

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ДИАГОНАЛЬНОГО ПЛАСТИНЧАТОГО РЕКУПЕРАТОРА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ РАСХОДАХ ВОЗДУХА В СОСТАВЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЦЕНТРАЛЬНОГО КОНДИЦИОНЕРА

Для уменьшения потребляемой мощности и снижения финансовых затрат применяют установки с рекуперацией тепла. 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 [2].

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

В данном исследовании мы выставляли настройки вентилятора, при которых изменялся расход наружного и уходящего воздуха. В первом опыте мы выставили 76 % мощности для вентилятора на приток и 45 % мощности 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 центрального кондиционера: $L=1500 \pm 10$ %, [1350 ÷ 1650] м³/ч. КПД при этом составляет: $\eta = 59,3$ %. Площадь сечения приточного и вытяжного канала: $F = 2000$ см² [1, с. 15].

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 результате полученных данных построили процессы изменения воздуха внутри рекуператора.

На рисунке 1 представлена схема пластинчатого рекуператора с направлениями движения потоков воздуха. Н – наружный воздух, В – уходящий воздух, П – приточный воздух, Р – уходящий воздух после рекуператора.

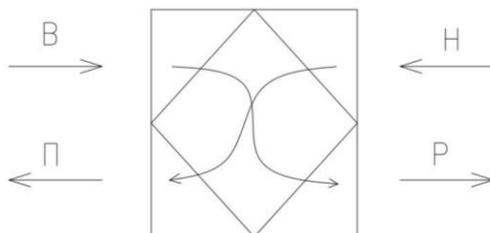


Рисунок 1 – Упрощенная схема пластинчатого рекуператора

Расчётные формулы:

- Расход воздуха L , м³/ч:

$$L=V \cdot 3600 \cdot F,$$

где V – скорость воздуха, F – площадь сечения входного (выходного) канала.

- Соотношение воздухообменов:

$$k = \frac{L_{\text{п}}}{L_{\text{в}}},$$

где $L_{\text{п}}$ – расход приточного воздуха, $L_{\text{в}}$ – расход вытяжного воздуха.

- КПД рекуператора η , %:

$$\eta = \frac{T_{\text{п}} - T_{\text{н}}}{T_{\text{в}} - T_{\text{н}}} \cdot 100\%,$$

где $T_{\text{п}}$, $T_{\text{н}}$, $T_{\text{в}}$ – температура приточного, наружного и вытяжного воздуха соответственно.

- Мощность Q , Вт:

$$Q = G \cdot (I_{\text{к}} \cdot I_{\text{н}}), \text{кДж/ч} \cdot 0,277778, \text{кВт},$$

где $I_{\text{к}}$ и $I_{\text{н}}$ – энтальпии начального и конечного состояния, кДж/кг, G – массовый расход воздуха, кг/ч.

Опыт 1 ($k = 1:0,7$)

Приток: $V_{\text{п}} = 2,1$ м/с, $L = 1500$ м³/ч

Вытяжка: $V_{\text{п}} = 1,5$ м/с, $L = 1069$ м³/ч

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

t, мин	Н		П		В		Р		η , %	$G_{\text{пр.}}$, кг/ч	$I_{\text{п}}$, кДж/кг	$I_{\text{н}}$, кДж/кг	Q				
	T , °C	ϕ , %	T , °C	ϕ , %	T , °C	ϕ , %	Термогигрометр						кДж/ч	кВт			
							ϕ , %	T , °C									
вкл.	-6,3	84,5	17,1	21,7	17,9	27,0	65,0	3,0	97	1821	23,8	-1,7	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			10,1	30,5	17,7	27,2	67,9	0,6	68	1870	16		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			-6,3	84,5	5,9	38,6	17,4	28,1	69,9	-0,6	51		1894	11,5	-1,7	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				

Продолжение таблицы 1

t, мин	Н		П		В		Р		η, %	G _{пр.} , кг/ч	I _{п.} , кДж/кг	I _{н.} , кДж/кг	Q	
							Термогигрометр							
	T, °C	φ, %	T, °C	φ, %	T, °C	φ, %	φ, %	T, °C					кДж/ч	кВт
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			4,9	40,9	17,1	28,7	71,3	-1,1	48	1900	10,4		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

По полученным данным в таблице 1 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.

