

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П.КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВИХРЕВОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА**

Методические указания к лабораторной работе

Регистрационный № <u>3-014</u>
ХРАНИТСЯ НА КАФЕДРЕ
МАЛЫЙ ТИРАЖ <u>30</u> экземпляров

САМАРА 2014

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ «САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ АКАДЕМИКА С.П.КОРОЛЕВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)» (СГАУ)**

В.В. Бирюк, С.О. Некрасова, Д.В. Сармин, Д.А. Угланов

**Определение основных характеристик
вихревого теплогенератора**

Методические указания к лабораторной работе

УДК 621.3(075)
ББК 31.280.7

Составители: В.В. Бирюк, С.О. Некрасова, Д.В. Сармин, Д.А. Угланов

Определение основных характеристик вихревого теплогенератора: Метод. указания / Самар. гос. аэрокосм. ун-т; Сост. В.В. Бирюк, Д.В. Сармин, Д.А. Угланов Д.А.; Самара, 2012. – 24 с.

Приведены основы методики расчета параметров вихревого теплогенератора. Представлена методика экспериментального определения его основных энергетических характеристик.

Пособие предназначено для студентов, обучающихся по специальности 160301 Авиационные двигатели и энергетические установки, для специализации «Менеджмент энергосберегающих технологий», направление подготовки специалистов 160700.65 Проектирование авиационных и ракетных двигателей, направления подготовки магистров 160700.68 Двигатели летательных аппаратов, а также может быть полезно слушателям курсов, аспирантам и специалистам, изучающим современные энергосберегающие технологии. Разработано на кафедре теплотехники и тепловых двигателей.

Табл. 10. Ил. 11. Библиогр. 4 назв.

Печатаются по решению редакционно-издательского совета Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева.

Рецензент: д.т.н., проф. В.Н. Матвеев

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ.....	5
2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ.....	12
3.МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА.....	13
4. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЙ.....	13
5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ.....	14
6.СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА.....	14
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	32
ПРИЛОЖЕНИЕ 1.....	33
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	43

ВВЕДЕНИЕ

Дефицит топлива и возрастающее загрязнение окружающей среды отходами производств, использующих невозобновляемые источники энергии, поставили перед человечеством вопрос о применении экологически чистых, возобновляемых источников энергии, к которым относится, в том числе, и солнечная энергия. Она обладает наибольшим потенциалом для будущего применения в качестве нового источника энергии, использование которого позволит обеспечить человечество необходимым количеством энергии. При этом опыт современных разработок в автомобилестроение и самолетостроение позволяют говорить о том, что солнечные системы энергоснабжения могут использоваться в качестве источников энергии.

1. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАБОТЫ

Традиционными теплогенераторами, нашедшими широкое применение в технике и быту, являются преобразователи энергии, использующие теплоту сгорания различного рода топлив (жидкого, твердого и газообразного). Недостатками их являются загрязнение окружающей среды продуктами сгорания, значительные финансовые затраты при транспортировке и хранении энергоносителей.

Создание, разработка и исследование экологических теплогенераторов, реализующих в своей работе иные принципы преобразования различных форм энергии в тепловую, представляют значительный интерес. Примером таких теплогенераторов являются теплогенераторы вихревые гидравлические (ТВГ) (рис. 1). В ТВГ электрическая энергия (привода насоса) преобразуется в кинетическую энергию поступательного и вращательного движения потока жидкости. В ТВГ жидкость, приводимая в движение насосом, поступает через входное устройство в завихрителе.

Благодаря тангенциальному вводу 1 и профилю завихрителя 2 жидкость закручивается, приобретая вихревой, спиралевидный характер движения. К моменту поступления в корпус теплогенератора 3 скорость ее растет. За счет вязкостного трения о внутреннюю поверхность корпуса ТВГ, кавитации жидкость подогревается. Дополнительный подогрев жидкости происходит за счет внутреннего трения ее слоев. Эффективность теплогенератора оценивается коэффициентом преобразования энергии

$$\varphi = \frac{Q_{\text{пол}}}{Q_{\text{зат}}}, \quad (1)$$

представляющего отношение полезной теплоты (пошедшей на нагрев воды и металлоконструкций) $Q_{\text{пол}}$ к затраченной энергии $Q_{\text{зат}}$.

