

Утверждаю:



Директор НИИ «Энерго эффективных технологий» КФУ им. А.Н.Туполева

Р.Р.Салахов

*Р.Р.Салахов*  
«*10*» *февраля* 2015 г.

## ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

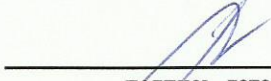
Наименование отчета: «Определение энергетических характеристик  
электронагревательного прибора РЭССИ-550»

Казань 2015

Список исполнителей

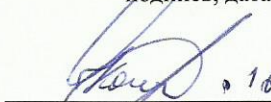
д.т.н., профессор

Гуреев В.М.

  
\_\_\_\_\_


н.с.

Калимуллин Р. Р.

  
\_\_\_\_\_

м.н.с.

Салахов И.Р.

  
\_\_\_\_\_

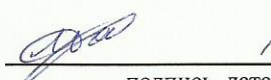
н.с.

Гараев А.Р.

  
\_\_\_\_\_

техник

Макаров А.Н.

  
\_\_\_\_\_

## Реферат

Отчет с. 20, рис. 12, табл. 4

### ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬ, ТЕМПЕРАТУРА, МОЩНОСТЬ, КПД.

Объектом исследования является: электронагревательный прибор РЭССИ-550.

Цель работы — целью выполнения НИР является проведение серии экспериментов по определению энергетических характеристик испытуемого образца.

В отчете представлены результаты: фотографии тепловизионной съемки климатической камеры, таблицы с показаниями датчиков внутри климатической камеры, таблицы результатов калориметрических испытаний.

## Содержание

Основные условные обозначения и формулы	5
Введение	6
Аналитический отчет о проведении экспериментальных исследований	7
Заключение	19
Список литературы	20

## Основные условные обозначения и формулы

$P$  - Вт, электрическая мощность;

$I$  - А, сила тока;

$U$  - В, напряжение;

$Q_{\text{п}}$  - Дж, количество теплоты, отданное массе воздуха за промежуток времени  $\tau$ ;

$c_p$  - Дж/(кг\*К), теплоемкость воздуха при постоянном давлении;

$G_{\tau}$  - кг, масса воздуха, прошедшего за время  $\tau$ ;

$\rho$  - кг/м<sup>3</sup>, плотность воздуха;

$v_{\tau}$  - м/с, средняя скорость потока воздуха за промежуток времени  $\tau$ ;

$d$  - м, диаметр сечения трубы с анемометром;

$m$  - кг/с, моментальный расход воздуха;

$\eta=Q/P$  - КПД;

$W=F*(1+i)*\Delta t*K$  - Вт, мощность необходимая для обогрева помещения;

$F$  - м<sup>2</sup>, площадь отапливаемого помещения;

$\Delta t$  - °С, разница температур между средней температурой атмосферного воздуха при отопительном сезоне и установленной ГОСТ30494-96 температурой в помещении;

$K$  — Вт/(м<sup>2</sup>\*К), коэффициент рассеивания энергии, равный для помещений из дерева или металла без теплоизоляции 3÷4; из одинарной кирпичной кладки с небольшой теплоизоляцией 2÷2,4; из двойной кирпичной кладки со средней теплоизоляцией 1,0÷1,9; из кирпичной кладки и двойной теплоизоляцией 0,6÷0,9;

## Введение

Задача отопления помещения с минимальными затратами энергоресурсов всегда является актуальной. На сегодняшний день существует множество способов поддерживать оптимальную температуру помещения: отопление вентиляцией, водяное отопление от централизованных теплосетей или обогревательных котлов, электрическими нагревательными приборами.

Зачастую, некоторые из перечисленных выше способов недоступны в силу удаленности от тепловых, газовых сетей или перебоев в их работе. Однако, практически все отапливаемые объекты имеют доступ к электросетям. Это и становится основной причиной столь большой популярности электронагревательных приборов.

Рынок электронагревательных приборов весьма большой — от простых трубчатых электронагревателей до инфракрасных панелей, способных отапливать целые ангары и павильоны. Рассматриваемый в работе аппарат нацелен на аудиторию, стремящуюся к экономии электроэнергии при отоплении небольших площадей.

Испытываемый отопительный прибор совмещает в себе свойства как радиаторов, так и конвекторов.

