

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЕНТИЛЯЦИИ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ РЕКУПЕРАТОРОВ

Мансуров Р.Ш., Мансуров А.Р., Рафальская Т.А.

*Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет
(Сибстрин), г. Новосибирск*

Современный человек значительную часть своей жизни проводит в помещении, поэтому качество внутреннего воздуха в значительной степени оказывает воздействие на здоровье людей. Однако за последние двадцать лет качество внутреннего воздуха помещений ухудшилось. Существенный вклад в это вносит растущее стремление к энергосбережению и энергоэффективности, что заставляет строить достаточно герметичные здания. В результате этого, количество инфильтрационного воздуха оказывается недостаточным для осуществления необходимого воздухообмена в помещении. Поэтому сегодня стал особенно актуальным вопрос о разработке энергоэффективных систем приточно-вытяжной механической вентиляции зданий. Одним из решений данной проблемы является разработка и применение для вентиляции помещений децентрализованных приточно-вытяжных систем (ДПВСВ) с рекуперативными или регенеративными теплообменниками.

Цель работы заключается в испытании существующих децентрализованных вентиляционных устройств, выявлении сильных и слабых сторон представленных образцов и разработке рекомендаций для производства нового энергосберегающего регенеративного теплообменника с учётом климатических условий регионов России.

Испытания проводились для трёх образцов ДПВСВ:

- 1) «УВРК-50» (ООО НПО «Экотерм», г. Омск);
- 2) «Прана-150» (компания «Прана», г. Львов, Украина);
- 3) «ТеФо» (ООО «Теплообмен», г. Севастополь, Украина).

Принцип работы «УВРК-50»

«УВРК-50» – ДПВСВ с регенеративным теплообменником (рис.1). Работа «УВРК-50» делится на 4 основные фазы:

в первой фазе вентилятор установки удаляет воздух из помещения. Воздух, проходя через теплоёмкую вставку (регенеративный теплообменник), нагревает её;

во второй фазе регенератор прогреет и происходит реверсирование вентилятора;

в третьей и четвертой фазах холодный наружный воздух, проходя через регенератор установки, нагревается почти до комнатной температуры, постепенно охлаждая регенератор. Далее процессы повторяются.



Рис.1. Вентиляционный прибор с регенеративным теплообменником «УВРК-50».

Принцип работы «Прана-150»

«Прана-150» – ДПВСВ с рекуперативным теплообменником (рис. 2). При установке рекуперативного теплообменника делается уклон в 3 градуса в сторону помещения для отвода конденсата. Конденсат образуется в результате конденсации водяных паров, находящихся в вытяжном воздухе на поверхности рекуперативного теплообменника, имеющего температуру ниже температуры точки росы.

Вентиляция помещения происходит за счет того, что «Прана-150» принудительно забирает тёплый отработанный воздух из помещения и удаляет его на улицу, одновременно с тем принудительно забирает с улицы холодный свежий и сухой воздух и подаёт его в помещение. При этом эти воздушные потоки разделены как внутри рабочего модуля, так и на входе-выходе специальным воздухораспределительным устройством и не перемешиваются между собой. За счет прохождения воздушных потоков через медный рекуперативный теплообменник, расположенный внутри рабочего модуля, тёплый вытяжной воздух отдает свою теплоту наружному холодному приточному воздуху.



Рис. 2. Вентиляционный прибор с рекуперативным теплообменником «Прана-150».

Принцип работы ТеФо

ТеФо – ДПВСВ с кожухотрубным рекуперативным теплообменником (рис. 3). Воздухозаборный и выбросной патрубки располагаются на наружной стене. Воздух забирается через воздухозаборный патрубок с решёткой и поступает в рекуперативный теплообменник. Проходя внутри трубок, наружный воздух нагревается и подается вентилятором в обслуживаемое помещение. Вытяжной воздух удаляется вентилятором из помещения через патрубок. Проходя через межтрубное пространство рекуперативного теплообменника, воздух выбрасывается наружу через патрубок с решёткой.