Важными энергетическими характеристиками теплогенератора являются теплопроизводительность Q_B - количество теплоты, пошедшее на нагрев воды и темп подогрева $\Delta T/\tau$. Последние две величины взаимосвязаны.

$$Q_B = c_B m_B \frac{\Delta T_B}{\tau}, \text{ Вт, (2)}$$

здесь c_B, m_B - теплоемкость и масса воды, циркулирующей в установке; ΔT - разность температур воды в начале и конце нагрева; τ - время работы теплогенератора. Величина темпа подогрева может быть найдена из уравнения Бернулли, записанного для вязкой жидкости [1], [2]:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = Z_2 + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + h_c \quad (3)$$

Так как $Z_1 = Z_2$, то:

$$\frac{p_1}{\rho g} + \frac{u_1^2}{2g} = \frac{p_2}{\rho g} + \frac{u_2^2}{2g} + \frac{v_1^2 - v_2^2}{2g} + h_c, \quad (4)$$

где h_c - удельная работа (отнесенная к весовому расходу) сил вязкого трения, переходящая в тепло — удельная тепло-производительность; P_1, P_2 - давление на входе и выходе из теплогенератора; V_1, V_2 - тангенциальные и осевые составляющие скорости на входе и выходе из теплогенератора.

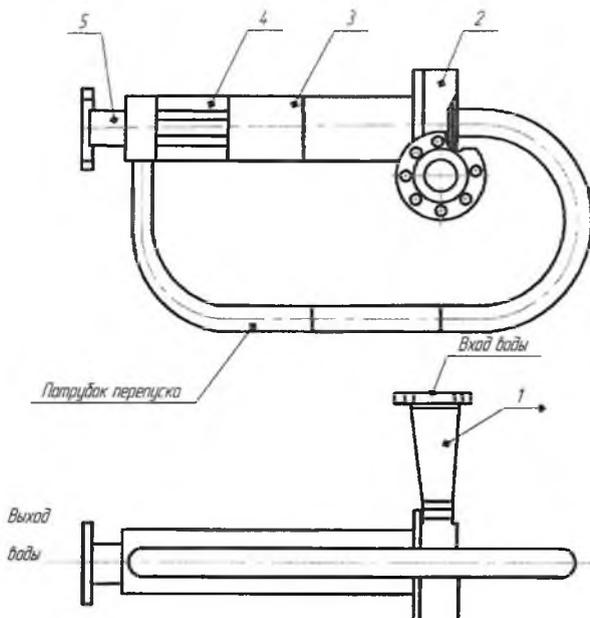


Рис.1. Общий вид теплогенератора: 1-входное устройство, 2-завихритель, 3 -корпус, 4-развихритель, 5-выходное устройство

Из (2) может быть найдена удельная теплопроизводительность.

$$h_c = \frac{p_1 - p_2}{\rho g} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2g} - \frac{v_2^2 - v_1^2}{2g} \quad (5)$$

Здесь G - расход воды в кг/с; g - ускорение свободного падения.

Для этого должны быть известны параметры потока жидкости на входе и выходе из теплогенератора.

Теплопроизводительность установки определяется из выражения:

$$H_c = Gh_c g = G \left(\frac{p_1 - p_2}{\rho} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2} - \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right) \quad (6)$$

Здесь G - расход воды в кг/с; g - ускорение свободного падения.