## Аналитический отчет о проведении экспериментальных исследований

Согласно техническому заданию были проведены следующие виды работ:

- Тепловая мощность обогревателя при напряжении в 220 вольт.
- КПД обогревателя.
- Площадь и объем обогрева помещения данным обогревателем.
- Потребление обогревателем электроэнергии кВт\*ч на м<sup>2</sup> отапливаемой площади (или на 1 м<sup>3</sup>) через терморегулятор для поддержания температуры 21°C.
  - Рассеивание тепла в зависимости от расстояния до обогревателя (тепловой поток).
  - Процентное соотношение конвективных и излучаемых тепловых потоков.

Для снятия энергетических характеристик электроотопительного прибора «РЭССИ-550» было использовано следующее оборудование: цифровой мультиметр MAS838, крыльчатый анемометр АКТАКОМ АТТ-1005 с возможностью определения температуры окружающей среды, тепловизор Guide IR928, электрический счетчик Меркурий 201, электрический терморегулятор с датчиком температуры УТН-200, мультивольтметр В7-58/2, лабораторный ЛАТР М1, регистратор РМТ-59 с термометрами сопротивления Pt100/

Технические характеристики мультиметра MAS838 (рис. 1)



Рис. 1 - Мультиметр MAS838

- Постоянное напряжение: 200m/2/20/200V:  $\pm 0.5\%$ , 1000V:  $\pm 0.8\%$
- Переменное напряжение: 200/750V:  $\pm 1.2\%$
- Постоянный ток: 200 $\mu$ /2m/20mA:  $\pm 1.0\%$ , 200mA:  $\pm 1.5\%$ , 10A:  $\pm 3\%$
- Сопротивление: 200/2K/20K/200K $\Omega$ :  $\pm 0.8\%$ , 2M $\Omega$ :  $\pm 1.0\%$
- Температура (MAS838):  $-20^{\circ}\text{C}$  —  $1000^{\circ}\text{C}$
- Коэффициент усиления транзисторов по току: 1 - 1000

Технические характеристики анемометра АКТАКОМ АТТ-1005 (рис. 2)



Рис. 2 - АКТАКОМ АТТ1005

- Измерение скорости воздушного потока в диапазоне 0,8...25,0 м/с с разрешением 0,1 м/с;
- Погрешность  $\pm(0,2+0,05V)$  м/с, где  $V$  – скорость воздушного потока;
- Измерение объема воздушного потока в диапазоне 0...999900 м<sup>3</sup>/мин с разрешением 0,001...100 м<sup>3</sup>/мин;
- Измерение температуры в диапазоне  $0^{\circ}$ ... $50^{\circ}\text{C}$  с разрешением 0,1  $^{\circ}\text{C}$ ;
- Температурный датчик: прецизионный термистор;
- Последовательный интерфейс RS-232.



## Технические характеристики тепловизора Guide IR928 (рис. 3)



Рис. 3 - Тепловизор Guide IR928

- Диапазон измерений: От  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Минимально различимая разность температур  $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (при  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ );
- Точность измерений  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  или  $\pm 2\%$  от значения показаний;
- Детектор: детектор матричного типа, без охлаждения, устанавливается в фокальной плоскости объектива (микроболометр);
- Спектральный диапазон: 8-14 мкм;
- Поле зрения: I.F.O.V. 1,5 мрад;
- Диапазон фокусировки: от 50 см до  $\infty$ ;
- Угловое поле зрения:  $27,0\text{ }^{\circ}$  (Г) x  $20,0\text{ }^{\circ}$  (В)  $\pm 5\%$  ;
- Частота кадров: 60 кадров/с;

### Технические характеристики Электрического счетчика Меркурий 201.

- Номинальное напряжение 230В
- класс точности 1,
- ЖК-дисплей (два знака после запятой),
- однотарифный температурный режим от -40 до +55
- размер 105/105/65



Рис. 4 - Электрический счетчик Меркурий 201

### Технические характеристики терморегулятора УТН-200

- Номинальное рабочее напряжение, В 220
- Диапазон допустимых напряжений, В 85 ... 265
- Диапазон контролируемых температур, °С +1 ... +60
- Максимальный ток коммутации, А 18.5
- Максимальная коммутируемая нагрузка, кВт 4.0
- Датчик температуры пола NTC (5 кОм)
- Габаритные размеры, мм 120\*70\*30



