

Хрипач Николай Анатольевич

канд. техн. наук, доцент, заведующий кафедрой
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
г. Москва

Неверов Всеволод Анатольевич

инженер
НТЦ «Силовые агрегаты»
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
г. Москва

Папкин Борис Аркадьевич

канд. техн. наук, заместитель начальника
НТЦ «Силовые агрегаты»
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
г. Москва

Стуколкин Роман Викторович

инженер-исследователь 1-й категории
НТЦ «Силовые агрегаты»
ФГБОУ ВО «Московский политехнический университет»
г. Москва

DOI 10.21661/r-473087

ПРИМЕНЕНИЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ В СИЛОВЫХ УСТАНОВКАХ ГОРОДСКОГО ТРАНСПОРТА

Аннотация: в статье рассмотрен вопрос применения одной из систем рекуперации энергии отработавших газов – турбогенераторов. Приведены наиболее современные разработки, оценен их потенциал. Рассмотрена структура городского транспорта. На основании анализа рынка определены перспективные модели двигателей.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, рекуперация, отработавшие газы, турбогенератор, городской транспорт.

Городской общественный транспорт является перспективным средством передвижения пассажиропотоков в рамках городской инфраструктуры. Налицо современная тенденция по его развитию – увеличение единиц техники, оптимизация маршрутов, омолаживание парка. Одним из способов увеличения эффективности использования общественного транспорта – снижение расходов на его содержание, где основная статья – расходы на топливо. Применение различных устройств, снижающих расход топлива двигателя, является экономически оправданным при условии из доступности, надежности и дешевизны. Применение систем рекуперации энергии отработавших газов является одним из эффективных методов снижения удельного расхода топлива. Помимо этого, появляется возможность повышения мощности, а также снижения удельных вредных выбросов с отработавшими газами, что тоже немало важно для мегаполисов и крупных городских агломераций.

Турбогенераторы

На сегодняшний день существуют несколько видов систем рекуперации энергии отработавших газов для тепловых двигателей внутреннего сгорания. В данном докладе рассматриваются системы рекуперации, использующие турбогенераторы в качестве преобразователя энергии отработавших газов в электрическую.

Турбогенераторы – устройства, преобразующие энергию отработавших газов в механическую энергию вращения вала, от которого приводится вращение вала генератора. Конструктивно они представляют собой турбину или турбокомпрессор с установленным на одном вале с ними генератором.

Главными преимуществами использования турбогенераторов в составе традиционных силовых транспортных установок являются повышение мощности двигателя, а также снижение расхода топлива, уровня выбросов отработавших газов и уровня шума [1]. При использовании в составе гибридных силовых установок появляется дополнительное преимущество в виде возможности подзарядки тяговых батарей.

Достигнутый на сегодняшний день технологический уровень позволяет применять турбогенераторы в составе различных силовых установок – судовых двигателей, двигателей тягачей, легковых автомобилей и гибридов.

Благодаря развитию электронных компонентов, силовой электроники, сверхсильных магнитов и специальных материалов, стало возможным создавать высокооборотные электрические машины с высокими удельными характеристиками. Использование электротурбокомпрессора позволяет снизить расход топлива до 10% за счет меньших механических и гидравлических потерь по сравнению с силовыми турбинами [2]. При использовании в составе судовой силовой установки за счет работы электродвигателя в режиме генератора производилась регулировка давления наддува, и позволяла вырабатывать до 5% от мощности двигателя [3].

По данным компании Bowman Power Group, установка турбогенератора на энергоустановку позволяет снизить удельный эффективный расход топлива до 7% и повысить суммарную мощность установки до 10% [4].

Лидерами отрасли являются такие компании, как Daimler, Mitsubishi Heavy Industries, Bowman Power Group, ООО «МТТ». Несмотря на достигнутый уровень, разработчики продолжают улучшение своей продукции путем внедрения новых технических решений с повышением ключевых показателей – мощности, экономичности, экологичности.

Структура городского транспорта

Общественный транспорт – это пассажирский транспорт, который является доступным для использования широкими слоями населения. Транспортные средства, относимые к городскому транспорту, предназначены для перевозки достаточно большого количества пассажиров одновременно и курсируют по определённым маршрутам.

Общественный городской транспорт можно разделить на две большие категории, различающиеся применяемой силовой установкой – транспортные средства, оснащенные двигателем внутреннего сгорания, и транспортные средства на электрической тяге. Предметом исследования являются

транспортные средства, входящие в первую категорию. К ним относятся автобусы, дуобусы (совмещение автобуса и троллейбуса, в РФ не применяется), поезда (применяются редко) и водные суда (теплоходы, баржи и т. д.).

На территории российских городов городской транспорт, имеющий в составе двигатель внутреннего сгорания, представлен большим количеством моделей. Однако вариантов силовых агрегатов, устанавливаемых на них и производимых на территории РФ и СНГ, значительно меньше. Перечень данных двигателей приведен в таблице 1.

