

Трубчато-пластинчатые теплообменники (производители и основные характеристики)

Канд. техн. наук А. Л. ЕМЕЛЬЯНОВ, Е. В. КОЖЕВНИКОВА, Т. А. ЛОПАТКИНА

Санкт-Петербургский государственный университет

низкотемпературных и пищевых технологий

191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

A concise list of manufacturers of tubular-plate heat exchangers that are on the Russian market is given. Geometry features of manufactured heat exchangers can satisfy the most diverse requirements of consumers in various spheres, namely: air conditioning, ventilation, heat recovery, heating, etc.

Key words: тубчато-пластинчатые теплообменники, геометрия теплообменников, характеристика теплообменной поверхности.

В последние 20 лет в России наибольшее применение в теплообменной аппаратуре находят медно-алюминиевые трубчато-пластинчатые теплообменники. Если до середины 80-х годов прошлого века они использовались в основном в торговом холодильном оборудовании и кондиционерах специального назначения, то теперь их устанавливают в разнообразных стационарных и транспортных системах кондиционирования, агрегатах воздушного отопления, маслоохладителях, сухих градирнях, рекуперативных теплоутилизаторах, конвекторах, воздушных завесах и других аппаратах. Причина столь широкого распространения — в высокой энергетической эффективности и отлаженной технологии промышленного серийного производства

Теплопередающая поверхность теплообменников формируется из пучка медных прямолинейных или U-образных трубок, соединенных в змеевики (секции) посредством калачей, и пластин из алюминиевой фольги. Часто для интенсификации теплообмена поверхность пластин выполняют волнистой, с просечками, гофрами, ломаным краем. Пластины насыжены на трубы, причем отверстия в пластинах для установки трубок имеют воротники, высота которых определяет расстояние между пластинами теплообменника, и увеличивают площадь контакта трубок с пластинами. Расположение трубок в теплообменнике определяется расположением отверстий в пластинах. Плотный контакт воротников с трубками обеспечивается механическим или гидравли-

ческим расширением (дорнованием) диаметра медных трубок. Точность изготовления трубок и пластин такова, что натяг в соединении каждого воротника пластин с поверхностью всех трубок стабилен и составляет от 10 до 120 мкм.

Теплообменники изготавливают на высокопроизводительном оборудовании с минимальным применением ручного труда, что способствует снижению стоимости аппаратов и массовому их использованию. Оборудование для изготовления пластин (ламельный штамп и ламельный пресс) формует поверхность пластин и отверстия в них. Скорость штамповки пластин — до 440 отверстий в минуту в каждом ряду, количество рядов отверстий определяется шириной штампа. После дорнования паяют калачи и коллекторы, испытывают теплообменник на прочность и герметичность методом аквариума под избыточным давлением на 30–50 % выше максимального рабочего, сушат, заглушают внутреннюю поверхность, при этом во внутрь испарителей и конденсаторов закачивают сухой азот или осушенный воздух под небольшим избыточным давлением.

Одним из первых заводов в России, на котором в 1989–1991 гг. было установлено высокопроизводительное итальянское оборудование для изготовления медно-алюминиевых теплообменников, был ЗАО «Завод Совиталпродмаш» (г. Волжск, Республика Марий Эл). Предприятие производит торгово-холодильное оборудование марки «Polair»: шкафы, сборно-разборные камеры и мо-

ноблоки к камерам. Изготовление теплообменников (испарителей и конденсаторов) на собственном оборудовании позволило выбрать их в соответствии с характеристиками примененных компрессоров и наилучшим образом установить в изделия, а не подгонять стандартные теплообменники других изготовителей [1].

С 1999 г. медно-алюминиевые теплообменники изготавливаются на ООО «Веза», г. Москва, (ранее с 1994 г. их изготавливали Фрязинский экспериментальный завод). Теплообменники используются в собственной продукции (центральные и компактные кондиционеры, агрегаты отопительные, тепловые завесы и др.), а также продаются как самостоятельные изделия [2, 3].

В 2000 г. завод «Метеор» (филиал ОАО «ИЭМЗ "Купол"», г. Ижевск) начал изготовление медно-алюминиевых теплообменников. Теплообменники предназначались для установки в кондиционерах и другом климатическом оборудовании собственного производства, а также на продажу как товарная продукция [4].