Рис. 3. Вентиляционный прибор с рекуперативным теплообменником «ТеФо».

Показатели оценки эффективной работы ДПВСВ и методика проведения испытаний

Для оценки эффективности работы ДПВСВ были определены следующие критерии [1, 3]:

1) Основные энергетические показатели оценки эффективной работы ДПВСВ.

1.1) Коэффициент энергосбережения:

$$\eta_{\text{эс}} = \frac{Q_{\text{возвр}}}{Q_{\text{треб}}} \cdot 100, \quad (1)$$

где $\eta_{\text{эс}}$ – коэффициент энергосбережения, %;

$Q_{\text{возвр}}$ – тепловая мощность, возвращённая ДПВСВ, Вт, определяется как количество теплоты, вносимое с приточным воздухом в помещение:

$$Q_{\text{возвр}} = G_{\text{пр}} \cdot c \cdot t_{\text{прит}}^{\text{факт}} - t_{\text{нар}}, \quad (2)$$

где $G_{\text{пр}}$ – массовый расход приточного воздуха, кг/с;

c – теплоёмкость воздуха, $c = 1005$ Дж/(кг·°C);

$t_{\text{нар}}$ – температура наружного воздуха, °C;

$t_{\text{прит}}^{\text{факт}}$ – фактическая температура приточного воздуха, °C;

$Q_{\text{треб}}$ – тепловая мощность, которая необходима для нагрева приточного воздуха от наружной температуры до температуры воздуха помещения, Вт, определяется по формуле:

$$Q_{\text{треб}} = G_{\text{пр}} \cdot c \cdot t_{\text{пом}} - t_{\text{нар}}, \quad (3)$$

где $t_{\text{пом}}$ – температура воздуха помещения, °C.

1.2) Коэффициент энергетической эффективности, %:

$$\eta_{\text{ээ}} = \frac{Q_{\text{возвр}}}{N}, \quad (4)$$

где N – электрическая мощность, потребляемая при работе ДПВСВ, Вт.

1.3) Коэффициент теплопередачи, Вт/(м²·°C):

$$k = \frac{Q_{\text{возвр}}}{F \cdot \Delta t}, \quad (5)$$

где F – площадь поверхности теплообмена, м²;

Δt – средний температурный напор между приточным и наружным воздухом, °C.

В условиях проведения экспериментальных исследований основными факторами, влияющим на коэффициент теплопередачи, являются скорости потоков наружного и внутреннего воздуха. Низ-

кие значения k соответствуют недостаточной скорости воздушных потоков и указывают на то, что есть потенциальная возможность увеличения производительности ДПВСВ.

- 1.4) Коэффициент эффективного использования поверхности теплообмена, $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{м}^2$:

$$m_1 = \frac{L_{\text{пр}}}{F}, \quad (6)$$

где $L_{\text{пр}}$ – расход приточного воздуха, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Показатель m_1 характеризует эффективность использования поверхности теплопередачи ДПВСВ. Чем выше данный показатель, тем эффективнее используется поверхность теплообменника в ДПВСВ.

2) Основные санитарно-гигиенические показатели оценки эффективной работы ДПВСВ.

- 2.1) Фактическая температура приточного воздуха –сравнивается с минимально допустимым значением температуры приточного воздуха, которое принимается на 2°C выше температуры точки росы воздуха помещения по ГОСТ 30494-96. «Здания жилые и общественные. Параметры микроклимата в помещениях».
- 2.2) Фактическая скорость воздушной струи на входе в обслуживаемую зону, $\text{м}/\text{с}$, сравнивается с нормативным значением подвижности воздуха в обслуживаемой зоне, рассчитываемым по формуле:

$$V \leq k \cdot v_{\text{норм}}, \quad (7)$$

где k – коэффициент перехода от нормируемой скорости движения воздуха к максимальной скорости движения воздуха в приточной струе, принимается по СП 7.13130.2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

- 2.3) Фактический уровень шума при работе ДПВСВ по СП 51.13330.2011 «Защита от шума».
- 2.4) Фактический расход наружного воздуха – данный показатель сравнивается с нормативным значением по СП 7.13130.2013 «Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха».