Опыт 2 (k = 0,6:1,3)

Приток: $V_{п} = 1,3$ м/с, $L = 927$ м³/ч

Вытяжка: $V_{п} = 2,8$ м/с, $L = 1996$ м³/ч

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

t, мин	Н		П		В		Р		η, %	G _{пр.} , кг/ч	I _{п.} , кДж/кг	I _{н.} , кДж/кг	Q	
							Термогигрометр							
	T, °C	φ, %	T, °C	φ, %	T, °C	φ, %	φ, %	T, °C					кДж/ч	кВт
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	4,2
			6,1	40,4	17,0	29,5	50,3	6,2	53	1173	12		16070,1	4,5
1	-6,3	84,5	6,7	39,1	17,0	29,5	48,8	6,5	56	1170	12,7	-1,7	16848	4,7
			7,3	38,1	17,0	28,8	47,6	6,6	58	1167	13,4		17621,7	4,9
2			7,7	36,2	17,0	28,8	47,4	6,7	60	1166	13,6		17839,8	4,95
			8,0	35,3	17,0	28,3	47,1	6,7	61	1164	13,9		18158,4	5,04
3			8,4	34,7	17,0	28,4	46,9	6,8	63	1162	14,4		18708,2	5,2
			8,6	33,5	17,0	28,6	46,7	6,8	64	1162	14,5		18824,4	5,23
4			8,9	33,1	17,0	28,7	47,0	6,7	65	1161	14,8		19156,5	5,32
			9,0	33,0	16,9	28,7	47,0	6,8	66	1161	14,9		19272,6	5,35
5	-6,3	84,5	9,2	32,7	16,9	28,6	46,8	6,8	67	1160	15,2	-1,7	19604	5,45
			9,4	32,5	17,0	28,5	47,2	6,9	67	1159	15,4		19818,9	5,5
6			9,5	32,0	17,0	28,5	47,0	7,0	68	1159	15,5		19934,8	5,54

Продолжение таблицы 2

t, мин	Н		П		В		Р		η, %	G _{пр.} , кг/ч	I _п , кДж/кг	I _н , кДж/кг	Q	
	T, °C	φ, %	T, °C	φ, %	T, °C	φ, %	Термогигрометр						кДж/ч	кВт
							φ, %	T, °C						
7			9,6	32,1	17,0	28,8	47,2	7,1	68	1158	15,6		20033,4	5,56
			9,8	31,5	16,9	28,6	47,0	7,0	69	1157	15,8		20247,5	5,6
			9,9	31,4	17,0	28,4	47,1	7,1	70	1157	15,9		20363,2	5,66
8			10,1	31,1	16,9	28,2	47,0	7,1	71	1156	16,1		20576,8	5,72
			10,1	30,8	16,9	28,5	47,0	7,1	71	1156	16,1		20576,8	5,72
9			10,2	30,8	17,0	28,7	46,7	7,1	71	1155	16,2		20674,5	5,74
			10,2	30,3	17,0	28,4	47,4	7,0	71	1155	16,1		20559	5,71
10			10,4	30,2	17,0	28,5	47,8	7,0	72	1155	16,4		20905,5	5,81
			10,4	30,7	17,0	29,0	47,7	7,0	72	1155	16,5		21021	5,84
11			10,6	30,6	17,0	28,7	47,5	7,2	73	1154	16,7		21233,6	5,9
			10,6	30,5	17,1	28,7	47,4	7,1	72	1154	16,7		21233,6	5,9
12			10,6	30,7	17,0	28,5	47,0	7,2	73	1154	16,8		21349	5,93
			10,7	30,4	17,0	28,8	47,3	7,2	73	1153	16,8		21330,5	5,93
13			10,7	30,0	17,0	28,8	47,0	7,2	73	1153	16,8		21330,5	5,93
			10,7	30,1	17,1	28,9	47,5	7,2	73	1153	16,8		21330,5	5,93
14			10,9	29,9	17,1	29	47,3	7,2	74	1152	17		21542,4	5,98
			10,9	29,8	17,1	29,1	47,4	7,2	74	1152	17		21542,4	5,98
15			10,9	29,6	17,0	29,0	47,7	7,2	74	1152	17		21542,4	5,98
			11,0	30,1	17,0	28,9	47,6	7,2	74	1152	17,2		21772,8	6,05
16			11,0	30,2	17,0	28,9	47,6	7,2	74	1152	17,2		21772,8	6,05
			11,0	29,7	17,0	29,3	47,7	7,2	74	1152	17,1		21657,6	6,02
17			11,0	29,6	17,0	28,5	47,6	7,1	74	1152	17,1		21657,6	6,02
17,5			11,0	30,1	17,0	28,6	47,6	7,2	74	1152	17,2		21772,8	6,05

По таблице 2 видно, что при $k = 0,6:1,3$ температура приточного воздуха возросла до 11 °C и после стабилизировалась. Влажность при этом понизилась до 30 %. Температура и влажность вытяжного воздуха остались прежние. 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 отдаст больше, чем в первом опыте). Вытяжной воздух отдал 6 кВт тепла.

