

**Вывод.** В ходе работы мы рассчитали стоимость водяного отопления для индивидуального жилого дома, которая составила **7562** руб. Данные расчёты необходимы для сравнения стоимости водяного отопления с электрическими для последующего выбора системы с учётом комфорта и экономии.

*Список использованных источников:*

1. <https://www.herz.by/upload/iblock/bc2/prays-broshyura-herz-2021.pdf> – Интернет магазин [Электронный ресурс] / Режим доступа: . – Дата доступа: 03.03.2021.
2. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха: СНБ 4.02.01-03.
3. <https://sovet-ingenera.com> – Интернет-энциклопедия об обустройстве сетей инженерно-технического обеспечения [Электронный ресурс] / Режим доступа: . – Дата доступа: 03.03.2021.

**Гришкевич М.Ю., Чубрик А.Н.**

### **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЛАСТИНЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА В СОСТАВЕ ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА**

*Брестский государственный технический университет, студенты факультета инженерных систем и экологии специальности теплогазоснабжение, вентиляция и охрана воздушного бассейна группы ТВ-15. Научный руководитель: Янчилин П.Ф., м.т.н., ст. преподаватель кафедры теплогазоснабжения и вентиляции*

Применение установок с рекуперацией тепла позволяет уменьшить потребление электроэнергии, тем самым снизить финансовые затраты. Рекуператор предназначен для повторного применения теплоты или холода, забираемых от уходящего воздуха систем вентиляции и кондиционирования, от технологических потоков, местных отсосов и т.д. Применение секции утилизации теплоты определяется характеристиками потоков и требованиями, предъявляемыми к помещению, в котором необходимо осуществить кондиционирование воздуха.

Экспериментальный рекуператор диагональный пластинчатый установлен в лабораторном стенде «Центральный промышленный кондиционер КЦ-ТК-1,6-6/3» в ауд. 3/116 кафедры ТГВ, БрГТУ.

В данном исследовании мы выставляли настройки вентиляторов при которых изменялся расход наружного и уходящего воздуха. В первом опыте мы выставили 76% мощности для вентилятора на приток и 45% для вентилятора на вытяжку. Во втором опыте мы изменили настройки вентилятора на приток – 45% и вентилятора на вытяжку – 76%. При работе вентиляторов на 76% обеспечивается расход воздуха по паспорту:  $L=1500 \pm 10\%$ ,  $[1350 \div 1650]$  м<sup>3</sup>/ч. КПД при этом составляет:  $\eta=59,3\%$ . Площадь сечения приточного и вытяжного канала:  $F=2000$  см<sup>2</sup>.

В процессе работы кондиционера была задействована только секция с диагональным пластинчатым рекуператором и мы измеряли параметры воздуха на входе и выходе из него. Определили КПД и мощность и затем в результате полученных данных построили графики зависимости изменения воздуха внутри рекуператора. **Расчётные формулы:**

1) Расход воздуха  $L$ , м<sup>3</sup>/ч:  $L = V \cdot 3600 \cdot F$ , м<sup>3</sup>/ч

где  $V$  – скорость воздуха, м/с;  $F$  – площадь сечения входного (выходного) канала, м<sup>2</sup>.

2) Соотношение воздухообменов:  $k = \frac{L_{\Pi}}{L_{\text{В}}}$

3) КПД рекуператора:  $\eta = \frac{T_{\Pi} - T_{\text{Н}}}{T_{\text{В}} - T_{\text{Н}}} \cdot 100\%$

где  $T_{\Pi}$ ,  $T_{\text{Н}}$ ,  $T_{\text{В}}$  – температура приточного, наружного и вытяжного воздуха соответственно, °С.

4) Мощность, Q, кВт:  $Q = G \cdot (I_{\text{К}} - I_{\text{Н}})$ , кДж/ч · 0,277778, кВт

где  $I_{\text{К}}$  и  $I_{\text{Н}}$  – энтальпии начального и конечного состояния, кДж/кг;

G – массовый расход воздуха (кг/ч).

