

**Определение наиболее эффективных режимов работы
6-и секционного стального радиатора с «литиево-бромидной
жидкостью» с условным названием «Вакуумный Литиево-
Бромидный Суперпроводящий Радиатор»**

Содержание

1.Описание объекта исследования	3
2. Стенд тепловых испытаний.	4
3.Методика расчета.....	5
4.Экспирементальные данные. Обработка результатов эксперимента.....	6
5.Таблица средних значений результатов опытов	14
5.Заключение.....	15
Приложение 1.....	17
Приложение 2.....	18
Приложение 3.....	19
Приложение 4.....	20
Приложение 5.....	21
Приложение 6.....	22
Приложение 7.....	23
Приложение 8.....	24

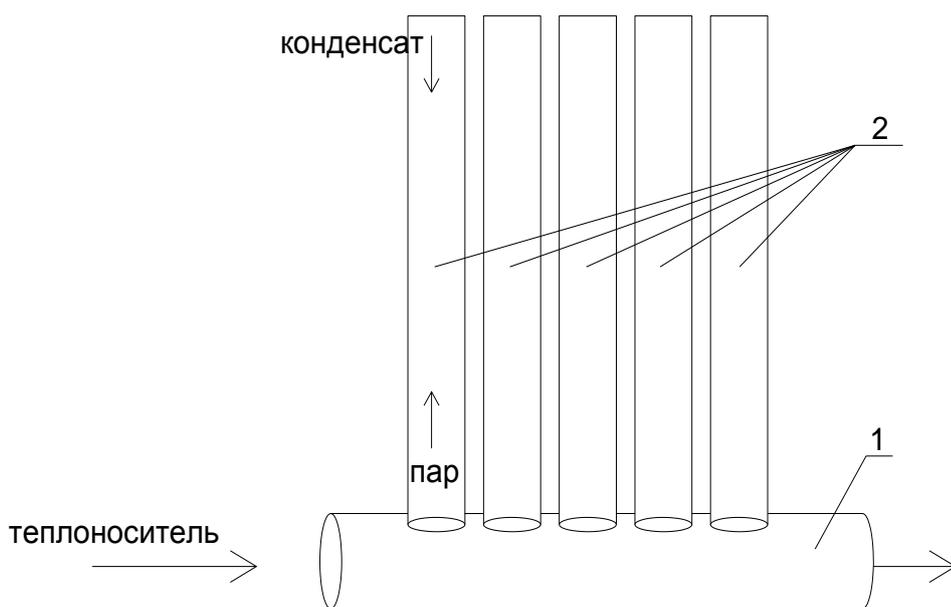
1. Описание объекта исследования

Отопительный прибор марки «ES-LB» является продукцией компании «EnergySun». Его отличительными характеристиками являются: энергосбережение, высокая эффективность работы, экологическая безопасность, долговечность в эксплуатации.

Достоинством данного прибора является не требовательность к качеству воды, т. е. данный отопительный прибор не подвержен загрязнению внутренних поверхностей.

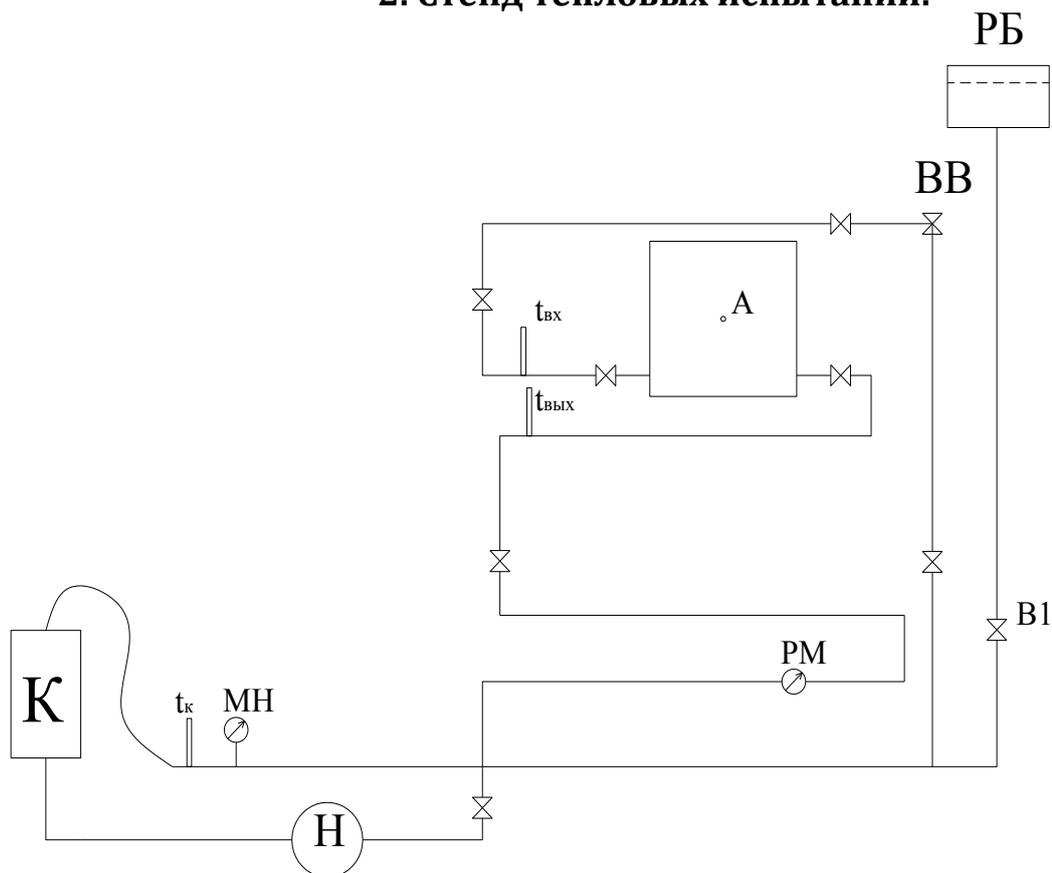
Основная область применения отопительного прибора: жилые дома, магазины, квартиры, фабрики, заводы, школы, коммерческие учреждения и др. Работа радиатора основана на принципе тепловой трубы. Минимальная температура кипения литиево-бромидной смеси внутри радиатора, составляет 35°C . Рабочее давление в радиаторе составляет 1,3 МПа.

Принципиальная схема «сверхпроводящего» радиатора



В трубку 1 поступает теплоноситель (вода). В трубках 2 находится литиево-бромидная смесь. При соприкосновении трубок 2 с теплоносителем (водой), протекающей в трубке 1, литиево-бромидная смесь закипает и испаряется, поднимаясь к верхней зоне трубок, пар конденсируется и отдает тепло в окружающую среду. Происходит циркуляция низкокипящего теплоносителя, и цикл многократно повторяется.