По величине H_c может быть оценен темп подогрева. Поскольку

$$Q_n = H_c, \text{ а } \Delta T = \frac{\Delta T}{\tau}, \text{ то}$$

$$\Delta T = \frac{H_c}{cG} = \frac{Gh_c g}{cG} = \frac{h_c g}{C}, \quad (7)$$

$$\Delta T' = \frac{p_1 - p_2}{\rho c} + \frac{u_1^2 - u_2^2}{2c} - \frac{v_2^2 - v_1^2}{2c}, \quad (8)$$

Так как для несжимаемой жидкости осевая составляющая скорости не меняется $u_1 = u_2$, то выражение (8) примет вид:

$$\Delta T' = \frac{1}{c\tau} \left(\frac{p_1 - p_2}{\rho} - \frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right), \quad (9)$$

Поскольку выражения (3) и (4) справедливы для изотермической модели течения вязкой несжимаемой жидкости, то темп подогрева целесообразно оценивать за промежуток времени, для которого изменение температуры жидкости не влияет на гидродинамическую картину течения.

Альтернативным методом определения тепловой мощности является ее определение через составление теплового баланса. В данном случае уравнение энергетического баланса будет выглядеть следующим образом:

$$W \cdot \tau = \Delta I_n + \Delta Q_{окр.ср.} \quad (10),$$

где W – тепловая мощность теплогенератора, τ – время работы теплогенератора, ΔI_n – изменение энтальпии воды за время нагрева τ , $\Delta Q_{окр.ср.}$ – суммарное тепло, отдаваемое теплогенератором в окружающую среду за счет естественной конвекции и лучистого теплообмена.

В свою очередь изменение энтальпии воды за время нагрева τ определяется по формуле:

$$\Delta I_n = c_n \cdot G_n \cdot (T_n - T_{Bo}) \quad (11),$$

где c_n – теплоемкость меди, из которой изготовлен калориметр, G_n – масса калориметра, T_n – температура нагрева воды в контрольное время измерения, T_{Bo} – начальная температура воды в теплогенераторе.

Таким образом, первое слагаемое в формуле 10 ΔI_n может быть определено по формуле 11. Второе слагаемое $\Delta Q_{окр.ср.}$ в формуле 10, как уже было выше сказано представляет собой – суммарное тепло, отдаваемое теплогенератором в

окружающую среду за счет естественной конвекции и лучистого теплообмена. Эта балансовая составляющая определялась по следующей формуле:

$$\Delta Q_{окр. ср} = \alpha_{\Sigma} \cdot F \cdot (T_{II} - T_{окр. ср}) \cdot d\tau \quad (12),$$

где α_{Σ} – общий коэффициент теплоотдачи, F – площадь поверхности калориметра, T_{II} – температура калориметра, $T_{окр. ср}$ – температура окружающей среды, $d\tau$ – элементарный промежуток времени нагрева воды в теплогенераторе. Общий коэффициент теплоотдачи определяется экспериментально с применением метода регулярного режима при выключении теплогенератора и охлаждения воды в нем естественным образом.

К телу, остывающему в изобарных условиях, применимо аналитическое выражение первого начала термодинамики, в форме, которая устанавливает связь между теплотой и энтальпией:

$$dQ = -m \cdot di \quad (13),$$

Выражение 13 справедливо для равновесных и неравновесных процессов. Как уже было сказано выше для калориметра dQ в левой части выражается суммой:

$$dQ = dQ_{ест. конв.} + dQ_{изл.} \quad (14),$$

где $dQ_{ест. конв.}$ – тепло, отдаваемое за счет естественной конвекции, $dQ_{изл.}$ – тепло, отдаваемое за счет лучистого теплообмена. Для определения энтальпии di используем следующую формулу:

$$di = c_p \cdot dT \quad (15).$$

Подставляя формулы 12, 14, 15 в формулу 13 получается:

$$-m \cdot c_p dT = \alpha_{\Sigma} \cdot F \cdot (T_{\delta} - T_{окр. ср.}) \cdot \tau \quad (16).$$

Принимая $T_{\delta} - T_{окр. ср.} = v$ и из условия $T_{окр. ср.} = const$ следует, что $dv = dT$.

