

И только теперь можно приступить к выбору алгоритма системы слежения. Для этого необходимо сформировать оценку [4] неизмеряемого вектора регулируемых переменных, и только после этого можно определить указанный закон управления.

Список литературы

1. Тимченко В. А., Коротун Ю. М. Система автоматического наведения электрода с использованием дуги в качестве датчика // Автоматическая сварка. 1981. № 6. С. 59–64.
2. Тимченко В. А., Сухомлин А. А. Роботизация сварочного производства. Киев : Техника, 1988.
3. Клоев А. С., Карпов В. С. Синтез быстродействующих регуляторов для объектов с запаздыванием. М. : Энергоатомиздат, 1990.
4. Цыкунов А. М. Робастное управление с компенсацией возмущений. М. : Физматлит, 2012.
5. Бобцов А. А. Алгоритм робастного управления неопределенным объектом без измерения производных регулируемой переменной // АиТ. 2003. № 8. С. 82–96.

УДК 621.431.74.068.4:662.76

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ УТИЛИЗАЦИИ СБРОСНОЙ ТЕПЛОТЫ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ

Т. В. Хоменко, С. В. Виноградов***

**Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет*

***Астраханский государственный технический университет*

В двигателях судовых энергетических установок (СЭУ) менее 40 % теплоты при сгорании топлива оборачивается в механическую энергию, остальные 60 % теряются. В настоящее время для повышения эффективного использования теплоты и увеличения КПД СЭУ применяется метод утилизации теплоты. Применение термоэлектрических генераторов (ТЭГ) явится одним из решений проблемы реализации данного метода, так как ТЭГ функционируют с использованием энергии теплоты отработавших газов (ОГ) дизеля. В данной работе предложены математическая модель и методика определения влияния параметров теплоносителей на рабочие параметры при различных режимах в процессе управления утилизацией сбросной теплоты судовых дизелей с применением термоэлектрических генераторов.

Ключевые слова: сбросная теплота, термоэлектрические генераторы, судовые энергетические установки.

In engines of ship power plants (SEU) less than 40 % of heat at combustion of fuel turns into mechanical energy, the other 60 % are lost. Currently, the method of heat recovery is used to improve the efficient use of heat and increase the efficiency of SEU. The use of thermoelectric generators (TEG) will be one of the solutions to the problem of implementation of this method, since TEG operate using the heat energy of exhaust gases (OG) of diesel. In this paper, a mathematical model and methodology for determining the influence of coolant pa-

rameters on the operating parameters under different regimes in the process of management of waste heat recovery of marine diesel engines using thermoelectric generators are proposed.

Keywords: waste heat, thermoelectric generators, ship power plants.

Постановка задачи. Существующие модели работы ТЭГ описывают характер распределения теплоты в устройствах, методики расчета позволяют определить условия их работы с учетом функциональных назначений. Однако, в связи с тем, что для теплоносителей их конечные температуры неизвестны и могут быть определены только экспериментально, определение количества теплоты отданных горячими газами и полученной охлаждающей жидкостью в данных методиках является определенной проблемой. Для ее решения необходимо разработать математическую модель управления утилизации сбросной теплоты СЭУ, что позволит обобщить существующие методики и определить потенциал развития и применения ТЭГ согласно их специфическим особенностям и достоинствам, таким как безмашинному способу преобразования энергии, бесшумности работы в связи с отсутствием движущихся частей, большой автономности и высокой надежности, долговечности и простотой эксплуатации, малой инерционности и легкости стабилизации параметров, возможности использования различных средств отвода тепла и др.

Методы и результаты исследования. Под *управлением* утилизации сбросной теплоты СЭУ будем понимать процесс организации такого целенаправленного воздействия на объект, в результате которого этот объект переводится в требуемое (целевое) состояние.

Объектом управления будем называть ТЭГ, состояние которого нас интересует. Состояние ТЭГ может изменяться: $X' = D_x(X)$, что определяется согласно методикам расчета параметров работы ТЭГ с использованием энергии теплоты отработавших газов (ОГ) дизеля.