2. Стенд тепловых испытаний.



Теплоносителем является вода, которая нагревается в котле (К) до заданной температуры. Наибольшая допустимая температура $t_k=90^0\text{C}$ контролируется по термометру t_k . Циркуляция теплоносителя осуществляется с помощью насоса (Н). Давление, создаваемое насосом P_n , регистрируется на манометре МН. Удаление воздуха из системы производится с помощью воздуховыпускного клапана ВВ. Испытательный стенд оборудован водомером, запорной арматурой и термометрами, вставленными в металлические стаканы, заполненные машинным маслом. Подача теплоносителя в испытуемом отопительном приборе организована снизу-вниз.

Порядок проведения испытаний:

1. Заполнение системы водой.
2. Удаление воздуха с помощью вентили ВВ.
3. Включение насоса.
4. Включение электродотла.
5. Определение расхода воды в системе с помощью водомера РМ.
6. Определение температуры воздуха в помещении, разности температуры теплоносителя до и после прибора.
7. Проведение тепловизионной съемки для определения равномерности прогрева поверхности.
8. Отключение электродотла, насоса.

3.Методика расчета.

Теплоотдача нагревательного прибора определится как:

$$Q_{\text{пр}} = G_{\text{пр}} C (t_{\text{вх}} - t_{\text{вых}}), \text{ Вт}$$

Разность средней температуры воды $t_{\text{ср}}$ в приборе и температуры окружающего воздуха $t_{\text{в}}$:

$$\Delta t_{\text{ср}} = \frac{t_{\text{вх}} + t_{\text{вых}}}{2} - t_{\text{возд}}, \text{ } ^\circ\text{C}$$

Расход теплоносителя воды массой V , за время t .

$$G_{\text{пр}} = \frac{V}{t}, \frac{\text{кг}}{\text{ч}}$$

Комплексный коэффициент приведения $Q_{\text{н.т.}}$ к расчетным условиям при теплоносителе воде:

$$\varphi_{\text{к}} = \left(\frac{\Delta t_{\text{ср}}}{70} \right)^{1+n} \left(\frac{G_{\text{пр}}}{360} \right)^p b \psi c,$$

Значения показателей n, p, c для определения теплового потока отопительных приборов приняты по таблице 9.2. Справочника проектировщика (Часть 1 Отопление).

$n=0,15$

$p=0$

$b=1$

$\psi=1$

$c=1$

Номинальный тепловой поток 1 секции: $Q_{\text{н.т.}} = Q_{\text{пр.}} / \varphi_{\text{к}}$

4. Экспериментальные данные

Обработка результатов эксперимента.

Условные обозначения величин, определяемых в результате эксперимента, представленных в таблицах:

$t_{\text{вых}}$ – температура воды на выходе из отопительного прибора, $^{\circ}\text{C}$;

$t_{\text{вх}}$ – температура воды на входе в отопительный прибор, $^{\circ}\text{C}$;

$Q_{\text{пр}}$ – теплоотдача отопительного прибора, Вт;

$t_{\text{в}}$ – температура окружающего воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

Δt – разность средней температуры воды $t_{\text{ср}}$ в приборе и температуры окружающего воздуха $t_{\text{в}}$, $^{\circ}\text{C}$;

$G_{\text{пр}}$ – расход воды, кг/ч;

φ – комплексный коэффициент приведения **Qн.т.** к расчетным условиям при теплоносителе воде;

$Q_{\text{сек}}$ – фактическая теплоотдача 1 секции отопительного прибора:

$$Q_{\text{сек}} = Q_{\text{пр}} / n, \text{ Вт}$$

где n – количество секций прибора, $n=6$;

табл. 1, Опыт 1.

В процессе эксперимента расход равен 278,6кг/ч, отклонения расхода составили не более 3 %.

$t_{вх}$	$t_{вых}$	t_{θ}	Δt	G_{np}	Q_{np}	φ	$Q_{сек}$
40	37	19	19,5	278,6	972,8	0,23	162,1
41	38,5	19	20,75	278,6	810,7	0,25	135,1
42	40	19	22	278,6	648,6	0,26	108,1
43	41	19	23	278,6	648,6	0,28	108,1
44	42	19	24	278,6	648,6	0,29	108,1
45	43	19	25	278,6	648,6	0,31	108,1
46	44	19	26	278,6	648,6	0,32	108,1
47	45	19	27	278,6	648,6	0,33	108,1
48	46	19	28	278,6	648,6	0,35	108,1
49	47	19	29	278,6	648,6	0,36	108,1
50	48	19	30	278,6	648,6	0,38	108,1
51	49	19	31	278,6	648,6	0,39	108,1
52	50	19	32	278,6	648,6	0,41	108,1
53	51	19	33	278,6	648,6	0,42	108,1
54	52	19	34	278,6	648,6	0,44	108,1
55	53	19	35	278,6	648,6	0,45	108,1
56	54	19	36	278,6	648,6	0,47	108,1
57	54,5	19	36,75	278,6	810,7	0,48	135,1
58	55,5	19	37,75	278,6	810,7	0,49	135,1
59	56,5	19	38,75	278,6	810,7	0,51	135,1
60	57,5	19	39,75	278,6	810,7	0,52	135,1
61	58,5	19	40,75	278,6	810,7	0,54	135,1
62	59,5	19	41,75	278,6	810,7	0,55	135,1
63	60,5	19	42,75	278,6	810,7	0,57	135,1
64	61,5	19	43,75	278,6	810,7	0,58	135,1
65	62,5	19	44,75	278,6	810,7	0,60	135,1
66	63	19	45,5	278,6	972,8	0,61	162,1
67	64	19	46,5	278,6	972,8	0,62	162,1
68	65	19	47,5	278,6	972,8	0,64	162,1
69	65,5	19	48,25	278,6	1 135,0	0,65	189,2
70	66,5	19	49,25	278,6	1 135,0	0,67	189,2
71	67,5	19	50,25	278,6	1 135,0	0,68	189,2
72	68,5	19	51,25	278,6	1 135,0	0,70	189,2
73	69,5	19	52,25	278,6	1 135,0	0,71	189,2
74	70,5	19	53,25	278,6	1 135,0	0,73	189,2
75	71,2	19	54,1	278,6	1 232,3	0,74	205,4

продолжение табл. 1

$t_{вх}$	$t_{вых}$	t_e	Δt	G_{np}	Q_{np}	φ	$Q_{сек}$
76	72,2	19	55,1	278,6	1 232,3	0,76	205,4
77	73	19	56	278,6	1 297,1	0,77	216,2
78	74	19	57	278,6	1 297,1	0,79	216,2
79	75	19	58	278,6	1 297,1	0,81	216,2
80	76	19	59	278,6	1 297,1	0,82	216,2
81	77	19	60	278,6	1 297,1	0,84	216,2
82	78	19	61	278,6	1 297,1	0,85	216,2
83	79	19	62	278,6	1 297,1	0,87	216,2
84	80	19	63	278,6	1 297,1	0,89	216,2
85	81	19	64	278,6	1 297,1	0,90	216,2

График изменения фактической теплоотдачи одной секции в зависимости от температуры представлен в прил. 1

табл. 2, Опыт 2.