ООО «Воздухотехника» (г. Москва) с 2003 г. изготавливает медно-алюминиевые теплообменники для агрегатов воздушного отопления, приточных подвесных камер, центральных каркасных кондиционеров, воздушно-тепловых завес и для продажи потребителям в качестве самостоятельных изделий [5, 6].

ООО «Текта» (создано в 2000 г., г. Великие Луки, Псковская область) в настоящее время производит медно-алюминиевые теплообменники для канальных воздухоохладителей на воде и фреоне, водяных и паровых воздухонагревателей, конденсаторов и испарителей торгового и промышленного холода. Кроме того, предприятие выпускает изделия с теплообменниками: конвекторы в пол с естественной конвекцией и вентиляторами, напольные конвекторы, тепловентилятор с теплоносителем «вода» [7].

НТЦ «Радиатор» (1998 г., г. Кимры, Тверская обл.) изготавливает медно-алюминиевые теплообменники на собственном оборудовании для своей продукции — конвекторов с естественной конвекцией и вентиляторами [8].

ООО «Мостерм» (1999 г., г. Москва) на базе медно-алюминиевых теплообменников собственного изготовления выпускает внутрипольные и напольные конвекторы, а также тепловентиляторы [9].

С 1991 г. ОАО «Фирма Изотерм» (1990 г., г. Санкт-Петербург) первая в России стала выпускать конвекторы с медно-алюминиевыми теплообменниками своего изготовления для систем водяного отопления. В настоящее время фирма выпускает конвекторы «Изотерм», «Экотерм», «Atoll», «Atoll Pro», «Rodos» — настенные и напольные, «Golfstream» и «Golfstream-V» — встраиваемые в пол, с естественной и принудительной конвекцией [10, 11].

ЗАО «Ариада» (1992 г., г. Волжск, Республика Марий Эл) — один из крупнейших производителей тор-

гового холодильного и промышленного холодильного оборудования не только в России, но и в Европе. Выпускает холодильные витрины и горки под выносной или встроенный холод, холодильные установки и машины, холодильные моноблоки и холодильные сплит-системы. Имеет собственный завод по производству медно-алюминиевых теплообменников, на котором в июне 2008 г. был выпущен 1000-й конденсатор для станций центрального ходоснабжения [12].

ОАО «ГРАН» (1992 г., г. Волжск, Республика Марий Эл) выпускает холодильное, скороморозильное и теплообменное оборудование. В 2001 г. начал работу участок по изготовлению теплообменного оборудования: конденсаторов, воздухоохладителей, маслоохладителей, конвекторов и др. [13].

Завод МК (не раньше 2002 г., г. Щербинка, Московская область) входит в группу компаний ГлобалВент, производит воздуховоды, медно-алюминиевые теплообменники, фанкойлы. Возможно изготовление теплообменников под заказ [14].

Следует отметить, что только на двух предприятиях оборудование было закуплено до распада СССР: ЗАО «Завод Совиталпроммаш» и Фрязинский экспериментальный завод. Остальные фирмы приобретали (или разрабатывали) оборудование по собственному решению.

Основные геометрические характеристики медно-алюминиевых теплообменников отечественных производителей приведены в табл. 1.

Кроме того, в России свою продукцию продают иностранные фирмы-изготовители трубчато-пластинчатых теплообменников. Способы реализации различны: через дилеров, собственные представительства, совместные предприятия. Срок поставки теплообменника «под заказ» составляет до 8 недель, что не всегда приемлемо. Поэтому несмотря на исчерпывающую информацию о работе теплообменника, которую предоставляют иностранные фирмы, потребители ищут возможность приобретать теплообменники российских изготовителей в более короткий срок.

Основные геометрические характеристики трубчато-пластинчатых теплообменников некоторых зарубежных производителей приведены в табл. 2 [15–28].

Анализ приведенных данных позволяет утверждать, что отечественные производители и представители зарубежных компаний в настоящее время способны удовлетворить самые разнообразные требования проектировщиков и потребителей теплообменной аппаратуры, трубчато-пластинчатых теплообменников с интенсифицированной оребренной поверхностью.

Методы расчета, а также компьютерные программы подбора теплообменников для конкретных изделий холодильной, криогенной техники и систем кондиционирования воздуха рассмотрены авторами в работе [29].

