

ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ПРИМЕНЕНИЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРОВ В СФЕРЕ МАЛОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

Неверов В.А., Чиркин В.Г., Некрасов А.С.

Московский политехнический университет, г. Москва

Ключевые слова: турбогенератор, двигатель внутреннего сгорания, энергосбережение, малая энергетика, распределенная энергетика.

Аннотация. Особенности распределения большей части населения Российской Федерации вынуждают использовать в качестве источника электроэнергии и тепла объекты малой энергетики. Однако требования к применяемым в их составе тепловым двигателям постоянно ужесточаются. В связи с этим в состав вводятся различные системы рекуперации. Одна из систем – это турбогенераторы. В докладе рассмотрен экономический аспект применения турбогенератора в составе энергетической установки, в частности, срок окупаемости и выгода от применения за весь срок эксплуатации.

ECONOMIC ASPECT OF THE TURBOGENERATORS APPLICATION IN THE FIELD OF SMALL-SCALE POWER GENERATION

Neverov V.A., Chirkin V.G., Nekrasov A.S.

Moscow Polytechnical University, Moscow

Keywords: turbogenerator, internal combustion engine, small-scale power generation.

Abstract. Small-scale power generation facilities are used as a source of electricity and heat because of the population distribution in the Russian Federation. However, the internal combustion engines requirements are constantly tightened. In this regard, various recovery systems are introduced into the composition. One of the systems is turbogenerators. The economic aspect of using turbogenerator as a part of a power plant is suggested in this report, in particular, the payback period and the benefits of the application for the entire operation period.

Объекты малой энергетики являются важными в структуре экономики Российской Федерации. По различным оценкам 60...70% территории не охвачены централизованным электроснабжением, что вынуждает большую часть населения этих регионов применять средства малой энергетики для электро- и теплоснабжения [1]. Несмотря на то, что малая энергетика (до 25 МВт) составляет всего 8% от всей установленной мощности электростанций России, имеется постоянная необходимость в повышении эффективности ее энергетических объектов. Также средства малой энергетики часто являются резервным источником электроэнергии для объектов, не допускающих перерывов в подаче энергии при авариях в зонах централизованного электроснабжения.

Энергоустановки малой и распределенной энергетики используют в качестве силовой установки двигателя внутреннего сгорания, преимущественно работающие на дизельном или газовом топливе. Ухудшение экологической ситуации в нашей стране и в мире, а также рост цен на углеводородные топлива способствуют развитию и изучению систем рекуперации для энергоустановок. На сегодняшний день системы рекуперации применяют на ТЭС, гибридном транспорте и других отраслях, для повышения их эффективности, что в свою

очередь влечет за собой снижение вредных выбросов. В отличие от автомобильных двигателей, работающих большую часть времени на нестабильных и переходных режимах, двигатели энергоустановок работают на одной частоте вращения с изменением выходной мощности, отчего системы рекуперации для таких установок более эффективны.

Согласно данным Федеральной службы государственной статистики, в период 2010-2017 годов производство двигатель-генераторных установок (ДГУ) в России выросло на 86%, достигнув показателя 592 МВт/год [2]. В тоже время, DISCOVERY Research Group приводит данные, согласно которым за период 2010-2016 годов объемы производства ДГУ с дизельными двигателями выросли почти на треть при практически не выросшем рынке [3]. Объемы продаж дизельных ДГУ, пройдя период бурного роста в 2011-2013 годах, резко упали и достигли уровня 2010 г.

Основными факторами роста производства двигатель-генераторных установок на территории РФ являются устойчивый спрос, низкая стоимость отечественных установок и политика импортозамещения. В тоже время, для увеличения конкурентоспособности необходимо дальнейшее повышение эффективности установок и снижение их относительной стоимости.

В попытках улучшить показатели силовых установок исследователи разработали несколько видов систем рекуперации тепла отработавших газов [4, 5]. К ним относятся:

- турбогенераторы (турбина с установленным на ней генератором электрического тока);
- системы рекуперации на основе цикла Ренкина;
- термоэлектрогенераторы (ТЭГ, работают на эффекте Зеебека);
- механический турбокомпаунд (применение силовой турбины);
- термоакустические генераторы;
- системы рекуперации на основе цикла Джоуля;
- системы рекуперации на основе цикла Стирлинга;
- термофотоэлектрические генераторы.