С учетом дополнительных обозначений получаем форму дифференциального уравнения нестационарного теплообмена:

$$\frac{dv}{v} = -\frac{F \alpha_{\Sigma}}{m \cdot c_p} \cdot d\tau \quad (17).$$

Введя обозначение:

$$M = \frac{F \alpha_{\Sigma}}{m \cdot c_p} \quad (18),$$

и интегрируя уравнение 18 получаем:

$$\ln v = -M\tau + const \quad (19).$$

Уравнение 19 является отправным пунктом во всей теории регулярного режима. Из уравнения 19 следует, что логарифм натуральный избыточной температуры v является линейной функции времени τ .

В теории регулярного режима [44] величина M именуется «темпом охлаждения». Любые исследования, связанные с применением регулярного режима, всегда сводится к определению M . В данном случае по значению величины M из соотношения 18 определяется α_{Σ} .

Эксперимент начинается сразу же после выключения теплогенератора. Запускается секундомер и происходит замер температуры калориметра (рис.3.3) при его остывании. Измерения производятся через одну минуту в течение 10-12 мин. Находятся значения избыточной температуры, $T_{л} - T_{окр\ ср} = v$, затем строится график $\ln v = f(\tau)$. Через точки графика проводится осредняющая прямая. По ее наклону определяется темп охлаждения:

$$M = \frac{\ln v_1 - \ln v_2}{\tau_2 - \tau_1} \quad (20).$$

Индексы 1 и 2 относятся к любым двум точкам, находящимся на осредняющей прямой (рис.3). Суммарный коэффициент теплоотдачи определяется из уравнения 18:

$$\alpha_{\Sigma} = M \frac{m \cdot c_p}{F} \quad (21).$$

Приведенный на рис.3 в качестве примера один из графиков серии экспериментов свидетельствует о линейности функции $\ln v = f(\tau)$, что подтверждает наличие регулярного режима и, следовательно, правильность применения метода.

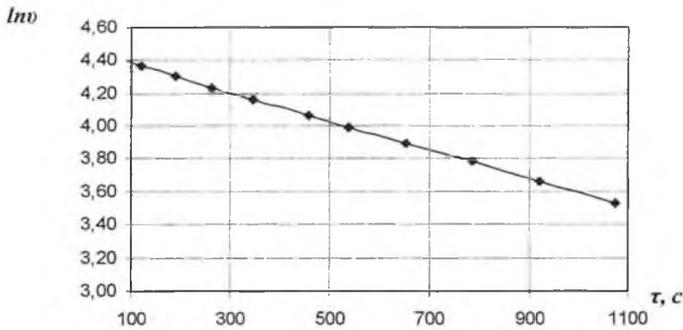


Рис. 3. График охлаждения калориметра при постоянном значении среднего коэффициента теплоотдачи на поверхности.

В данном случае $m=0.155\text{кг}$, $c_p=385\text{Дж/К}\cdot\text{кг}$, $M\approx 10^{-3}\text{с}^{-1}$, $F=51\text{см}^2$ и при различных температурах $T_{\text{л}}$ и $T_{\text{окр.ср}}$ расчет дает значение около $\alpha_{\Sigma}=10.12\text{Вт}/(\text{м}^2\cdot\text{К})$

Таким образом, зная α_{Σ} и все остальные параметры и характеристики, а также произведя замеры температуры воды в теплогенераторе $T_{\text{в}}$ в течение времени эксперимента можно определить мощность теплогенератора:

$$W = c_{\text{в}} \cdot G \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{во}}) + \alpha_{\Sigma} \cdot F \cdot (t_{\text{в}} - t_{\text{окр.ср}}) \text{Вт} \quad (22).$$

2. ОПИСАНИЕ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ

Конструктивная схема лабораторной установки приведена на рис.4. она включает в себя: теплогенератор вихревой гидравлический конической формы (ТВГК), насос марки _____ с электроприводом, теплоаккумулятор, контрольно-измерительную аппаратуру: счетчик расхода горячей воды, измеритель температуры. Температура измеряется с помощью пирометра.