Таблица 1. Данные полученные при  $k=1:0,7$

t, мин	Н		П		В		Р		$\eta, \%$	Gпр., кг/ч	Iп, кДж/кг	Iн, кДж/кг	Q	
	T, °C	$\phi, \%$	T, °C	$\phi, \%$	T, °C	$\phi, \%$	Термогигрометр						кДж/ч	кВт
вкл.			17,1	21,7	17,9	27,0	65,0	3,0	97	1821	23,8		46435,5	12,9
			16,2	22,5	17,9	27,0	65,3	2,7	93	1830	22,8		44835	12,5
1			15,0	23,8	17,9	27,0	65,7	2,3	88	1839	21,4		42480,9	11,8
			14,4	24,9	17,9	27,0	66,0	2,0	86	1842	20,8		41445	11,5
2			13,9	26,3	17,8	27,1	66,2	1,8	84	1845	20,5		40959	11,4
			13,2	27,4	17,8	27,1	66,6	1,4	81	1849	19,8		39753,5	11,0
3			12,0	28,6	17,8	27,2	67,0	1,0	76	1858	18,3		37160	10,3
			11,3	29,3	17,7	27,1	67,3	0,8	73	1863	17,5		35769,6	9,9
4	-6,3	84,5	10,1	30,5	17,7	27,2	67,9	0,6	68	1870	16	-1,7	33099	9,2
			9,2	31,4	17,7	27,2	68,1	0,5	65	1871	14,9		31058,6	8,6
5			8,4	32,3	17,7	27,3	68,2	0,4	61	1876	14		29453,2	8,2
			7,9	33,6	17,4	27,2	68,5	0,3	60	1880	13,5		28576	7,9
6			7,5	34,2	17,6	27,1	68,3	0,1	58	1882	13		27665,4	7,7
			7,1	35,1	17,6	27,3	68,2	-0,1	56	1885	12,6		26955,5	7,5
7			7,0	36,2	17,6	27,3	68,6	-0,2	56	1886	12,7		27158,4	7,5
			6,6	36,8	17,4	27,6	68,9	-0,3	54	1889	12,2		26257,1	7,3
8			6,4	37,6	17,4	28,2	69,3	-0,5	54	1889	12		25879,3	7,2
			6,1	38,3	17,4	28,2	69,6	-0,5	52	1892	11,9		25731,2	7,1
9			5,9	38,6	17,4	28,1	69,9	-0,6	51	1894	11,5		25000,8	6,9
			5,8	38,7	17,4	27,8	70,2	-0,6	51	1894	11,4		24811,4	6,9
10			5,7	39,2	17,3	28,1	70,2	-0,7	51	1895	11,3		24635	6,8
			5,5	39,5	17,3	28,2	70,5	-0,7	50	1897	11,1		24281,6	6,7
11			5,5	40,1	17,3	28,2	70,8	-0,7	50	1897	11,1		24281,6	6,7
			5,4	40,7	17,3	28,3	71,2	-0,7	50	1897	11,1		24281,6	6,7
12			5,3	40,3	17,3	28,4	70,8	-0,7	49	1897	10,9		23902,2	6,6
			5,3	40,4	17,3	28,5	70,9	-0,8	49	1897	10,9		23902,2	6,6
13			5,1	40,6	17,3	28,3	71,4	-0,9	48	1898	10,6		23345,4	6,5
			5,1	40,8	17,3	28,5	71,6	-1,0	48	1898	10,7		23535,2	6,5
14	-6,3	84,5	4,9	40,9	17,1	28,7	71,3	-1,1	48	1900	10,4	-1,7	22990	6,4
			4,8	41,2	17,3	28,5	71,3	-1,1	47	1901	10,3		22812	6,3
15			4,8	41,2	17,1	28,6	71,6	-1,2	47	1901	10,3		22812	6,3
			4,7	41,6	17,1	28,4	71,8	-1,2	47	1901	10,2		22621,9	6,3
16			4,7	41,8	17,1	28,4	71,8	-1,2	47	1901	10,2		22621,9	6,3
			4,5	41,8	17,0	28,5	71,9	-1,2	46	1903	10		22265,1	6,2
17			4,5	42,1	17,0	28,7	72,0	-1,2	46	1903	10		22265,1	6,2
			4,5	42,2	17,0	28,4	72,0	-1,2	46	1903	10		22265,1	6,2
18			4,5	42,3	17,1	28,6	71,7	-1,2	46	1903	10		22265,1	6,2
			4,4	42,4	17,1	28,7	71,7	-1,2	46	1904	9,9		22086,4	6,1
19			4,4	42,5	17,1	28,7	71,6	-1,2	46	1904	9,9		22086,4	6,1
			4,4	42,7	17,0	28,5	71,6	-1,3	46	1904	9,9		22086,4	6,1
20			4,4	42,8	17,0	28,6	71,4	-1,2	46	1904	10		22276,8	6,2