Наиболее распространенные и развитые до высокого технологического уровня системы среди перечисленных – это турбогенераторы, системы на основе цикла Ренкина и ТЭГ [6-8]. Механический турбокомпаунд имел всплеск развития в конце 1990-х - начале 2000-х годов, однако на сегодняшний момент не нашли широкого распространения. Остальные системы находятся на стадиях разработки. В связи с этим, а также благодаря довольно простой конструкции, хорошим массогабаритным характеристикам и более низкой стоимости, был разработан турбогенератор. Также можно найти примеры успешно внедренных конструкций [9-11].

Разработанный специалистами Московского политехнического университета в ходе прикладных научных исследований турбогенератор предназначен для установки в системе выпуска отработавших газов двигателя внутреннего сгорания мощностью около 100 кВт [12-14]. Конструкцией обеспечивается рекуперация остаточной энергии отработавших газов двигателя для выработки электроэнергии, а также снижение расхода топлива и выбросов диоксида углерода. Основные технические характеристики разработанного турбогенератора показаны в таблице 1.

Турбогенератор состоит из следующих основных компонентов: корпус с кожухом охлаждения, передняя крышка, задняя крышка, подшипники скольжения, подводящие и отводящие штуцеры, уплотнительные элементы, втулка охлаждения, тепловой экран, турбина, ротор и статор электрической машины, втулки, гайки. Применение жидкостного охлаждения позволяет значительно повысить надёжность турбогенератора. Общий вид турбогенератора показан на рисунке 1.

Табл. 1. Технические характеристики турбогенератора

Наименование характеристики	Значение
Номинальная частота вращения ротора, мин ⁻¹	80000
Номинальная мощность, кВт	10
Количество фаз, шт.	3
Линейное напряжение на холостом ходу при номинальной частоте вращения, В	470
Число пар полюсов ротора, шт.	1
Охлаждение корпуса статора	жидкостное



Рис. 1. Общий вид турбогенератора

Разработанный турбогенератор обладает свойствами, которые оказывают различное влияние на ДГУ. Ниже эти свойства рассмотрены более подробно.

Сокращение выбросов тепла и вредных веществ с отработавшими газами в окружающую среду. Разработанный турбогенератор за счет принципа своей работы позволяет снизить температуру отработавших газов, преобразуя их в электрический ток, а также уменьшить уровень выбросов диоксида углерода.

Снижение расхода топлива ДГУ. Турбогенератор способен снизить расход топлива ДГУ на 7...10%, что является высоким техническим уровнем.

Относительно простая технология изготовления. Большинство выполняемых операций по производству турбогенератора – токарные, фрезерные и сборочные.

При этом какие-либо сложные технологические процессы (химические, термические и др.) отсутствуют, что говорит о высокой технологичности.

Автоматическое управление работой турбогенератора. Разработанная система обладает автономностью и высокой надежностью.

Низкая конкуренция в РФ. На территории РФ данная тематика находится в процессе рассмотрения, что дает возможности для компаний, заинтересованных в лидирующем положении на рынке, добиться преимущества.

Однако имеются и слабые стороны.

Создание противодействия на выпуске. Наличие лопаточного агрегата создает противодействие, однако небольшие габариты и низкая инерционность ротора позволяют снизить его значение.

Занятие полезного объема. Данный недостаток нивелируется невысокими требованиями к компоновке ДГУ, в отличие от подкапотного пространства транспортных средств.

Отсутствие линейки устройств разных типоразмеров. Разработанная система, ее параметры, габариты оптимизированы для использования в узком сегменте ДГУ, имеющем близкие показатели по мощности двигательной установки (100 кВт). Уйти от этого недостатка можно разработкой специально приспособленных для других ДГУ турбогенераторов.

Высокие требования к качеству материалов. Разработанный турбогенератор работает в условиях высоких температур и агрессивной среды. Вследствие этого для долговечной работы требуются специальные высококачественные материалы.

Отсутствие процедуры сертификации турбогенераторов. Имеющаяся нормативная литература (ГОСТ 533-2000 Машины электрические вращающиеся. Турбогенераторы. Общие технические условия) регулирует сертификацию турбогенераторы мощностью 2500 кВт и более. Вследствие этого разработанный турбогенератор не попадает под действие данного документа.

Повышение стоимости установки. Однако срок окупаемости составляет меньше гарантийного срока работы.