Таблица 1

**Основные геометрические характеристики медно-алюминиевых теплообменников
отечественных производителей**

Предприятие	Размер трубок	Расположение трубок	Толщина ребер δ , мм и шаг u , мм	Описание ребер
ЗАО «Завод Советалпродмаш»	3/8", гладкие	Коридорное $S_{\phi p} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 25$ мм	—	С трапециевидными гофрами
	3/8", гладкие	Шахматное $S_{\phi p} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	—	С трапециевидными гофрами
ООО «Веза»	$\varnothing 12$ мм, гладкие и с внутренним рифлением, толщина стенки 0,5 и 0,4 мм	Шахматное $S_{\phi p} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 25$ мм	$\delta = 0,17-0,2$ мм $u = 1,8-4,0$ мм с проставками $u_{\max} = 12,0$ мм	Гофрированные, высота гофр 2,5 мм ширина 6,25 мм
ОАО «ИЭМЗ “Купол”»	1/4", гладкие, толщина стенки 0,35 мм	Шахматное $S_{\phi p} = 19$ мм $S_{\text{прод}} = 12,5$ мм	$\delta = 0,10-0,15$ мм $u = 1,6-2,1$ мм	Гладкие с просечками высотой 0,8 мм, длиной 8,4 и 7,4 мм, шириной 1,7 мм
	3/8", гладкие, толщина стенки 0,35 мм	Шахматное $S_{\phi p} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	$\delta = 0,10-0,15$ мм $u = 1,8-4,2$ мм	Гофрированные, с прямым и ломаным краем, высота гофр 1,2 мм, ширина 5,4125 мм Гофрированные, с прямым и ломаным краем, с просечками высотой 1,6 мм, длиной 11,2 и 6,7 мм, шириной 1,5 мм
	3/8", гладкие, толщина стенки 0,35 мм	Коридорное $S_{\phi p} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 25$ мм	$\delta = 0,10-0,15$ мм $u = 2,1-6,25$ мм	Гофрированные, с прямым и ломаным краем, высота гофр 1,2 мм, ширина 6,25 мм
	$\varnothing 12$ мм, гладкие, толщина стенки 0,5 мм	Шахматное $S_{\phi p} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 25$ мм	$\delta = 0,15-0,25$ мм $u = 2,1-8,5$ мм	Гофрированные, с прямым и ломаным краем, высота гофр 1,2 мм, ширина 6,25 мм Гофрированные, с прямым и ломаным краем, отверстиями $\varnothing 10$ мм для установки ТЭНов
	$\varnothing 16$ мм, гладкие, толщина стенки 0,5 мм	Коридорное $S_{\phi p} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 50$ мм	$\delta = 0,15-0,25$ мм $u = 4,2-10,0$ мм	Гофрированные, с прямым и ломаным краем, высота гофр 1,2 мм, ширина 6,25 мм Гофрированные, с прямым и ломаным краем, отверстиями $\varnothing 10$ мм для установки ТЭНов
ОАО «Воздухотехника»	3/8", гладкие, толщина стенки 0,35 мм	Шахматное $S_{\phi p} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	$\delta = 0,12$ и $0,15$ мм $u = 1,6-3,6$ мм $u_{\max} = 8,0$ мм	Гофрированные, с прямым и ломаным краем, высота гофр 1,2 мм, ширина 5,1625 мм, плоские участки шириной 1 мм после двух гофр
	$\varnothing 12$ мм, гладкие, толщина стенки 0,5 мм	Шахматное $S_{\phi p} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 25$ мм	$\delta = 0,12$ и $0,18$ мм $u = 1,6-4,0$ мм $u_{\max} = 8,0$ мм	Гофрированные, с прямым и ломаным краем, высота гофр 1,2 мм, ширина 6,0 мм,