### Опыт 1 (k=1:0,7)

Приток:

$V_{\text{п}}=2,1$  м/с

$L=1500$  м<sup>3</sup>/ч

Вытяжка:

$V_{\text{п}}=1,5$  м/с

$L=1069$  м<sup>3</sup>/ч

### Опыт 2 (k=0,6:1,3)

Приток:

$V_{\text{п}}=1,3$  м/с

$L=927$  м<sup>3</sup>/ч

Вытяжка:

$V_{\text{п}}=2,8$  м/с

$L=1996$  м<sup>3</sup>/ч

По полученным данным видно, что температура приточного воздуха уменьшается, а затем становится постоянной. При этом влажность возросла на 21,1%. Температура вытяжного воздуха понизилась почти на 1°С, а влажность повысилась на 1,6%. В начале опыта при k=1:0,7 КПД был достаточно высоким (97%) из-за того что разница между приточным и внутренним воздухом была небольшая. После стабилизации температуры приточного воздуха КПД стало постоянным и равным 46%. Вытяжной воздух отдал 6,2 кВт тепла.

По полученным данным в таблице 1 построили графики зависимости параметров воздуха в рекуператоре.



Рисунок 1. График зависимости КПД от времени

По данному графику видно, что при запуске центрального кондиционера КПД составлял 97%, но при дальнейших измерениях он начал стремительно падать до 46%, так как разница температур между приточным и вытяжным воздухом стала увеличиваться, и после 16-ти минут измерений КПД перестал изменяться.

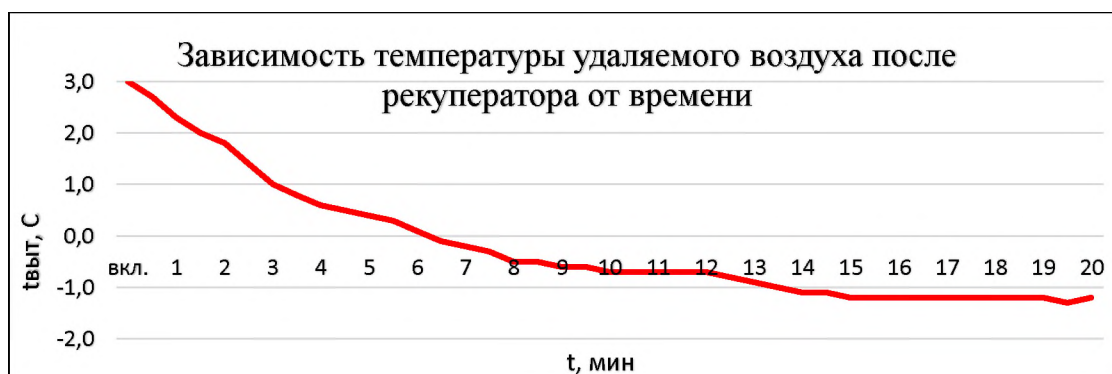


Рисунок 2. График зависимости температуры удаляемого воздуха после рекуператора от времени

По данному графику видно, температура удаляемого воздуха после рекуператора с течением времени медленно снижается с 3°С до -1,2°С. Это связано с тем,

что рекуператор до проведения испытания был нагрет внутренним воздухом и наружный воздух сначала охлаждал сам рекуператор, а после и удаляемый из помещения воздух.