В процессе эксперимента расход равен 235,7 кг/ч, отклонения расхода составили не более 3 %.

$t_{вх}$	$t_{вых}$	$t_{в}$	Δt	G_{np}	Q_{np}	φ	$Q_{сек}$
40	34,5	19	18,25	235,7	1 508,7	0,21	251,4
41	35,5	19	19,25	235,7	1 508,7	0,23	251,4
42	36,5	19	20,25	235,7	1 508,7	0,24	251,4
43	37,5	19	21,25	235,7	1 508,7	0,25	251,4
44	39	19	22,5	235,7	1 371,5	0,27	228,6
45	40	19	23,5	235,7	1 371,5	0,29	228,6
46	42	19	25	235,7	1 097,2	0,31	182,9
47	43,5	19	26,25	235,7	960,1	0,32	160,0
48	45	19	27,5	235,7	822,9	0,34	137,2
49	46	19	28,5	235,7	822,9	0,36	137,2
50	47	19	29,5	235,7	822,9	0,37	137,2
51	48	19	30,5	235,7	822,9	0,38	137,2
52	49	19	31,5	235,7	822,9	0,40	137,2
53	50	19	32,5	235,7	822,9	0,41	137,2
54	51	19	33,5	235,7	822,9	0,43	137,2
55	52	19	34,5	235,7	822,9	0,44	137,2
56	53	19	35,5	235,7	822,9	0,46	137,2
57	54	19	36,5	235,7	822,9	0,47	137,2
58	55	19	37,5	235,7	822,9	0,49	137,2
59	56	19	38,5	235,7	822,9	0,50	137,2
60	57	19	39,5	235,7	822,9	0,52	137,2
61	58	19	40,5	235,7	822,9	0,53	137,2
62	58,8	19	41,4	235,7	877,8	0,55	146,3
63	59,5	19	42,25	235,7	960,1	0,56	160,0
64	60,5	19	43,25	235,7	960,1	0,57	160,0
65	61,5	19	44,25	235,7	960,1	0,59	160,0
66	62,5	19	45,25	235,7	960,1	0,61	160,0
67	63,5	19	46,25	235,7	960,1	0,62	160,0
68	64,5	19	47,25	235,7	960,1	0,64	160,0
69	65,5	19	48,25	235,7	960,1	0,65	160,0
70	66,2	19	49,1	235,7	1 042,4	0,67	173,7
71	67	19	50	235,7	1 097,2	0,68	182,9
72	68	19	51	235,7	1 097,2	0,69	182,9
73	68,8	19	51,9	235,7	1 152,1	0,71	192,0
74	69,5	19	52,75	235,7	1 234,4	0,72	205,7
75	70,5	19	53,75	235,7	1 234,4	0,74	205,7

продолжение табл. 2

$t_{вх}$	$t_{вых}$	$t_{в}$	Δt	$G_{пр}$	$Q_{пр}$	φ	$Q_{сек}$
76	71,5	19	54,75	235,7	1 234,4	0,75	205,7
77	72,2	19	55,6	235,7	1 316,7	0,77	219,4
78	73,2	19	56,6	235,7	1 316,7	0,78	219,4
79	74	19	57,5	235,7	1 371,5	0,80	228,6
80	75	19	58,5	235,7	1 371,5	0,81	228,6
81	76	19	59,5	235,7	1 371,5	0,83	228,6
82	77	19	60,5	235,7	1 371,5	0,85	228,6
83	78	19	61,5	235,7	1 371,5	0,86	228,6
84	79	19	62,5	235,7	1 371,5	0,88	228,6
85	80	19	63,5	235,7	1 371,5	0,89	228,6

График изменения фактической теплоотдачи одной секции в зависимости от температуры представлен в прил.2

табл. 3, Опыт 3.

В процессе эксперимента расход равен 165,9кг/ч, отклонения расхода составили не более 3%

$t_{вх}$	$t_{вых}$	$t_{в}$	Δt	G_{np}	Q_{np}	φ	$Q_{сек}$
40	35	19	18,5	165,9	965,5	0,22	160,9
41	35,5	19	19,25	165,9	1 062,1	0,23	177,0
42	36	19	20	165,9	1 158,6	0,24	193,1
43	36,5	19	20,75	165,9	1 255,2	0,25	209,2
44	37	19	21,5	165,9	1 351,7	0,26	225,3
45	38	19	22,5	165,9	1 351,7	0,27	225,3
46	39	19	23,5	165,9	1 351,7	0,29	225,3
47	40	19	24,5	165,9	1 351,7	0,30	225,3
48	41	19	25,5	165,9	1 351,7	0,31	225,3
49	42	19	26,5	165,9	1 351,7	0,33	225,3
50	43	19	27,5	165,9	1 351,7	0,34	225,3
51	45	19	29	165,9	1 158,6	0,36	193,1
52	46	19	30	165,9	1 158,6	0,38	193,1
53	48	19	31,5	165,9	965,5	0,40	160,9
54	50	19	33	165,9	772,4	0,42	128,7
55	51,5	19	34,25	165,9	675,9	0,44	112,6
56	53	19	35,5	165,9	579,3	0,46	96,6
57	53,5	19	36,25	165,9	675,9	0,47	112,6
58	54,5	19	37,25	165,9	675,9	0,48	112,6
59	55	19	38	165,9	772,4	0,50	128,7
60	56	19	39	165,9	772,4	0,51	128,7
61	57	19	40	165,9	772,4	0,53	128,7
62	57,5	19	40,75	165,9	869,0	0,54	144,8
63	58,5	19	41,75	165,9	869,0	0,55	144,8
64	59,5	19	42,75	165,9	869,0	0,57	144,8
65	60,5	19	43,75	165,9	869,0	0,58	144,8
66	61,5	19	44,75	165,9	869,0	0,60	144,8
67	62,5	19	45,75	165,9	869,0	0,61	144,8
68	63,5	19	46,75	165,9	869,0	0,63	144,8
69	64,5	19	47,75	165,9	869,0	0,64	144,8
70	65,5	19	48,75	165,9	869,0	0,66	144,8
71	67	19	50	165,9	772,4	0,68	128,7
72	68	19	51	165,9	772,4	0,69	128,7
73	69	19	52	165,9	772,4	0,71	128,7
74	69,5	19	52,75	165,9	869,0	0,72	144,8
75	70,5	19	53,75	165,9	869,0	0,74	144,8