Основным заинтересованным лицом в снижении эксплуатационных затрат являются предприниматели. В качестве исходной установки для определения эффективности применения турбогенератора можно рассмотреть двигатель-генераторную установку на базе дизельного двигателя внутреннего сгорания ММЗ Д-266.4 (номинальная мощность 80 кВт, базовая мощность 64 кВт). Также использованы следующие исходные данные:

- гарантийный срок работы ДГУ 3000 моточасов;
- нормативный средний расход топлива при нагрузке 75 % 16 л/ч;
- стоимость 1 л дизельного топлива 46,5 руб. (Москва, сентябрь 2019 г.);
- удорожание ДГУ за счет интеграции в ее конструкцию турбогенератора 148 000 руб.;
- снижение расхода топлива на 8%;
- период технического обслуживания ДГУ с заменой масла 250 моточасов;
- период технического обслуживания турбогенератора 1 000 моточасов;
- дополнительный объем масла 2 л, стоимость 105 руб./л;
- увеличение стоимости технического обслуживания каждые 250 моточасов 10%;

- увеличение стоимости технического обслуживания каждые 1000моточасов 15%;
- капитальный ремонт турбогенератора 50 000 руб. при наработке 5 000моточасов.

Простейший расчет срока окупаемости вложений в турбогенератор, являющийся определением отношения удорожания ДГУ к экономии на топливе, показывает значение 2 800 моточасов.

Таким образом, установка турбогенератора окупается в пределах гарантийного срока. В тоже время, действительный ресурс ДГУ может достигать 10-15 тыс. моточасов. На рисунке 2 показан график получения выгоды от применения турбогенератора. На нем видно, что рост линейный, и после достижения окупаемости применение дает экономию средств на топливе.

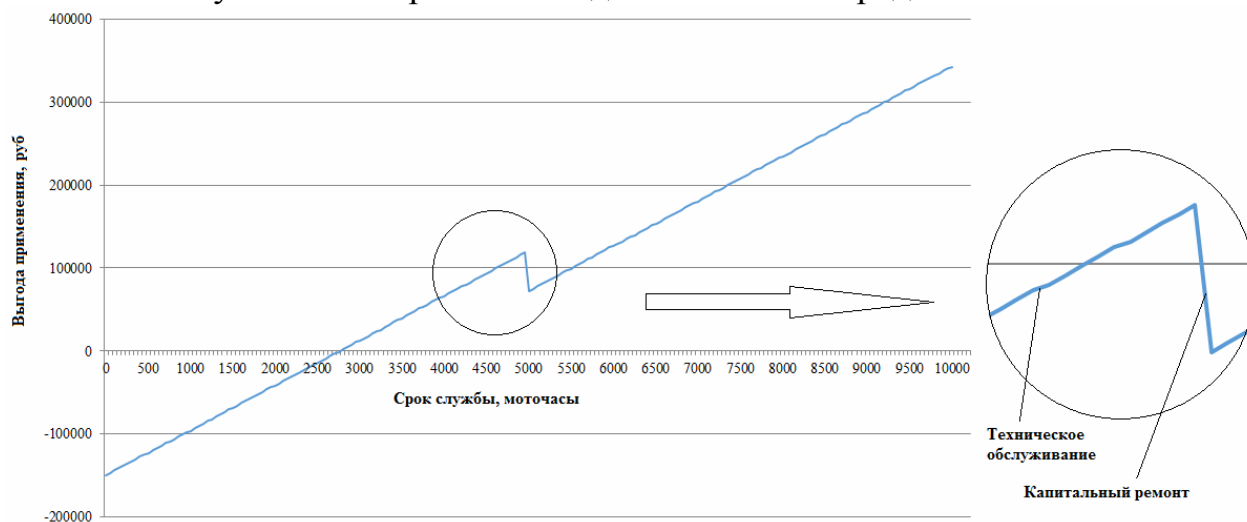


Рис. 2. График роста выгоды применения турбогенератора

Реальная (полная) экономия владения ДГУ с турбогенератором будет больше за счет снижения нагрузки на двигатель из-за высвобождения дополнительной мощности.

Заключение

Малая энергетика – это необходимый компонент народного хозяйства Российской Федерации. При этом требуется постоянное совершенствование показателей силовых установок в составе электростанций – расхода топлива, выбросов вредных веществ и др. Разработанный турбогенератор позволяет повысить экономические показатели силовых установок объектов малой энергетики. Также для встраивания в систему выпуска отработавших газов не требуется серьезных изменений в конструкции. За счет снижения нагрузки на силовую установку появляется возможность увеличения ее ресурса. Окупаемость вложенных средств в турбогенератор меньше гарантийного срока эксплуатации, а в перспективе дальнейшего использования только увеличивает выгоду.