Рис. 5 - Терморегулятор UTH-200

Технические характеристики мультивольтметра В7-58/2

- Питание 220 В/50 Гц
- Диапазон рабочих температур окружающей среды +5...+40°C
- Габаритные размеры 75 x 240 x 234 мм
- Диапазоны измерения 200 мВ; 2; 20; 200; 700 (2000) В
- Разрешающая способность 100 мВ; 1; 10; 100 мВ; 1 В
- Основная погрешность измерения 0,6 %
- Диапазон частот 20 Гц - 100 кГц
- Входной импеданс 10 МОм / 50 пФ



Рис.6 - Мультивольтметр В7-58/2



Рис.7 - лабораторный ЛАТР М1



Рис.8 – Регистратор РМТ-59

Для определения мощности прибора в цепь был подключен параллельно вольтметр MAS838, а также подключенный последовательно мультивольтметр В7-58/2. Т.к. фактическое напряжение сети составляло 229В, то для испытаний прибора отопления напряжение доводилось до 220В при помощи лабораторного автотрансформатора ЛАТР - 1М. Дополнительно в цепь был последовательно подключен терморегулятор. Электрическая мощность определялась по формуле  $P=I*U$  Вт, где  $I$  – сила тока,  $U$  – напряжение.

При испытаниях напряжение подаваемое на конвектор колебалось от 219В до 221В. Результаты приведены в ниже в таблице 1.

219В до 221В. Результаты приведены в ниже в таблице 1.

Таблица 1. Определение электрической мощности

U, В	I, А	P, Вт
220	2,45	<b>539,00</b>
220	2,46	<b>541,20</b>
221	2,46	<b>543,66</b>
220	2,45	<b>539,00</b>

Среднее значение мощности составило 540,71 Вт, что составляет **98,31%** от номинальной мощности отопительного прибора.

Теплоизолированным помещением выступила термостатированная комната со следующими габаритами: 5500 мм в длину, 3600 мм в ширину и 2100 мм в высоту.

Для определения тепловой мощности и количества энергии, отданной прибором «Рэсси-550» за 1 час при температуре в комнате 21°C, был собран теплоизолированный бокс (рис. 9). В данный бокс со одного торца в нижней части при помощи вентилятора нагнетался воздух из помещения, сверху находится выходной патрубок, с площадью проходного сечения 0,00216 м<sup>2</sup>, в который вмонтирован анемометры АТТ1005. Электронагреватель в данном боксе был расположен на высоте 100 мм от днища, задняя стенка прибора находилась от стенки бокса на расстоянии заводского крепежа.