3) Основные массогабаритные показатели ДПВСВ.

- 3.1) Коэффициент эффективного использования массы ДПВСВ:

$$m_2 = \frac{L_{\text{пр}}}{M}, \quad (8)$$

M – масса рекуператора, кг .

Показатель m_2 характеризует эффективность использования массы затраченного материала на изготовление ДПВСВ. Чем выше данный показатель, тем эффективнее используется материал на изготовление ДПВСВ.

- 3.2) Коэффициент эффективного использования занимаемой площади, $(\text{м}^3/\text{ч})/\text{м}^2$:

$$m_3 = \frac{L_{\text{пр}}}{F_{\text{заним}}} , \quad (9)$$

где $F_{\text{заним}}$ – занимаемая площадь на поверхности стены, необходимая для установки ДПВСВ, м².

Показатель m_3 характеризует эффективность использования площади поверхности ограждающей конструкции для установки ДПВСВ. Чем выше данный показатель, тем эффективнее используется площадь поверхности стены для установки ДПВСВ.

4) Основные ресурсные показатели ДПВСВ.

- 4.1) Гарантийный срок эксплуатации. Чем продолжительнее гарантийный срок безаварийной эксплуатации, тем выше надёжность ДПВСВ.
- 4.2) Ремонтопригодность – определяется как сложность ремонта изделия.

5) Основные эксплуатационные показатели ДПВСВ.

- 5.1) Периодичность технических обслуживаний. Техническое обслуживание включает в себя очистку или замену воздушных фильтров, проверку состояния вентиляторов, промывку поверхностей теплообменника ДПВСВ. Отсутствие воздушных фильтров в конструкции ДПВСВ ведёт к загрязнению теплообменной поверхности и, следовательно, к снижению основных энергетических и санитарно-гигиенических показателей.
- 5.2) Удобство монтажа и демонтажа. Наиболее простым решением установки одного ДПВСВ является бурение в стене одного круглого отверстия, не требующего дополнительного усиления строительных конструкций и высокой точности по расположению отверстия. В случае, если теплообменное оборудование или вентиляторы расположены на наружной поверхности стены здания, то монтажные или демонтажные работы будут усложнены высотными работами снаружи здания.
- 5.3) Сложность конструкции. Показатель учитывает сложность системы управления, изготовления теплообменника и его ремонта. При применении микропроцессорной электроники, специальных датчиков, система управления будет считаться сложной, т.к. для её изготовления и наладки потребуются высоко квалифицированные специалисты и специальное наладочное оборудование.
- 5.4) Простота и удобство управления. Показатель учитывает наличие пульта дистанционного управления, возможности автоматической или ручной регулировки производительности ДПВСВ.

6) Вписывание в интерьер помещений. Показатель, указывающий на возможность простого или сложного вписывания в интерьер помещения конструктивных элементов ДПВСВ.

При выполнении данной исследовательской работы испытания ДПВСВ проводились в натурных условиях, при которых ДПВСВ подвергаются воздействию всей совокупности факторов как наружного климата, так и внутреннего микроклимата помещения, а также учитывается расположение на наветренной или заветренной стороне

здания, влияние окружающей застройки, колебания температуры наружного воздуха. Фото установок образцов ДПВСВ с измерительными приборами (анемометры ИСП МГ-4, термогигрометры ТГЦ МГ-4.01, шумомер Testo 816. Микроманометр КПДМ-1) приведены на рис. 4-7.



