

Л и т е р а т у р а

1. А. с. 1002754 (СССР). Вихревой холодильник /А.Д.Суслов, А.Б.Мурешкин, В.Н.Михушкин и др. - Опубли. в Б.И., 1983, № 9.
2. Пиралишвили Ш.А., Михайлов Е.Г. Экспериментальное исследование вихревой трубы с дополнительным потоком. - В кн.: Некоторые вопросы исследования теплообмена и тепловых машин.-Куйбышев: КуАИ, 1973, вып. 56, с. 64-74.
3. Суслов А.Д., Мурешкин А.Б. Циркуляция горячего потока как метод повышения эффективности вихревой трубы. - В кн.: Вихревой эффект и его промышленное применение. - Куйбышев: КуАИ, 1982, с. 99-101.

УДК 669.1:621.874:613.6

В.П.Алексеев, А.И.Азаров, А.Ф.Дроздов,
П.Е.Кротов

НОВАЯ ВИХРЕВАЯ ТЕХНИКА ДЛЯ СРЕДСТВ ОХРАНЫ ТРУДА

В последние годы важным направлением в работе лаборатории вихревых генераторов холода ОТИХП стало создание вихревых аппаратов и приборов, предназначенных для улучшения условий и охраны труда персонала в горячих цехах, в шахтах и на транспорте.

По заказам предприятий Москвы, Донецка, Риги, Одессы и др. городов разработаны, исследованы и частично внедрены головные образцы или партии аппаратов различного назначения: холодильники, воздухоохладители, кондиционеры мощностью от десятков ватт до нескольких киловатт, в одно- и многотрубном исполнении, с использованием неохлаждаемых цилиндрических, конических и охлаждаемых оребренных вихревых труб (таблица)

Воздухоохладители ВВ-0,5/1,5-4 и ВВ-05/1,5-4А различаются конструкцией узла для выпуска горячего потока: в первой модификации он выполнен в виде упругой регулируемой мембраны, во второй - в виде тела (шарик, упругая пластина), колеблющегося в потоке. При давлении сжатого воздуха $P_c = 0,4$ МПа и отношении давлений $\pi = 3,7$ коэффициент энергетической эффективности устройств достигает $\eta_p = 0,26$. Причем, как показали эксперименты, вдув дополнительного потока в виде центростремительных (встречных) струй, подаваемых в камеру энергоделения на расстоянии от 1,5 до 5 диаметров камеры, позволяет при доле холодного потока $\mu = 0,4$ повысить величину эффекта охлаждения.

Для диапазона значений $1,0 < \pi \leq 1,85$ и $0,05 \leq \mu \leq 0,6$ при температуре сжатого воздуха $T_c = 300$ К величины эффекта охлаждения и степени недорасширения могут быть определены по следующим эмпирическим

Основные характеристики новой вихревой техники

№ п/п	Марка и схема аппарата	Номера в.с., по- пользованным в кон- струкции	Мощность	Габариты	Вихревые тубы			Наименование, назначение аппарата
					Кол-во частей	Литры	Тип	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	ВВ-0,5/1,5-4 одноступенчатая	556285 334449 334450	1,5 1,4	250х100х130 250х80х130	1 1	20 20	неохлаждаемая, цилиндрическая неохлаждаемая, цилиндрическая неохлаждаемые цилиндрические	Воздухоохладитель для тепловых костюмов, используемых при ремонте теплонапряженных энергообъектов
2.	ВВ-0,5/1,5-25 ВВ-0,5/1,5-25х двухступенчатые	641245 606044	1,5	150х70х90	5	10		
4.	КВЖ (М) двухступенчатая	892146	1,6	150х70х90	5	10	1- охлаждаемая, 4-неохлаждаемая	Воздухоохладители для шпестов и тепловых костюмов, применяемых в металлургической и др. отраслях промышленности
5.	КВЖ (К) двухступенчатая	1002755	0,5	240х70х90	5	5	1-охлаждаемая, 4-неохлаждаемые	
6.	КВ-2-400 двухступенчатая	840598 567906	16	500х340х190	3	13	охлаждаемые ребристые	Кондиционеры для кабины машиниста и крановщика
7.	КВ-3-400 трехступенчатая	735877 567906	11	500х515х190	7	10	охлаждаемые ребристые	
8.	КВЖ одноступенчатая	456118	22	790х560х440	4	38	охлаждаемые ребристые	
9.	КВЖ-ВВ одноступенчатая	470684	22	790х560х440	4	32	охлаждаемые ребристые	