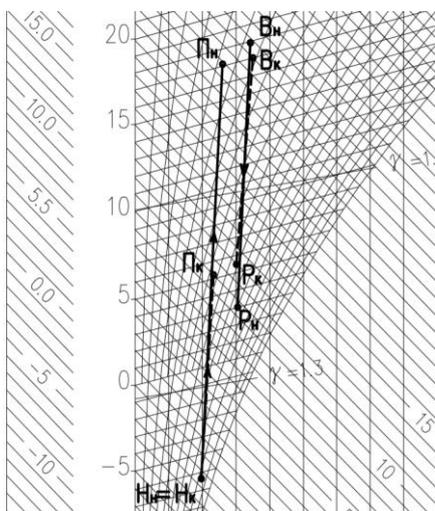


Рисунок – 2. Процесс изменения состояния воздуха в рекуператоре при $k = 1:0,7$

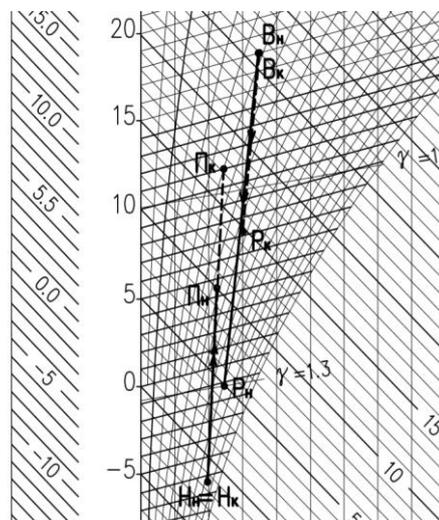


Рисунок 3 – Процесс изменения состояния воздуха в рекуператоре при $k = 0,6:1,3$

По полученным данным построим процессы изменения состояния воздуха внутри рекуператора на I-d диаграмме влажного воздуха, где точка Н – наружный воздух, П – приточный воздух, В – внутренний воздух, Р – удаляемый воздух после рекуператора. Процесс Нн-Пн – процесс прохождения наружного воздуха через рекуператор в кондиционере, после которого мы получаем приточный воздух – в начале опыта, Нк-Пк – тот же процесс в конце опыта. Вн-Рн – процесс, при котором вытяжной воздух, проходя через рекуператор, отдает свою теплоту наружному воздуху и выходит из рекуператора с параметрами точки Рн – в начале опыта, Вк-Рк – тот же процесс в конце опыта (рис. 1, 2).

В ходе изучения работы пластинчатого диагонального рекуператора в составе центрального промышленного кондиционера сравнили КПД, полученные при различных расходах наружного и удаляемого воздуха. Выяснили, что при $k = 1:0,7$ составило 46 %, при $k = 0,6:1,3$ – 74 %, а при работе двух вентиляторов на 76 % мощности КПД составляет 59,3 % (по данным паспорта центрального кондиционера).

Список цитированных 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.

УДК 697.275.7

Чубрик А. Н.

Научный руководитель: к. т. н, доцент Новосельцев В. Г.

РАСЧЁТ СТОИМОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОТОПЛЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛОГО ДОМА

Система отопления относится к инженерным сетям зданий и является системой жизнеобеспечения, предназначенная для поддержания в помещениях оптимальной температуры. Без этого постоянное пребывание людей в зданиях невозможно.

Перспективным решением в Республике Беларусь на современном этапе является использование электрического отопления. Рассмотрим применение системы электрического отопления на примере индивидуального дома.

Для отопления были приняты электрические конвекторы в сочетании с электрическим тёплым полом. Главным достоинством электрического отопления является простота установки. Обычно электрические конвекторы устанавливают под окном [1]. Для этого под подоконником устанавливают два кронштейна, на которые подвешивают прибор. Главными недостатками электрического отопления являются необходимость наличия мощной электросети и энергозависимость оборудования. В случае прекращения подачи электроэнергии все приборы прекратят свою работу [2].