

- специальности 1-70 04 02 «Теплогазоснабжение, отопление, вентиляция и охрана воздушного бассейна». – Брест : БрГТУ, 2020. – 45 с.
6. Расчет срока окупаемости установок обработки воздуха в системах вентиляции и кондиционирования/ А. В. Батунова // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы научного семинара, Брест, БрГТУ, 19 марта 2021 года / Под ред. В. С. Северянина, В. Г. Новосельцева. – Брест : РУПЭ «Брестэнерго», 2021. – С. 63–66.
 7. Определение эксплуатационных затрат системой кондиционирования для помещений физкультурно-оздоровительного комплекса / А. В. Батунова, Н. В. Огиевич // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы научного семинара, Брест, БрГТУ, 19 марта 2021 года / Под ред. В. С. Северянина, В. Г. Новосельцева. – Брест : РУПЭ «Брестэнерго», 2021. – С. 132–135.

УДК 697.953

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ЭКСПЛУАТАЦИИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОФИСНЫХ ПОМЕЩЕНИЙ

П. Ф. Янчилин, Н. В. Огиевич

УО «Брестский государственный технический университет», Брест, Беларусь,
tgv_bstu@tut.by

Аннотация

С целью обеспечения нормального функционирования вентиляции для расчёта помещений с большим объемом при центральном кондиционировании воздухом методом сравнительного анализа теоретически сравниваются схемы воздухораспределения: смешивание и вытеснение. Объектом исследования выбран 2-ой этаж офисного здания, расположенный в Республике Беларусь. В сравнении учитываются стоимости центрального кондиционера, воздуховодов, воздухораспределителей, монтажа системы, а также процессов обработки воздуха и потребление тепловой энергии.

Ключевые слова: кондиционирование воздуха, воздухораспределение, воздуховоды, приточный, смешивание, вытеснение.

EFFICIENCY OF EXPLOITATION OF THE OFFICE AIR CONDITIONING SYSTEMS

P. F. Yanchilin, N. V. Ogievich

Abstract

In order to ensure the normal functioning of ventilation for the calculation of rooms with a large volume with central air conditioning, the method of comparative analysis theoretically compares the air distribution schemes: mixing and displacement. The object of the study is the 2nd floor of an office building located in Zhlobin. The comparison takes into account the costs of the central air conditioner, air ducts, air diffusers, system installation, as well as air handling processes and thermal energy consumption.

Keywords: air conditioning, air distribution, air ducts, supply, mixing, displacement.

Введение. Объектом исследования выбран 2-ой этаж офисного здания, расположенного в г. Жлобин. Рассматриваемое помещение объемом $469,6 \text{ м}^3$ и площадью $117,4 \text{ м}^2$ со свободной планировкой рассчитано на 40 человек. Расчетное помещение имеет IIIa категорию – помещение с массовым пребыванием людей, в котором люди находятся преимущественно в положении сидя без уличной одежды [1]. Для функционирования кондиционирования необходимо поддерживать определенный воздухообмен в помещении, а также обеспечивать оптимальные параметры воздуха, то есть подавать и одновременно удалять определенное количество воздуха. Подача воздуха в первом случае подается через воздухораспределители типа EAGLE Da производителя Swegon, расположенные на потолке, а удаление воздуха осуществляется с помощью диффузоров марки ДПУ-М от производителя Arktos. Во втором случае подача свежего воздуха в рабочее помещение происходит снизу через вытесняющие диффузоры от Swegon, а удаление сверху с помощью потолочного диффузора TSF-650-SW изготовителя SystemAir. Важным является экономическая целесообразность схем воздухораспределения. От выбора схемы зависит стоимость оборудования и его монтаж, количество воздухообмена, необходимого для расчетного помещения и т.д. Поэтому актуальным является грамотный выбор системы кондиционирования.

Материалы и методы. Исходными данными являются: помещение объемом $469,6 \text{ м}^3$ и площадью $117,4 \text{ м}^2$ со свободной планировкой, рассчитанное на 40 человек, находящееся в городе Жлобин, расчетные параметры наружного и внутреннего воздуха по холодному и теплому периодам года. В процессе проведения исследования использовались метод сравнительного анализа, компьютерные программы Microsoft Word, Autodesk Revit, Smeta Online.