Основные характеристики установки:

- габаритные размеры, м...1.6 x 0.9 x 0.6;
- объем теплоносителя, л...10;
- время разогрева (от +20 до +55 градусов Цельсия), мин...30;

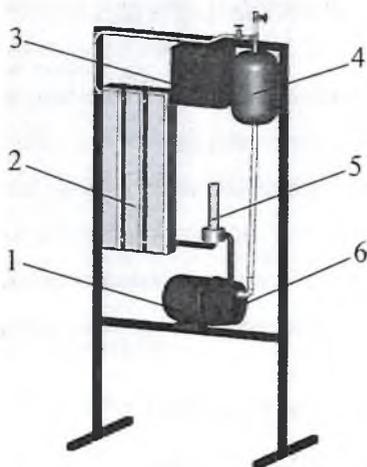
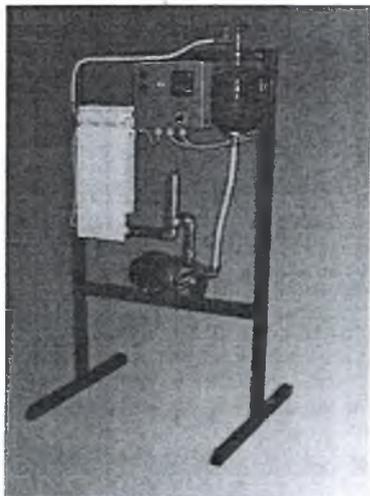


Рисунок 4. Принципиальная схема стенда (ВТГ):

1 – электромотор; 2 – радиатор; 3 – блок управления; 4 – теплоаккумулятор; 5 – вихревой теплогенератор; 6 – насос

3.МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

Основными параметрами уравнения (9), зависящими от температуры, являются плотность ρ и вязкость μ . В интервале температуры от 10 до 100°C изменение этих величин не существенно влияет на характер течения воды. Значительное влияние на работу теплогенератора оказывает процесс парообразования. Интенсивность испарения возрастает с ростом температуры. Поэтому эксперимент следует проводить при умеренных температурах: от 10 до 60°C в интервале слабого парообразования.

Перед началом испытаний проводятся операции тщательного удаления воздуха из системы. Записываются показания регистрирующих приборов. Данные заносятся в табл. 1. После включения насоса все параметры регистрируются через равные промежутки времени (5 мин) в течение 20-30 мин непрерывной работы насоса.

Для определения мощности теплового потока необходимо вихревого теплогенератора необходимо определить коэффициент теплоотдачи от данной энергетической установки окружающему воздуху.

Данная задача выполняется с помощью метода регулярного режима, в соответствии с которым необходимо определить величину темпа охлаждения M . Для этого следует провести дополнительный эксперимент, который начинается сразу же после того, как выключается теплогенератор. Для этого запускается секундомер и происходит замер температуры батареи (рис.4) при его остывании.

4. МЕТОДИКА И ТЕХНИКА ИЗМЕРЕНИЙ

1. Включить установку в автоматический режим работы. Для этого в соответствии со схемой установить выключатель в положении 1 (рисунок)
2. Зарегистрировать значения температур в контрольных точках и занести результаты в таблицу 1 в начальный момент времени.
3. Затем через каждые 5мин регистрировать значения температур в контрольных точках и заносить результаты в таблицу 1 (8-10 измерений).
4. Выключить вихревой теплогенератор.
5. Записать начальную температуру батареи $t_{б0}$ и ее конечную температуру $t_{б}$. Температуру регистрируют каждую минуту (производится 8-10 измерений).