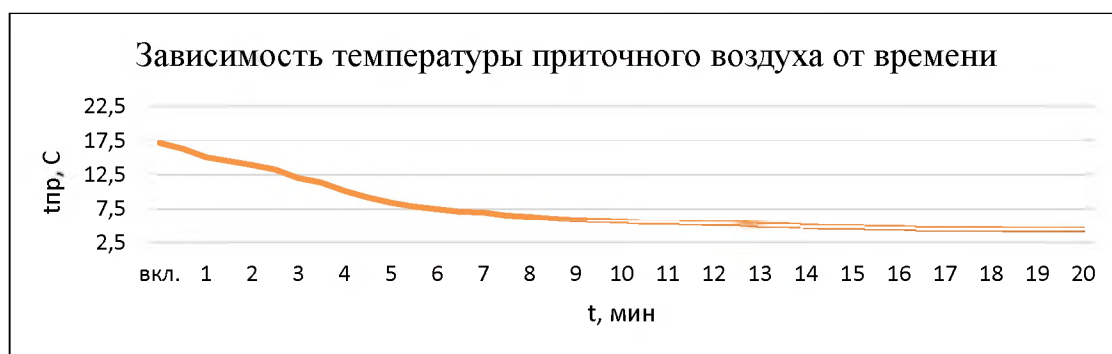


Рисунок 3. График зависимости температуры приточного воздуха от времени

По построенным данным видно, что температура приточного воздуха снижается с течением времени с 17,1°C до 4,4°C и дальше становится постоянной.



Рисунок 4. График зависимости мощности от времени

Из графика следует, что мощность в начале опыта составляла 12,9 кВт и затем уменьшалась до 6 кВт, так как температура приточного воздуха уменьшалась, а следовательно уменьшалась и энтальпия.

#### Опыт №2

В начале второго опыта ( $k=0,6:1,3$ ) КПД сначала был низким (49%) из-за того, что в первом опыте пластины рекуператора были охлаждены наружным воздухом (так как наружного воздуха было больше чем уходящего), но после КПД повысилось (74%) и стабилизировалось (уходящего воздуха больше, следовательно тепла наружному воздуху он отдает больше чем в первом опыте).

По полученным данным в таблице 2 построили графики зависимости параметров воздуха в рекуператоре.