Предприятие	Размер трубок	Расположение трубок	Толщина ребер δ , мм и шаг u , мм	Описание ребер
ОАО «Воздухотехника»				плоские участки шириной 1 мм после двух гофр
ООО «Текта»	3/8", гладкие, толщина стенки 0,35, 0,5, 0,8 мм	Шахматное $S_{\phi p} = 25$ мм $S_{prod} = 21,65$ мм	$\delta = 0,1$ и $0,15$ мм $u = 1,6$ – $4,0$ мм	Гофрированные, с прямым и ломанным краем
	3/8", гладкие	Коридорное $S_{\phi p} = 35$ мм $S_{prod} = 50$ мм	$\delta = 0,2$ мм $u = 6$ – 12 мм	Плоские, с прямым краем и отверстиями $\varnothing 10$ мм для установки ТЭНов
	$\varnothing 12$ мм, гладкие, толщина стенки 0,4 и 0,5 мм	Коридорное $S_{\phi p} = 35$ мм $S_{prod} = 50$ мм	$\delta = 0,2$ мм $u = 6$ – 12 мм	Плоские, с прямым краем и отверстиями $\varnothing 10$ мм для установки ТЭНов
НТИ «Радиатор»	$\varnothing 15$ мм, гладкие, толщина стенки 1 мм	Коридорное $S_{prod} = 50$ мм $K_{\phi p} = 2$	$\delta = 0,3$ мм $u = 5$ мм	Волнистые (гофрированные)
ООО «Мостерм»	$\varnothing 16,5$ мм, гладкие	Коридорное $S_{\phi p} = 50$ мм $S_{prod} = 50$ мм $K_{\phi p} = 1, 2, 3, 4, 5$ $K_{prod} = 1, 2$	$u = 4,5$ и $7,0$ мм	—
ОАО «Фирма Изотерм»	$\varnothing 15$ мм, гладкие, толщина стенки 0,5 мм	Коридорное $S_{\phi p} = 50$ мм $S_{prod} = 50$ мм $K_{\phi p} = 2$ $K_{prod} = 1, 2$	$\delta = 0,3$ мм $u = 6$ и 12 мм	С вертикальными и горизонтальными зигами
ЗАО «Ариада»	3/8", толщина стенки 0,5 мм	—	$\delta = 0,3$ мм	—
	$\varnothing 12$ мм, толщина стенки 0,5 мм	Шахматное	$\delta = 0,3$ мм	—
ОАО «ГРАН»	3/8"	Шахматное $S_{\phi p} = 25$ мм $S_{prod} = 21,65$ мм	$\delta = 0,15$ мм $u = 1,6$ – $3,9$ мм	С перфорацией
	$\varnothing 12$ мм	Коридорное $S_{\phi p} = 35$ мм $S_{prod} = 35$ мм	$\delta = 0,15$ и $0,25$ мм $u = 2,0$ – $8,5$ мм	С перфорацией
	$\varnothing 16$ мм	Коридорное $S_{\phi p} = 50$ мм $S_{prod} = 50$ мм	$\delta = 0,25$ мм $u = 4,0$ – $15,0$ мм	—
Завод МК (ГлобалВент)	1/4"	—	—	—
	3/8"	—	—	—
	1/2"	—	—	—

Примечание. $S_{\phi p}$ — межцентровое расстояние трубок во фронтальном сечении теплообменника; S_{prod} — расстояние между рядами трубок; $K_{\phi p}$ — количество трубок во фронтальном сечении теплообменника; K_{prod} — количество рядов трубок.

Таблица 2

Основные геометрические характеристики трубчато-пластинчатых теплообменников зарубежных производителей

Предприятие	Размеры трубок	Расположение трубок	Толщина ребер δ , мм и шаг u , мм	Описание ребер
Roen Est (1984 г., Италия) [15]	5/16", толщина стенки 0,28 мм	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	$\delta = 0,1; 0,12; 0,15;$ 0,18 мм (AL) $\delta = 0,1; 0,12; 0,15$ мм (AL с эпоксидным покрытием) $\delta = 0,1$ мм (Cu, Cu+Zn) $u = 1,6-6,0$ мм	Волнистые с прямым краем
	3/8", толщина стенки 0,3, 0,35 и 0,5 мм	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	$\delta = 0,1; 0,12; 0,15;$ 0,18 мм (AL) $\delta = 0,1; 0,12; 0,15$ мм (AL с эпоксидным покрытием) $\delta = 0,1$ мм (Cu, Cu+Zn) $u = 1,6-6,0$ мм	Волнистые с прямым краем
	1/2", толщина стенки 0,35 и 0,5 мм	Шахматное $S_{\text{фр}} = 35$ мм $S_{\text{прод}} = 30,31$ мм	$\delta = 0,11; 0,15;$ 0,18 мм (AL) $\delta = 0,12$ мм (AL с эпоксидным покрытием) $\delta = 0,1$ мм (Cu) $u = 1,6-6,0$ мм	Волнистые с прямым краем
Rivacold s.r.l. (1966 г., Италия) [16–18]	5/16"	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	AL лакированные	С гофрами
	3/8"	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	AL лакированные	С гофрами
	$\varnothing 12$ мм	Шахматное $S_{\text{фр}} = 37,5$ мм $S_{\text{прод}} = 32,5$ мм	$u = 6,0$ и $10,0$ мм AL лакированные	С гофрами
	$\varnothing 12$ мм	Коридорное $S_{\text{фр}} = 35$ мм $S_{\text{прод}} = 35$ мм	$u = 8,0, 9,0, 10,0, 11,0,$ 18,0 мм	—
	$\varnothing 16$ мм	Коридорное $S_{\text{фр}} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 50$ мм	$u = 10,0$ мм	—
	$\varnothing 16$ мм	Шахматное $S_{\text{фр}} = 60$ мм $S_{\text{прод}} = 30$ мм	$u = 9,0$ мм	—
Remak (1992 г., Чехия) [19, 20]	$\varnothing 10$ мм	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	$u = 2,1$ и $2,5$ мм	—
	$\varnothing 12$ мм	—	—	—
Guntner Group (1931 г., Германия, Guntner Group) [21]	3/8", гладкие, с внутренним рифлением, Cu	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	$u = 2,2-4,0$ мм AL, AL с эпоксидным покрытием, Cu	С турбулизаторами, с прямым краем