продолжение табл. 3

$t_{вх}$	$t_{вых}$	$t_{в}$	Δt	$G_{пр}$	$Q_{пр}$	φ	$Q_{сек}$
76	71,5	19	54,75	165,9	869,0	0,75	144,8
77	72	19	55,5	165,9	965,5	0,77	160,9
78	73	19	56,5	165,9	965,5	0,78	160,9
79	74	19	57,5	165,9	965,5	0,80	160,9
80	74,5	19	58,25	165,9	1 062,1	0,81	177,0
81	75,2	19	59,1	165,9	1 120,0	0,82	186,7
82	76,2	19	60,1	165,9	1 120,0	0,84	186,7
83	77	19	61	165,9	1 158,6	0,85	193,1
84	78	19	62	165,9	1 158,6	0,87	193,1
85	79	19	63	165,9	1 158,6	0,89	193,1

График изменения фактической теплоотдачи одной секции в зависимости от температуры представлен в прил.3

табл. 4, Опыт 4.

В процессе эксперимента расход равен 120,00кг/ч, отклонения расхода составили не более 3 %.

$t_{вх}$	$t_{вых}$	$t_{в}$	Δt	G_{np}	Q_{np}	φ	$Q_{сек}$
40	34,5	19	18,25	122,9	786,7	0,21	131,1
41	34,8	19	18,9	122,9	886,9	0,22	147,8
42	35	19	19,5	122,9	1 001,3	0,23	166,9
43	35	19	20	122,9	1 144,3	0,24	190,7
44	35,5	19	20,75	122,9	1 215,9	0,25	202,6
45	36	19	21,5	122,9	1 287,4	0,26	214,6
46	36,5	19	22,25	122,9	1 358,9	0,27	226,5
47	37	19	23	122,9	1 430,4	0,28	238,4
48	37,5	19	23,75	122,9	1 501,9	0,29	250,3
49	38	19	24,5	122,9	1 573,5	0,30	262,2
50	39	19	25,5	122,9	1 573,5	0,31	262,2
51	39,5	19	26,25	122,9	1 645,0	0,32	274,2
52	40	19	27	122,9	1 716,5	0,33	286,1
53	41,5	19	28,25	122,9	1 645,0	0,35	274,2
54	42	19	29	122,9	1 716,5	0,36	286,1
55	43	19	30	122,9	1 716,5	0,38	286,1
56	44	19	31	122,9	1 716,5	0,39	286,1
57	45	19	32	122,9	1 716,5	0,41	286,1
58	46,5	19	33,25	122,9	1 645,0	0,42	274,2
59	47,5	19	34,25	122,9	1 645,0	0,44	274,2
60	49	19	35,5	122,9	1 573,5	0,46	262,2
61	50	19	36,5	122,9	1 573,5	0,47	262,2
62	51,5	19	37,75	122,9	1 501,9	0,49	250,3
63	52,5	19	38,75	122,9	1 501,9	0,51	250,3
64	54	19	40	122,9	1 430,4	0,53	238,4
65	55	19	41	122,9	1 430,4	0,54	238,4
66	57	19	42,5	122,9	1 287,4	0,56	214,6
67	59	19	44	122,9	1 144,3	0,59	190,7
68	60	19	45	122,9	1 144,3	0,60	190,7
69	61	19	46	122,9	1 144,3	0,62	190,7
70	61,5	19	46,75	122,9	1 215,9	0,63	202,6
71	62,5	19	47,75	122,9	1 215,9	0,64	202,6
72	63	19	48,5	122,9	1 287,4	0,66	214,6
73	64	19	49,5	122,9	1 287,4	0,67	214,6
74	64,5	19	50,25	122,9	1 358,9	0,68	226,5
75	65,5	19	51,25	122,9	1 358,9	0,70	226,5

продолжение табл. 4

График изменения фактической теплоотдачи одной секции в зависимости от температуры представлен в прил.4

$t_{вх}$	$t_{вых}$	$t_{в}$	Δt	G_{np}	Q_{np}	φ	$Q_{сек}$
76	66	19	52	122,9	1 430,4	0,71	238,4
77	67	19	53	122,9	1 430,4	0,73	238,4
78	68	19	54	122,9	1 430,4	0,74	238,4
79	69	19	55	122,9	1 430,4	0,76	238,4
80	70	19	56	122,9	1 430,4	0,77	238,4
81	70,5	19	56,75	122,9	1 501,9	0,79	250,3
82	71,5	19	57,75	122,9	1 501,9	0,80	250,3
83	72,5	19	58,75	122,9	1 501,9	0,82	250,3
84	73,5	19	59,75	122,9	1 501,9	0,83	250,3
85	74,5	19	60,75	122,9	1 501,9	0,85	250,3

5. Таблица средних значений результатов опытов.

$t_{вх}$	$t_{вых}$	$t_{в}$	Δt	G_{np}	Q_{np}	φ	$Q_{пр}$	$Q_{н.т.}$	$Q_{сек}$
64,5	54,3	19,0	40,4	122,9	1 456,7	0,54	3 160,3	526,7	242,8
64,9	54,7	19,0	40,8	122,9	1 462,3	0,54	3 119,4	519,9	243,7
65,4	55,1	19,0	41,3	122,9	1 466,3	0,55	3 075,5	512,6	244,4
65,8	55,6	19,0	41,7	122,9	1 468,8	0,56	3 029,0	504,8	244,8

6. Заключение

По результатам проведенных опытов было установлено:

1) При расходе теплоносителя 278,6 кг/ч фактическая теплоотдача одной секции отопительного прибора постепенно увеличивается с ростом температуры теплоносителя до конца опыта, соответствующего температуре теплоносителя 85 °С. Увеличение теплоотдачи связано с фазовым переходом, соответствующим интенсивной конденсации литиево-бромидной смеси внутри радиатора. (Прил. 1)