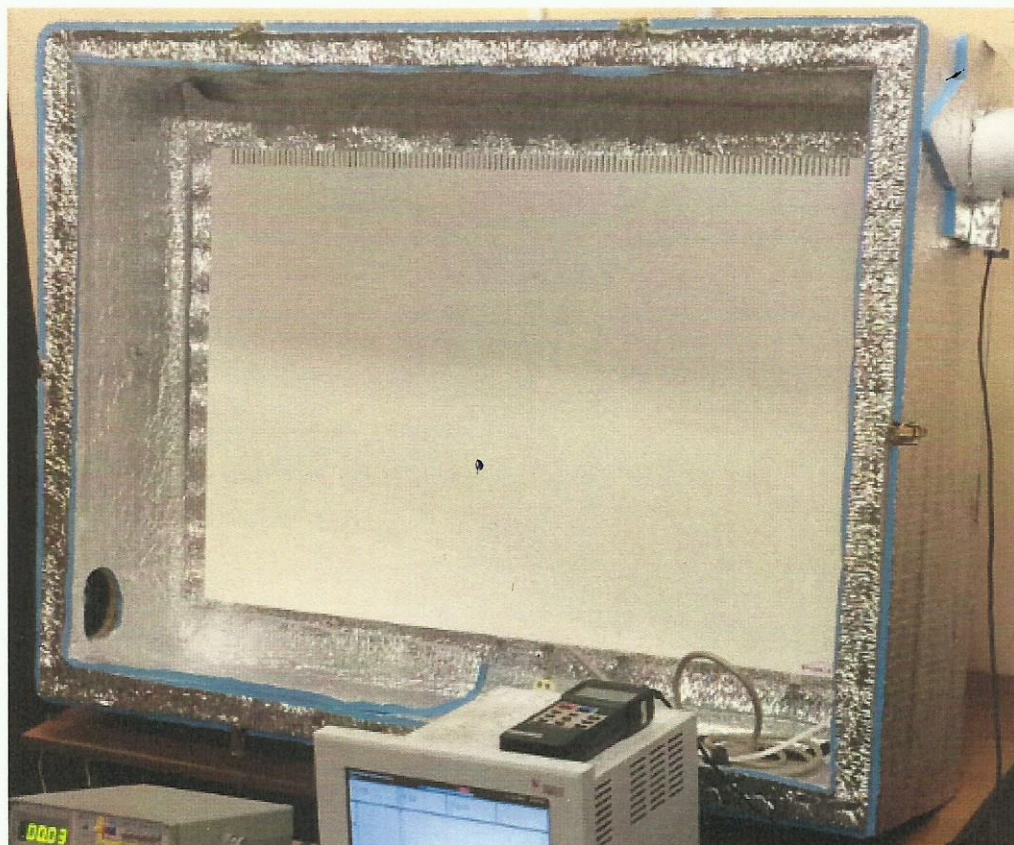


Рис. 9 — Теплоизолированный бокс для проведения калориметрических испытаний и расположение испытуемого электронагревателя в теплоизолированном боксе.

Данное расположение аппарата и габариты теплоизолированного бокса позволяют задействовать конвективный и радиационный теплообмен испытуемого объекта при проведении калориметрических испытаний.

Для определения КПД нагревательного прибора «РЭССИ-550» он был помещен в герметичный теплоизолированный бокс. Под КПД понимается отношение затраченной обогревателем электрической мощности к тепловой мощности, отданной обогревателем воздуху. Одновременно происходило измерение электрического напряжения  $U$  и силы тока  $I$  – для получения электрической мощности  $P$ ; измерение температуры воздуха на входе  $t_1$  и выходе  $t_2$  из бокса и скорость истечения воздуха  $G$  (расход) – для определения тепловой мощности  $q$ .

Формулы для вычислений  $P=IU$ [Вт],  $q=G \cdot C_p(t_1-t_2)$ [Вт].

Таблица 2. Определение КПД отопительного прибора

t1	t2	F, м2	G, кг/с	q, Вт	U, В	I, А	P, Вт	η, %
57,47	20,71	0,00216	0,014243545	526,2107	221,0	2,45	541,45	0,9719
57,95	20,45	0,00216	0,014310926	539,3430	221,0	2,46	543,66	0,9921
57,54	20,43	0,00216	0,014200039	529,5983	220,0	2,45	539,00	0,9826

$C_p = 1005 \text{ Дж/(кг}\cdot\text{К)}$  – теплоемкость воздуха.

Среднее значение КПД приближается к 100% и составляет 97,2-99,2%. Отклонение от 100% объясняется погрешностью измерительного оборудования.

Определение площади отапливаемого помещения. При условии, что напряжение в электрической сети 220 В, измеренная мощность прибора составила 540,71 Вт. При данной мощности прибор «РЭССИ-550», если принять за среднюю температуру отопительного сезона  $-5,2 \text{ }^\circ\text{C}$ , температуру внутри помещения  $21 \text{ }^\circ\text{C}$  и следующие коэффициенты -  $K=1,4$  и  $i=0,35$ , отапливаемая площадь составит  $F = P / [(1+i)\cdot\Delta t\cdot K] = 540,71 / [(1+0,35)\cdot(21-(-5,2))\cdot 1,4] = 10,92 \text{ м}^2 \approx 11 \text{ м}^2$ . Расчет справедлив для высоты потолка 2.5 метра.

Далее определим удельное потребление электрической энергии за час работы прибора в режиме поддержания температуры  $21 \text{ }^\circ\text{C}$ . Была проведена серия экспериментов. Далее приводится измерение потребления электроэнергии за два часа и определяется потребление за час.

Таблица 3. Определение потребления электрической энергии.

Время, ч	Температура воздуха в помещении, $^\circ\text{C}$	Показания счетчика,
0	20,7	3,91
0,25	20,85	4,00
0,5	20,8	4,10
0,75	20,73	4,20
1	20,77	4,30
1,25	20,88	4,40
1,5	20,76	4,48
1,75	20,94	4,58
2	20,89	4,67

Разницу показаний счетчика за два часа делим на два (табл.3):  $(4,67\text{кВт}\cdot\text{ч} - 3,91\text{кВт}\cdot\text{ч})/2 = 0,38 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$  – потребление электроэнергии, необходимое для обогрева комнаты объемом 41,6 куб.м (термостатированная комната  $3,6*5,5*2,1$ ). Вычисляем удельное потребление на  $1 \text{ м}^3$  для термостатированной комнаты:  $380/41,6 = 9,13 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ . Просчитываем для 25 куб.м:  $9,13*(25/41,6) = 5,48 \text{ Вт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$ .

