

Исследование аэродинамических характеристик регенеративных теплоутилизаторов

Васильев В. А., Каменецкий К. К.

Санкт-Петербургский государственный университет
низкотемпературных и пищевых технологий,
факультет КТ и К, кафедра кондиционирования воздуха

Представлены результаты исследования двух регенеративных теплоутилизаторов с разными насадками. Вентилятор, в обеих конструкция одинаковый, с возможностью изменения направления подачи воздуха. Получены напор – расходные характеристики вентилятора при прямой и обратной подаче и коэффициенты сопротивления насадок. Сформулированы рекомендации по согласованию характеристик вентилятора и насадки.

Ключевые слова: регенеративный теплообменник, теплоутилизатор, напор-расходная характеристика вентилятора при прямой и обратной подаче, аэродинамическое сопротивление насадки, термическая эффективность регенератора.

Современное инженерное оборудование зданий должно обеспечивать максимальную энергоэффективность систем жизнеобеспечения при минимальных эксплуатационных затратах. Повышение стоимости энергоресурсов заставляет учитывать это не только на стадии проектирования, но и в ряде случаев ставить вопрос о реконструкции уже действующих систем.

Проблема вентиляции небольших помещений возникла в связи с широким использованием герметичных окон и дверей. Они обладают высокими теплоизоляционными и акустическими характеристиками, однако полностью перекрыли приток свежего воздуха, который традиционно обеспечивался инфильтрацией через неплотности дверных и оконных проемов. Установка дополнительных клапанов инфильтрации воздуха в большинстве случаев оказывается неэффективной, как с точки зрения энергосбережения, так и с точки зрения организации воздухообмена. В больших офисных и производственных зданиях эта проблема решается с помощью крупных центральных систем вентиляции и кондиционирования. В коттеджах и многоквартирных домах она остается нерешенной.

Одним из новых подходов к снижению энергозатрат при обеспечении необходимой циркуляции воздуха в помещении является использование локальных систем вентиляции с утилизацией теплоты удаляемого из помещения воздуха.

Простейшим теплоутилизатором вентиляционных выбросов является стационарный регенеративный теплообменник, конструкция которого показана на рис.1.

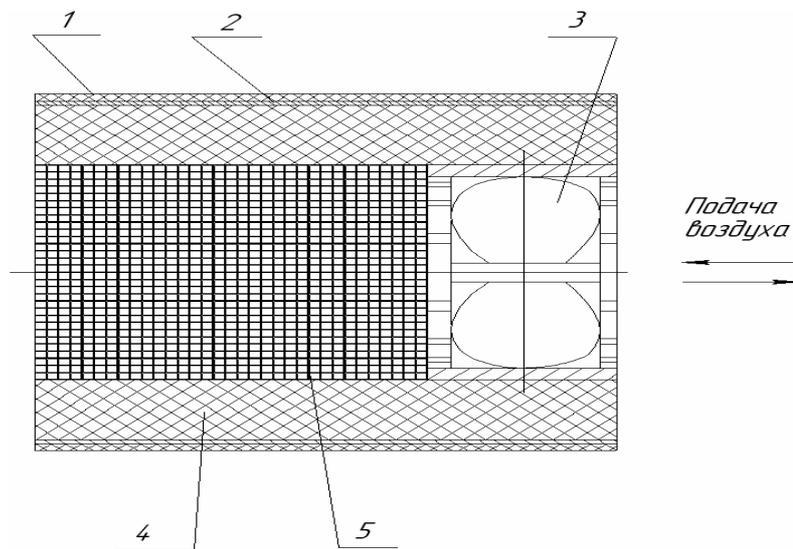


Рис.1. Конструкция стационарного регенеративного теплоутилизатора.

Где: 1 - корпус регенератора; 2 - изоляционная фольга; 3 – вентилятор;
4 – теплоизоляция; 5 - регенеративная насадка.

В регенеративном теплоутилизаторе насадка попеременно омывается холодным и теплым потоками воздуха. При обтекании насадки теплым потоком она воспринимает теплоту от него и аккумулирует её. Затем происходит изменение направления потока и на насадку начинает поступать холодный воздух, который забирает с насадки накопленную в предыдущем цикле теплоту. То есть, в таких регенераторах происходит циклический процесс аккумуляции теплоты насадкой и последующая отдача этой теплоты холодному потоку воздуха.