Введем понятие «субъекта». *Субъектом управления* будем называть объект, который является источником целей, реализуемых управлением: $Y' = D_y(Y)$.

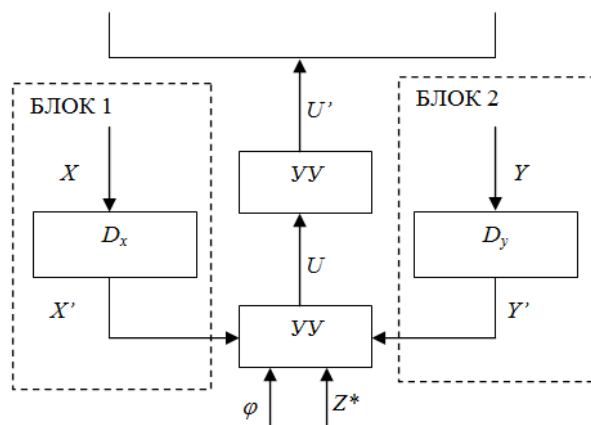


Рис. 1. Блок-схема системы управления объектом

На рис. 2 графически представлены распределение температур по толщине модуля [13] и зоны реализации сопутствующих эффектов.

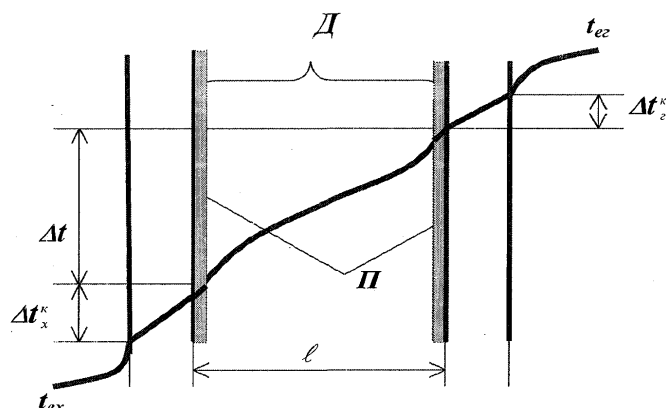


Рис. 2. Распределение температуры внутри термоэлектрического модуля

Здесь обозначено:

Δt_x^k , Δt_z^k – потери температурного напора на конструктивной части термомодуля (вследствие наличия термического сопротивления на его элементах – керамике, припое, коммутационных шинах, контактном переходе) (рисунок 2.6);

$\Delta t_{mэ}$ – рабочий (полезный) перепад температуры, определяющий энергетические характеристики термомодуля;

D – зона реализации теплоты Джоуля;

P – зона реализации теплоты Пельтье;

l – длина термоэлемента.

Для простоты расчета введены следующие допущения:

- материал ветвей однороден и изотропен;
- площади сечений ветвей термоэлементов одинаковы и постоянны
- теплота Джоуля распределена поровну между противоположными спаями термоэлементов [1, 2];

- боковые поверхности термоэлементов теплоизолированы.

Методика расчета термоэлектрической установки учитывает:

- тепловой поток от источника тепла;
- способ отвода теплоты от термоэлектрического генератора;
- генерирование электрической мощности;
- влияние внешней электрической нагрузки на выходные параметры

ТЭГ.

Расчеты выполняются в блоке 1.

Методика расчета тепловых и электрических параметров ТЭГ осуществляется путем последовательных приближений.

Пусть имеются данные для расчета.