Для определения рассеивание тепла в зависимости от расстояния до обогревателя была проведена съемка телевизором Guide IR928. Для поглощения выделяемого отопительным прибором излучения была использована бумага со степенью черноты 0,95. Для наглядности картины прогрева использовалось две панели: на полу и с боку от прибора и перпендикулярно к поверхности излучения. На рис. 10 представлено распределение теплового потока на расстоянии 2 м., так как на большем расстоянии не происходит прогрев поверхности за счет теплового излучения. При температуре в комнате  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  температура поверхности «пола» выравнивается с температурой окружающей среды на расстоянии около 2м. от прибора. На рис. 11 показано распределение температуры по линии L1. Температура на поверхности нагревателя  $68,1 \text{ }^\circ\text{C}$ .

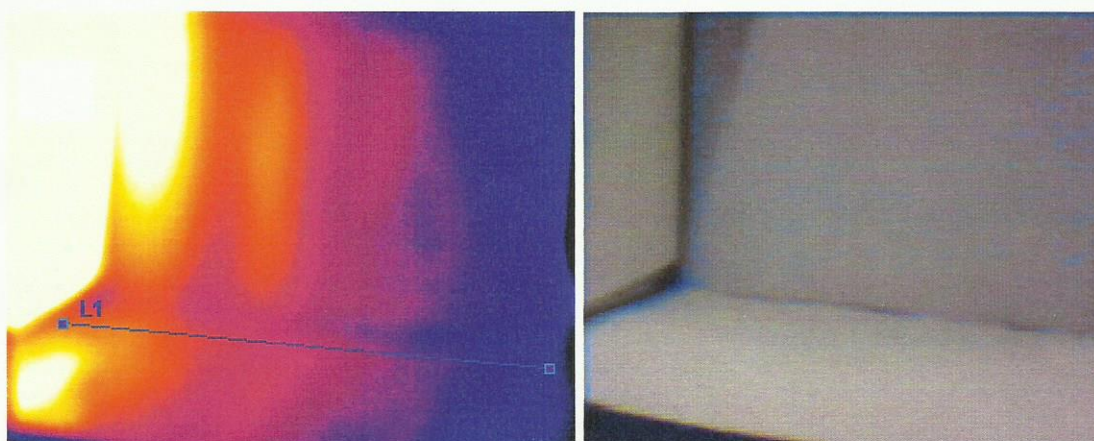


Рис. 10– Картина рассеивания теплоты в инфракрасном и видимом диапазонах.



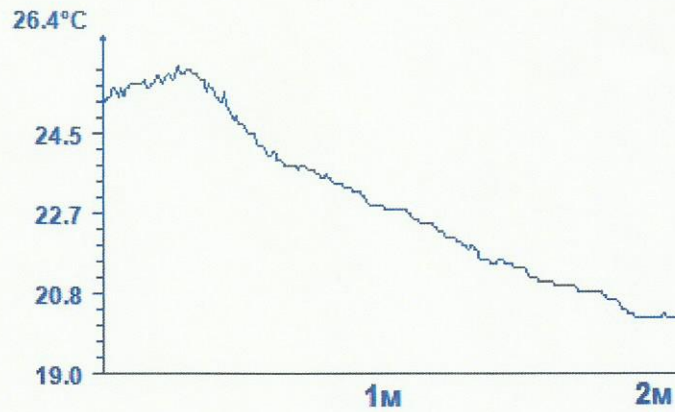


Рис. 11 – Изменение температуры пола на расстоянии 2 м.

Последней задачей в определении энергетических характеристик электронагревательного прибора РЭССИ-550 было определение процентного отношения конвективных и излучаемых тепловых потоков.

Плотность излучаемого теплового потока определяется по формуле.

$$q_{\text{изл}} = \xi_{\text{пр}} C_0 [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4],$$

где  $\xi_{\text{пр}} = 0,799$  - приведенная степень черноты,  $C_0 = 5,67$  – коэффициент излучения абсолютно черного тела,  $T_1$  - температура излучающей поверхности,  $T_2$  – окружающей поверхности.