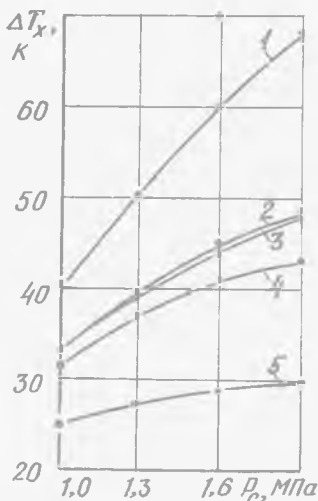
1	2	3	4	5	6	7	8	9
10.	КВУ одноступенчатая		24	336x150x100	I	50	неохлаждаемая	Комплекс для зоны студжа шахтеров на шесть человек
11.	ТВХ-15 регенеративная схема	769233 630964			I	4	неохлаждаемая коническая	Транспортные холодильники второго поколения для кабины машиниста
12.	ТВХ-5 регенеративная схема	769233 630964			I	4	неохлаждаемая коническая	
13.	ТВХ-50 двойной холодильный агрегат	769233 630964			2	6	неохлаждаемая коническая	
14.	ВВУ регенеративная	821867			3	50	коническая	установка воздухоохлаждаемая

зависимостям (здесь $\mu_g = G_g/G_c$ - относительный расход дополнительного потока, G_c - расход скатого воздуха через спиральный ввод):

$$\Delta t_x = 19,692T - 1,651\mu_d - 12,091\mu^2 - 13,506;$$

$$T_r = 1 + (T - 1)(0,2205\mu + 0,040\mu_d + 0,072).$$

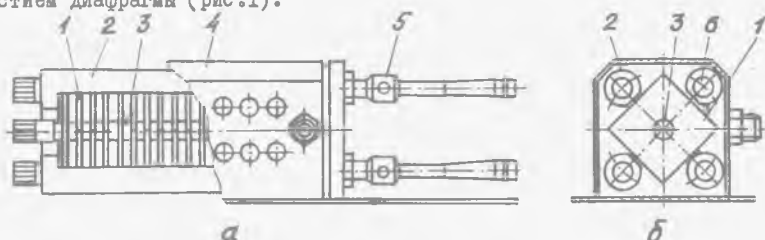
Двухступенчатые воздухоохлаждатели ВВ-0,5/1,5-25; ВВ-0,5/1,5-25К и КВК (М) используются совместно с костюмами и жилетами индивидуальной противотепловой за-



Р и с. 1. Температурные характеристики ($T_c \approx 300$ К): 1) ВВ-0,5/1,5-25К при режиме работы вихревых труб $\mu = 0,7$; 2: 3; 4) ВВ-0,5/1,5-25 при режиме работы вихревых труб соответственно $\mu = 0,3; 0,5; 0,7$; 5) одиночная цилиндрическая вихревая труба $\varnothing = 10$ мм ($\mu = 0,7$)

щиты в тех случаях, когда рабочее давление скатого воздуха превышает 1 МПа и, преимуществен-

но, составляет 1,5–3 МПа. Воздухоохладитель ВВ-0,5/1,5–25К отличается от ВВ-0,5/1,5–25 использованием вместо цилиндрических конических вихревых труб с крестовиной на горячем конце и сопловых вводов с огражденным отверстием диафрагмы (рис.1).



Р и с. 2. Общий вид (а) и поперечный разрез (б) двухступенчатого воздухоохладителя КВЖ (К): 1-ребро; 2-экран; 3-охлаждаемая вихревая труба первой ступени; 4-кожух; 5-эжектор; 6-вихревая труба второй ступени

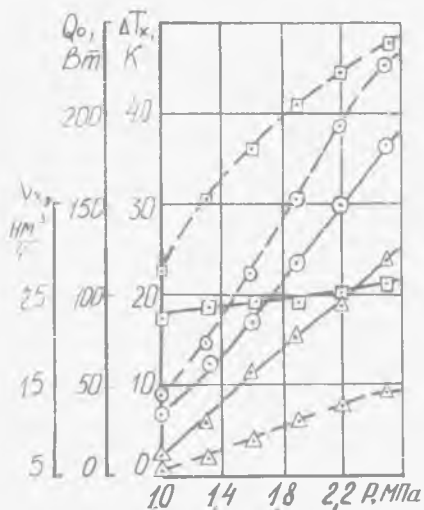
В воздухоохладителе КВЖ (К) (рис.2) патрубки холодного потока выполняют роль активных сопел эжекторов для подсоса дополнительного количества воздуха и соответствующего расширения эксплуатационных возможностей. Это позволяет, например, понизить эффект КВЖ (К) до разрешенного санитарными нормами при соответствующем увеличении количества холодного потока.