Эффективность регенеративных теплообменников во многом определяется согласованием аэродинамических характеристик вентилятора и насадки. Ниже приведены результаты исследования аэродинамики стационарных регенеративных теплоутилизаторов УВРК-30 (производитель НПФ «Экотерм», РФ) и in-VENTer (производитель Германия), отличающихся друг от друга только, материалом и геометрией насадок. Конструктивные и теплофизические параметры обеих насадок приведены в таблице 1. и на рис. 2. Продолжительность

цикла, за которое принято время подачи воздуха в одном направлении, у регенераторов составляет семьдесят секунд.

Таблица 1.

Параметр насадки	Обозначение	Ед. измерения	Образец	
			УВРК-30	inVENTer
Форма поперечного сечения насадки	-	-	круг	квадрат
Определяющий размер поперечного сечения	d, a	м	диаметр 0,175	сторона 0,136
Плотность материала насадки	ρ	кг/м ³	1400	2200
Теплоемкость материала насадки	$C_p(n)$	Дж/(кг К)	2000	900
Коэффициент теплопроводности материала насадки	λ	Вт/(м К)	0,4	1,4
Длина насадки	l	м	0,175	0,15
Количество каналов в насадке	n	-	2300	900



Рис.2. Поперечное сечение каналов насадки.

Где: 1 - насадка регенератора inVENTer; 2 - насадка регенератора УВРК-30.

Основной геометрической характеристикой насадки является коэффициент действительного проходного сечения:

$$\xi = S_{\text{прох}}/S_{\text{общ}},$$

где:

$S_{\text{прох}}$ – суммарная площадь проходного сечения каналов, $S_{\text{общ}}$ – общая площадь поперечного сечения насадки;

$\xi = 0,7785$ - для регенератора inVENTer;

$\xi = 0,4827$ - для регенератора УВРК-30;

В обеих конструкциях использовались одинаковый осевой вентилятор, основные параметры которого показаны в таблице 2.

Таблица №2. Основные параметры вентилятора.

Параметр	Значение
Диаметр рабочего колеса	0,12м
Диаметр ступицы	0,05м
Ширина рабочего колеса	0,032м
Количество лопаток	5шт
Максимальный расход воздуха	93м ³ /час
Номинальная частота вращения	1550 об/мин
Напряжение питания	6...15 В
Диапазон рабочей температуры	от -20 до +75°С
Номинальная мощность	1,2 Вт

В составе установок вентилятор работает на трех скоростях вращения, которые отличаются от номинальной (см. табл. 2). Частота вращения, соответствующая первой скорости - 816 об/мин, второй – 1182 об/мин и третьей - 1770 об/мин. Частоты вращения были измерены при работе вентилятора без нагрузки с помощью измерительного комплекса, в состав которого входили светодиодный датчик, приемник сигнала и осциллограф Tektronix TDS 2014В.

Напор - расходные характеристики вентилятора определялись на экспериментальном стенде, схема которого показана на рис.3

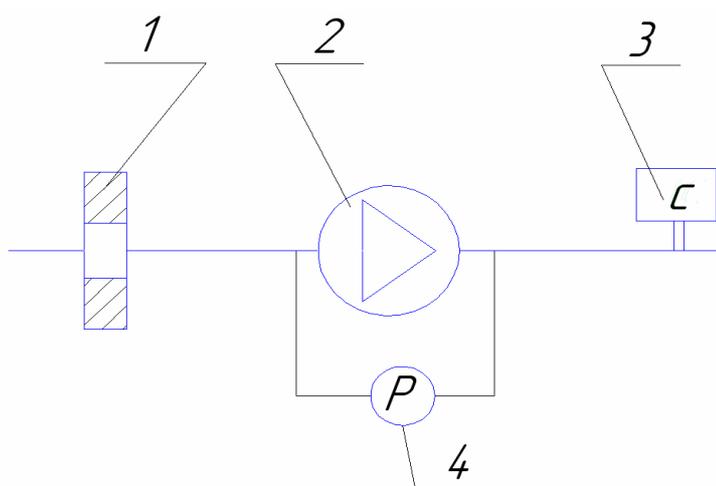


Рис.3. Схема экспериментального стенда для снятия напор – расходной характеристики вентилятора при прямой подаче. Где: 1 - мерительная диафрагма; 2 – вентилятор; 3 – термоанемометр; 4 - датчик давления.