В эксперименте температура окружающей среды  $20^\circ\text{C}$ , а измерения температуры поверхности производились с шагом  $10^\circ\text{C}$  начиная с  $20^\circ\text{C}$  до  $70^\circ\text{C}$ . Параллельно измерялся общий тепловой поток, способом описанным на стр. 14.

Таблица 4. Определение отношения конвективных и излучаемых тепловых потоков.

	T1	q изл	q конв	q сум	%конвект
1	20	0	0	0	0
2	30	48,079	68,3	116,38	41,3
3	40	101,16	135,2	236,36	42,7
4	50	159,57	198,6	358,17	44,5
5	60	223,67	262,5	486,17	46,0
6	70	293,81	348,7	642,51	45,7

На рисунке 12 хорошо видно как соотносятся между собой конвективная

и излучаемая составляющие теплового потока. На номинальном режиме работы излучением передается порядка 45 % теплоты.

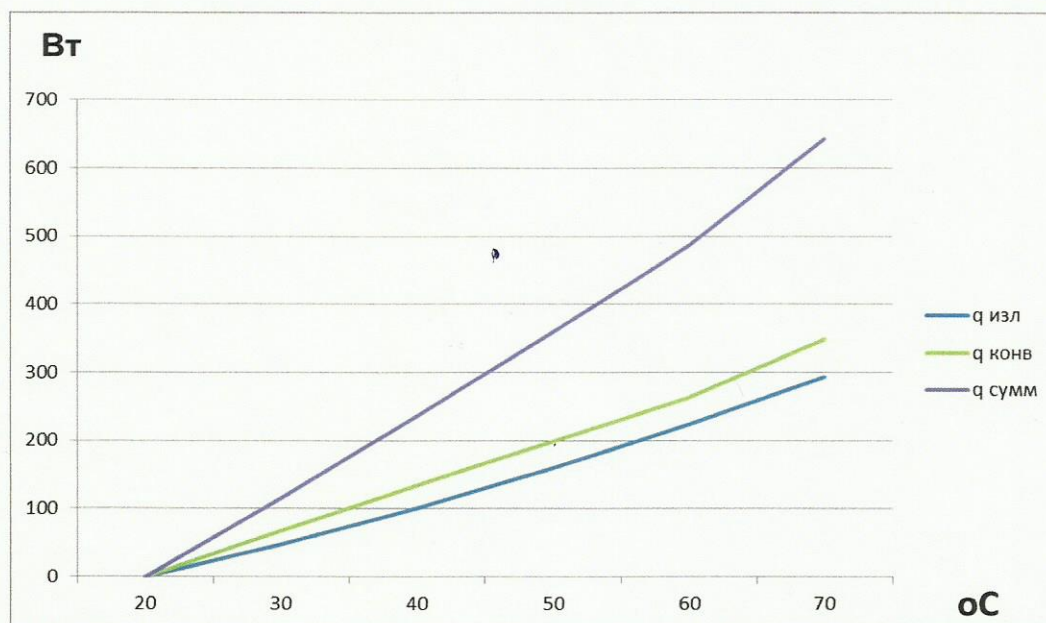


Рис. 12 – Зависимость конвективного  $q_{\text{конв}}$ , лучистого  $q_{\text{изл}}$ , и суммарного  $q_{\text{сумм}}$  (Вт), тепловых потоков от прогрева отопительного прибора.

## Заключение

- По итогам проведенных исследований установлено:
- Потребляемая мощность прибора — 540,71 Вт ( $\pm 5\%$ );
- Выделяемая тепловая мощность — 537,28 Вт ( $\pm 5\%$ );
- КПД прибора — 97,2-99,2 ( $\pm 3\%$ );
- Возможная площадь отопления для среднеутепленного помещения — 11 м<sup>2</sup>;
- Потребление обогревателем электроэнергии кВт\*ч на м<sup>3</sup> отапливаемой площади через терморегулятор 5,5 Вт\*ч/ м<sup>3</sup>
- Процентное соотношение конвективных и излучаемых тепловых потоков соответственно 55/45%

## Список литературы

1. Бакластов А.М. И др. Проектирование, монтаж и эксплуатация тепломассообменных установок: Учебн. Пособие для вузов. - М.: Энергоатомиздат, 1981. - 336 с.
2. Рыбкин Н.П., Орлова М.П., Баранюк Н.К., Измерительная техника. 1974. № 7. С. 29.
3. Кирьянов К.В. Калориметрические методы исследования. Н.Новгород. Образование. 2007. 78 с.