Рис. 4. «УВРК-50», установленный для проведения испытаний (вид из помещения)



Рис. 5. «УВРК-50», установленный для проведения испытаний (вид с улицы)



Рис. 6. «ТеФо», установленный для проведения испытаний (вид из помещения)



Рис. 7. «ТеФо», установленный для проведения испытаний (вид с улицы)

Натурные испытания ДПВСВ были проведены в декабре 2012 года по достижению среднесуточных температур наружного воздуха устойчивых отрицательных значений ниже $-6,3^{\circ}\text{C}$ (г. Оренбург) – средняя температура за отопительный период.

Результаты натурных испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты натурных испытаний образцов ДПВСВ

Показатели оценки	Обозначение	Ед. изм.	Значение показателя для ДПВСВ		
			«УВРК-50»	«Прана-150»	«ТеФо»
1. Показатели энергетической эффективности					
Коэффициент энерго-сбережения	$\eta_{эс}$	%	70...83	29...36	52...61
Коэффициент энергетической эффективности	$\eta_{ээ}$	%	13...31	5...11	38...70
Коэффициент тепло-передачи	k	Вт/(м ² ·°C)	не рассчиты-вался	33...51	13...17
Коэффициент эффек-тивности использова-ния поверхности теп-лообмена	m_1	(м ³ /ч)/м ²	не рассчиты-вался	172	20
2. Санитарно-гигиенические показатели					
Фактическая темпе-ратура приточного воздуха	$t_{\text{прит}}^{\text{факт}}$	°C	14...20	1,2...1,7	15...19
Скорость струи на входе в обслуживае-мую зону	v	м/с	0,2	0,1	0,1
Уровень шума при работе	-	дБА	47...55	30...44	35,5...41
Фактический расход наружного воздуха	L	м ³ /ч	56	33...54	22...34
3. Массогабаритные характеристики					
Коэффициент эффек-тивного использова-ния массы	m_2	(м ³ /ч)/кг	8,6	9,4...15,4	4,3...6,7
Коэффициент эффек-тивного использова-ния занимаемой пло-щади	m_3	(м ³ /ч)/м ²	1270	1050...1720	220...340
4. Ресурсные характеристики					
Гарантийный срок службы	-	мес.	12	24	нет данных
Ремонтопригодность	-	-	высокая слож-ность ремонта	средняя сложность ремонта	ремонт про-стой
5. Эксплуатационные характеристики					
Периодичность тех-нических обслужива-ний	-	-	2 раза в год	чаще 2-х раз в год	чаще 2-х раз в год
Удобство монтажа-демонтажа	-	-	удобный мон-таж	удобный монтаж	сложный монтаж
Сложность конструк-ции в изготовлении	-	-	высокая сложность	высокая сложность	низкая сложность
Простота управления	-	-	простое управление	сложное управление	сложное управление
6. Вписывание в интерьер помещения					
Вписывание в ин-терьер помещения	-	-	хорошо впи-сывается	хорошо впи-сывается	сложно впи-сывается

Выводы по результатам испытаний

1. Основным недостатком для всех 3-х представленных образцов ДПВСВ является недостаточный напор, развиваемый осевыми вентиляторами, что отчётливо проявляется в период наличия ветра на улице. Ветер создаёт на наветренной стороне здания избыточное давление, что приводит к снижению объёма вытяжки из помещения (вплоть до «опрокидывания»), что, в свою очередь приводит к снижению коэффициентов энергосбережения, энергоэффективности, температуры приточного воздуха. На заветренной стороне ветром создаётся разрежение, что приводит к снижению объёмов приточного воздуха (вплоть до «опрокидывания»), что ведёт к снижению воздухообмена в помещении, повышению влажности воздуха в помещении, концентрации CO_2 . Для того, чтобы исключить данный недостаток, необходимо заменить осевые вентиляторы на центробежные, создающие напор, существенно превышающий ветровые нагрузки.