2) Фактическая теплоотдача одной секции отопительного прибора при расходе теплоносителя 235,7 кг/ч и температурах теплоносителя 40-48 °С резко уменьшается, затем продолжает плавно расти до окончания опыта, соответствующего температуре теплоносителя 85 °С. Увеличение теплоотдачи связано с фазовым переходом, соответствующим интенсивной конденсации литиево-бромидной смеси внутри радиатора. (Прил. 2)

3) Фактическая теплоотдача одной секции отопительного прибора при расходе теплоносителя 165,9 кг/ч в начале опыта, соответствующего температуре теплоносителя 40 °С, резко увеличивается, а затем, при температурах теплоносителя 50-56 °С уменьшается. Далее наблюдается рост теплоотдачи с ростом температуры, до окончания опыта, соответствующего температуре теплоносителя 85 °С. Резкие увеличения и снижения теплоотдачи связаны с фазовым переходом, соответствующим интенсивной конденсации и испарению литиево-бромидной смеси внутри радиатора. (Прил. 3)

4) Фактическая теплоотдача одной секции отопительного прибора при расходе теплоносителя 122,9 кг/ч и температурах теплоносителя 40-52 °С в начале резко увеличивается, затем, при температуре теплоносителя 52-67 °С, уменьшается, затем наблюдается рост теплоотдачи с ростом температуры, до конца опыта, соответствующего температуре теплоносителя 85 °С. Резкие увеличения и снижения теплоотдачи связаны с фазовым переходом, соответствующим интенсивной конденсации и испарению литиево-бромидной смеси внутри радиатора. (Прил. 4)

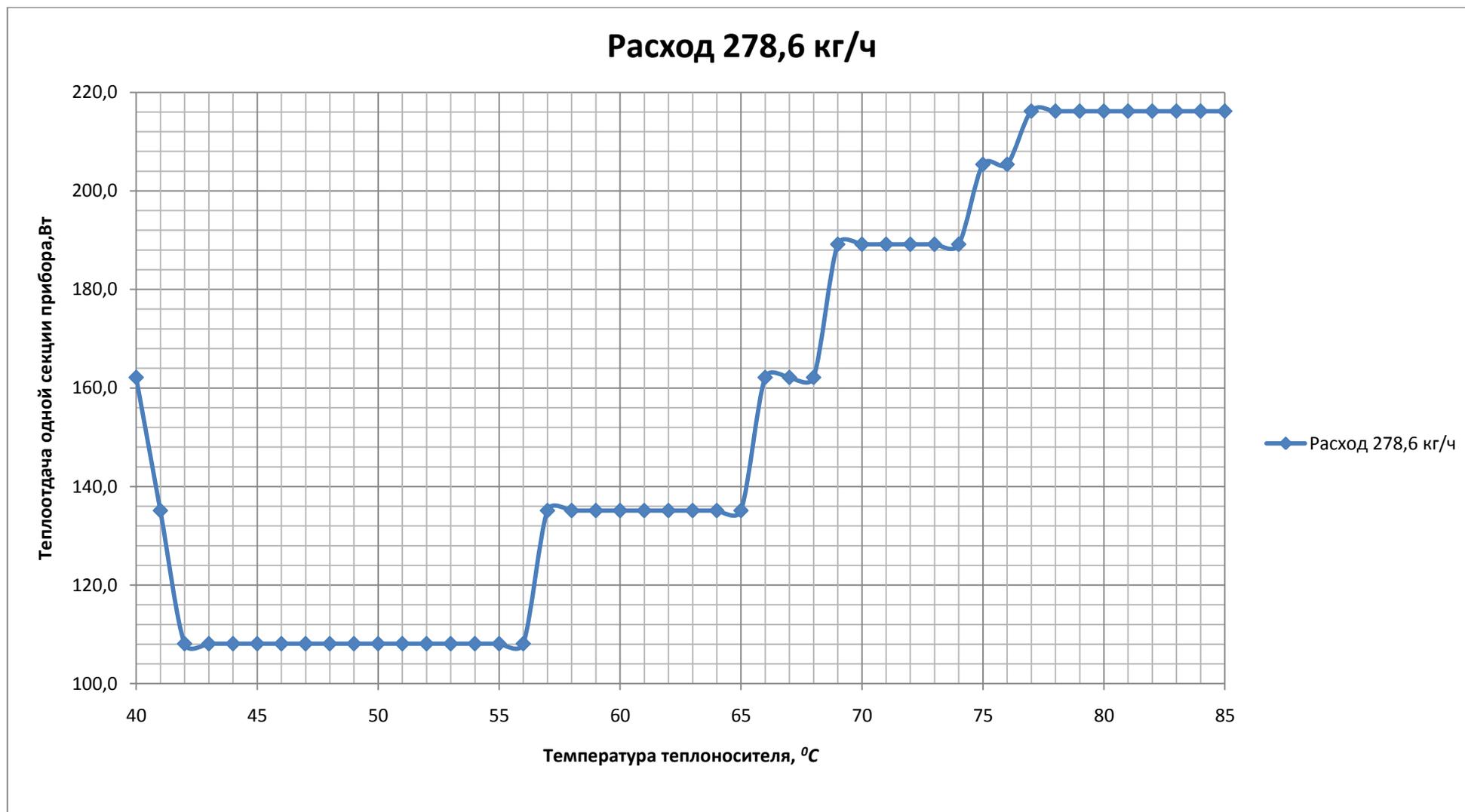
5) При температуре теплоносителя до 47 °С отопительный прибор работает наиболее эффективно при расходе 235,7 кг/ч, а при температурах выше 47 °С при расходе 122,9 кг/ч. (Прил. 5)

6) Отопительный прибор работает наиболее эффективно при расходе 122,9 кг/ч. Наиболее эффективная работа достигается при температурных режимах 50-65⁰С и 75-85⁰С. (Прил. 6,7)

7) В ходе тепловизионной съемки (Прил.8) было выявлено, что отопительный прибор прогревается равномерно, а именно: при температуре теплоносителя 75⁰С, температура на поверхности радиатора составляет 65-70⁰С.