Оптимальным является режим работы КВЖ (К) с заглушенной вихревой трубой первой ступени ($\mu_1 = 1,0$) и вихревыми трубами второй ступени, работающими в режиме $\mu_2 = 0,7$. При использовании коническо-цилиндрических вихревых труб, $D = 5$ мм, $L = 22D$ в режиме $\pi = 25$, $\mu_1 = 1,0$, $\mu_2 = 0,7$ энергетическая эффективность КВЖ (К) (без эжекторов) составила $\eta_3 = 18,6\%$.

На рис. 3 изображены основные эксплуатационные характеристики КВЖ (К). Характеристики воздухоохладителя с эжекторами приведены для случая, когда температуры сжатого и эжектируемого воздуха равны между собой, а на выходе из эжекторов создано противодавление холодному потоку, изменяющееся от 0,101 до 0,106 МПа по мере роста P_c от 1,0 до 2,4 МПа.

Как видно из рис. 3, применение эжектора позволило получить на выходе из воздухоохладителя поток с почти постоянной температурой при изменении P_c в широких пределах.

Кондиционеры КВ-2-400 и КВ-3-400 для душирования зоны машиниста, например, в кабине поезда метро, не требуют специальной очистки сжатого воздуха от масла и капельной влаги: каналы холодного потока в устройствах, соединяющие предшествующую ступень расширения с последующей, выполнены в виде пластинчатых рекуперативных противоточных теплообменников-рефрижераторов, размещенных в воздуховоде охлаждаемого воздуха.



Р и с. 3. Зависимость эффекта охлаждения (□), холодопроизводительности (○) и расхода холодного потока (Δ) КВК (К) при $f_{z1} = 0,07$; $f_{z2} = 0,08$; $M = 1,0$; $M_c = 0,7$; $T_c \approx 300$ К от режима работы (—) с эжекторами; (---) без эжекторов

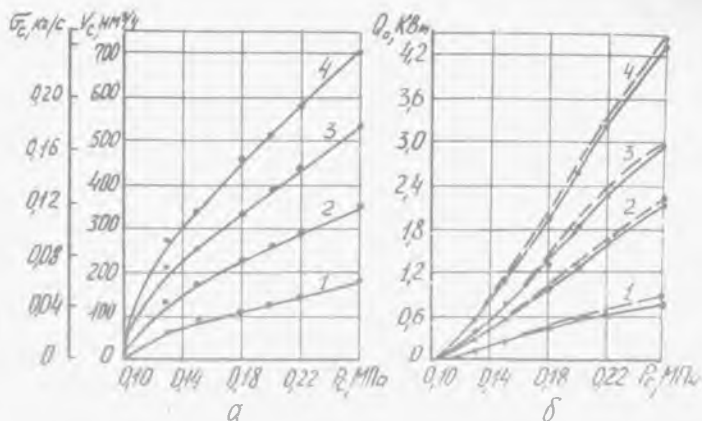
миниатюрной вихревой трубой с $f_c = 1 \text{ мм}^2$. Простота и технологичность конструкции, наличие запросов зарубежных фирм, целесообразность конвейеризации производства подтверждают актуальность создания транспортно-тропической модификации холодильника с упомянутыми температурно-динамическими характеристиками. На 1984 г. намечена первая обкатка холодильника третьего поколения с повышенной технико-экономической эффективностью.