Результаты и обсуждение.

Для выявления различий между схемами воздухораспределения в компьютерной программе Autodesk Revit были запроектированы 3D модели систем кондиционирования воздуха. Модели приточно-вытяжной системы представлены на рисунке 1. В состав систем входят: стальные воздуховоды, воздухораспределители, центральный кондиционер PR060, фасонные детали.

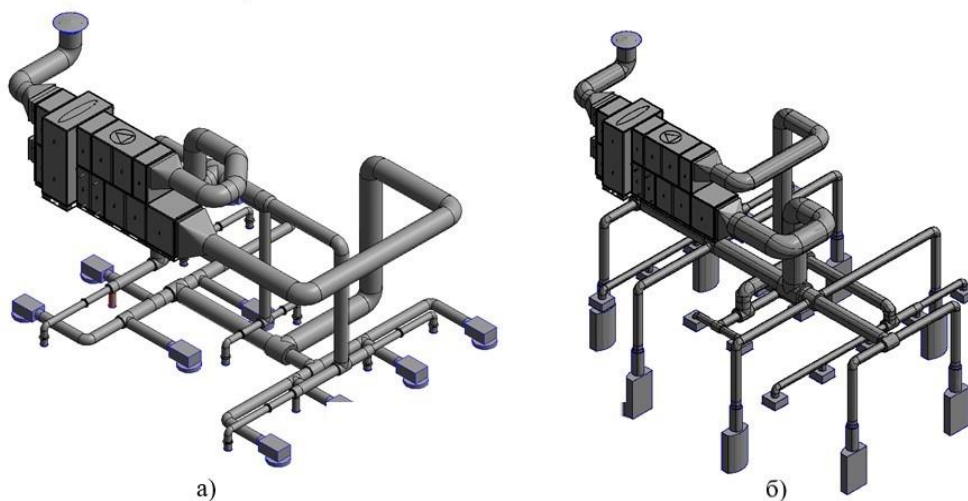


Рисунок 1 – Модели приточно-вытяжной системы кондиционирования при воздухораспределении: смешивание (а), вытеснение (б)

В качестве расчетных параметров наружного воздуха при проектировании системы кондиционирования воздуха температура и энтальпия принимаются по Приложению Е в соответствии с п. 5.14 [1].

Расчет воздухообмена для расчетного помещения сведен в таблицу 1. Анализ данной таблицы показывает, что наибольший воздухообмен для смешивания получается для ассимиляции полной теплоты в холодный период – 6555 кг/ч, а для вытеснения наибольший воздухообмен для явной теплоты в холодный период – 9822 кг/ч.

В зависимости от назначения системы кондиционирования предусматривают следующие схемы обработки воздуха: прямоточная, частичная и полная рециркуляции. Центральные кондиционеры выпускаются в секционном исполнении. Секции предназначены для очистки, нагрева, осушки, охлаждения, увлажнения, регулирования, смешения и перемещения воздуха. Выбор компоновки центрального кондиционера зависит от следующих факторов: тип помещения, конструктивные особенности здания, санитарно-гигиенические, экономические и эксплуатационные требования [2].

При построении процессов на i-d диаграмме и выборе технологической схемы обработки воздуха необходимо стремиться к рациональному использованию энергии, обеспечивая экономный расход холода, теплоты, электроэнергии, а также экономию строительной площадки, занимаемой оборудованием.

Таблица 1 – Расчет воздухообмена в расчетном помещении

Наименование величины	Значение величин							
	ТП		ХП		ТП		ХП	
	Я	П	Я	П	Я	П	Я	П
Тип воздухораспределения	Смешивание				Вытеснение			
Воздухообмен для ассимиляции явной/полной теплоты LQ, кг/ч	4567	5475	5403	6555	6394	5097	9822	8610
Тепловые избытки, кДж/ч	32130	54198	27148	45230	32130	54198	27148	45230
Воздухообмен для ассимиляции влаги LM, кг/ч	–	288	–	54	–	5,2	–	10,4
Поступление влаги M, г/ч	–	6845	–	5180	–	6845	–	5180
Воздухообмен для ассимиляции углекислого газа LCO ₂ , кг/ч	1295		1295		1295		1295	
Поступление углекислого газа mCO ₂ , г/ч	60		60		60		60	

При выборе применяемого процесса для тёплого и холодного периодов следует учесть, что следует выбирать процесс с наименьшими затратами тепла и воды, и количество требуемых секций должно быть минимальным.