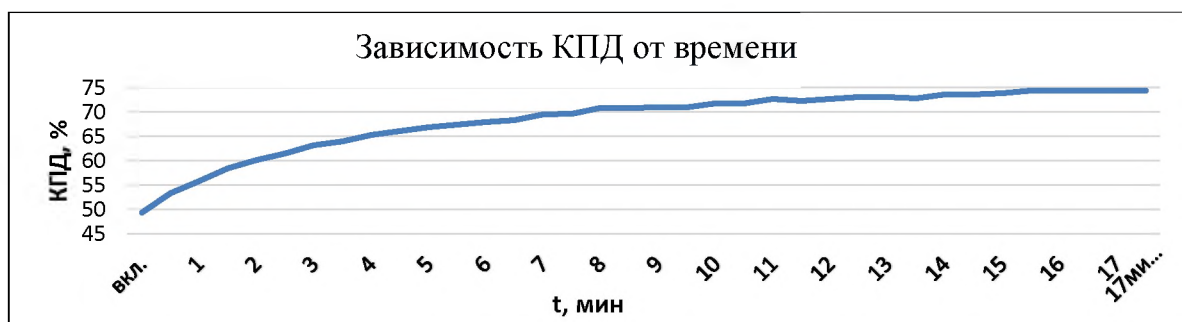


Рисунок 5. График зависимости КПД от времени

Таблица 2. Данные полученные при k=0,6:1,3

t, мин	Н		П		В		Р		η, %	G <sub>пр.</sub> , кг/ч	I <sub>п.</sub> , кДж/кг	I <sub>н.</sub> , кДж/кг	Q	
	T, °C	φ, %	T, °C	φ, %	T, °C	φ, %	Термогигрометр						кДж/ч	кВт
							φ, %	T, °C						
вкл.	6,3	84,5	5,2	42,6	17,0	28,7	54,0	5,5	49	1176	11,1	-1,7	15052,8	4,181
			6,1	40,4	17,0	29,5	50,3	6,2	53	1173	12		16070,1	4,464
1			6,7	39,1	17,0	29,5	48,8	6,5	56	1170	12,7		16848	4,680
			7,3	38,1	17,0	28,8	47,6	6,6	58	1167	13,4		17621,7	4,895
2			7,7	36,2	17,0	28,8	47,4	6,7	60	1166	13,6		17839,8	4,956
			8,0	35,3	17,0	28,3	47,1	6,7	61	1164	13,9		18158,4	5,044
3			8,4	34,7	17,0	28,4	46,9	6,8	63	1162	14,4		18708,2	5,197
			8,6	33,5	17,0	28,6	46,7	6,8	64	1162	14,5		18824,4	5,229
4			8,9	33,1	17,0	28,7	47,0	6,7	65	1161	14,8		19156,5	5,321
			9,0	33,0	16,9	28,7	47,0	6,8	66	1161	14,9		19272,6	5,354
5			9,2	32,7	16,9	28,6	46,8	6,8	67	1160	15,2		19604	5,446
			9,4	32,5	17,0	28,5	47,2	6,9	67	1159	15,4		19818,9	5,505
6			9,5	32,0	17,0	28,5	47,0	7,0	68	1159	15,5		19934,8	5,537
			9,6	32,1	17,0	28,8	47,2	7,1	68	1158	15,6		20033,4	5,565
7			9,8	31,5	16,9	28,6	47,0	7,0	69	1157	15,8		20247,5	5,624
			9,9	31,4	17,0	28,4	47,1	7,1	70	1157	15,9		20363,2	5,656
8			10,1	31,1	16,9	28,2	47,0	7,1	71	1156	16,1		20576,8	5,716
	10,1	30,8	16,9	28,5	47,0	7,1	71	1156	16,1	20576,8	5,716			
9	10,2	30,8	17,0	28,7	46,7	7,1	71	1155	16,2	20674,5	5,743			
	10,2	30,3	17,0	28,4	47,4	7,0	71	1155	16,1	20559	5,711			
10	10,4	30,2	17,0	28,5	47,8	7,0	72	1155	16,4	20905,5	5,807			
	10,4	30,7	17,0	29,0	47,7	7,0	72	1155	16,5	21021	5,839			
11	10,6	30,6	17,0	28,7	47,5	7,2	73	1154	16,7	21233,6	5,898			
	10,6	30,5	17,1	28,7	47,4	7,1	72	1154	16,7	21233,6	5,898			
12	10,6	30,7	17,0	28,5	47,0	7,2	73	1154	16,8	21349	5,930			
	10,7	30,4	17,0	28,8	47,3	7,2	73	1153	16,8	21330,5	5,925			
13	10,7	30,0	17,0	28,8	47,0	7,2	73	1153	16,8	21330,5	5,925			
	10,7	30,1	17,1	28,9	47,5	7,2	73	1153	16,8	21330,5	5,925			
14	10,9	29,9	17,1	29	47,3	7,2	74	1152	17	21542,4	5,984			
	10,9	29,8	17,1	29,1	47,4	7,2	74	1152	17	21542,4	5,984			
15	10,9	29,6	17,0	29,0	47,7	7,2	74	1152	17	21542,4	5,984			
	11,0	30,1	17,0	28,9	47,6	7,2	74	1152	17,2	21772,8	6,048			
16	11,0	30,2	17,0	28,9	47,6	7,2	74	1152	17,2	21772,8	6,048			
	11,0	29,7	17,0	29,3	47,7	7,2	74	1152	17,1	21657,6	6,016			
17	11,0	29,6	17,0	28,5	47,6	7,1	74	1152	17,1	21657,6	6,016			
	11,0	30,1	17,0	28,6	47,6	7,2	74	1152	17,2	21772,8	6,048			