Предприятие	Размеры трубок	Расположение трубок	Толщина ребер δ , мм и шаг u , мм	Описание ребер
Guntner Group (1931 г., Германия, Guntner Group) [21]	Ø 12 мм, гладкие, с внутренним рифлением, Cu, нержавеющая сталь, оцинкованная сталь	Шахматное $S_{\phi\phi} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 25$ мм	$u = 1,5\text{--}8,0$ мм AL, AL с эпоксидным покрытием, Cu, нержавеющая сталь	С турбулизаторами, с прямым краем
	Ø 15 мм, гладкие, Cu	Шахматное $S_{\phi\phi} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 25$ мм	$u = 2,0\text{--}8,0$ мм AL, AL с эпоксидным покрытием, Cu	С турбулизаторами, с прямым краем
	Ø 15 мм, гладкие, Cu, нержавеющая сталь	Коридорное $S_{\phi\phi} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 50$ мм	$u = 3,0\text{--}12,0$ мм AL, AL с эпоксидным покрытием, Cu, нержавеющая сталь	С турбулизаторами, с прямым краем
	Ø 22 мм, горячая оцинкованная сталь	Коридорное $S_{\phi\phi} = 60$ мм $S_{\text{прод}} = 60$ мм	$u = 6,0\text{--}12,0$ мм, горячая оцинкованная сталь	С турбулизаторами, с прямым краем
	Ø 22 мм, горячая оцинкованная сталь, нержавеющая сталь	Коридорное	AL, AL с эпоксидным покрытием, ALMG3, горячая оцинкованная сталь	—
THERMOKEY (1991 г., Италия, RTH group) [22]	5/16", гладкие, с внутренним рифлением	Шахматное $S_{\phi\phi} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	$u = 1,6\text{--}2,8$ мм AL, AL с покрытием, Cu, AL с двойным покрытием	Turbo fin, TK fin®
	3/8", гладкие, с внутренним рифлением	Шахматное $S_{\phi\phi} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	$u = 1,6\text{--}2,8$ мм AL, AL с покрытием, Cu, AL с двойным покрытием	Turbo fin, TK fin®
	3/8", гладкие, с внутренним рифлением	Шахматное $S_{\phi\phi} = 30$ мм $S_{\text{прод}} = 25,98$ мм	$u = 1,6\text{--}4,0$ мм AL, AL с покрытием, Cu, AL с двойным покрытием	Turbo fin, TK fin®
	1/2", гладкие, с внутренним рифлением	Шахматное $S_{\phi\phi} = 30$ мм $S_{\text{прод}} = 25,98$ мм	$u = 1,6\text{--}4,0$ мм AL, AL с покрытием, Cu, AL с двойным покрытием	Turbo fin, TK fin®
	1/2", гладкие, с внутренним рифлением	Шахматное $S_{\phi\phi} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 43,3$ мм	$u = 2,1\text{--}11,0$ мм AL, AL с покрытием, Cu, AL с двойным покрытием	TK fin®
	5/8 ", гладкие, с внутренним рифлением	Шахматное $S_{\phi\phi} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 43,3$ мм	$u = 2,1\text{--}11,0$ мм AL, AL с покрытием, Cu, AL с двойным покрытием	TK fin®
	Ø 12 мм, гладкие, с внутренним рифлением	Шахматное $S_{\phi\phi} = 42$ мм $S_{\text{прод}} = 36,4$ мм	$u = 1,8\text{--}3,0$ мм AL, AL с покрытием, Cu, AL с двойным покрытием	TK fin®
	5/8 " гладкие, с внутренним рифлением	Шахматное $S_{\phi\phi} = 42$ мм $S_{\text{прод}} = 36,4$ мм	$u = 1,8\text{--}3,0$ мм AL, AL с покрытием, Cu, AL с двойным покрытием	TK fin®
SEST (1974 г., Италия, LU-VE group) [23]	3/8"	Шахматное $S_{\phi\phi} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	$u = 1,4\text{--}5,5$ мм AL, AL с покрытием	—

