

## УЛУЧШЕНИЕ ПУСКОВЫХ КАЧЕСТВ ТРАКТОРНОГО ДИЗЕЛЯ НА ОСНОВЕ ПРИМЕНЕНИЯ ОБРАТИМОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

*С.А. Алиев, к.т.н. ст. преподаватель*

*Д.А. Салатова, к.с-х.н. доцент*

*А.В. Гаджиев, студент*

*ФГБОУ ВО «Дагестанский государственный*

*аграрный университет им. М.М. Джамбулатова», г. Махачкала*

Техническое развитие конструкций тракторов характеризуется увеличением мощности потребителей, применением электрического привода агрегатов. В связи с чем нагрузка на электрическую систему современного трактора постоянно растет, что снижает надежность существующих систем. Сравнительно низкий КПД традиционных генераторов не позволяет удовлетворить растущие потребности тракторов в электроэнергии. Решением задачи увеличения мощности одновременно с увеличением КПД (до 85–90 %) может послужить интегрированный стартер-генератор, размещенный между блоком цилиндров ДВС и сцеплением трактора, что позволяет передавать значительную мощность в обоих направлениях, улучшает пусковые качества дизельных двигателей тракторов, существенно снижает шум и вибрации двигателя. Разработана схема стартер-генераторного устройства (СГУ) на базе обратимой электрической машины применительно к дизельным двигателям тракторов тягового класса 1,4 и конструкция его размещения в картере сцепления без изменения базовой конструкции силового агрегата. Объединение стартера и генератора в едином агрегате упрощает конструкцию, сокращает затраты на изготовление и сборку, что является преимуществом с точки зрения производственных издержек, заменяя стартер и генератор и на некоторых тракторах пусковой поршневой двигатель.

### Введение

В перспективе тракторы будут оставаться одним из основных средств производства в ряде отраслей, таких как сельское хозяйство, строительный и лесопромышленный комплексы. Поэтому совершенствование конструкций тракторов, направленное на повышение их потребительских свойств, продолжается и будет продолжаться с использованием достижений науки и техники.

Техническое развитие тракторов характеризуется увеличением мощности двигателей внутреннего сгорания (ДВС), увеличением мощности



потребителей электрической энергии и широким применением электроники. Это требует совершенствования систем электроснабжения тракторов. Одним из направлений совершенствования этих систем является повышение номинального напряжения источников электрической энергии.

Перспективным направлением, на котором ответственное тракторостроение может попытаться уменьшить отставание от мирового уровня, является развитие средств автоматизации и электроприводов [1].

Регулируемые электроприводы характеризуются совершенным качеством — возможностью плавного изменения режимов работы, прежде всего — частоты вращения, что достигается благодаря применению статических полупроводниковых преобразователей частоты и микропроцессорных систем управления [2].

Современные нормы энергоэффективности и экологические стандарты требуют применения электроприводов с управляемыми электрическими машинами (ЭМ), которые имеют высокие показатели эффективности в режимах как полной, так и частичной нагрузки, и при этом обладают надежностью и простотой в производстве. Увеличение доли таких электроприводов — одна из самых актуальных задач электромашиностроения.

Развитие конструкций автотракторного электрооборудования и автоэлектроники должно идти в направлении применения принципиально

новых комплектующих, экологически чистых материалов, снижения затрат на их производство [3]. Нагрузка на электрическую систему современного трактора постоянно растет. Увеличение потребления электрической энергии дополнительно установленным оборудованием подвергает существующие 12-вольтовые системы чрезмерной нагрузке. Современные требования к пусковым характеристикам вызывают необходимость использовать мощные системы электропуска.

Сравнительно низкие КПД традиционных генераторов не позволяют удовлетворить растущие потребности в электроэнергии тракторов и его систем. Решением задачи увеличения мощности одновременно с увеличением КПД (до 85–90 %) и ресурса генераторной установки, повышения экологичности и топливной экономичности тракторов, а также уменьшения массы ДВС может послужить интегрированный стартер-генератор [4]. Поэтому одна из задач современного тракторостроения — переход на более высокие напряжения в бортовой сети, чтобы обеспечить улучшение эксплуатационных, в том числе пусковых качеств с возможным применением нового энергоемкого дополнительного оборудования.