Для воздухораспределения смешения были выбраны оптимальные процессы обработки воздуха: первая рециркуляция→ охлаждение для теплого периода (рис.2) и ротор→ первая рециркуляция→ нагревание для холодного периода (рис.4). Для вытеснения были выбраны аналогичные процессы (рис. 3 и 5).

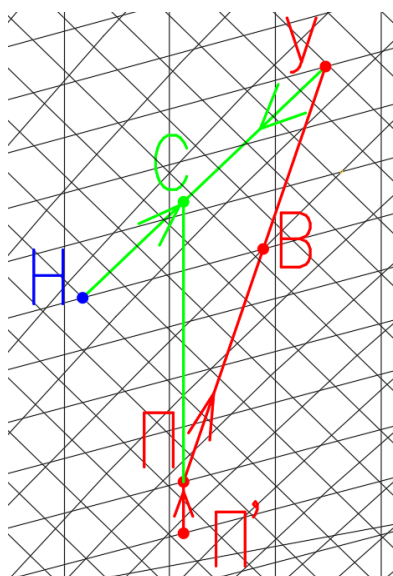


Рисунок 2 – Процесс обработки воздуха с первой рециркуляцией и охладителем при смешивании

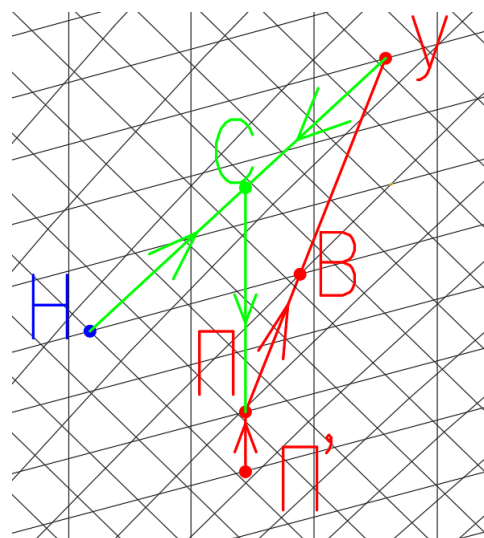


Рисунок 3 – Процесс обработки воздуха с первой рециркуляцией и охладителем при вытеснении