Все элементы стенда были смонтированы в цилиндрическом канале диаметром 125 мм. В осевом направлении диафрагма, вентилятор и датчик термоанемометра были расположены на расстоянии восьми калибров друг от друга, что позволило стабилизацию воздушного потока.

Мерительная диафрагма (ГОСТ 8.586.1(2-5) – 2005 ГСИ) обеспечивала изменение сопротивления на всасывании перед вентилятором за счет изменения проходного сечения. Для измерения перепада давления на вентиляторе использовались тепловые датчики фирмы Honeywell - AWM9220V, погрешность которых составляет $\delta_{дат.} = \pm 0,35\%$ на диапазон измеряемых давлений ± 5 мбар при рабочих температурах $-20 \dots +85^{\circ}\text{C}$. Расход воздуха определялся по результатам измерения скорости воздуха термоанемометром Актаком АТТ-1004, с погрешностью измерения скорости $\delta_{дат.} = \pm 0,1 \text{ м/с}$ в диапазоне измеряемых величин от 0,2 до 20 м/с при измерении температуре в диапазоне от 0 до $+50^{\circ}\text{C}$ с погрешностью $\delta_{дат.} = \pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

Измерение скорости проводилось в пяти точках по диаметру канала. Для расчета расхода воздуха использовалось среднее значение скорости потока.

Полученные данные представлены на рис.4. Сплошной линией показана характеристика, которая приведена в паспортных данных производителя вентилятора [3].

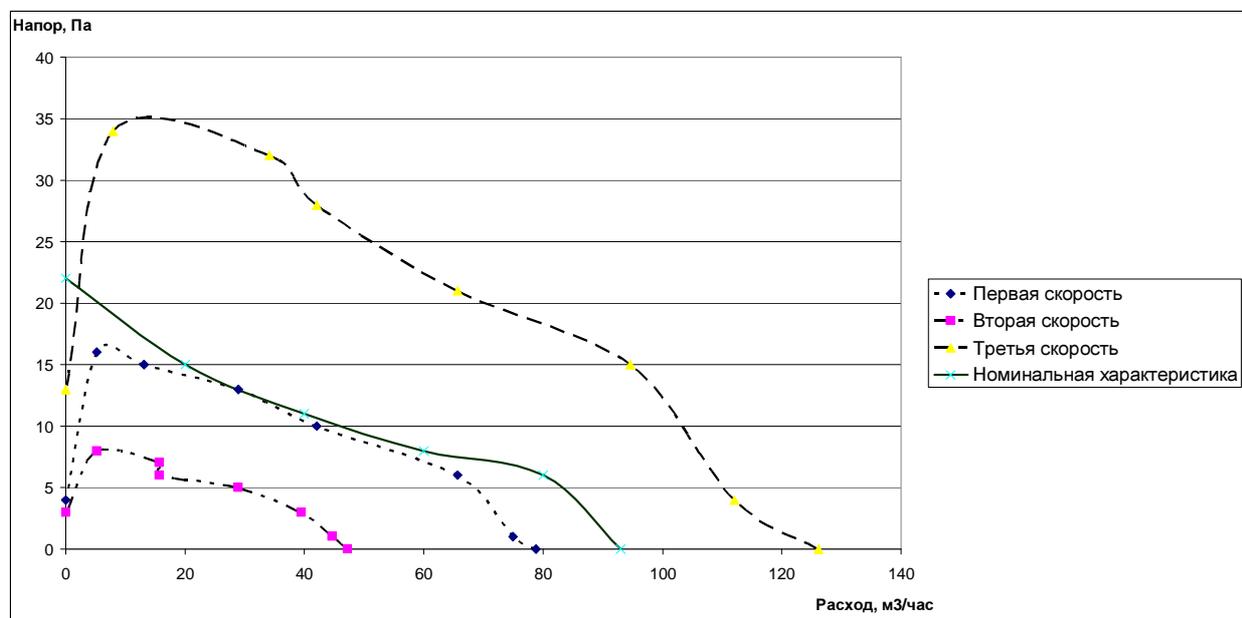


Рис.4. Напор - расходная характеристика вентилятора при прямой подаче.