Предприятие	Размеры трубок	Расположение трубок	Толщина ребер δ , мм и шаг u , мм	Описание ребер
SEST (1974 г., Италия, LU-VE group) [23]	3/8"	Коридорное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 25$ мм	$u = 2,0\text{--}5,5$ мм AL, AL с покрытием	—
	3/8"	Коридорное $S_{\text{фр}} = 35$ мм $S_{\text{прод}} = 35$ мм	$u = 3,0\text{--}9,0$ мм AL, AL с покрытием	—
	$\varnothing 12$ мм	Коридорное $S_{\text{фр}} = 35$ мм $S_{\text{прод}} = 35$ мм	$u = 3,0\text{--}10,0$ мм AL, AL с покрытием	—
	$\varnothing 16$ мм	Коридорное $S_{\text{фр}} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 50$ мм	$u = 3,5\text{--}10,0$ мм AL, AL с покрытием	—
	$\varnothing 16$ мм	Коридорное $S_{\text{фр}} = 50$ мм $S_{\text{прод}} = 50$ и 70 мм	$u = 3,5\text{--}10,0$ мм AL, AL с покрытием	—
	$\varnothing 16$ мм	Шахматное $S_{\text{фр}} = 60$ мм $S_{\text{прод}} = 30$ мм	$u = 2,0\text{--}8,0$ мм AL, AL с покрытием	—
	$\varnothing 16$ мм	Коридорное $S_{\text{фр}} = 75$ мм $S_{\text{прод}} = 75$ мм	$u = 5,0\text{--}7,0$ мм AL, AL с покрытием	—
HRM Therm (1998 г., Словакия) [24]	5/8", толщина стенки 0,4 и 0,8 мм	Шахматное $S_{\text{фр}} = 60$ мм $S_{\text{прод}} = 30$ мм	$\delta = 0,12; 0,18; 0,20; 0,25$ мм (AL) $\delta = 0,12$ и 0,18 мм AL с эпоксидным покрытием $\delta = 0,12, 0,18$ мм (Cu) $u = 1,6\text{--}6,5$ мм	Волнистые с ломанным краем
	5/8", толщина стенки 0,4 и 0,8 мм	Коридорное $S_{\text{фр}} = 30$ мм $S_{\text{прод}} = 30$ мм	$\delta = 0,12; 0,18; 0,20; 0,25$ мм (AL) $\delta = 0,12$ и 0,18 мм AL с эпоксидным покрытием $\delta = 0,12, 0,18$ мм (Cu) $u = 1,6\text{--}6,5$ мм	Волнистые с ломанным краем
Fincoil (1956 г., Финляндия, Alfa-Laval) [25]	$\varnothing 12,7$ мм, Cu	Шахматное $S_{\text{фр}} = 35$ мм $S_{\text{прод}} = 30,31$ мм	$u = 2,3, 2,5, 3,0, 4,0, 7,0, 7,5, 12,0$ мм AL, AL с эпоксидным покрытием, Cu	С турбулизаторами
	$\varnothing 20$ мм, горячая оцинкованная сталь, нержавеющая сталь	Шахматное $S_{\text{фр}} = 57,74$ мм $S_{\text{прод}} = 50$ мм	$u = 4,5, 6,0, 8,0, 10,0, 12,0, 15,0, 18,0$ мм (горячая оцинкованная сталь, нержавеющая сталь)	
HTS s.r.o. (Чехия, LU-VE group) [26]	5/16", толщина стенки 0,28, 0,4, 0,5, 0,7 мм	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 12,5$ мм	$\delta = 0,1\text{--}0,4$ мм $u = 1,6\text{--}3,2$ мм	С турбулизаторами
	3/8", толщина стенки 0,28, 0,35, 0,4, 0,5, 0,7 мм	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 12,5$ мм	$\delta = 0,1\text{--}0,4$ мм $u = 1,6\text{--}4,0$ мм	С турбулизаторами