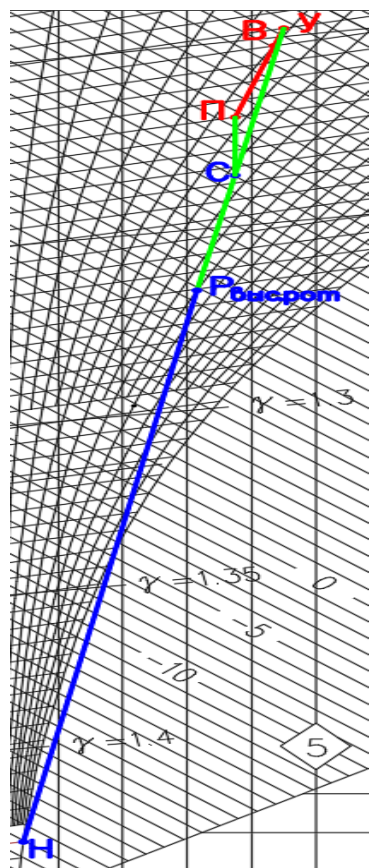


Рисунок 4 – Процесс обработки воздуха с ротором при смешивании

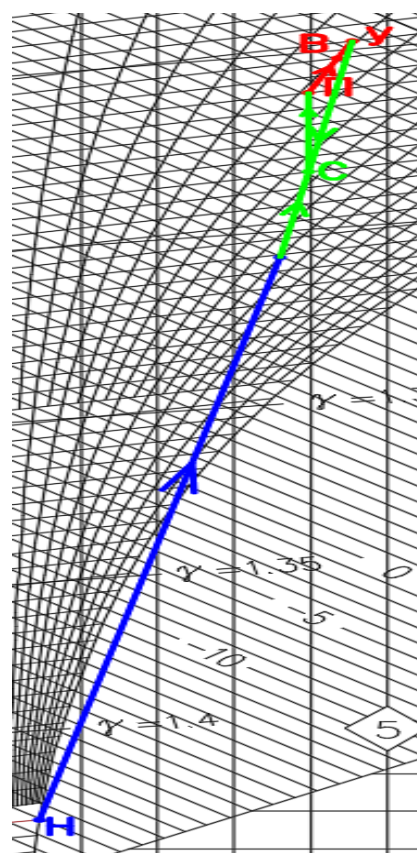


Рисунок 5 – Процесс обработки воздуха с ротором при вытеснении

Расчет параметров обработки влажного воздуха, таких как количество тепла и холода, количество наружного и уходящего воздуха, процента рециркуляции воздуха сведен в таблицу 2.

Таблица 2 – Параметры обработки влажного воздуха

Процесс обработки воздуха	С первой рециркуляцией и охладителем		С ротором	
	Смешивание(рис.2)	Вытеснение(рис. 4)	Смешивание(рис.3)	Вытеснение(рис. 5)
Охлаждающая мощность камеры, кДж/кг, кВт	40641 11,3	34560 9,6	–	
Кол-во н-го в-ха, G_n кг/ч	2722	5157	3687	3928
Кол-во ух-го в-ха, G_y кг/ч	3833	4665	2868	5894
Нагревающая мощность калорифера, кДж/кг, кВт	–	–	23598 6,6	49110 13,6
Процент рециркуляции	41,5	52,5	44,0	40,0

Аэродинамический расчет произведен в программном комплексе MagiCAD 2019. for Revit 2019. После построения приточной и вытяжной системы в данной программе, ее аэродинамический расчет производится программой автоматически. Общее давление системы кондиционирования при смешивании на приточную систему составило 88,9 Па, а на вытяжную – 230,1 Па. При вытеснении на приточную систему 79,5 Па, а на вытяжную – 94.2 Па.

По расходам приточного и удаляемого воздуха в программе WinClim были подобраны центральные кондиционеры типа PR060: (рис. 6). Стоимость установки для смешивания достигает €27097. Стоимость приточного вентилятора составляет €1709, вытяжного – €1657. Стоимость установки для вытеснения достигает €28059. Стоимость приточного вентилятора составляет €1901, вытяжного – €1586.

Центральный кондиционер установлен на крыше рассматриваемого здания. Состоит из клапанов для забора воздуха (1,8), вытяжного вентилятора (2), диффузоров (3, 16), шумоглушителей (4,17), секций смешения (5,11), рекуператора ротационного (6,10), клапанов для выхода воздуха (7,18), синтетических плоских фильтров (9,12), воздухонагревателя (13), воздухоохладителя (14) и приточного вентилятора (15). Кондиционеры схожи, отличаются разной производительностью вентиляторов.

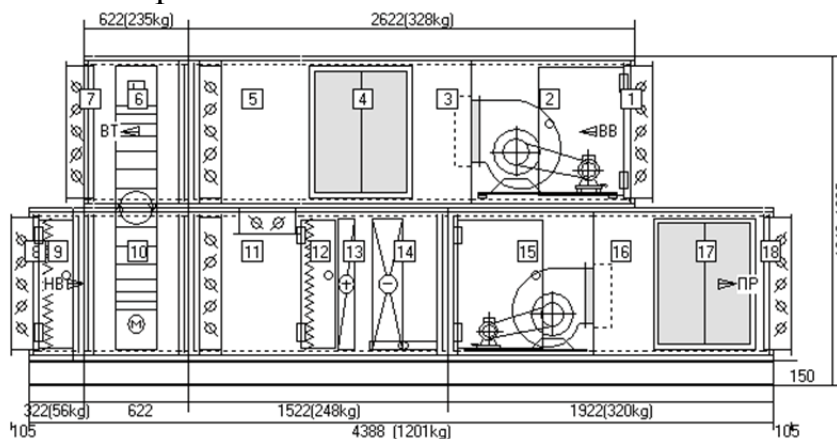


Рисунок 6 – Центральный кондиционер типа PR060

Расчет стоимости стальных оцинкованных воздуховодов вытяжной и приточной систем сведен в таблицу 3.

