

Сравнение результатов расчетного и экспериментального исследований регенеративных теплоутилизаторов УВРК-30 и inVENTer.

Гаврилов А.И. alex-master87@mail.ru.

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

Представлены результаты параметрического исследования регенеративных теплоутилизаторов и сравнение их с экспериментальными данными, полученными при проведении ряда опытных исследований на экспериментальных образцах. Построены зависимости коэффициента регенерации и аккумуляции теплоты от скорости движения воздуха в насадке, от времени цикла и от длины канала насадки. Сформулированы основные предположения разности результатов параметрического исследования и эксперимента.

Ключевые слова: время цикла, длина насадки, параметрическое исследование, экспериментальное исследование.

В результате исследования регенеративных теплообменников УВРК-30 и inVENTer [5], [6] были проведены расчетные и экспериментальные исследования. Основное внимание в ходе исследований уделялось коэффициентам регенерации и аккумуляции теплоты. Это связано с тем, что данные коэффициенты показывают способность насадки воспринимать и отдавать теплоту потоку воздуха, в зависимости от направления движения воздуха через насадку. Так же внимание уделялось времени цикла и длине насадки, т.к. эти параметры изменяются в больших диапазонах. Поэтому необходимо было найти оптимальные величины длины и времени к значениям коэффициентов регенерации и аккумуляции теплоты.

Для времени цикла нам требовалась такая величина, при которой происходил бы максимальный воздухообмен в помещении с наибольшим КПД насадки. А длину насадки нужно подобрать таким образом, чтобы она не превышало толщину стены, в которую предположительно должен быть вмонтирован теплоутилизатор, и при этом, не снижалось КПД насадки.

В качестве материалов насадки при параметрическом исследовании использовали керамику, полиэтилен и полипропилен, основные свойства которых приведены в таблице 1 [7], [8].

Таблица №1

материал	теплоёмкость, Дж/(кг*К)	теплопроводность, Вт/(м*К)	плотность, кг/м ³	время цикла, с	длина насадки, м	Спрох. сеч, x10 ⁻⁶ м ²	периметр насадки, x10 ⁻³ м ²
керамика	1800	0,3	900	70	0,15	20,25	16
полиэтилен	1380	0,6	870				
полипропилен	2000	0,7	910				

В ходе расчетного исследования [4] были получены следующие зависимости:

1. Зависимость коэффициента регенерации от времени цикла;
2. Зависимость коэффициента регенерации от длины канала насадки;
3. Зависимость коэффициента регенерации от теплоемкости и плотности материала насадки;
4. Зависимость коэффициента регенерации от теплопроводности материала.
5. Полученные зависимости представлены в виде графиков.