1. Расчет начинается с задания следующих параметров:

- $t_{Г1}$; $t_{В1}$ – температуры горячего и холодного теплоносителей на входе в термоэлектрогенератор (°C);
- $t_{Г2}$; $t_{В2}$ – температуры горячего и холодного теплоносителей на выходе из термоэлектрогенератора (°C);

2. По формуле (1) находятся средние температуры теплоносителей:

$$K_G = \Delta T_{cp} \cdot F / Q = F / (2c_p \cdot G), \text{ (м}^2\text{K/Вт)} \quad (1)$$

3. По средним температурам теплоносителей находят следующие параметры [9]:

- $c_{рг}$; $c_{рв}$ – удельная теплоемкость горячего и холодного теплоносителей ($\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$);

- $\rho_{г}$; $\rho_{в}$ – плотность горячего и холодного теплоносителей (кг/м³);

- $\nu_{г}$; $\nu_{в}$ – кинематическая вязкость горячего и холодного теплоносителей (м²/с);

- $Pr_{г}$; $Pr_{в}$ – число Прандтля при средних температурах теплоносителей;

- $\lambda_{г}, \lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4, \lambda_5, \lambda_{в}$ – коэффициенты теплопроводности горячего теплоносителя, стенки горячего узла, слоя керамической изоляции со стороны горячего узла, термоэлементов, слоя керамической изоляции со стороны холодного узла, стенки холодного узла и охлаждающей воды ($\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{K}}$);

- $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4, \delta_5$ – толщина стенки горячего узла, слоя керамической изоляции со стороны горячего узла, высота термоэлементов, слоя керамической изоляции со стороны холодного узла, стенки холодного узла (м).

4. По формуле (2) находят количество теплоты, отданной горячим теплоносителем (Вт).

$$Q_{\tau} = I \cdot 10^{-6} \cdot \int_{T_x}^{T_z} \tau dT \quad (2)$$

где τ – коэффициент Томсона (мкВ/град).

Расчеты выполняются в блоке 2.

Параметры работы ТЭГ целенаправленно воздействуют на увеличение КПД. Результаты расчета D_x, D_y из блоков 1,2 поступают на управляющее устройство (УУ), которое вырабатывает команды управления U . Эти команды обрабатываются исполнительным механизмом (ИМ), с тем, чтобы изменить состояние управляемого входа U' объекта, тем самым позволяют управлять утилизацией сбросной теплоты СЭУ.

Если состояние объекта – ТЭГ удовлетворяет потребностям Z^* субъекта – увеличения КПД, взаимодействующего с этим объектом и эксплуатирующего его, то никакого управления не нужно. Если же состояние объекта почему-либо не удовлетворяет потребностей субъекта, то организует-

ся такое воздействие на объект Φ (подбор параметров), которое приводит объект в новое состояние, удовлетворяющее субъекта: $U = \varphi(X', Y', Z^*)$

Заключение

Характер изменения эксергетического КПД в зависимости от режимов теплоносителей графически представлен на рис. 3–4.

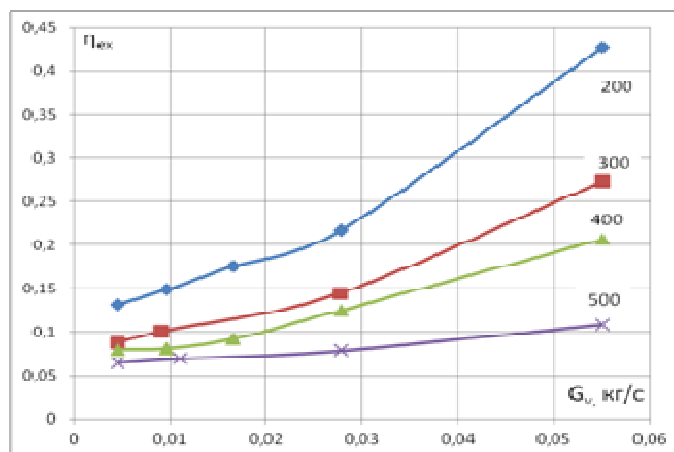


Рис. 3. Зависимость эксергетического КПД η_{ex} при различных температурных режимах горячего теплоносителя с постоянным расходом горячего теплоносителя