Для определения напор-расходных характеристик при обратной подаче мерительная диафрагма перемещалась на сторону нагнетания вентилятора. Полученные зависимости показаны на рис.5.

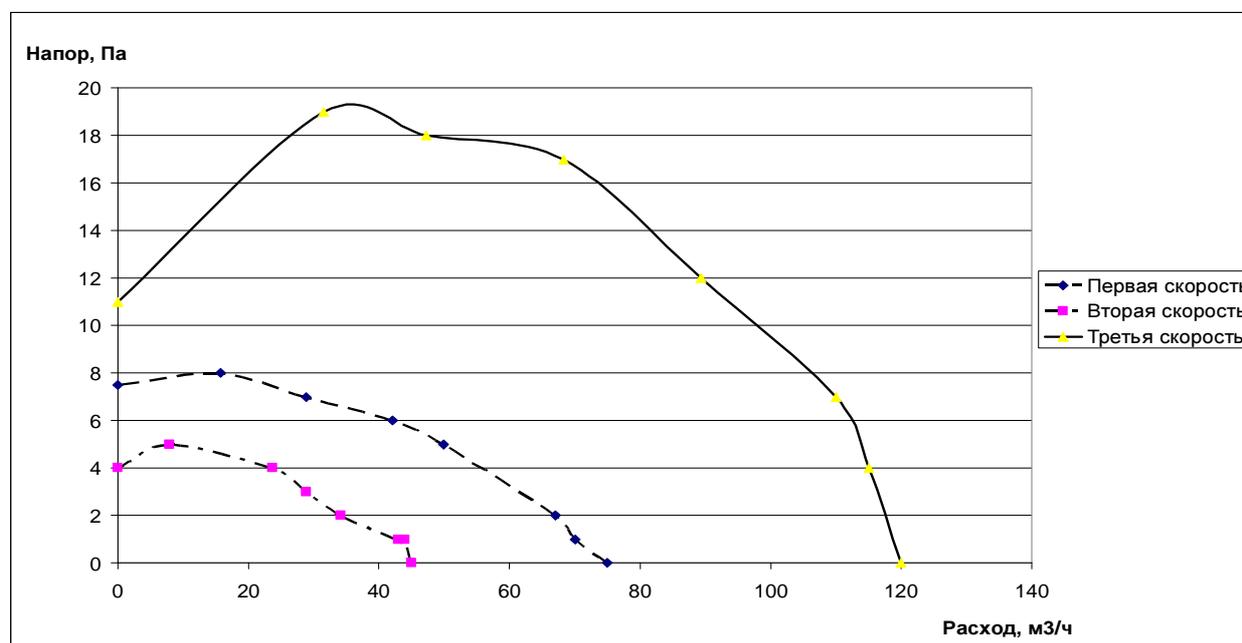


Рис.5. Напор - расходная характеристика вентилятора при обратной подаче.

Анализ рис.4 и рис.5 показывает, что при отсутствии нагрузки расходы при прямой и обратной подаче на всех трех скоростях практически совпадают. Этим, по-видимому, и объясняется выбор такого вентилятора производителями регенераторов. При наличии нагрузки, на всех скоростях, напор, создаваемый вентилятором по схеме с прямой подачей, существенно превосходит напор при другой схеме. Таким образом, увеличение аэродинамического сопротивления насадки приведет к увеличению дисбаланса между процессами регенерации и аккумуляции, что, безусловно, уменьшает эффективность утилизации тепла.

Схема стенда для определения аэродинамического сопротивления насадок представлена на рис.6.