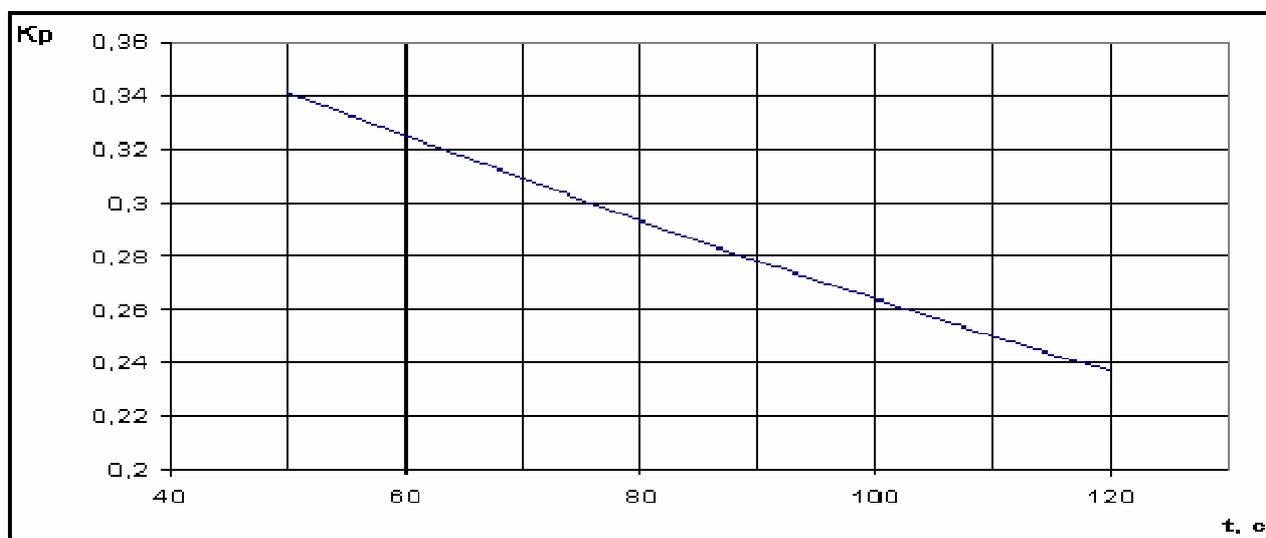


Рис.1. Зависимость коэффициента регенерации от времени цикла.

На рис. 1 представлена зависимость коэффициента регенерации от времени цикла, которая имеет линейный характер. С ростом времени уменьшается коэффициент регенерации. Это связано с тем, что при увеличении времени цикла разность температур между стенкой насадки и воздухом уменьшается, и как следствие, падает интенсивность теплообмена. Увеличение времени цикла приводит к тому, что насадка не может аккумулировать тепло и воздух прохо-

дит сквозь нее без изменения своей температуры. Соответственно и эффективность теплоутилизатора стремится к нулю. И наоборот, слишком маленькое время цикла способствует интенсивному теплообмену. Поэтому время цикла теплоутилизатора должно выбираться с той точки зрения, чтобы обеспечить необходимый воздухообмен свежего воздуха в помещении при условии, чтобы регенеративная насадка успевала накопить максимальное количество теплоты за период. Геометрия насадки выбирается исходя из размеров помещения, необходимой кратности воздухообмена в нем и расхода воздуха через теплоутилизатор.