Таблица 1 – Бланк регистрации экспериментальных данных

Показания приборов							
№	τ , мин	t_B , °C	$t_{бат}$, °C	$t_{бак}$, °C	$G_{в}$, м ³	$\tau_{б,мин}$	$t_{б}$, °C

Таблица 2 – Бланк регистрации расчетных данных

Расчетные данные							
$v_{\sigma}, ^\circ\text{C}$	$\ln v_{\sigma}$	$M, \text{мин}^{-1}$	$\alpha_{\Sigma}, \text{Вт}/(\text{м}^2\text{К})$	$Q_{\text{окр. ср.}}, \text{Вт}$	$Q_B, \text{Вт}$	$W, \text{Вт}$	η

5. ОБРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ

1. Определяем расход воды в теплогенераторе:

$$G = (G_e - G_{e0})/\tau.$$

2. Рассчитать мощность тепловой энергии, требуемую для нагрева:

$$Q_B = c_e \cdot G \cdot (t_B - t_{B0}),$$

где $c_e = 4190$ Дж/кг К – теплоемкость воды.

3. Определить избыточную температуру $v = T_{\sigma} - T_{\text{окр. ср.}}$.

4. Построить зависимость $\ln v = f(\tau)$.

5. Определить M и α_{Σ} по формулам 20 и 21, соответственно.

6. Рассчитать мощность теплового потока, поступающего в окружающую среду от батареи теплового генератора:

$$Q_{\text{окр. ср.}} = \alpha_{\Sigma} \cdot F \cdot (t_{\text{бат}} - t_{\text{окр. ср.}}).$$

7. Рассчитать мощность теплового потока теплогенератора:

$$W = Q_B + Q_{\text{окр. ср.}}$$

8. Определить КПД теплогенератора:

$$\eta = W/N_{\text{нас}}$$

где $N_{\text{нас}} = 1500$ Вт – мощность насоса теплогенератора.

9. Занести полученные результаты в таблицу 2

6. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЁТА

1. Принципиальная схема установки.
2. Протокол записи показания измерительных приборов.
3. Обработанные результаты эксперимента.
4. Графики зависимости $t_B = f_1(\tau)$, $t_{\text{зам}} = f_2(\tau)$ и $\ln v = f_3(\tau)$. Примеры графиков представлены на рисунках 10-11.
5. Выводы.

Контрольные вопросы

1. Что такое теплогенератор?
2. Принцип работы теплогенератора вихревого гидравлического.
3. Что такое кавитация?
4. От каких параметров зависит тепловая мощность теплогенератора?
5. Назовите основные элементы лабораторной установки?
6. Какой процесс оказывает значительное влияние на работу теплогенератора?
7. Опишите методику проведения измерений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В представленном пособии рассмотрены особенности работы и расчета основных параметров вихревого теплогенератора. Предложенный методический материал, позволяет экспериментально определить его основные энергетические характеристики. В результате студент получает представление об эффективности использования теплогенератора в качестве преобразователя энергии для системы отопления. Коэффициент преобразования электрической энергии в тепловую с помощью теплогенератора составляет величину 0,6 – 0,96 в зависимости от конструкций отопительной установки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Меркулов А.П. Вихревой эффект и его применение в технике [Текст]/ – Самара. Оптима. 1997. – 360с.
2. Некрасов Б.Б. Гидравлика и ее применение на летательных аппаратах [Текст]/.- М.: Машиностроение, 1967 – 295с.
3. Андрижевский, А.А. Энергосбережение и энергетический менеджмент [Текст]/ А. А. Андрижевский, В.И. Володин - Мн.: Высш. шк., 2005 г. – 294с.

Учебное издание

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВИХРЕВОГО ТЕПЛОГЕНЕРАТОРА

Методические указания

Составители: Бирюк Владимир Васильевич,
Некрасова Светлана Олеговна,
Сармин Дмитрий Владимирович,
Угланов Дмитрий Александрович

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П. Королева
443086 Самара, Московское шоссе, 34