

МЕТОДОЛОГИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ РЕКУПЕРАЦИИ ТЕПЛА ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ ДЛЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Тепло от выхлопных газов дизельных двигателей может быть важным источником тепла для обеспечения дополнительной мощности и повысить общую эффективность работы двигателя. Преимущество цикла Ренкина (RC) в том, что это является одним из перспективных методов утилизации тепла от выхлопных газов.

Одним из производных цикла Ренкина известно как органический цикл Ренкина (ORC) также подходит для рекуперации тепла для средних двигателей, как содержание тепла выхлопного газа и температуры. Для рекуперации тепла от выхлопных газов двигателя, необходим эффективный теплообменник. Используя оптимизированные теплообменники, было проведено моделирование с целью оценки возможной выработки дополнительной энергии с учетом 80% КПД изэнтропической турбины. Это дополнительное повышение мощности удельного расхода топлива.

Ключевые слова: теплоэнергетика, утилизация тепла, дизельные двигатели, утилизация выхлопных газов, дизельной электростанцией.

A.A. HAMZA, O.A. HAMZA, A. P. MARCHINKO

The National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute"

EFFICIENCY ASSESSMENT METHODOLOGY RECOVERY SYSTEM EXHAUST HEAT FOR DIESEL POWER PLANTS

The heat from exhaust gas of diesel engines can be an important heat source to provide additional power and improve overall engine efficiency. Bottoming Rankine Cycle (RC) is one of the promising techniques to recover heat from the exhaust.

One derivative of RC known as Organic Rankine Cycle (ORC) is also suitable for heat recovery for moderate engines as the exhaust heat content and temperature. To recover heat from the exhaust of the engine, an efficient heat exchanger is necessary. Using the optimized heat exchangers simulation was conducted to estimate the possible additional power generation considering 80% isentropic turbine efficiency. This additional power improvement in specific fuel consumption.

Keywords: Heat power engineering, waste heat, diesel engines, exhaust gas recycling, diesel power stations.

Вступление

Энергетический комплекс разных государств обеспечивается промышленными разработками, которые базируются на фундаментальных исследованиях, что приобретает особенную актуальность в условиях оптимизации энергопотерь как перспективного направления совершенствования энергетики. Это связано с тем, что выхлопные газы, покидая пространство, в котором они возникли, параллельно выводят с собой большое количество энергии, которая может использоваться для производства электроэнергии, в чем и состоит основной смысл рекуперации. В этом контексте улучшение функционирования дизельных электростанций выступает важным предметом исследования, который фокусирует на себе научные поиски таких отдельных и важных аспектов данной проблематики, как эффективность рекуперации тепла выхлопных газов дизельных электростанций с целью увеличения энергоэффективности электростанций в целом.

Анализ состояния исследований и публикаций

Данная научная проблематика активно исследуется как в Украине, так и в Российской Федерации, европейских странах и странах Ближнего Востока. Наиболее новыми научными разработками необходимо признать работы таких авторов, как Г.А. Баласанян, А.В. Бурукова, А.Л. Гончаренко, А.В. Ефимов, О.В. Касилов, Ю.А. Рахманова, В.И. Тимошпольский, Н.М. Фиалко, Ю.В. Шеренковский, Н.А. Хрипач и другие исследователи.

В то же время недостаточно исследованными остаются подходы ученых к методологии оценки эффективности системы рекуперации тепла выхлопных газов энергетических установок.

Целью данной статьи является характеристика методологических особенностей оценки эффективности системы рекуперации тепла выхлопных газов энергетических установок.

Изложение основного материала

Тепловые двигатели являются основным элементом когенерационных установок, они позволяют вырабатывать механическую энергию, которая в дальнейшем преобразуется в электрическую и тепловую энергию за счет отбора энергии от отработавших газов, охлаждающей жидкости и системы смазки. Эффективность энергоустановок, в первую очередь, зависит от степени преобразования энергии сгорания топлива в электрическую и тепловую энергию. Современные когенерационные установки имеют суммарный КПД около 85–90 %, причем тепловой энергии вырабатывается значительно больше, чем электрической. Электрический КПД установки ограничивается механическим КПД теплового двигателя и электрическим КПД генератора и преобразователя, что обуславливает его низкое значение по сравнению с тепловым КПД [1].

Данную особенность тепловых двигателей в контексте преобразования тепловой энергии в электрическую, на наш взгляд, необходимо исследовать путем математического моделирования различных

режимов работы электропривода с полупроводниковым преобразователем, а также сети электроснабжения с автономным источником электрической энергии в программном комплексе Matlab Simulink. Данный подход обусловлен тем, что дизель-генератор представляет собой установку, состоящую из дизельного двигателя и генератора.

Ученые отмечают, что КПД дизель-генераторной установки в большей степени определяется КПД дизельного двигателя. Из-за конструктивных особенностей дизельный двигатель обладает максимальным КПД при нагрузке порядка 80% от максимальной. Нагрузка на дизельный двигатель меньше 20% считается неэффективной и ее стараются избегать [2].