Таблица 1

Наиболее часто применяемые двигатели на городском транспорте

Наименование двигателя	Параметры двигателя (формула, максимальная мощность)	Применяемость
Барнаултрансмаш 3Д20	6Ч15х15, 175...191 кВт	Речные или морские катеры типа «Аист», «Невка», «Бекас», «Кайра»
ЗМЗ-4052	4Ч9,55/8,6, 111,8 кВт	ГАЗ-32213 «ГАЗель»
ЗМЗ-5234	8Ч9,2х8,8, 96 кВт	ПАЗ-3205 и модификации ПАЗ-3204 ПАЗ-3203
ЗМЗ-5245	8Ч9,2х8,8, 98,7 кВт	ПАЗ-3203
КамАЗ-740	8ЧН12х12, 157 кВт	НефАЗ-5299 ЛиАЗ-5256
КамАЗ-820	8ЧН12х13, 194 кВт	НефАЗ-5299
ММЗ Д-245	4ЧН11х12,5, 90 кВт	ПАЗ-3205 и модификации ПАЗ-4234 КАВЗ-4235
ЯМЗ-238	8ЧН13х14, 177 кВт	Теплоходы типа «Москва»
ЯМЗ-534	4ЧН10,5х12,8, 101...142 кВт	ЛиАЗ-4292 ПАЗ-320412
ЯМЗ-536	6ЧН10,5х12,8, 180...230 кВт	ЛиАЗ-5292 и модификации ЛиАЗ-5293 ЛиАЗ-6213 и модификации
ЯМЗ-840	8ЧН14х14, 440 кВт	Теплоходы Проекта 105.05, Проекта 075

Как видно из таблицы 1, наиболее массово используемые двигатели имеют сходные параметры, что позволяет разрабатывать более универсальные

устройства (турбогенераторы), рабочие характеристики которых находятся в оптимальных областях.

Согласно анализу российского рынка автобусов агентством «АВТОСТАТ» [5], его объем итогам 2017 года составил 11,7 тыс. единиц. Лидерами рынка являются ПАЗ, ЛиАЗ, НЕФАЗ и Volgabus. Всего же, по состоянию на 1 июля 2016 года, в России насчитывалось 390,8 тыс. автобусов [6]. Средний возраст парка составляет 15,2 лет, причем 44% всех автобусов в стране пребывают в возрасте старше 15 лет. Данные цифры подтверждают высокий потенциал по внедрению турбогенераторов на наземном общественном транспорте как в части внедрения рассматриваемой технологии рекуперации на новых образцах техники, так и с точки зрения дооснащения автобусов, находящихся в эксплуатации.

Перспективы использования турбогенераторов

Применение различных типов турбогенераторов, как было выявлено ранее, позволяет получить до 20% энергии, выделяемой при сгорании топлива. Разработанный и адаптированный для использования на определенном двигателе турбогенератор позволяет снизить нагрузку на генератор, обычно устанавливаемый на двигателе, повышая топливную экономичность. Если при этом учесть рынок автобусов РФ, то можно выделить два наиболее перспективных двигателя, для которых применение турбогенератора будет иметь наибольший эффект ввиду объемов перевозок – это ЗМЗ-5234 и ЯМЗ-536. Данные двигатели имеют разные мощностные показатели, поэтому разработанные для них турбогенераторы, в перспективе, могут иметь различные размеры и характеристики. Для других двигателей, встречаемых не так часто, могут быть адаптированы ранее разработанные устройства.

Выводы

На основании проведенного анализа перспектив использования систем рекуперации отработавших газов, можно сделать следующие выводы:

1) разработка современных компактных систем рекуперации энергии отработавших газов, которые позволяют увеличить мощность установки,

снизить расход топлива, количество вредных выбросов и повысить эффективность, является актуальным и востребованным направлением в транспортной отрасли;

2) для использования в энергетических установках транспортных средств, обслуживающих пассажиров, в первую очередь, решающую роль будут играть эффективность и стоимость системы рекуперации, а массогабаритные параметры являются менее важными, хотя стоит отметить, что и они у турбогенераторов находятся на высоком уровне;

3) применение турбогенераторов в составе энергетических установок позволяют уменьшить затраты на топливо на 5–7%, что в условиях работы транспортной энергетики является хорошим показателем.

Настоящая работа подготовлена в рамках соглашения №14.574.21.0154 от 26 сентября 2017 года о предоставлении субсидии при финансовой поддержке Минобрнауки России. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57417X0154.

Список литературы

1. Khripach N.A. Turbo-Generators in Energy Recovery Systems / N.A. Khripach, L.Yu. Lezhnev, A.P. Tatarnikov, R.V. Stukolkin, A.A. Skvortsov // International Journal of Mechanical Engineering and Technology (IJMET). – Vol. 9. – Issue 6. – P. 1009–1018.

2. Dimitriou P. Electric Turbocharging for Energy Regeneration and Increased Efficiency at Real Driving Conditions / P. Dimitriou, R. Burke, Q. Zhang, C. Copeland, H. Stoffels // Appl. Sci. – 2017. – №7. – P. 350.

3. Ono Y. Application of a Large Hybrid Turbocharger for Marine Electric-power Generation / Y. Ono, K. Shiraishi, Y. Yamashita // Mitsubishi Heavy Industries Technical Review. – March 2012. – Vol. 49. – №1.

4. ELECTRIC TURBO COMPOUNDING (ETC) SYSTEM – CUMMINS KTA50-G3 GENSET 50Hz/60Hz [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://i.emlfiles1.com/cmpdoc/3/5/6/6/4/1/files/9360_bowman_power_group_cummins_kta50_brochure.pdf

5. Рынок новых автобусов в 2017 году вырос на 13% // АВТОСТАТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/news/32783>
6. Парк автобусов в России: ключевые цифры // АВТОСТАТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.autostat.ru/infographics/27189>