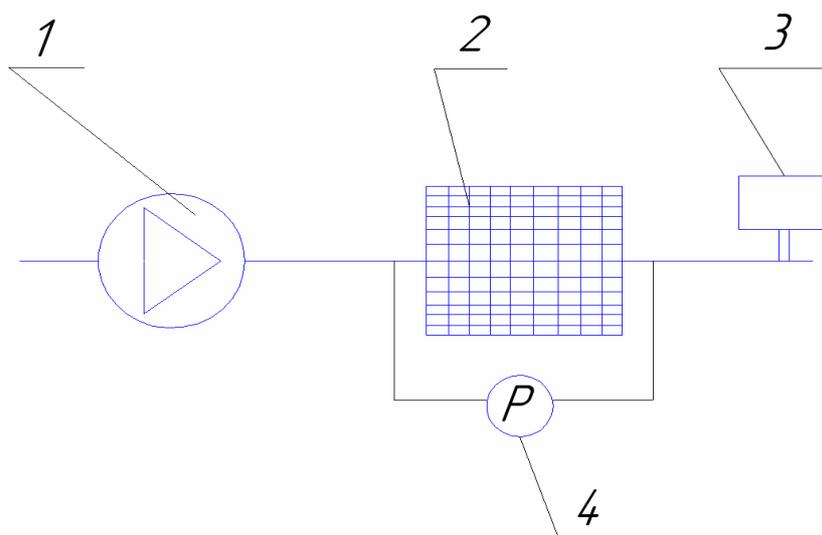


Рис.6. Схема стенда для определения аэродинамического сопротивления насадок.
Где: 1 – вентилятор; 2 - регенеративная насадка; 3 – термоанемометр;
4 - датчик давления.

Измерения проводились с использованием тех же датчиков и приборов, что и ранее. Полученные в эксперименте данные приведены на рис.7.

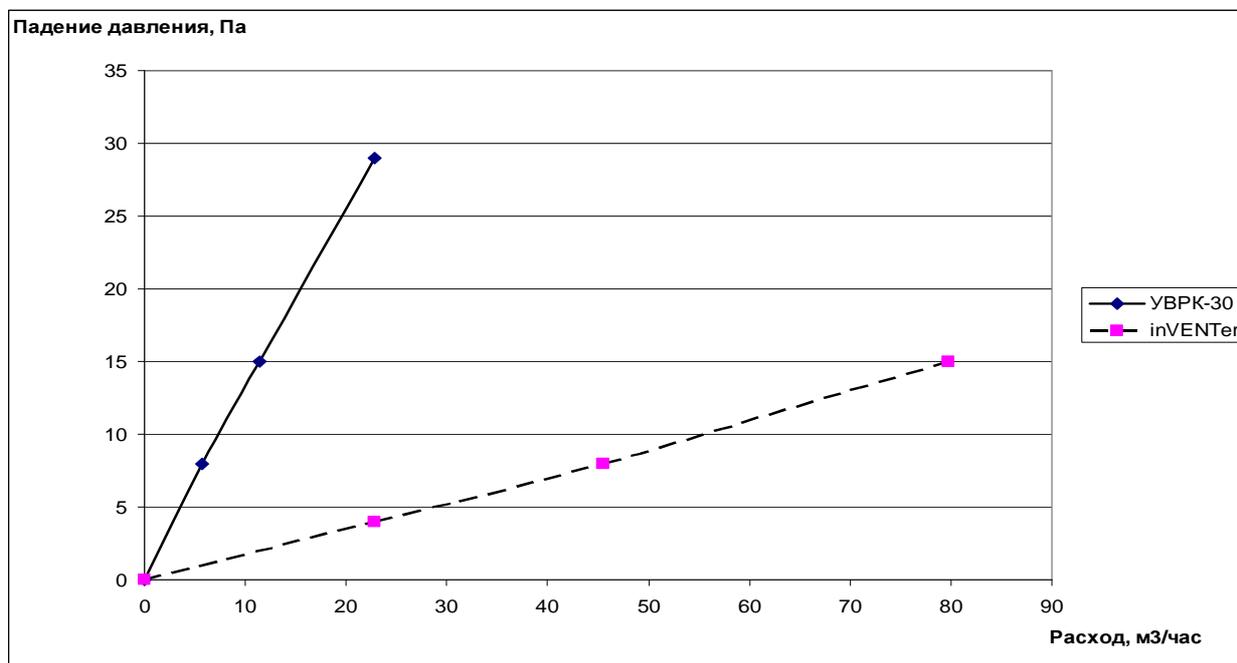


Рис.7. Сопротивление насадок.

Из рис.7 видно, что сопротивление насадки УВРК-30 больше сопротивления насадки inVENTer во всем диапазоне измерения расхода воздуха. Это

объясняется большим значением коэффициента действительного проходного сечения у inVENTer.