2. Существенным недостатком является акустический шум, создаваемый осевым вентилятором. Снижение шума возможно при установке вентиляторов с меньшим числом оборотов (но с большим диаметром) рабочего колеса; при установке шумоглушителя, что повлечёт за собой увеличение длины и аэродинамического сопротивления ДПВСВ и, соответственно, снижение производительности.

3. При проведении испытаний было выявлено существенное неравномерное распределение скоростей воздушного потока по сечению приточных и вытяжных каналов у ДПВСВ «Прана-150» и «ТеФо». Это характерно для осевых вентиляторов со стороны «выхлопа». Выравнивать неравномерное распределение скоростей воздушного потока по сечению канала можно установкой стабилизирующих устройств, например, фильтра тонкой очистки или направляющего аппарата.

4. Применение реверсивных вентиляторов в конструкции ДПВСВ «УВРК-50» изначально приводит к снижению расхода воздуха в режиме реверса на 10-20%. Устранить этот недостаток можно установкой второго вентилятора, однако недостатком такого решения является повышенный уровень шума, создаваемый двумя вентиляторами.

5. Низкие значения показателей энергосбережения, энергоэффективности, температуры приточного воздуха у ДПВСВ «Прана-150» обусловлены малой площадью поверхности теплообмена. Повысить эти показатели можно: увеличив длину теплообменника; сузив ширину каналов и увеличив их количество; сделав конструкцию теплообменника многоходовой.

6. Низкие значения коэффициента теплопередачи у ДПВСВ «ТеФо» можно объяснить низкой скоростью движения потоков приточного и вытяжного воздуха внутри теплообменника. Для интенсификации процесса теплопередачи необходимо увеличить скорость воздуха внутри рекуператора путём установки более производительных вентиляторов на притоке и вытяжке.

7. ДПВСВ «УВРК-50» и «Прана-150» создают высокий уровень шума при работе. Необходима: установка камерного шумоглушителя, оклейка внутренних поверхностей ДПВСВ звукопоглощающими материалами, замена вентилятора на вентилятор с меньшим уровнем шума.

8. В ДПВСВ «Прана-150» и «ТеФо» отсутствуют воздушные фильтры тонкой очистки со стороны помещения и улицы, что приводит к загрязнению поверхности теплообмена и ухудшает энергетические и санитарно-гигиенические показатели.

9. Регенеративный теплообменник ДПВСВ «УВРК-50» имеет сложную в изготовлении конструкцию. При его проектировании необходимо выполнить два противоречивых требования: добиться максимальной площади теплообмена (воздух-композит) и максимальной массы композита для обеспечения высоких теплоаккумулирующих параметров.

В ходе выполнения данной исследовательской работы был испытан опытный образец ДПВСВ, разработанный НПП «Пневмакс» (рис. 8, 9).



Рис. 8. ДПВСВ НПП «Пневмакс», установленный для проведения испытаний (вид из помещения)



Рис. 7. ДПВСВ НПП «Пневмакс», установленный для проведения испытаний (вид с улицы)

Результаты проведённых испытаний представлены в табл. 2.

Таблица 2. Результаты натурных испытаний нового образца ДПВСВ

$\eta_{эс}, \%$	$\eta_{ээ}, \%$	$k, \text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$	$m_1, (\text{м}^3/\text{ч})/\text{м}^2$	$t_{\text{факт прит}}, ^\circ\text{C}$	$v, \text{м}/\text{с}$	Ур. шума, дБА	$L, \text{м}^3/\text{ч}$	$m_2, (\text{м}^3/\text{ч})/\text{кг}$	$m_3, (\text{м}^3/\text{ч})/\text{м}^2$
88	13	10	13,3	24,5	0,2	46,8	40	3,6	174

Опытный образец ДПВСВ имеет высокие показатели энергосбережения и энергоэффективности, но имеет низкий коэффициент теплопередачи и повышенный уровень шума. Напор, развиваемый осевым вентилятором недостаточен для преодоления ветрового давления снаружи здания и обеспечения требуемой производительности.