В связи с этим перспективно развивать применение интегрированных систем со стартер-генераторным устройством и микропроцессорным управлением, что является ключевым элементом для повышения эффективности эксплуатационных показателей тракторов.

В настоящее время выполнено множество работ по рассматриваемой тематике:

- разработано значительное число схем и конструктивных решений систем бортового генерирования электроэнергии и запуска ДВС;
- выполнены различные методы расчета как системных, так и динамических режимов стартер-генераторных установок в стадии генерирования электрической энергии при переменной частоте вращения вала.

За рубежом получены токоскоростные характеристики стартер-генераторных установок (СГУ) с аккумуляторными батареями на напряжение 12 и 42 В. Однако многие вопросы в области использования СГУ в электромеханических системах запуска и генерирования бортовой энергии остаются нерешенными. В частности, остаются неисследованными комплексные системы СГУ для запуска и генерирования электрической энергии с микропроцессорным управлением на тракторах.

В связи с изложенным возникает необходимость в проведении анализа и обобщения известных работ, дополнительных исследований СГУ для выявления пусковых и энергетических характеристик ДВС трактора, что и определяет актуальность тематики исследования.

### Цель исследования

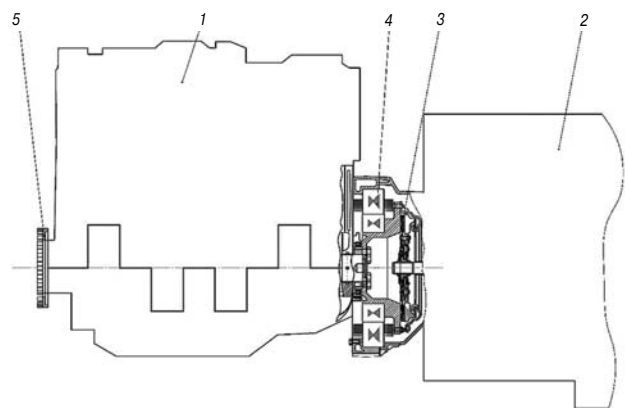
Целью работы является исследование и разработка высокоэффективных средств обеспечения для надежного пуска дизельных двигателей тракторов тягового класса 1,4 и генерирования бортовой электроэнергии на основе применения стартер-генераторных установок с микропроцессорным управлением.

### Материалы и методы исследования

Существующие стартеры имеют низкую надежность и малый ресурс муфты свободного хода, тягового реле, щеточно-коллекторного узла, особенно в условиях повышенной влажности и запыленности и требуют периодического обслуживания. Кроме того, в конструкциях существующих стартеров невозможно диагностировать состояние элементов, программного управления крутящим моментом и использования стартера для снижения шума ДВС и трансмиссии. Существующие генераторы с приводом от ременной передачи требуют периодической регулировки и обслуживания, имеют недостаточную надежность из-за износа и обрыва ремней, попадания влаги и пыли, а для генераторов с щеточно-коллекторным узлом, — из-за износа и загрязнения узла.

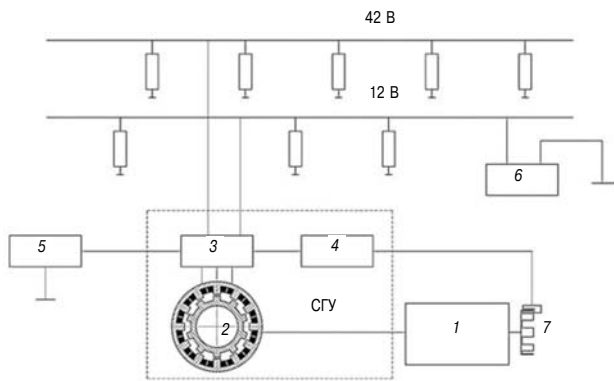
Предлагаемая конструкция силового агрегата тракторов тягового класса 1,4 (рис. 1) содержит ДВС 1, коробку передач 2, сцепление 3, электрическую машину 4, передающую приводное усилие на ведущие колеса трактора, размещенную между блоком цилиндров двигателя и сцеплением и датчик положения ротора 5, установленный в носовой части ДВС на коленчатом валу.