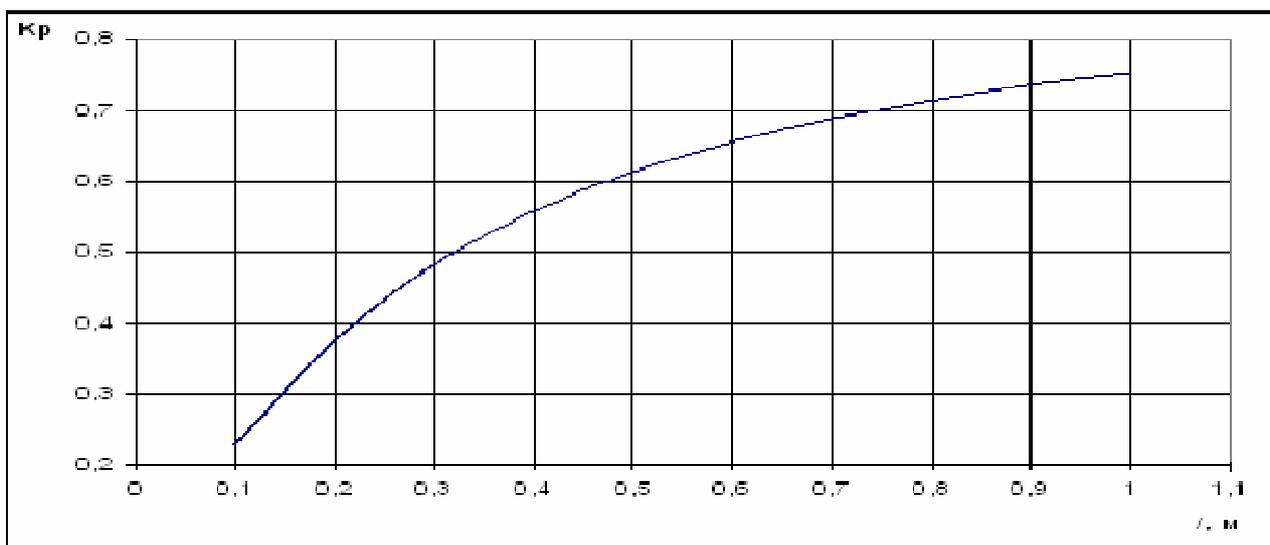


Рис.2. Зависимость коэффициента регенерации от длины канала насадки.

На рис. 2 показана зависимость коэффициента регенерации от длины насадки. При увеличении значения длины происходит рост коэффициента регенерации, но рассматривать дальнейшее увеличение длины канала насадки (более 1 м) нет смысла, т.к. мы рассматриваем применение теплоутилизатора в административных и бытовых помещениях, где толщина наружной стены не превышает полуметра. Вид кривой можно обосновать тем, что интенсивность теплообмена на начальном участке, где разница между температурой стенки и температурой потока значительна, преобладает над интенсивностью теплообмена на отдаленном от входа участке, где разница между температурой стенки и температурой потока мала и интенсивность теплообмена падает. Также при увеличении длины теплоутилизатора растет и гидравлическое сопротивление, которое нужно преодолеть, чтобы протолкнуть воздух через каналы насадки, поэтому оптимальное значение длины канала насадки находится в пределах 0,4–0,5 м.

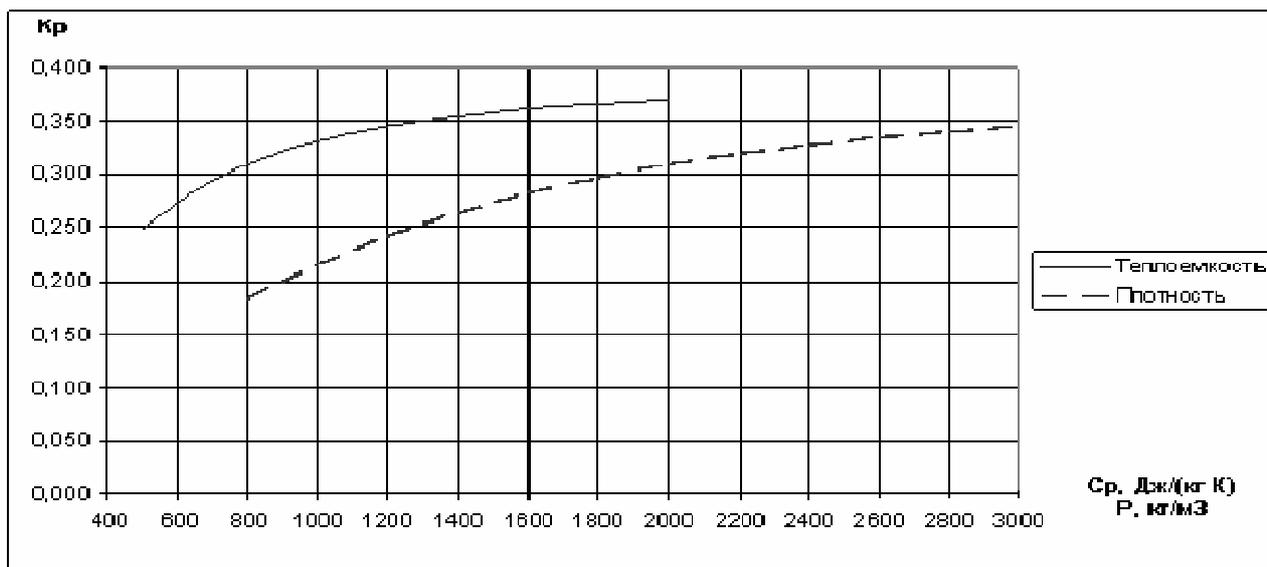


Рис.3. Зависимость коэффициента регенерации от теплоемкости и плотности материала насадки.