В то же время, эффективность дизель-генераторной установки может существенно увеличиваться за счет комплекса технических мероприятий, которые принято называть рекуперацией. Так, например, А.В. Бурокова констатирует, что снизить эти потери можно путем уменьшения их количества за счет снижения коэффициента избытка воздуха при сжигании топлива и присосов воздуха в рабочее пространство из окружающей среды через неплотности. Утилизация теплоты уходящих дымовых газов за счет снижения их температуры может быть выполнена в двух направлениях: с возвратом утилизированной теплоты обратно и без возврата этой теплоты. Возврат части теплоты дымовых газов может осуществляться путем предварительного подогрева за счет части теплоты дымовых газов, металла, топлива или воздуха перед их подачей в камеры сжигания топлива дизельного двигателя, что позволяет повысить коэффициент использования теплоты дизельного агрегата, температуру и качество горения топлива, а также снизить расход топлива и сопутствующие негативные экологические воздействия [3].

Еще одним способом увеличения КПД когенерационной установки является применение установок, работающих по циклу Ренкина. Технология, использующая экологически чистый цикл Ренкина, может работать на любом тепловом источнике с минимальной разницей температур 52 °С между источником тепла и теплоотводом. Установка, работающая по циклу Ренкина, содержит теплообменник, в котором подводимое тепло идет на нагрев рабочего тела и превращение его в газ. Газ (пар) поступает в турбину и вращает генератор, после чего пар попадает в конденсатор, где охлаждается и превращается в жидкость, после чего поступает обратно в первый теплообменник [4].

При оптимизации режимов работы теплоутилизационных установок необходимо использовать математическую модель, разработанную М. В. Меркуловым и другими исследователями [5] на основе теоретических и экспериментальных исследований, позволяющую выразить величину теплового потока в зависимости от температуры, расхода теплоносителя и нагрузки дизель-генератора, что дает возможность:

- определить величину теплового потока в различных режимах работы системы утилизации теплоты;
- выбрать режим работы, обеспечивающий максимальную экономию топлива.

Процесс теплообмена в рекуперативных теплообменниках, протекающий без изменения агрегатного состояния, описывается уравнением теплопередачи. Кроме этого, для каждого теплоносителя можно записать уравнение теплового потока.

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = k \cdot F \cdot \frac{(T_1 - t_2) - (T_2 - t_1)}{\ln \frac{T_1 - t_2}{T_2 - t_1}} \\ Q = W_1 \cdot (T_1 - T_2) \\ Q = W_2 \cdot (t_2 - t_1) \end{array} \right. \quad (1)$$

Решив их совместно получим уравнение теплового режима:

$$Q = (T_1 - t_1) \cdot W_1 \cdot m, \text{ кВт} \quad (2)$$

где Q – тепловой поток, кВт;

K – коэффициент теплопередачи, кВт/м²°С;

F – площадь теплообмена, м²;

Δt – логарифмический перепад температур, °С;

T_1, T_2 – температура первичного теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °С;

t_1, t_2 – температура вторичного теплоносителя на входе и выходе из теплообменника, °С;

W_1, W_2 – водяной эквивалент первичного и вторичного теплоносителя, кВт/°С;

P – нагрузка дизель-агрегата, кВт;

m – коэффициент, учитывающий изменение теплопередачи в различных режимах работы.

$$\frac{1 - \exp \left[k \cdot F \cdot \left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2} \right) \right]}{\frac{W_1}{W_2} - \exp \left[k \cdot F \cdot \left(\frac{1}{W_1} - \frac{1}{W_2} \right) \right]} = m \quad (3)$$

Параметры W_1 и T_1 определяются режимом работы дизель-генератора и могут быть выражены через его нагрузку (P). Коэффициент m может быть представлен через нагрузку дизель-генератора и расход вторичного теплоносителя.

Анализ литературных источников показал, что функции $W_1=f(P)$ и $T_1=f(P)$ носят линейный характер. Регрессионный анализ результатов испытаний позволил представить эти зависимости следующими аппроксимирующими функциями:

$$T_1=92,86+0,977P, \text{ } ^\circ\text{C};$$

$$W_1=0,745+0,758 \cdot 10^{-3} \cdot P, \text{ кВт}.$$

В результате корреляционного анализа, для коэффициента m установлена следующая зависимость от величины водяного эквивалента вторичного теплоносителя:

$$m=0,45 \cdot W_2^{0,2}.$$

С учетом того, что $W_2=c_2M_2/3600$, кВт/°С, где c_2 – теплоемкость воды, $c_2=4,19$ кДж/кг°С; M_2 – расход вторичного теплоносителя, тыс. кг/ч,

уравнение теплового режима примет вид:

$$Q = (92,86 - t_1 + 0,977 \cdot P) \cdot (0,745 + 0,7579 \cdot 10^{-3} \cdot P) \cdot 0,4638 \cdot M_2^{0,2}, \text{ кВт} \quad (4)$$

Проверка статистических гипотез с уровнем значимости $\alpha = 0,95$ позволяет утверждать, что данное уравнение является значимым, адекватным и информативным.