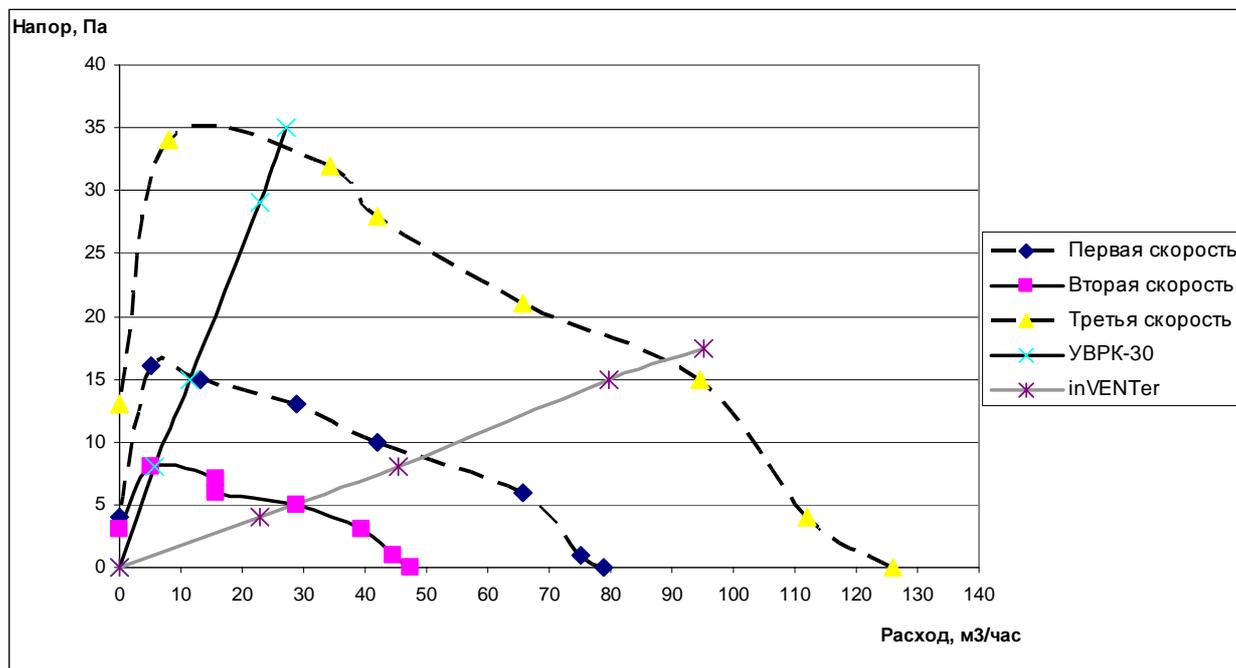


Рис.8. Напор - расходная характеристика вентилятора при прямой подаче и сопротивление насадок.