Из зависимостей, представленных на рис. 3 можно сделать вывод о том, что коэффициента регенерации от плотности и теплоемкости материала насадки имеет почти одинаковый характер изменения. При увеличении параметров насадки коэффициент регенерации в обоих случаях увеличивается. Это связано с тем, что обе эти величины характеризуют способность материала накапливать тепло и, следовательно, чем больше плотность и теплоемкость, тем больше теплоты материал может накопить в себе. В диапазоне от 400 до 2000 кг/м³ и от 800 до 3000 Дж/(кг·К) попадают такие материалы как бумага, полиэтилен, полипропилен и керамика. Таким образом, для изготовления регенеративной насадки нужно выбирать материал с достаточно высокими значениями плотности и теплоемкости. Также выбор материала основывается на технологии производства регенеративной насадки и финансовыми затратами на ее изготовление.

На рис. 4 представлена зависимость коэффициента регенерации от теплопроводности материала. Из которой видно, что теплопроводность в малой степени влияет на коэффициент регенерации насадки. В процессе аккумуляции/регенерации теплоты наибольшую роль играет процесс вынужденной конвекции, а процесс внутреннего переноса теплоты посредством теплопроводности несоизмеримо мал.

Параметрическое исследование регенеративного теплоутилизатора позволило получить следующие выводы.

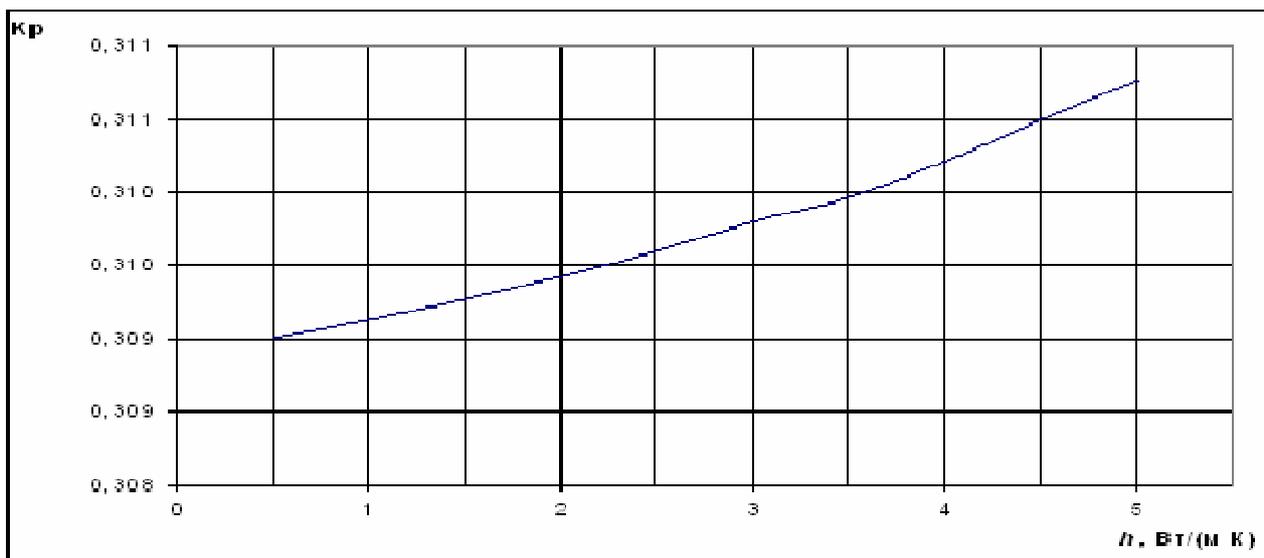


Рис.4. Зависимость коэффициента регенерации от теплопроводности материала насадки.