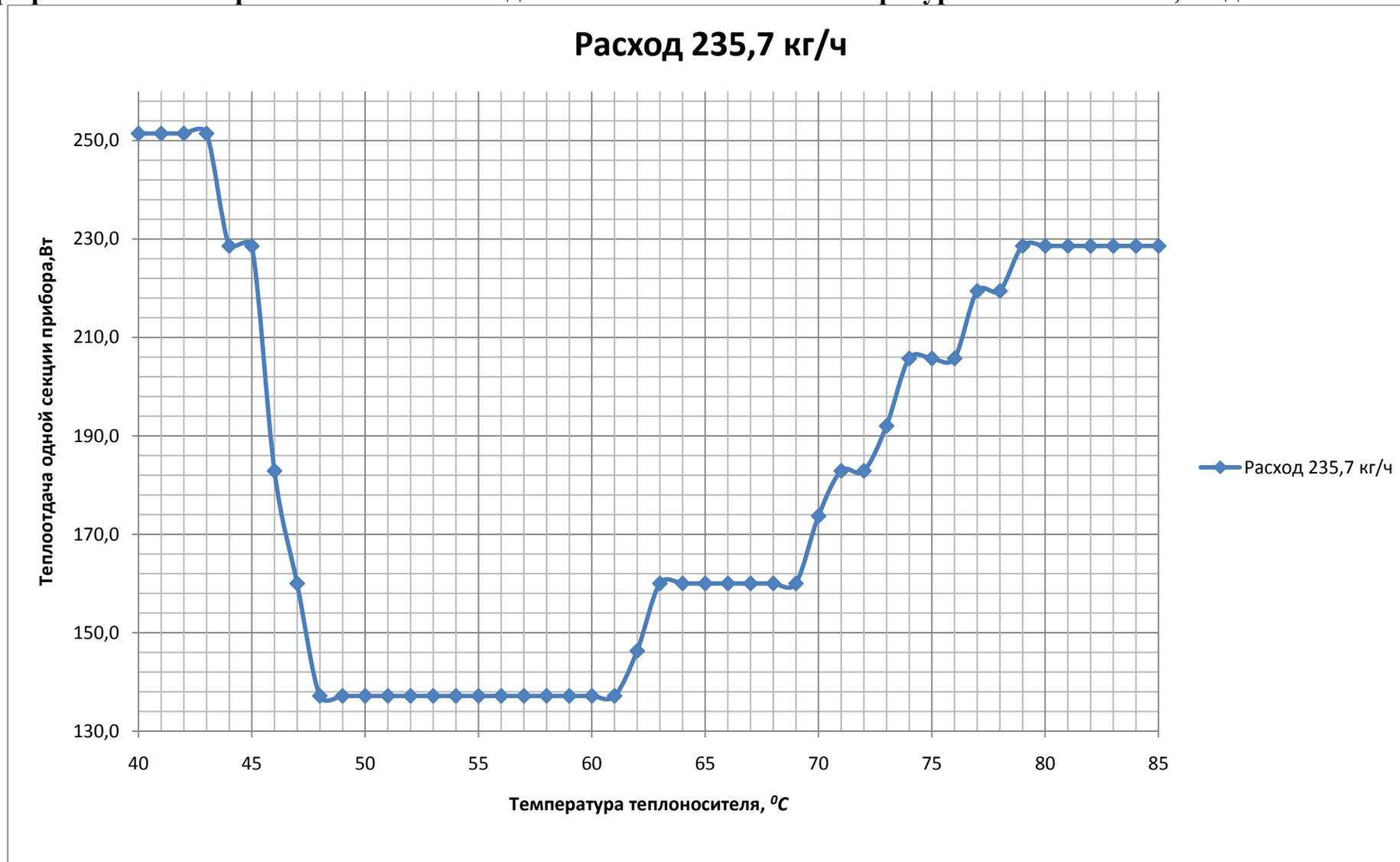
Приложение 1.

График изменения фактической теплоотдачи в зависимости от температуры теплоносителя, по данным опыта 1.



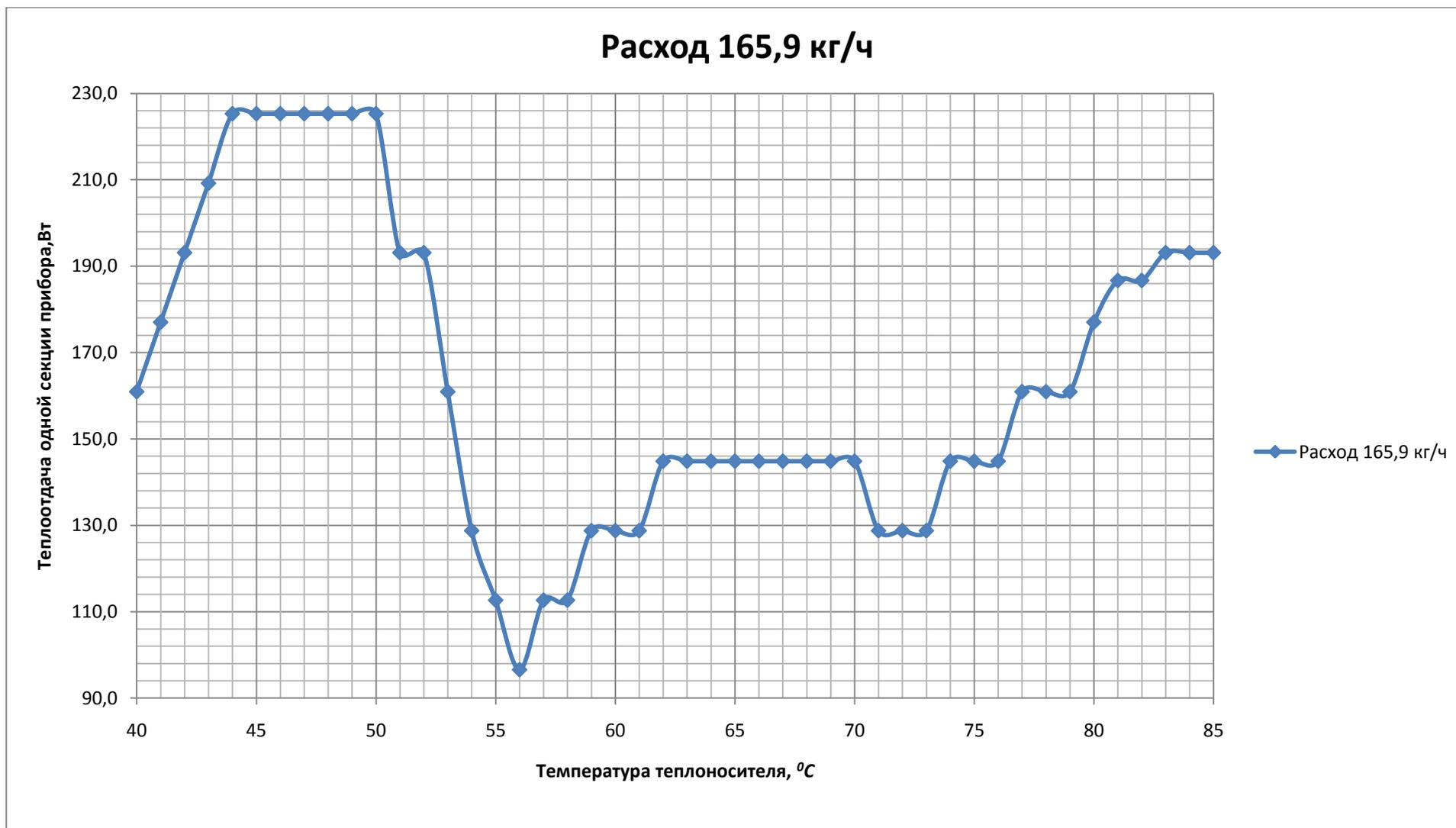
Приложение 2.