Кондиционеры КВК, КВК-ВЭ созданы и предназначены для улучшения условий труда в кабинах электромостовых кранов в металлургии. Они сконструированы на основе двух совмещенных горячими концами охлаждаемых вихревых труб $D = 38 \text{ мм}$ с внутренним и внешним оребрением общей камеры энергоразделения. Каждая ВТ имеет два сопловых ввода сжатого воздуха и две диафрагмы для отбора холодных потоков. Такая компоновка позволила уменьшить массу и габариты кондиционеров, обеспечила легкую регулировку холодопроизводительности и, при необходимости, получение двух холодных потоков с различной температурой. Коэффициенты внутреннего и наружного оребрения камеры энергоразделения равны 5 и 68 соответственно. Кондиционер КВК-ВЭ (рис. 4) является модерни-

В рабочую зону машиниста подается чистый воздух из вентиляционной системы после охлаждения на оребрении упомянутых рефрижераторов (летний режим) либо после подогрева на наружном оребрении камер энергоразделения (зимний режим). Число вихревых камер удваивается с переходом к каждой последующей ступени. Во второй (и третьей) ступенях использовано коллективное оребрение камер энергоразделения в форме пакетов теплопроводных пластин с соосными отверстиями, число которых соответствует числу вихревых камер.

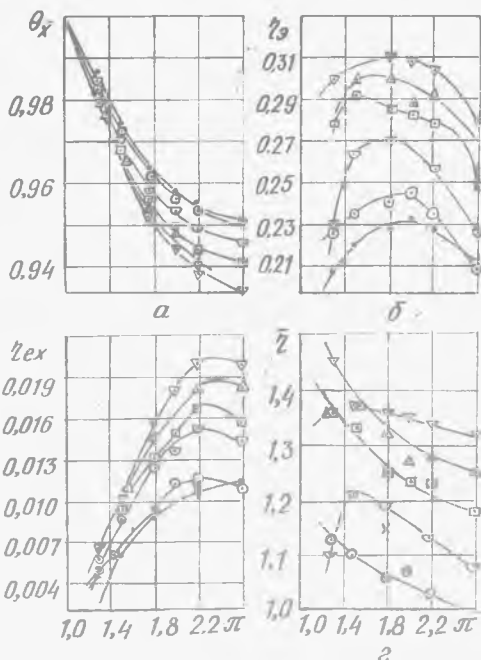
Вихревые холодильники

ТВК-15 второго поколения используются в кабинах дизельных поездов и экспортных тепловозов, приспособлены к конвейерному типу сборки и снабжены



Р и с. 4. Потребление скатого воздуха (а) и холодопроизводительность (б) К.В.К.-В.З.: — — — — — $G_B = G_C$; - - - - - $G_B = 2,2 G_C$. Номер кривой на графике соответствует числу включенных в работу сопловых вводов

ированным вариантом КВК и содержит, помимо шелевых диффузоров холодных потоков, четыре камеры вторичного вихревого эффекта (КВЕЭ), обрешеченные дополнительными отверстиями в ребрах и прокладках и сообщенные с центральной камерой энергоразделения тангенциальными каналами. По этим каналам периферийные слои вихря попадают в КВЕЭ. Здесь из-за вторичного вихревого эффекта при возросшей частоте вращения вторичного вихря происходит повышение температуры газа, что улучшает отвод от него тепла. Как видно из рис. 5, введение в конструкцию КВК КВЕЭ увеличивает эффективность вихревого процесса на 8-12%. При этом в режиме $P_c = 0,18$ МПа при равенстве расходов скатого G_c и вентиляционного G_b потока воздуха $\eta_{\text{в}} = 0,27$, что превышает $\eta_{\text{в}}$ известных водоохлаждаемых труб без внутреннего оребрения. Дополнительное оснащение КВК-ВЗ шелевыми диффузорами позволило довести к.п.д. кондиционера до значений $\eta_{\text{к.п.д.}} = 0,29-0,30$. Холодопроизводительность и потребление скатого воздуха кондиционеров регулируется путем включения в работу соответствующего числа сопловых вводов (рис. 4). Применение прямооточных глушителей шума холодных потоков позволило понизить шум до уровня, разрешенного санитарными нормами. Следует отметить, что масса воздухоохладителя в двухтрубном исполнении с кожухом равна 25 кг, т.е. отношение массы к Q_0 равно 5,5 кг/кВт. Это во много раз меньше, чем у "традиционных" холодильных машин. Столь малая масса и небольшие габариты (см.таблицу)