Таблица 3 – Стоимость воздуховодов

Тип возду-дух-ля	Длина, м.	Дв, мм	F, м ²	Стоимость за 1 м ²	Стоимость, Вг	
Смешивание	Приток					
	19,00	315	20,89	10,18	212,66	
	2,90	400	3,64	15,71	57,18	
	3,46	500	4,35	26,43	114,97	
	17,75	630	35,13	31,21	1096,41	
	Сумма:					1481,22
	Вытяжка					
	11,30	200	7,10	6,81	48,35	
	7,90	315	7,82	10,18	79,61	
	11,40	400	14,33	15,71	255,12	
	1,20	500	1,88	26,43	49,69	
	3,61	630	7,13	31,21	222,53	
	Сумма:					655,30
	Общая сумма:					2136,52
Вытеснение	Приток					
	40,4	315	39,98	10,18	407,00	
	5,90	500	9,27	26,43	245,01	
	3,10	630	6,14	31,21	191,63	
	5,70	800	14,33	45,20	647,72	
	Сумма:					1491,36
	Вытяжка					
	14,90	250	11,7	6,81	79,68	
	1,60	315	1,58	10,18	16,08	
	3,50	400	4,40	15,71	69,12	
	4,80	500	7,54	26,43	199,28	
	9,90	630	19,59	31,21	611,40	
	Сумма:					975,56
	Общая сумма:					2466,92

Для воздухораспределения смешения подобраны приточные воздухораспределители в программе Swegon, а вытяжные – в Arctos. Для воздухораспределения вытеснения подобраны приточные воздухораспределители в программе Swegon, а вытяжные – в программе SystemAir. Расчет стоимости сведен в таблицу 4 [3, 4].

Таблица 4 – Стоимость воздухораспределителей

Тип воздухораспределителя	Название	Количество	Стоимость за 1, Вг	Стоимость, Вг
Смешение				
Приток	EAGLE Da 400-Ro+Alsc315-400	10	208,30	2083,00
Вытяжка	ДПУ-М 200	10	15,23	152,30
			Сумма:	2235,30
Вытеснение				
Приток	DBCа 400-3V+REGb 400	8	420,00	3360,00
Вытяжка	TSF-650-SW	14	430,00	6020,00
			Сумма:	9380,00

Стоимость монтажа системы кондиционирования посчитана в программе Smeta-OnLine. Стоимость для смешивания составила 2749,62 Br, а для вытеснения – 3330,22 Br.

Продолжительность отопительного периода в сутках с суточной температурой воздуха не более 8°C для г. Жлобин составляет 217 рабочих дней, т.е. холодный и переходный периоды. К теплomu периоду относятся 148 рабочих дней. Центральный кондиционер работает 7 дней в неделю по 8 часов в день. Исходя из этого, стоимость потребления энергоресурсов сведена в таблицу 5. Учитывая, что холодильный коэффициент фреонового воздухоохладителя равен 3, количество потребляемой энергии будет в три раза меньше.

Таблица 5 – Потребление энергоресурсов центральным кондиционером PR060

Период года	Показатель	Количество потребляемой энергии, кВт		Итого потребляемой энергии, кВт·ч	
		тепловой	электрической	тепловой	электрической
Смешивание					
ТП	Фреоновый воздухоохладитель	11,30	3,80	13379,20	4499,20
	Приточный вентилятор	–	3,30	–	3907,20
	Вытяжной вентилятор	–	2,31	–	2735,04
ХП	Калорифер	6,60	–	11457,60	–
	Приточный вентилятор	–	3,30	–	5728,80
	Вытяжной вентилятор	–	2,31	–	4010,16
	Ротационный рекуператор	–	0,04	–	69,44
			Сумма:	24836,80	20949,84
Вытеснение					
ТП	Фреоновый воздухоохладитель	9,60	3,20	11366,40	3788,80
	Приточный вентилятор	–	3,57	–	4226,88
	Вытяжной вентилятор	–	1,39	–	1645,76
ХП	Калорифер	13,60	–	23609,60	–
	Приточный вентилятор	–	3,57	–	6197,52
	Вытяжной вентилятор	–	1,39	–	2413,04
	Ротационный рекуператор	–	0,04	–	69,44
			Сумма:	34976,00	18341,44