СГУ может быть использовано на тракторах тягового класса 1,4 для запуска ДВС и генерирования электрической энергии для нужд бортовой сети, двухуровневого напряжения 12–14 и 36–



**Рис. 1. Схема размещения вентильно-индукторной машины СГУ в составе силового агрегата трактора тягового класса 1,4:**

1 — ДВС; 2 — коробка передач; 3 — сцепление; 4 — электрическая машина стартер-генераторного устройства; 5 — датчик положения ротора

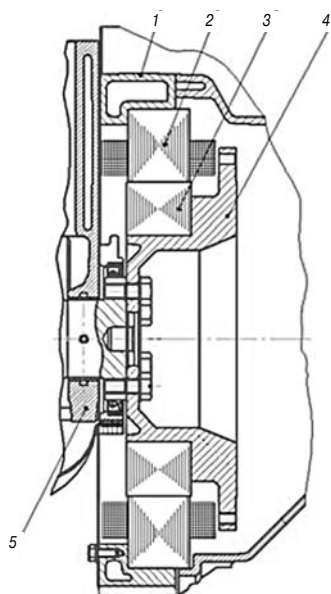


**Рис. 2. Функциональная блок-схема стартер-генераторного устройства:**

1 — ДВС; 2 — электрическая машина; 3 — силовой преобразователь энергии (инвертор); 4 — блок управления; 5 — энергоемкий конденсатор; 6 — аккумуляторная батарея; 7 — датчик положения ротора

42 В. Функциональная блок-схема СГУ приведена на рис. 2. В ее состав входят электрическая машина 2, силовой преобразователь энергии 3, блок управления 4, датчик положения ротора 7. Причем силовой преобразователь и индукторный двигатель могут быть включены в общую схему жидкостного охлаждения двигателя. Электрическая машина выполняет функции стартер-генератора, силовой преобразователь напряжения обеспечивает его работу в режимах стартера и генератора, и поддерживает напряжение бортовой сети на двух уровнях 14 и 42 В. В режиме стартера питание обеспечивает аккумуляторная батарея, а также энергоемкий конденсатор.

На рис. 3 показана компоновка электрической машины, которая размещена между двигателем



**Рис. 3. Схема установки электрической машины СГУ:**  
1 — проставка; 2 — статор; 3 — ротор; 4 — маховик; 5 — блок цилиндров

и сцеплением трактора. Статор электрической машины установлен в проставке, которая крепится к блоку цилиндров двигателя. Ротор электродвигателя устанавливается на маховике специальной конструкции «электрический маховик», который одновременно выполняет не только функции его раскрутки, но и маховой массы.

Принятая компоновка позволяет передавать значительную мощность в обоих направлениях и реализовать функции гашения крутильных колебаний коленчатого вала при низких скоростях вращения, что существенно снижает шум и вибрацию ДВС.

Место, выбранное для оптимального размещения стартер-генератора на ДВС, по условиям работы оказалось не самым лучшим: высокая температура, запыленность, в том числе и абразивными продуктами износа дисков сцепления. По этой причине от применения электрической машины с коллектором пришлось отказаться. По условиям работы наиболее надежны вентильные машины с постоянными магнитами, однако они имеют высокую стоимость [5, 6]. Поэтому в качестве оптимальной электрической машины предлагается реактивный индукторный двигатель — бесконтактная электрическая машина синхронного типа. Она имеет ряд несомненных достоинств: шихтованный зубчатый ротор без обмотки, потери в котором, как известно, минимальны; многофазную обмотку статора, выполненную в виде отдельных концентрических катушек без пересечения лобовых частей, что упрощает конструкцию, повышает технологичность производства и увеличивает ее надежность в эксплуатации.

