играет и тот факт, что при незначительно меньших размерах, по сравнению с АКБ, они имеют значительно меньшую массу, которая составляет (25-27)кг, против массы аккумулятора 12СТ-85, которая составляет около 72кг. Это способствует значительному снижению массы, а также возможности компоновки в изделии без дополнительного увеличения объема, занимаемого аккумуляторным отсеком.

Необходимо также учитывать, что пуск холодного двигателя от ЕН при низких температурах окружающей среды, даже при использовании маловязкого масла М8В<sub>2</sub>С, не исключает использование подогревателя, так как необходимо получение соответствующей вязкости масла для обеспечения его впры-

ска в цилиндри двигателя, що веде до зниженню сил тертя циліндро-поршневої групи, і в кінцевому результаті сприяє підвищенню ресурсу його роботи. Пуск прогретого двигателя, а також наступні пуски в разі його зупинки цілком вигідно виробляти з використанням ЕН. Отже, накопичувачі, при роботі двигателя повинні знаходитися в зарядженому стані, яке вигідно виробляти від стартер-генератора, працюючого в генераторному режимі.

### Висновок

Проведений в роботі аналіз показав, що для виконання надійного пуску танкового двигателя в умовах температур нижче мінус 25<sup>0</sup>С, коли різко погіршуються пускові властивості акумуляторних батарей, альтернативним джерелом електричної енергії можуть бути ємнісні накопичувачі енергії,

які використовуються спільно з АКБ. При цьому, спочатку необхідно підключити до стартер-генератора дві послідовно-з'єднані АКБ на першій стадії пуску, а потім підключити дві послідовно з'єднані ЕН з одночасним відключенням АКБ.

### Список літератури:

1. М.Г. Калашников Акумуляторні батареї з електричними нагрівальними елементами // ВБТ, -№8, 1988, -С.51-54.
2. В.Д. Константинов, А.В. Павлов Розігрів танкових акумуляторних батарей перемінним струмом // ВБТ, -№6, 1987, -С.38-40.
3. Методи розрахунку основних енергетичних показників систем електропостачання спеціальних гусеничних машин // ОСТ ВЗ-4055-78, 1978, -21с.

УДК 621.18

*А.Д. Русавський, інж., О.А. Гаркуша, інж., Б.М. Посмітний, інж.,  
Ю.І. Горпинко, канд. техн. наук*

## ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛА ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БОЄГОТОВНОСТІ МОТОРИЗОВАНИХ ПІДРОЗДІЛІВ

### Постановка проблеми

З середини 90-х років ХХ сторіччя в багатьох країнах світу швидко розвиваються технології нових гідродинамічних джерел тепла. Технічні характеристики таких нагрівників вельми відрізняються від звичайних котлів на основі використання органічних палив чи електричної енергії. Відповідно, при використанні нових джерел тепла з'являються додаткові можливості. Вони видаються сприятливими для вій-

ськового застосування, особливо в умовах теперішньої глобальної енергетичної кризи.

Сучасні військові підрозділи є механізованими. Тож задача підвищення боєготовності автомобільної техніки в холодну пору року актуальна для Збройних Сил України в цілому і може знайти нові рішення.

### Аналіз публікацій

Основними процесами, що забезпечують можливість виробляти тепло в гідродинамічних агрегатах