Настоящая работа подготовлена в рамках соглашения № 14.574.21.0154 от «26» сентября 2017 года о предоставлении субсидии при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. Уникальный идентификатор прикладных научных исследований RFMEFI57417X0154.

Список литературы

1. Дзюбенко С. Согреют вдалеке [Электронный ресурс] // Российская газета. Спецвыпуск № 290 (7158). URL: <https://rg.ru/2016/12/21/malaia-energetika-stala-trendom-na-rossijskom-rinke.html>.
2. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс]. URL: <https://www.gks.ru/>.
3. Аналитический отчет DISCOVERY RESEARCH GROUP. Анализ рынка генераторов электроэнергии в России [Электронный ресурс]. URL: https://drgroup.ru/components/com_jshopping/files/demo_products/Demo._1813-Analiz-rynka-generatorov-elektroenergii-_elektrogeneratorov_-v-Rossii.PDF.
4. Лежнев Л.Ю. Энергоустановки автомобильного транспорта с тяговым электроприводом: монография / Л.Ю. Лежнев, Н.А. Хрипач, Ф.А. Шустров и др. – Тамбов: Консалтинговая компания Юком, 2017. – 204 с.
5. Хрипач Н.А. Системы повышения эффективности работы автомобильных энергоустановок: учебное пособие / Н.А. Хрипач, Л.Ю. Лежнев. – Ставрополь: Логос, 2017. – 38 с.
6. Khripach N., Lezhnev L., Tatarnikov A., Stukolkin R., Skvortsov A. Turbo-generators in energy recovery systems // International Journal of Mechanical Engineering & Technology, 2018.
7. Хрипач Н.А. Применение турбогенераторов в силовых установках городского транспорта / Н.А. Хрипач, В.А. Неверов, Б.А. Папкин и др. // Приоритетные направления развития науки и образования: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2018. – С. 131-134. – DOI: 10.21661/r-473087.
8. Татарников А.П. Турбогенераторы как инструмент повышения энергоэффективности объектов малой энергетики / А.П. Татарников, Ф.А. Шустров, Д.А. Иванов и др. // Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф. – №1. – СПб.: СПбФ НИЦ МС, – 2018. – С. 42-47.
9. Mitsubishi Heavy Industries Marine Machinery & Engine Develops Electro-assist MET Turbocharger to Achieve 30% Energy Saving, In Partnership with Calnetix Technologies - MITSUBISHI HEAVY INDUSTRIES, LTD. [Элек-тронный ресурс]. URL: <https://www.mhi.com/news/story/1310171725.html>.
10. НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ - НПО "ТУРБОТЕХНИКА" [Электронный ресурс]. URL: <http://www.kamturbo.ru/nauchnye-publikacii?page=sostav.html>.
11. ETC 300 - Bowman Power [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bowmanpower.com/products/etc-300>.
12. Lezhnev L.Yu., Tatarnikov A.P., Skvortsov A.A., Papkin I.A., Nekrasov A.S. 2018. Turbogenerator: Part 1: Simulation // International Journal of Engineering & Technology, 7 (3.15): 277-279. DOI: 10.14419/ijet.v7i3.15.18688.
13. Шустров Ф.А. Проектирование высокооборотного турбогенератора для двигателей внутреннего сгорания / Ф.А. Шустров, А.П. Татарников, Д.А. Иванов // Новое слово в науке: стратегии развития: материалы IX Междунар. науч.-практ. конф. – Чебоксары: ЦНС «Интерактив плюс», 2019. – С. 155-159.
14. Khripach N.A., Ivanov D.A., Tatarnikov A.P., Papkin B.A. Turbogenerator: designing and layout development // International Journal of Mechanical and Production Engineering Research and Development, 2019, vol. 9 (3), pp. 1625-1634, DOI : 10.24247/ijmperdjun2019171.

Сведения об авторах:

Неверов Всеволод Анатольевич – инженер НТЦ «Силовые агрегаты», Московский политех, г.Москва;

Чиркин Василий Германович – инженер 1 категории НТЦ «Силовые агрегаты», Московский политех, г.Москва;

Некрасов Александр Викторович – ведущий инженер НТЦ «Силовые агрегаты», Московский политех, г.Москва.