Преимущество предлагаемой конструкции СГУ, размещенного между двигателем и сцеплением силового агрегата, заключается в использовании электрической машины для пуска ДВС, которая в этом случае работает в режиме электродвигателя и после запуска ДВС переключается на генераторный режим, обеспечивая питание электрической энергией бортовую сеть. Кроме того, объединение стартера и генератора в одном узле позволяет значительно сократить затраты на изготовление и сборку такой конструкции, что является преимуществом с точки зрения производственных издержек. Кроме того, предлагаемая конструкция СГУ позволяет на некоторых тракторах отказаться от пускового поршневого двигателя.

Для обеспечения оптимального теплового режима работы предлагаемой электрической машины предпочтительно использовать жидкостное охлаждение, что можно реализовать путем подключения ее к системе жидкостного охлаждения ДВС. Циркуляция охлаждающей жидкости

осуществляется через кольцевую проточку детали корпус-проставка 1 статора специальной конструкции (см. рис. 3), изготавливаемой из алюминиевого сплава [7].

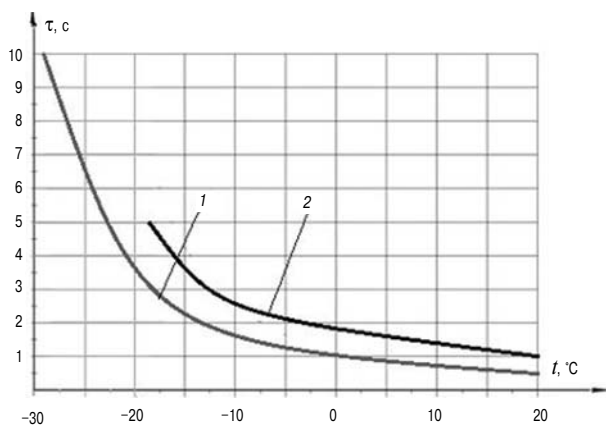
**Результаты исследования и их обсуждение**

При выполнении исследований были использованы отдельные материалы и результаты исследования высокоэффективных систем пуска автомобильных ДВС, накопленные Российской научно-технической школой, а также имеющийся опыт разработки конкретных образцов подобных систем, производимых рядом зарубежных фирм.

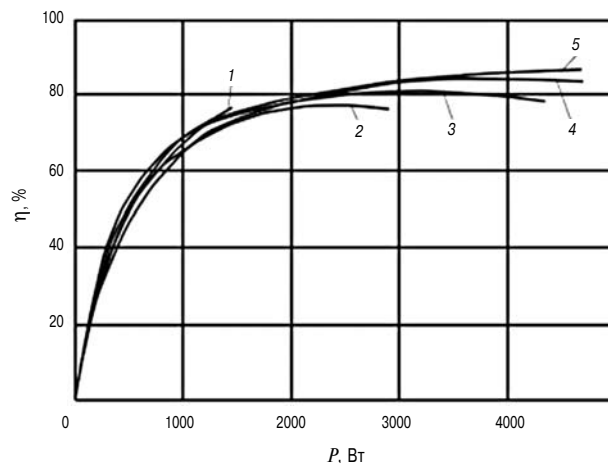
Следует отметить, что применение СГУ с микропроцессорным управлением предопределяет возможность совершенствования, наряду с рассмотренными выше достоинствами, и других характеристик ДВС и трактора.

Во-первых, СГУ является эффективным гасителем (демпфером) крутильных колебаний коленчатого вала ДВС. Функция электромагнитного демпфирования представляет перспективную альтернативу механической системе демпфирования. Важным преимуществом СГУ в сравнении с механическими системами является возможность выполнения демпфирования с дискретной частотой и переменными амплитудами, а также возможность снижения вибраций при изменении нагрузки. Во-вторых, применение системы с СГУ обеспечивает частичную гибридизацию энергетической установки трактора (малый гибрид).