График изменения фактической теплоотдачи в зависимости от температуры теплоносителя, по данным опыта 2.



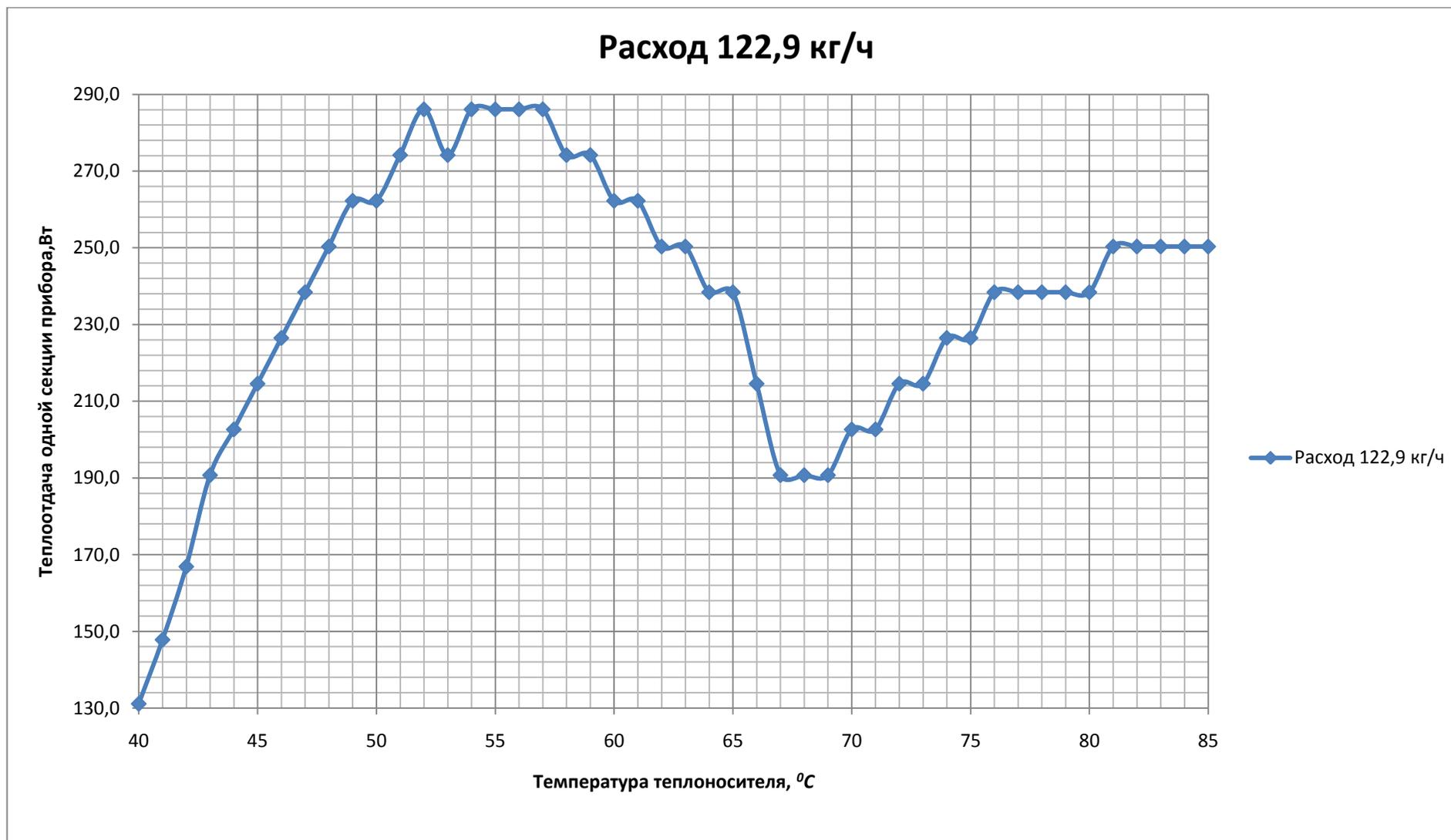
Приложение 3.

График изменения фактической теплоотдачи в зависимости от температуры теплоносителя, по данным опыта 3.



Приложение 4.

График изменения фактической теплоотдачи в зависимости от температуры теплоносителя, по данным опыта 4.