Оптимальное время цикла определяется способностью насадки накапливать максимальное количество теплоты во время теплообмена при заданной конструкции и режиме работы вентилятора. Для рассматриваемого регенератора оптимальное время цикла составляет 70 с [4].

Коэффициент регенерации теплоутилизатора прямо пропорционален длине канала насадки. Но с увеличением длины канала уменьшается интенсивность теплообмена на отдаленном от входа участке насадки, а также растет аэродинамическое сопротивление насадки. В большинстве случаев длина насадки регенератора ограничивается толщиной стены, в которой будет установлен теплоутилизатор. Поэтому оптимальное значение длины канала для теплоутилизаторов бытовых и административных помещений лежит в диапазоне 0,4–0,5 м.

Теплопроводность материала насадки не влияет на коэффициент регенерации потому, что теплоотдача при вынужденной конвекции на три порядка выше, чем передача теплоты по средствам внутренней теплопроводности материала.

Плотность и теплоемкость в малой степени влияют на коэффициент регенерации, но с ростом этих величин происходит увеличение коэффициента регенерации, пускай и незначительно. Поэтому при выборе материала для регенеративной насадки теплоутилизатора рекомендуется использовать материал с теплоемкостью от 800 до 3000 Дж/(кг·К) и плотностью от 400 до 2000 кг/м³.

В ходе эксперимента использовались насадки из двух типов материалов: полимер и керамика, основные характеристики которых представлены в табл. 2:

Таблица 2.

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	-	кг/м ³	1400	2200
Теплоемкость материала насадки	$C_p(n)$	Дж/(кг К)	2000	900
Коэффициент теплопроводности материала насадки	-	Вт/(м К)	0,4	1,4
Длина насадки	l	м	0,175	0,15
Количество каналов в насадке	n	-	2300	900
Коэффициент действительного проходного сечения	ξ	-	0,4827	0,7785

Как видно из табл. 2 длины насадок несколько отличаются от рекомендаций, которые были получены в ходе параметрического исследования теплообменника. Это связано с конструктивными особенностями завода изготовителя, который обеспечил наши опытные исследования необходимым материалом.

Во время параметрического исследования скорость воздуха, проходящего через регенеративный теплообменник, принималась постоянной ($\vartheta = 1,7$ м/с). В то время как на эксперименте присутствовал реверсивный вентилятор с тремя скоростями вращения отличными от номинальной. При этом скорость воздуха при различных скоростях для каждого типа насадки была своя. Кроме того, в диапазоне расхода от 0 до 30 м³/ч напор, создаваемый вентилятором при подаче воздуха с улицы в помещение, на 40% больше, чем в обратном направлении. Во всем остальном диапазоне напоры отличаются несущественно.