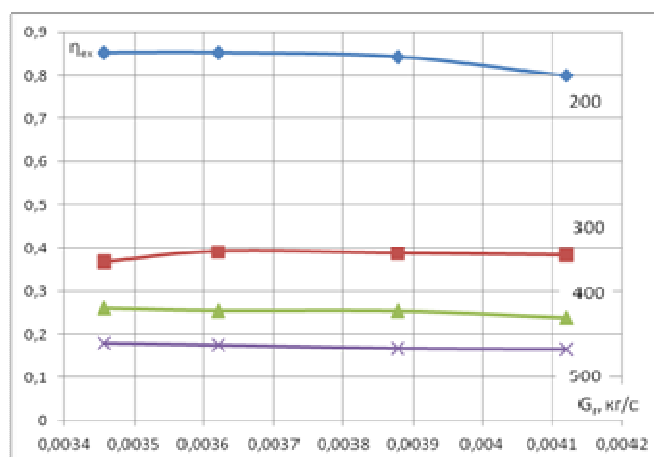


Рис. 4. Зависимость эксергетического КПД η_{ex} при различных температурных режимах горячего теплоносителя с постоянным расходом холодного теплоносителя

В процессе работы уточняются параметры теплоносителей, следовательно, изменяются их средние температуры и, как следствие, теплофизические свойства теплоносителей. Кроме того, это учитывается влияние на теплофизические и электрические характеристики термоэлектрического материала. Тем самым происходит постоянное уточнение вышеуказанных параметров с учетом изменения температуры при утилизации сбросной теплоты СЭУ.

Таким образом, данная методика позволяет определить влияние параметров теплоносителей на рабочие параметры при различных режимах и

управлять утилизации сбросной теплоты судовых дизелей с применением термоэлектрических генераторов.

Список литературы

1. Официальный сайт РМРС, раздел «Регистровая книга судов». URL: <http://www.rs-head.spb.ru/ru/regbook>.
2. Руководящий технический материал (РТМ 212.0142-86). Схемы утилизации теплоты судовых дизелей. Л. : Транспорт, 1989. 42 с.
3. Манасян Ю. Г. Судовые термоэлектрические устройства и установки. Л. : Судостроение, 1988. 320 с.
4. Пат. на полезную модель RU 108 214 U1. Устройство для утилизации теплоты отработавших газов в судовых энергетических установках / С. В. Виноградов, К. Р. Халыков, К. Д. Нгуен и др.; опуб. 10.09.2001, Бюл. № 25.
5. <http://kryotherm.ru>.
6. Виноградов С. В., Халыков К. Р., Нгуен К. Д. Методика расчета и оценки параметров экспериментального термоэлектрического генератора // Вестник Астраханского гос. техн. ун-та. Сер.: Морская техника и технология. 2011. № 1. С. 84–91.
7. Термоэлектрические модули и устройства на их основе. Справочное пособие. – СПб. : ИПФ «Криотерм», 2004. 53 с.

УДК 621.431.74.068.4:662.76

РАСЧЕТ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА, РАБОТАЮЩЕГО ОТ ТЕПЛОТЫ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ

С. В. Виноградов, Т. В. Хоменко***

**Астраханский государственный технический университет*

***Астраханский государственный
архитектурно-строительный университет*

Создание новых материалов, развитие нанотехнологий и прочие достижения в области термоэлектричества возобновили интерес к генерированию электрической энергии и применению термоэлектричества. В данной работе предложен алгоритм расчета эксплуатационных характеристик.

Ключевые слова: сбросная теплота, термоэлектрические генераторы, судовые энергетические установки.

The creation of new materials, the development of nanotechnology and other achievements in the field of thermoelectricity renewed interest in the generation of electricity and the use of thermoelectricity. The algorithm of calculation of operational characteristics is offered in this work.

Keywords: waste heat, thermoelectric generators, ship power plants.

Введение

В настоящее время общий объем от реализации термоэлектрических устройств составляет более 3 млрд долл. В таблице 1 представлены данные по разработке гибридных установок, состоящих из ДВС (двигатель внут-