Рекомендации для разработки производства нового образца ДПВСВ

Исходя из результатов и анализа проведённых исследований были разработаны рекомендации для разработки и производства нового образца ДПВСВ [3-5].

1) В конструкции нового образца ДПВСВ должен быть применён не осевой, а компактный центробежный вентилятор. Данная мера обеспечит устойчивую работу системы независимо от изменения ветрового давления снаружи здания и предотвратит «опрокидывание» циркуляции.

2) Для снижения уровня шума в конструкции ДПВСВ рекомендуется применять камерный шумоглушитель, а также рассмотреть возможность разработки конструкции ДПВСВ, в которой центробежные вентиляторы устанавливаются снаружи здания.

3) При подборе центробежного вентилятора необходимо обеспечить производительность по воздуху в пределах $90\text{-}120 \text{ м}^3/\text{ч}$, т.к. в результате проведённых испыта-

ний была выявлена низкая эффективность теплообмена, вызванная малой скоростью движения воздуха в теплообменнике. Увеличение производительности по воздуху позволит улучшить такие показатели как: коэффициент теплопередачи; коэффициент эффективности использования поверхности теплообмена; фактический расход наружного воздуха, коэффициент эффективного использования массы; коэффициент эффективного использования занимаемой площади.

4) Для очистки наружного воздуха и предотвращения загрязнения поверхности теплообмена необходимо установить фильтры.

5) Для уменьшения массы теплообменника и повышения эффективности теплообмена необходимо уменьшить толщину стенок теплообменных трубок до минимальной величины, обеспечивающей жёсткость конструкции, что позволит улучшить такие показатели как: коэффициент теплопередачи; коэффициент эффективного использования массы.

Ещё одной важной проблемой является обмерзание установок ДПВСВ в зимний период года. Поэтому дальнейшая работа будет направлена на исследование эксплуатационного влажностного состояния наружных ограждений зданий, а также на разработку нового адсорбирующего материала для рекуперативного теплообменника в ДПВСВ. Расчёт влагопереноса целесообразно выполнять на основе теории потенциала влажности, что позволит получить количественную оценку влажностного состояния материалов в широком диапазоне влажности.

Литература

1. Мансуров Р.Ш. Оценка технических показателей эффективности работы децентрализованных приточно-вытяжных систем вентиляции / Р.Ш. Мансуров, А.Б. Костуганов, А.В. Радькин // Тепловодоснабжение: инновации, технологии, перспективы. Журнал Тепловодоснабжение, 2013, май. - С.28-31.
2. Мансуров Р.Ш. Оценка показателей эффективности работы децентрализованных приточно-вытяжных систем вентиляции / Р.Ш. Мансуров, А.Б. Костуганов, А.Р. Мансуров // Сб. материалов II Всероссийской научно-практической конференции «Теплогазоснабжение: состояние, проблемы, перспективы». - 30-31 октября 2013 г. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – С.79-84.
3. Мансуров Р.Ш. Инновационные технологии в обеспечении микроклимата помещения / Р.Ш. Мансуров, А.Б. Костуганов, А.Р. Мансуров // Сб. материалов Международной научно-технической конференции «Инновационные технологии, теория и практика». – 24-25 октября 2013 г. – Оренбург: ООО ИПК «Университет», 2013. – С.121-126.
4. Мансуров Р.Ш. Энерго- и ресурсосберегающие децентрализованные приточно-вытяжные системы вентиляции / Р.Ш. Мансуров, А.Б. Костуганов, А.Р. Мансуров // Сб. материалов всероссийской научно-практической конференции «Энерго- и ресурсосбережение. Энергообеспечение. Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии». - 17-20 декабря 2013. – Екатеринбург, УрФУ. - С.138-140.
5. Мансуров А.Р. Децентрализованные приточно-вытяжные системы / А.Р. Мансуров, Р.Ш. Мансуров // Актуальные вопросы современного строительства промышленных регионов России: труды Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. – Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2016. – С. 178-183.