Стендовые и моторные испытания предлагаемого СГУ проведены в лабораториях ОАО «Авиаагрегат», г. Махачкала. По результатам проведенного исследования обоснован выбор СГУ на базе вентильного электродвигателя применительно к дизельным двигателям тракторов тягового класса 1,4 и разработана схема его размещения в картере сцепления без изменения его базовой конструкции.



**Рис. 4. Зависимость времени запуска поршневого двигателя от температуры окружающей среды:**  
1 — от электрической машины СГУ; 2 — от электростартера



**Рис. 5. Зависимость КПД стартер-генераторной установки от развиваемой мощности P и частоты вращения протора стартер-генератора:**  
1 —  $n = 1000$  об/мин; 2 —  $n = 1600$  об/мин;  
3 —  $n = 2000$  об/мин; 4 —  $n = 2500$  об/мин;  
5 —  $n = 3000$  об/мин

Зависимость времени запуска поршневого двигателя от температуры окружающей среды показаны на рис. 4. Результаты предварительных испытаний этой машины показали, что при температуре 20 °С СГУ за 0,5 с раскручивает ДВС до 800 об/мин (см. рис. 4). В генераторном режиме СГУ с достаточно высоким КПД развивает мощность до 4,5 кВт (рис. 5). То есть рассмотренный выше вариант СГУ может быть агрегатом, который успешно заменяет стартер и генератор, установленные на серийных тракторах. Кроме того, выполненные авторами эксперименты показали, что СГУ, оснащенные более мощными электродвигателями, могут найти применение и на других транспортных средствах, в том числе и на грузовых автомобилях.

**Выводы**

1. Применение совмещенного СГУ на тракторах тягового класса 1,4 позволяет улучшить пусковые характеристики дизельного двигателя, а также получить возможность работы электрооборудования при многоуровневом напряжении.

2. Экспериментально показана возможность совершенствования пусковых характеристик в условиях низких температур для дизельных двигателей на основе оптимального выбора параметров предложенной комплексной системы СГУ с микропроцессорным управлением.

3. Совмещенное СГУ с микропроцессорным управлением имеет возможность дополнительно выполнять функции электромагнитного демпфера крутильных колебаний, а также частичной гибридизации энергетической установки тракторов и генерирования бортовой электроэнергии многоуровневого напряжения.

## Литература

1. Скотников В.А., Мащенский А.А., Разумовский М.А. и др. Проблемы современного сельскохозяйственного тракторостроения. Минск: Высшая школа, 1983. 208 с.
2. Машигин В.В. Системы электроснабжения с повышенным номинальным напряжением для транспортных средств // Автотракторное электрооборудование. 2002. № 1. С. 12–16.
3. Коломейцев Л.Ф., Пахомин С.А., Крайнов Д.В. и др. Математическая модель для расчета электромагнитных процессов в многофазном управляемом реактивном индукторном двигателе // Известия ВУЗов. Электромеханика. 1998. № 1. С. 49–53.
4. Бунаков И.Ю. Совмещенные системы стартер-генераторов (обзор) // Молодежь и наука. Международный аграрный научный журнал. 2013. № 2. С. 23–28.
5. Бахмутов С.В., Блатушко Я.В., Маликов Я.В. и др. Анализ патентных разработок в области автотранспортных средств / Материалы Международной научно-технической конференции «Автомобиле- и тракторостроение в России» М. : МГТУ МАМИ, 2009. С. 535–547.
6. Баулина Е.Е., Круташов А.В., Серебряков В.В. Выбор концепции автомобиля с комбинированной энергетической установкой расширенных функциональных возможностей // Известия МГТУ МАМИ. 2017. № 3 (33). С. 2–8.
7. Бекеев А.Х., Астемиров Т.А., Алиев А.Я. Интегрированный стартер-генератор для энергоэффективных транспортных средств // Проблемы развития АПК региона. 2013. № 3 (15). С. 70–73.