Продолжение табл. 2

Предприятие	Размеры трубок	Расположение трубок	Толщина ребер δ , мм и шаг u , мм	Описание ребер
HTS s.r.o. (Чехия, LU-VE group) [26]	3/8", толщина стенки 0,28, 0,35, 0,4, 0,5, 0,7 мм	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	$\delta = 0,1\text{--}0,4$ мм $u = 1,6\text{--}5,5$ мм	С турбулизаторами
	3/8", толщина стенки 0,28, 0,35, 0,4, 0,5, 0,7 мм	Коридорное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 25$ мм	$\delta = 0,1\text{--}0,4$ мм $u = 1,6\text{--}5,5$ мм	С турбулизаторами
	$\varnothing 12$ мм, толщина стенки 0,4 и 0,5 мм	Коридорное $S_{\text{фр}} = 34$ мм $S_{\text{прод}} = 29,44$ мм	$\delta = 0,1\text{--}0,3$ мм $u = 1,6\text{--}4,1$ мм	С турбулизаторами
LU-VE Contardo S.p.a (1928 г., Италия, LU-VE group) [27]	Cu, с внутренним рифлением, нержавеющая сталь	Шахматное	AL, AL с покрытием, Cu $u = 3,0, 3,1, 4,5, 4,8, 6,0, 6,3, 7,0, 7,7$ мм, 8,4/4,2, 11,0	С турбулизаторами Turbofin 2
	$\varnothing 8$ мм	Коридорное $S_{\text{фр}} = 30$ мм $S_{\text{прод}} = 30$ мм	$u = 4,3$ мм	С турбулизаторами
	3/8", Cu, с внутренним перекрестным рифлением	Шахматное	AL, AL с покрытием, Cu $u = 2,1, 3,2$ мм	С турбулизаторами
	Cu, с внутренним рифлением; нержавеющая сталь, гладкие	Шахматное	AL, AL с покрытием, Cu $u = 4,5, 6,0, 7,0, 7,5, 10,0, 12,0$ мм	С турбулизаторами Turbofin 3
	Cu, с внутренним перекрестным рифлением	Коридорное	$u = 4,5, 6,0, 7,0, 7,5, 10,0$ мм	С турбулизаторами Turbofin 3
	Cu, с внутренним рифлением; нержавеющая сталь	Коридорное	AL, Cu $u = 4,5, 6,0, 7,5, 10,0, 12,0$ мм	С турбулизаторами Turbofin 4
ECO (более 20 лет, Италия) [28]	$\varnothing 7,0$ мм, Cu	Шахматное $S_{\text{фр}} = 21$ мм $S_{\text{прод}} = 12,7$ мм	AL $u = 1,2\text{--}2,8$ мм	С гофрами, с прямым краем
	$\varnothing 7,2$ мм, Cu	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 12,5$ мм	AL $u = 1,2\text{--}4,2$ мм	С гофрами, с просечками, с прямым краем
	$\varnothing 7,2$ мм, Cu	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	AL $u = 1,6\text{--}6,0$ мм	С гофрами, с прямым краем
	5/16", Cu, AL	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25$ мм $S_{\text{прод}} = 12,5$ мм	AL $u = 1,2\text{--}3,0$ мм	С гофрами, с прямым краем
	5/16", Cu, AL	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25,4$ мм $S_{\text{прод}} = 15,88$ мм	AL $u = 1,5\text{--}3,9$ мм	С гофрами, с прямым краем