Р и с. 5. Относительная температура θ_x холодного потока (а), коэффициент энергетической эффективности ζ_3 (б), эксергетический к.п.д. (в) и относительный прирост эффективности ζ : КВК: $\bullet - f_c = 0,08$; $\circ - f_c = 0,11$; \times - аналогично (\odot) при $G_B/G_C = 2,2$; КВК-ВЭ: $\ominus - f_c = 0,08$; \square - аналогично (\oplus) со щелевым диффузором; Δ - аналогично (\square) при $G_B/G_C = 2,2$; ∇ - аналогично (\square) при холодном обребнении (пусковой период)

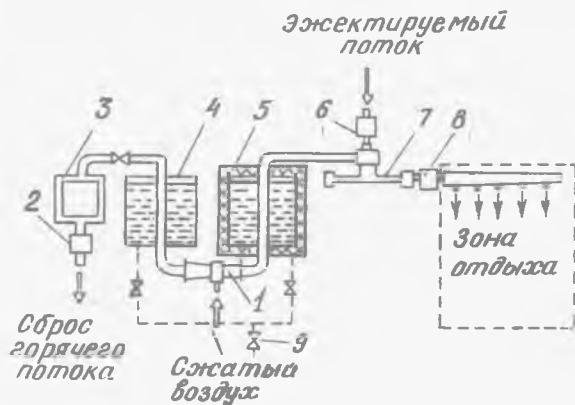
получение воды с температурой 20–70°C. В пусковой период нагреватель воды выполняет роль теплоаккумулятора, воспринимая от периферийных слоев вихря дополнительное количество тепла, соизмеримое с затратами холода на понижение температуры воды в охлаждаемом баке.

Душирование зоны отдыха осуществляется смесью холодного потока и окружающего воздуха, подаваемого вихревым эжектором через систему фильтров и глушителей шума 2, 6, 8. Для приведения температуры душирующего потока в соответствие с санитарными нормами требуется подмешивать 30–

позволяют установить воздухоохладитель на кране в кабине практически любой конструкции.

Комплекс вихревых устройств КВУ. Для зоны отдыха шахтеров, монтируемой на шахтной тележке ВП-12, разработаны вихревые устройства, обеспечивающие охлаждение отсека, охлаждение и нагрев питьевой воды, пищевых продуктов. Установка, изображенная на рис. 6, содержит коническую вихревую трубу $I \text{ } \varnothing = 50 \text{ мм}$, вихревой эжектор со щелевым диффузором 7, баки емкостью 0,12 м³ с охлаждаемой 5 и нагреваемой 4 водой.

При отношении давлений на вихревой трубе $\bar{M} = 3,3$ эффект охлаждения составляет 25 К ($\mu = 0,65$, $Q_0 = 3,2 \text{ кВт}$, $G_x = 0,13 \text{ кг/с}$). Баки с нагреваемой и охлаждаемой водой непосредственно подключены к горячему и холодному потокам вихревой трубы. Благодаря смесителю 9 возможно



Р и с. 6. Принципиальная схема установки

50% окружающего воздуха. Горячий поток вихревой трубы используется для разогрева продуктов (в подогревателе 3) после их хранения в вихревом холодильнике ТВХ-35, установленном непосредственно в зоне отдыха.

Обобщение полученного опыта, в частности, исчисление величин интегрального показателя качества изделий, учитывающего совокупность их технологических и эксплуатационных свойств, позволит выделить наиболее перспективные модификации и ограничить таким путем увеличение числа их типоразмеров.

УДК 621.573

А.П.Л е п я в к о

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ СХЕМЫ СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ
С ВИХРЕВЫМИ ТРУБАМИ ПРИ ВЫСОКИХ НАЧАЛЬНЫХ ДАВЛЕНИЯХ
СЖАТОГО ВОЗДУХА И СТЕПЕНЯХ РАСШИРЕНИЯ

В настоящее время достаточно широко используется сжатый воздух давлением 20 МПа. Такой воздух может быть применен для получения низких температур в устройствах с вихревыми трубами без теплообменных аппаратов, что обеспечивает компактность и малую инерционность установки.

Для получения низких температур при высоких начальных давлениях и высоких степенях расширения рекомендуется использовать ступенчатые схемы, но чтобы степень расширения в вихревой трубе не превышала 6-8. Это условие определяется тем, что эффективность вихревых труб при более высоких степенях расширения резко снижается [1]. Проведенные исследования