Согласно тарифам, действующим с 1 января 2021 г., для юридических лиц для обеспечения работы центрального кондиционера стоимость за единицу электроэнергии составляет 0,38994 Br/кВт·ч. Поскольку при использовании калорифера необходимо обеспечить его теплоносителем, который покупается у поставщика тепловой энергии (допустим РУП «Гомельские тепловые сети»), тогда, в соответствии с этим, тариф на тепловую энергию составляет 127,3872 Br /Гкал = 0,1095 Br /кВт·ч.

В соответствии с этим, стоимость электроэнергии за весь период потребления составит

$$P = T \cdot V, \quad (1)$$

где P – стоимость электричества, Br.; T – установленный в регионе тариф на электричество, Br./кВт·ч; V – объём потребляемой электроэнергии, кВт·ч.

$20949,84 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,38994 \text{ Вт/кВт}\cdot\text{ч} = 8169,18 \text{ Вт}$ – при воздухораспределении смешиванием.

$18341,44 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,38994 \text{ Вт/кВт}\cdot\text{ч} = 7152,06 \text{ Вт}$ – при воздухораспределении вытеснением.

Стоимость тепловой энергии за весь период потребления составит:

$24836,80 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,1095 \text{ Вт/кВт}\cdot\text{ч} = 2719,63 \text{ Вт}$ – при воздухораспределении смешиванием.

$34976,00 \text{ кВт}\cdot\text{ч} \cdot 0,1095 \text{ Вт/кВт}\cdot\text{ч} = 3829,87 \text{ Вт}$ – при воздухораспределении вытеснением.

Таким образом, общая стоимость за потребление тепловой и электрической энергии в год составляет для смешивания 10888,81 Вт, для вытеснения – 10981,93 Вт.

Заключение. В результате, общая стоимость системы кондиционирования воздуха для офисного помещения с большим объемом с учетом стоимости центрального кондиционера, воздуховода, воздухораспределителей, монтажа и потребления энергоресурсов для воздухораспределения смешиванием составляет 101184,49Вт (€34034,51), а для вытеснения – 112286,17 Вт (€37768,68). Разница составила 11101,68 Вт (€3734,17). Расхождение стоимостей систем незначительное, следовательно, предпочтение стоит отдать воздухораспределению вытеснением, т.к. воздух циркулирует значительно эффективнее и не происходит смешение чистого воздуха с теплым. Исходя из таблицы 4, выгоднее купить воздухораспределители для смешивания, но сопротивления в них большие, следовательно, нужен мощный вентилятор. Исходя из вышеперечисленных расчетов, системы с разной подачей воздуха в помещение были обеспечены одинаковыми параметрами в рабочей зоне.

Список цитированных источников

1. СН 4.02.01-03-2019 Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха.
2. Дячек, П. И. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение / П. И. Дячек. – Москва : Издательство АСВ, 2017. – 670 с.
3. Стоимость поддержания микроклимата для больших помещений центральным кондиционированием при схеме воздухораспределения смешиванием / Н. В. Огиевич // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы научного семинара, Брест, БрГТУ, 19 марта 2021 года / Под ред. В. С. Северянина, В. Г. Новосельцева. – Брест : РУПЭ «Брестэнерго», 2021. – С. 113–115.
4. Определение характеристик воздухообмена для больших помещений по объему при центральном кондиционировании при схеме воздухораспределения вытеснением / Н. В. Огиевич, А. В. Батунова // Проблемы энергетической эффективности в различных отраслях : материалы научного семинара, Брест, БрГТУ, 19 марта 2021 года / Под ред. В. С. Северянина, В. Г. Новосельцева. – Брест : РУПЭ «Брестэнерго», 2021. – С. 75–77.