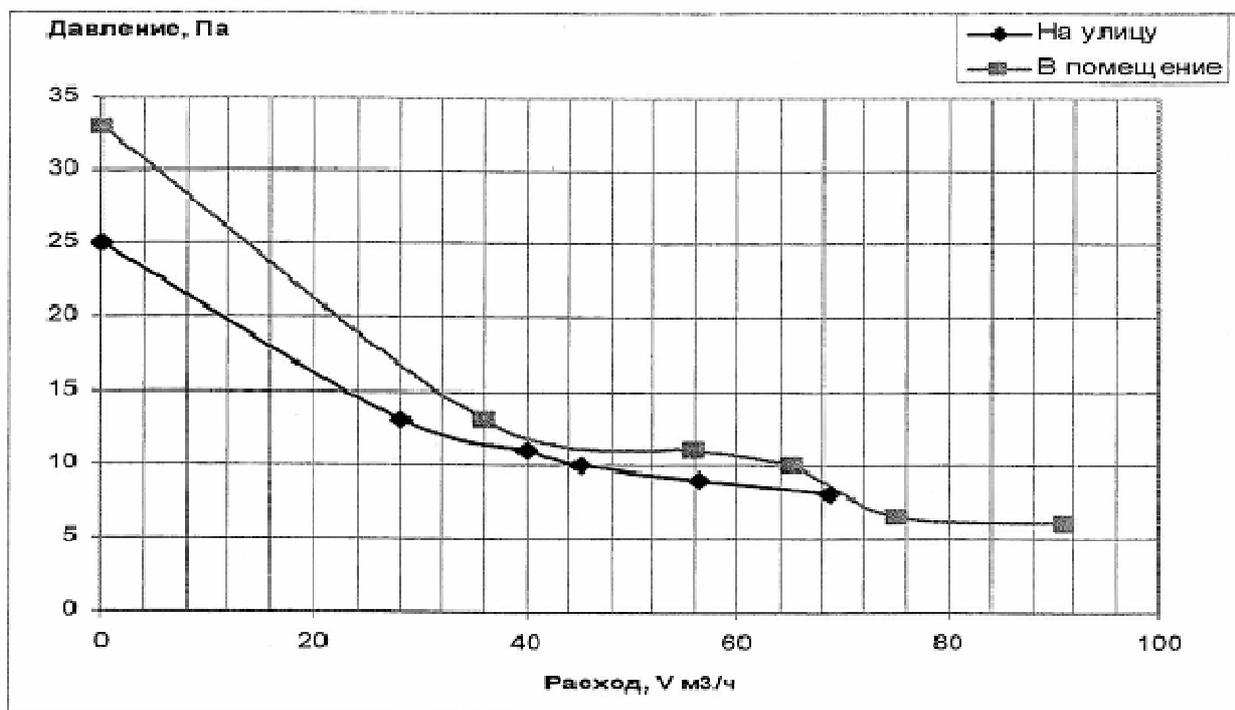


Рис.5. Напор-расходная характеристика вентилятора.

В результате, во время эксперимента коэффициенты регенерации и аккумуляции теплоты получились несколько другие, чем при параметрическом исследовании. Основные зависимости приведены ниже:

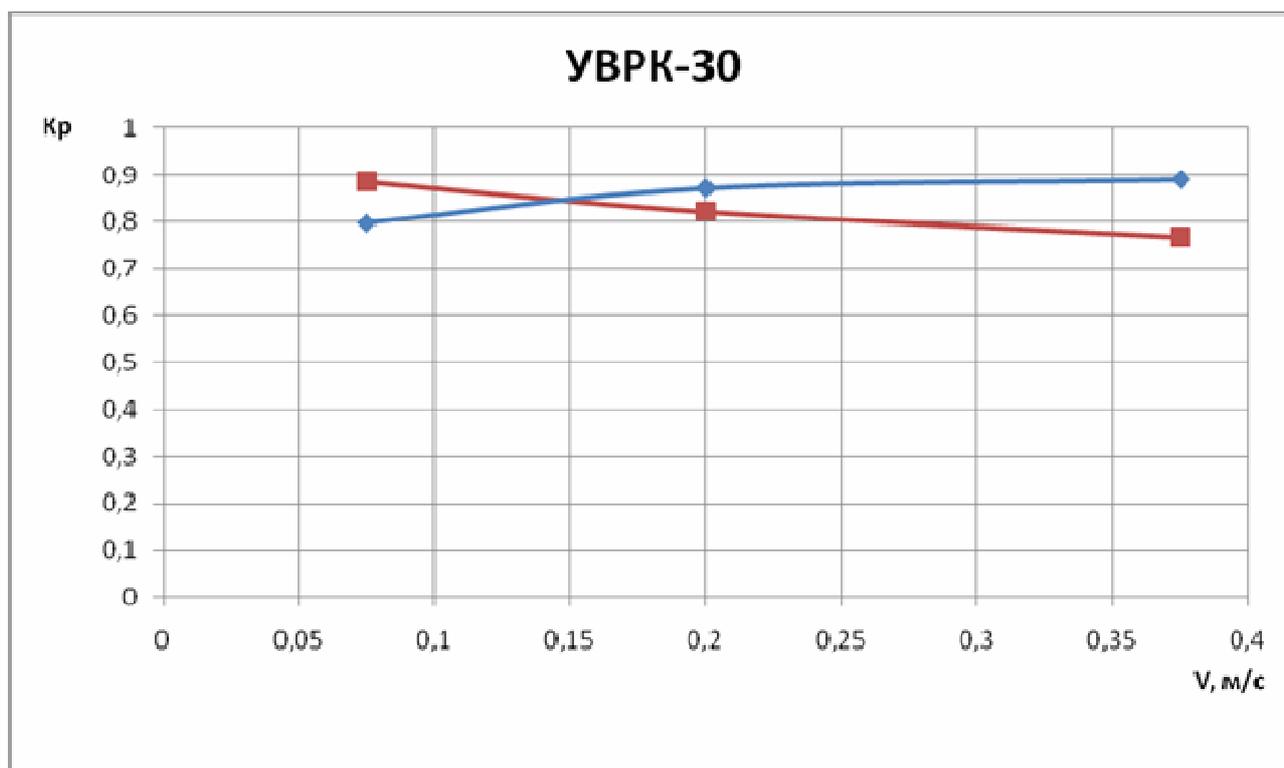


Рис.6. Зависимость коэффициента регенерации от скорости движения воздуха в насадке УВРК-30.

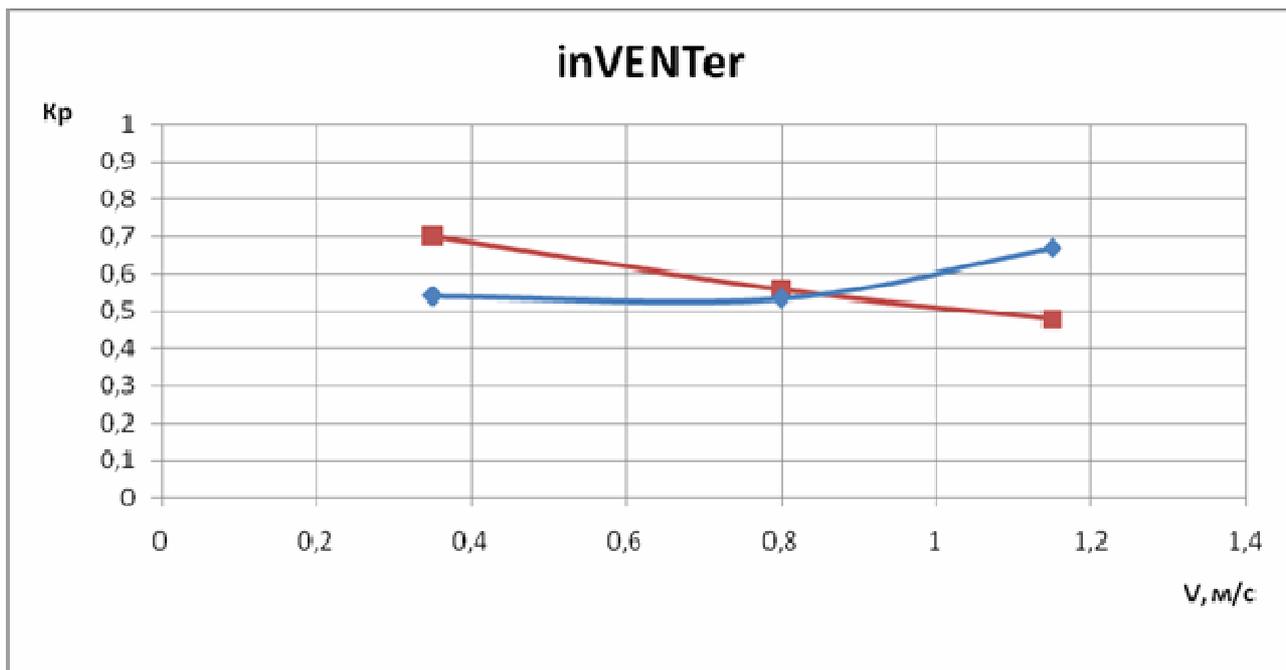


Рис.8. Зависимость коэффициента регенерации от скорости движения воздуха в насадке inVENTer.