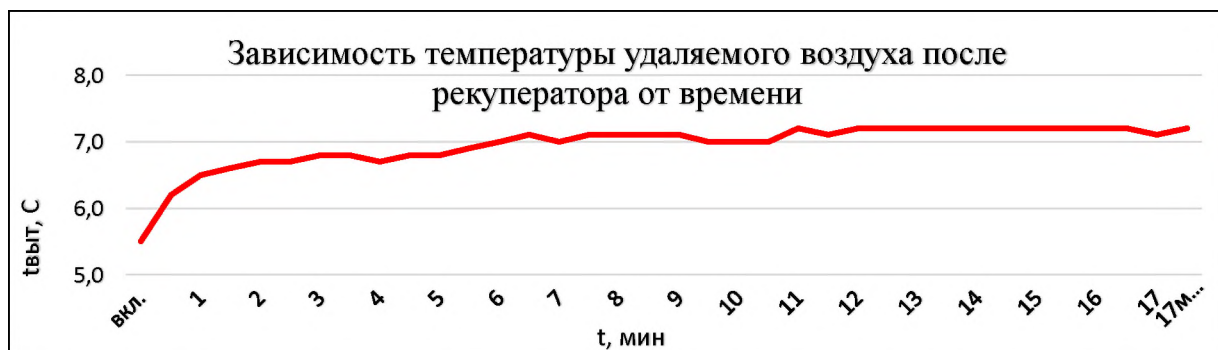


Рисунок 6. График зависимости температуры удаляемого воздуха после рекуператора от времени

По данному графику видно, что вначале КПД был низким и составлял 49%, но при дальнейших измерениях КПД повысилось до 74% и стабилизировалось, так как

уходящего воздуха больше, следовательно, тепла наружному воздуху рекуператор отдает больше чем в первом опыте.



Рисунок 7. График зависимости температуры приточного воздуха от времени

По данному графику видно, что температура удаляемого воздуха после рекуператора с течением времени медленно повышается с  $5,5^{\circ}\text{C}$  до  $7,2^{\circ}\text{C}$ . Это связано с тем, что в начале опыта удаляемый воздух сначала нагревал сам рекуператор, охлажденный в первом опыте, так как там было большее количество наружного воздуха, а затем уже и наружный воздух.

По построенным данным видно, что температура приточного воздуха повышается с течением времени с  $5,2^{\circ}\text{C}$  до  $11^{\circ}\text{C}$  и дальше становится постоянной.



Рисунок 8. График зависимости мощности от времени

Из графика следует, что мощность в начале опыта составляла 4 кВт и затем увеличивалась до 6 кВт, так как температура приточного воздуха повышалась и соответственно увеличивалась его энтальпия.

**Вывод:** в ходе изучения работы пластинчатого рекуператора в составе центрального кондиционера измеряли температуру и влажность воздуха до пластинчатого рекуператора и после на входе и выходе с изменением расходов наружного и удаляемого воздуха в холодный период года. В результате полученных данных определили КПД и мощность пластинчатого рекуператора, а так же построили графики зависимости параметров воздуха до и после рекуператора. Выяснили, что для эффективности работы пластинчатого рекуператора его работа должна производиться при одинаковых расходах наружного и удаляемого воздуха. КПД при  $k=1:0,7$  составило 46%, а при  $k=0,6:1,3$  – 74%.

*Список использованных источников:*

1. Руководство по эксплуатации. Лабораторный стенд «Центральный промышленный кондиционер» КЦ-ТК-1,6-6/3. Внедренческое предприятие «Альтернатива» 2012. – 24 с.
2. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение: Учеб. пособие/ П.И. Дячек. – М.: Издательство АСВ, 2017. – 676 с.