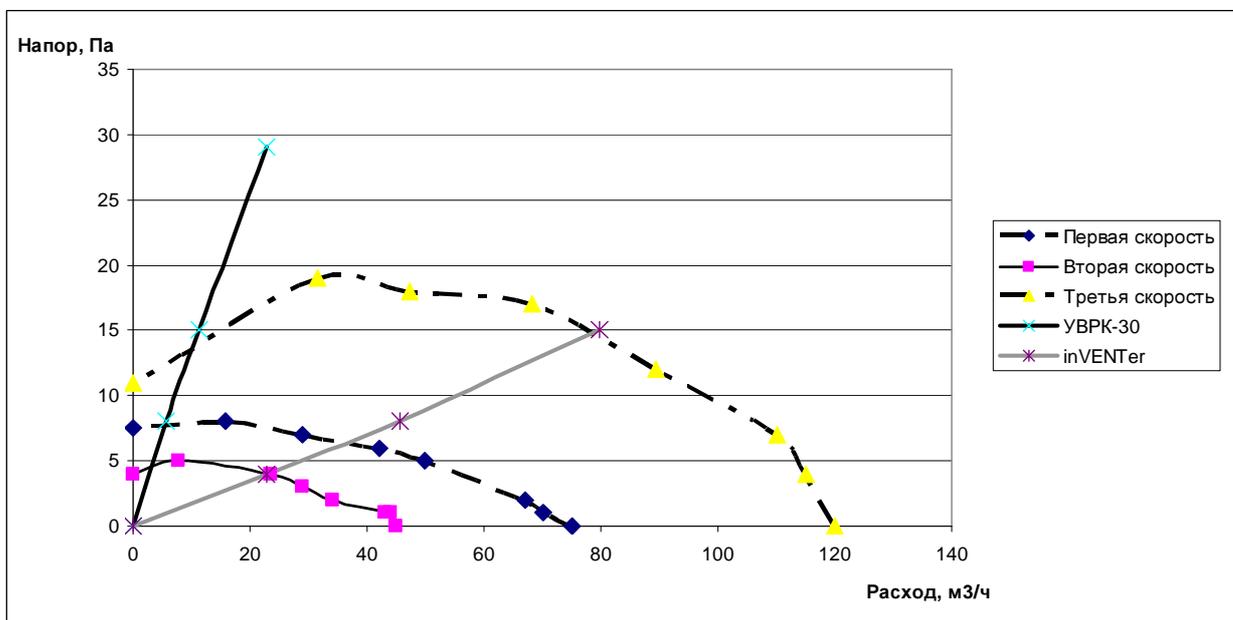


Рис.9. Напор - расходная характеристика вентилятора при обратной подаче и сопротивление насадок.

В таблице 3. представлены расходы воздуха в рабочих точках при прямой и обратной подаче и относительные дисбалансы между ними.

Таблица 3. Расход воздуха через насадку.

Регенератор	1 скорость			2 скорость			3 скорость		
	Прямая Подача М3/час	Обрат- ная подача М3/час	Дисба- ланс %	Прямая Подача М3/час	Обрат- ная подача М3/час	Дисба- ланс %	Прямая Подача М3/час	Обрат- ная подача М3/час	Дисба- ланс
inVENTer	29	23	20	50	38	24	90	78	13
УВРК-30	6	3	50	12	6	50	26	11	58

Насадка в регенераторе inVENTer имеет меньшее сопротивление, по сравнению УВРК-30, поэтому для этой насадки требуется менее производительный и высоконапорный вентилятор, но при этом можно предположить, что и коэффициент теплоотдачи у такой насадки, согласно [2], из-за меньшего сопротивления будет меньше. Также недостатком этого регенератора являются большие значения скорости воздушного потока на второй и третьей скорости вращения вентилятора, которые не соответствуют требованиям, предъявляемым к подвижности воздуха в рабочей зоне [1]. При разработке стационарных теплоутилизаторов нужно принимать во внимание то, что напор - расходная характеристика обычного осевого вентилятора различна при прямой и обратной подаче воздуха. А как следствие, при одинаковом аэродинамическом сопротивлении, количество удаляемого и поступающего в помещение воздуха будет различно. Для обеспечения максимальной термической эффективности, необходимо чтобы все накопленное за цикл в насадке тепло отдавалось за последующий цикл. Оптимальным условием для осуществления такого теплообмена будет равенство воздушных потоков в обоих направлениях. Как следует из таблицы №3, оба регенератора имеют разные расходы при прямой и обратной подаче на всех трех скоростях вращения вентилятора, причем, чем меньше создаваемое насадкой аэродинамическое сопротивление, тем меньше дисбаланс в расходе воздуха. Иначе говоря, в состав теплоутилизатора должен входить реверсивный вентилятор, у которого напор - расходные характеристики при прямой и обратной подаче совпадают. В ином случае, если такой возможности нет, для обеспечения одинакового расхода воздуха при прямой и обратной подаче, необходимо менять частоты вращения при переключении (изменении направления подачи воздуха). Это позволит попасть в требуемую расчетную точку на напор – расходной характеристике не меняя конструкцию вентилятора.

Список литературы

1. СНиП 2.08.01-89* "Жилые здания".
2. Хаузен Х. Теплопередача при противотоке, при прямотоке и перекрестном токе. Пер. с нем.- М.: Энергоиздат, 1981. – 384 с., ил.
3. Паспорт вентилятора embpapst 4312GL.

Study of aerodynamic characteristics of regenerative heat exchangers

Vasiliyev V.A., Kamenetskiy K.K.

Saint Petersburg State University of Refrigerating
and Food Engineering

The paper presents the results of studying two different regenerative heat exchangers with various nozzles. Both constructions use the same type of a fan that allows reversing air supply direction. Fan head-throttling characteristics for direct and reversed supply were obtained as well as coefficients of resistance for nozzles, recommendations to agree fan and nozzle characteristics being suggested.

Key words: regenerative heat exchanger, fan head-throttling characteristic for direct and reverse supply, nozzle aerodynamic resistance, regenerator thermal efficiency.