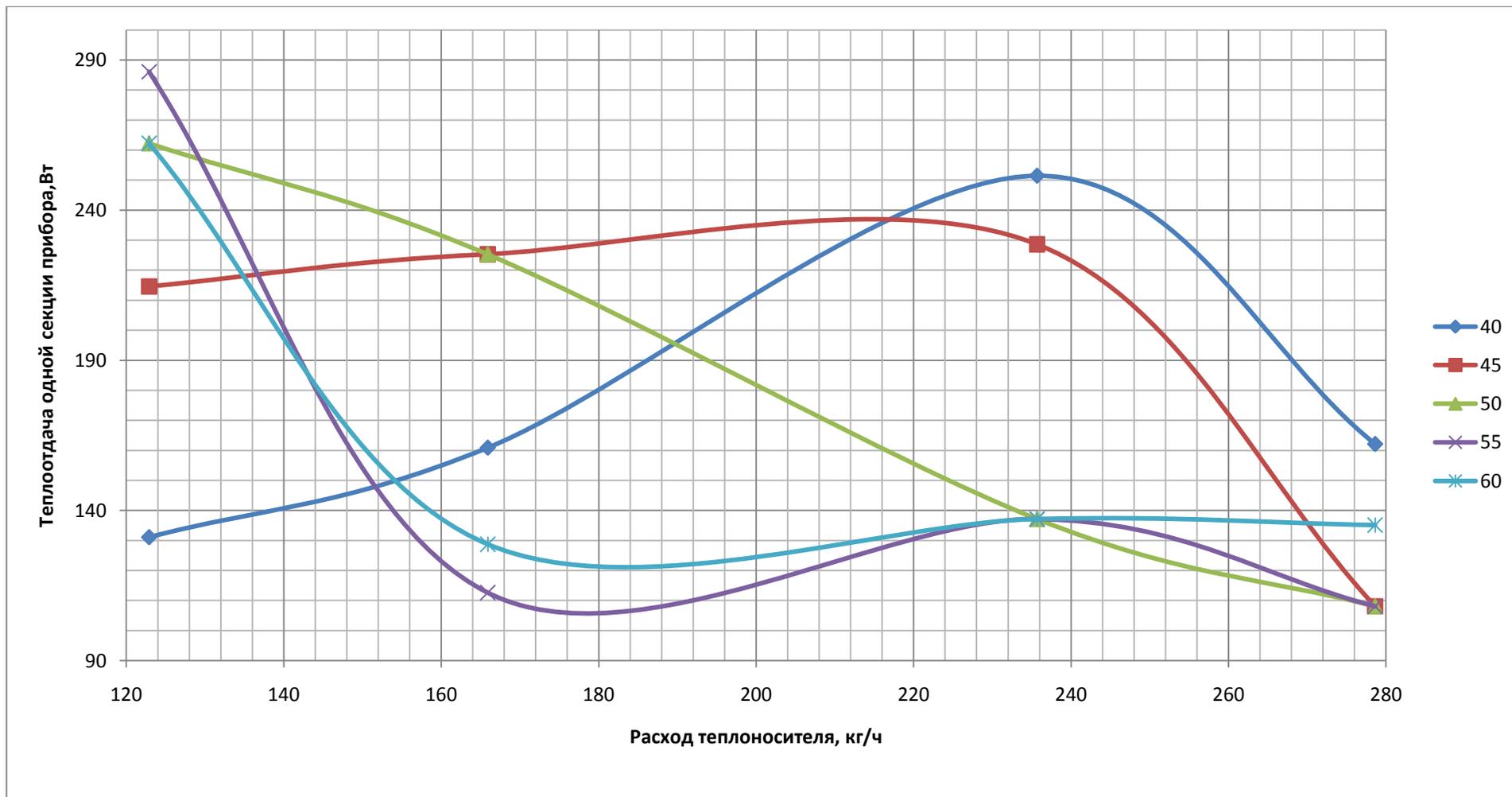


Приложение 5.

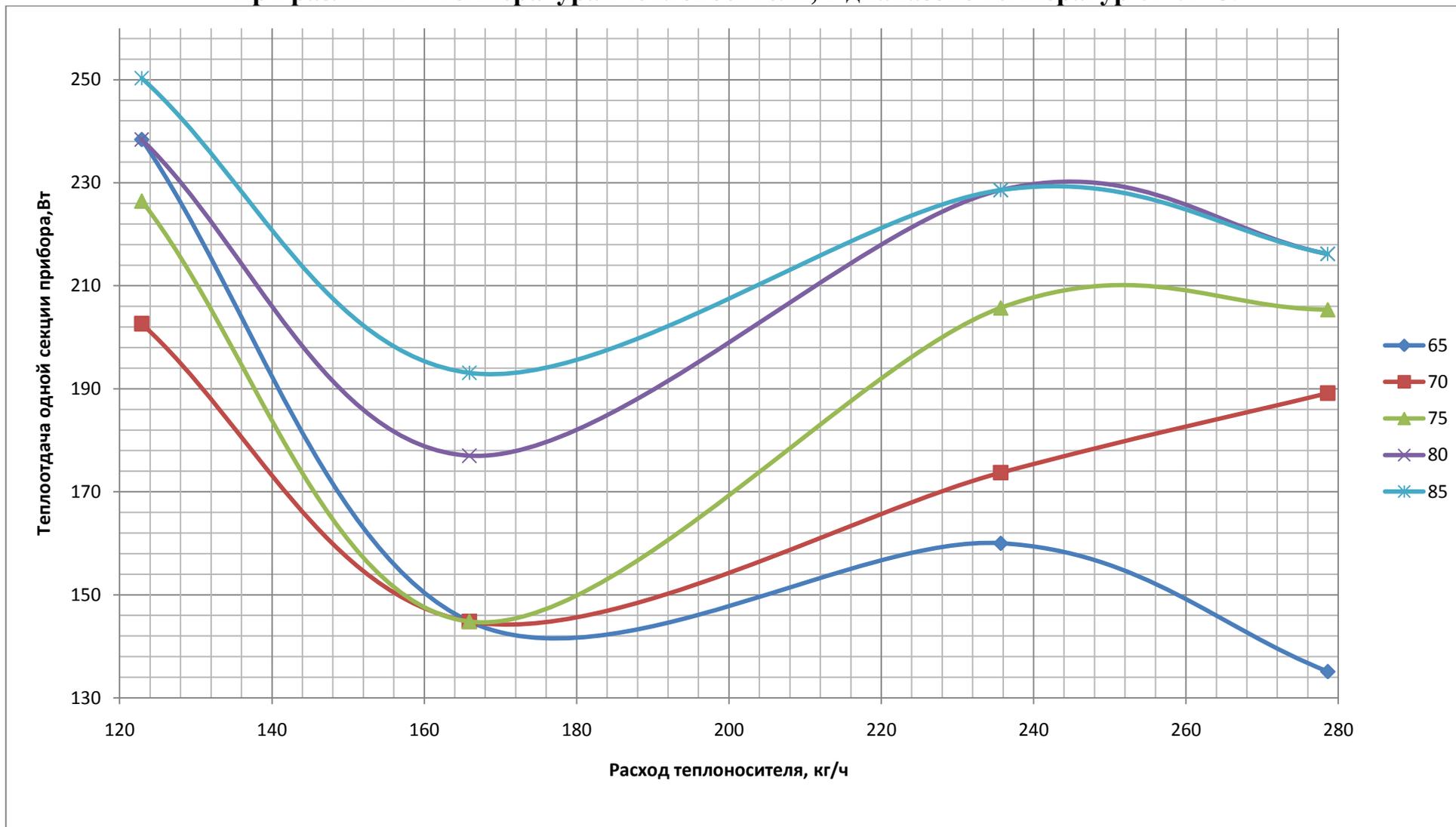
Сравнительный график изменения фактической теплоотдачи в зависимости от температуры теплоносителя, по данным опытов.



Приложение 6.
Сравнительный график изменения фактической теплоотдачи в зависимости от расхода, при различных температурах теплоносителя, в диапазоне температур 40-60 °С.



Приложение 7.
Сравнительный график изменения фактической теплоотдачи в зависимости от расхода, при различных температурах теплоносителя, в диапазоне температур 65-85⁰С.



Приложение 8.

Тепловизионная съемка исследуемого отопительного прибора при температуре теплоносителя 75⁰С.