Из полученных зависимостей видно существенное отличие коэффициента регенерации от коэффициента аккумуляции. Это обуславливается неравенством расходов воздуха при прямом и обратном цикле. Неравенство возникает из-за различных значений напор-расходных характеристик на нагнетании и на всасывании, вследствие несимметричного профиля лопаток вентилятора. Поэтому оптимальные условия теплообмена в данной установке недостижимы, коэффициент аккумуляции будет оставаться больше коэффициента регенерации и единственным способом улучшить эффективность — выровнять расходы воздуха на всасывание и нагнетание. Кроме этого, при проведении эксперимента, постоянно работала система вентиляции, которая создавала некоторую подвижность воздуха рядом с насадкой. При этом у немецкой насадки inVENTer коэффициент проходного сечения больше, чем у российской насадки УВРК-30. В результате воздействия этих факторов получилась большая разница между коэффициентами регенерации и аккумуляции тепла (см. рис. 8 и 9).

Так же можно отметить то, что коэффициент регенерации тепла у насадки УВРК-30 намного выше, чем у inVENTer. Высокие значения коэффициента регенерации у регенератора УВРК-30 обусловлено меньшим значением коэффициента проходного сечения. Т.к. именно он является определяющим показателем тепловой эффективности. С увеличением коэффициента проходного сечения уменьшается интенсивность теплообмена в теплоиспользующей насадке, а

расход воздуха увеличивается вследствие уменьшения аэродинамического сопротивления. В установке немецкого производства коэффициент проходного сечения значителен, поэтому большие значения расхода воздуха на второй и третьей скорости приводят к превышению допустимых значений скорости в обслуживаемом помещении. В то время как коэффициенты аккумуляции тепла у обеих насадок примерно одинаковы.

Погрешность полученных данных между параметрическими и экспериментальными исследованиями получились в среднем 9,8% для УВРК-30 и 18,6% для inVENTer. Допустимой принято считать погрешность равной 10%.

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.
3. СИНЦ. Отчет № 560-09 от 18.05.2009. Численные исследования процессов тепло-массопереноса в теплообменнике регенеративного типа.
4. Васильев В.А., Гаврилов А.И., Каменецкий К.К., Соболев Е.В. Параметрическое исследование регенеративного теплообменника.// Вестник МАХ, 2010, №1.
5. Васильев В.А., Каменецкий К.К., Экспериментальное исследование регенеративного теплообменника и анализ тепловых процессов.// Холодильная техника и кондиционирование.
6. Соболев Е.В. Математическая модель регенеративного теплоутилизатора.// Холодильная техника и кондиционирование.
7. Балкевич В.Л. Техническая керамика, 2 изд., М., 1984.
8. Дж. Уайт, Д. Чойд Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины, Профессия, 2006.

Comparison of results of design-experimental study of regenerative heat exchangers YBPK-30 and inVENTer

Gavrilov A.I. alex-master87@mail.ru

St. Petersburg State University of Refrigeration and Food Engineering

A parametric research of regenerative heat exchangers is presented and compared with experimental data obtained during tentative efforts with experimental models. Dependences of regeneration and heat accumulation vs. cycle time, length of the channel nozzle, air velocity in the channel are built. Basic estimates of difference between the results of parametric and experimental research are formulated.

Keywords: time of cycle, channel length, the parametric analysis, experimental analysis.