Выводы

Таким образом, необходимо констатировать, что охарактеризованная выше модель призвана получить использование при выборе оптимального режима работы системы рекуперации теплоты дизельной электростанции, таким образом может увеличить эффективность ее работы в контексте поднятия показателей общего КПД.

Литература

- Ипатов А. А. Разработка технологической схемы автономной системы с комбинированным тепло- и электроснабжением отдельно стоящих объектов с возможностью использования в качестве топлива продуктов переработки биомассы / А. А. Ипатов, Б. А. Папкин, Н. А. Хрипач // Комбинированные энергоустановки автотранспортных средств: сб. научн. ст. – М. – Вып. №242. – 2009. – С. 85 - 95., с. 91.
- Момот Борис Александрович. Снижение влияния частотно-регулируемого привода переменного тока на качество электрической энергии в сетях с автономным источником: диссертация ... кандидата технических наук: 05.09.03 / Момот Борис Александрович; [Место защиты: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования "Национальный минерально-сырьевой университет "Горный"] – Санкт-Петербург, 2014.- 151 с., с. 14.
- Воронко А.В. К вопросу рекуперации теплоты газов печей термообработки металлических изделий / А.В. Воронко, Ю.А. Рахманов // Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Экономика и экологический менеджмент. – 2014. – № 1(16). – С. 17.
- Хрипач Н.А., Татарников А.П. АНАЛИЗ СИСТЕМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГИИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДЛЯ КОГЕНЕРАЦИОННЫХ ЭНЕРГОУСТАНОВОК // Научное обозрение. Технические науки. – 2014. – № 2. – С. 200-200.- Режим доступа: <http://engineering.science-review.ru/ru/article/view?id=683> (дата обращения: 27.04.2016).
- Лимитовский А.М. Утилизация тепла дизельных электростанций – главный резерв экономии топливно-энергетических ресурсов ГРП. / А.М. Лимитовский, А.А. Гланц, М.В. Меркулов // Оптимизация и совершенствование электроснабжения геологоразведочных работ. – М., «Недра», 1983.

References

- Ipatov A. A. Razrabotka tehnologicheskoy shemy avtonomnoy sistemy s kombinirovannym teplo- i jelektrosnabzheniem ot del'no stojashhih ob#ektov s vozmozhnost'ju ispol'zovaniya v kachestve topliva produktov pererabotki biomassy / A. A. Ipatov, B. A. Papkin, N. A. Hripach // Kombinirovannye jenergoustanovki avtotransportnyh sredstv: sb. nauchn. st. – M. – Vyp. №242. – 2009. – pp. 85 - 95., p. 91.
- Momot Boris Aleksandrovich. Snizhenie vlijaniya chastotno-reguliruемого privoda peremennogo toka na kachestvo jelektricheskoy jenerгии v setjah s avtonomnym istochnikom: dissertacija ... kandidata tehniceskikh nauk: 05.09.03 / Momot Boris Aleksandrovich; [Mesto zashhity: Federal'noe gosudarstvennoe bjudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya "Nacional'nyj mineral'no-syr'evoj universitet "Gornyj"] – Sankt-Peterburg, 2014.- 151 p., p. 14.
- Voronko A. V. K voprosu rekupeции teploty gazov pechej termoobrabotki metallicheskih izdelij / A. V. Voronko, Ju. A. Rahmanov // Nauchnyj zhurnal NIU ITMO. Serija: Jekonomika i jekologicheskij menedzhment. – 2014. – № 1(16). – p. 17.
- Hripach N. A., Tatarnikov A. P. ANALIZ SISTEM PREOBRAZOVANIJa JeNERGII OTRABOTAVSHIH GAZOV DLJa KOGENERACIONNYH JeNERGOUSTANOVOK // Nauchnoe obozrenie. Tehniceskie nauki. – 2014. – № 2. – pp. 200-200.- Rezhim dostupa: <http://engineering.science-review.ru/ru/article/view?id=683> (data obrashhenija: 27.04.2016).
- Limitovskij A. M. Utilizacija tepla dizel'nyh jelektrostanциj – glavnyj rezerv jekonomii toplivno-jenergeticheskikh resursov GRP. / A. M. Limitovskij, A. A. Glanc, M. V. Merkulov // Optimizacija i sovershenstvovanie jelektrosnabzhenija geologorazvedochnyh работ. – M., «Nedra», 1983.

Рецензія/Peer review : 8.5.2016 р. Надрукована/Printed :27.6.2016 р.
Стаття рецензована редакційною колегією