Предприятие	Размеры трубок	Расположение трубок	Толщина ребер δ , мм и шаг u , мм	Описание ребер
ECO (более 20 лет, Италия) [28]	5/16", Cu, AL	Шахматное $S_{\text{фр}} = 20,0$ мм $S_{\text{прод}} = 17,32$ мм	AL $u = 1,2-4,2$ мм	С гофрами, с прямым краем
	5/16", Cu, AL	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25,0$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	AL $u = 1,2-5,3$ мм	С гофрами, с прямым краем
	5/16", Cu, AL	Коридорное $S_{\text{фр}} = 25,0$ мм $S_{\text{прод}} = 25,0$ мм	AL $u = 1,2-3,0$ мм	С гофрами, с прямым краем
	3/8", Cu, AL	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25,0$ мм $S_{\text{прод}} = 12,5$ мм	AL, Cu $u = 1,2-3,3$ мм	С гофрами, с прямым краем
	3/8", Cu, AL	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25,4$ мм $S_{\text{прод}} = 15,88$ мм	AL $u = 1,5-4,2$ мм	С гофрами, с прямым краем
	3/8", Cu	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25,4$ мм $S_{\text{прод}} = 19,05$ мм	AL $u = 1,6-2,5$ мм	С гофрами, с прямым краем
	3/8", Cu, AL	Шахматное $S_{\text{фр}} = 25,0$ мм $S_{\text{прод}} = 21,65$ мм	AL, Cu $u = 1,2-6,0$ мм	С гофрами, волнистые двух типов, с просечками двух типов, с прямым краем
	3/8", Cu, AL	Коридорное $S_{\text{фр}} = 25,0$ мм $S_{\text{прод}} = 25,0$ мм	AL, Cu $u = 1,2-6,0$ мм	С гофрами, плоские, с прямым краем
	3/8", Cu	Шахматное $S_{\text{фр}} = 30,0$ мм $S_{\text{прод}} = 25,98$ мм	AL $u = 1,2-3,2$ мм	С гофрами, с пирамидалальным профилем, с прямым краем
	3/8", Cu	Коридорное $S_{\text{фр}} = 35,0$ мм $S_{\text{прод}} = 35,0$ мм	AL $u = 3,0-12,0$ мм	Плоские, с прямым краем
	$\varnothing 12$ мм, Cu	Шахматное $S_{\text{фр}} = 30,0$ мм $S_{\text{прод}} = 25,98$ мм	AL $u = 1,2-3,2$ мм	С гофрами, с пирамидалальным профилем, с прямым краем
	1/2", Cu	Шахматное $S_{\text{фр}} = 37,5$ мм $S_{\text{прод}} = 32,48$ мм	AL, Cu $u = 1,6-10,5$ мм	С гофрами, с просечками, с прямым краем
	1/2", Cu	Коридорное $S_{\text{фр}} = 35,0$ мм $S_{\text{прод}} = 35,0$ мм	AL $u = 3,0-12,0$ мм	Плоские, с прямым краем
	1/2", Cu, нержавеющая сталь	Шахматное $S_{\text{фр}} = 33,33$ мм $S_{\text{прод}} = 28,87$ мм	AL, Cu $u = 1,6-6,0$ мм	Волнистые, плоские, с прямым краем
	$\varnothing 15$ мм, Cu, AL, титан	Шахматное $S_{\text{фр}} = 40,0$ мм $S_{\text{прод}} = 34,64$ мм	AL, Cu $u = 1,8-10,0$ мм	Волнистые, плоские, с прямым краем

Список литературы

1. <http://www.polair.com/about/>
2. Канальные воздухонагреватели КВН. — М.: ООО «ВЕЗА», 2001.
3. Бялый Б. И. Тепломассообменное оборудование воздуходобабывающих установок ООО «ВЕЗА». — М.: ООО «Инфорт», 2005.
4. Теплообменники змеевиково-ребристые. — Ижевск: ОАО «Ижевский электромеханический завод "Купол"», 2003.
5. Каталог 1. Промышленная вентиляция. — М.: ОАО «Воздухотехника», 2003.
6. Каталог 3. Вентиляторы, агрегаты воздушного отопления, камеры приточные подвесные. — М.: ОАО «Воздухотехника», 2003.
7. Теплообменники пластинчато-трубчатые. Воздухонагреватели. Воздухоохладители. Каталог 2008. — Великие Луки: ООО «Текта», 2009.
8. Рекомендации по применению отопительных приборов. — Кимры: ООО «Кимрский завод теплового оборудования "Радиатор"», 2008.
9. Рекомендации по применению конвекторов «Varmann Ntherm» и «Varmann Qtherm», встраиваемых в конструкцию пола, производства ООО «Мостерм». 2-е изд. — М.: ООО «Витатерм», 2009.
10. Рекомендации по применению отопительных конвекторов «Изотерм». 3-е изд. — М.: ООО «Витатерм», 2008.
11. Рекомендации по применению отопительных конвекторов серии «Atoll», «Atoll Pro» и «Rodos». Ч. 1. — М.: ООО «Витатерм», 2007.
12. <http://www.ariada.ru/>
13. <http://www.gran-cold.ru/>
14. Каталог 2008 / ГлобалВент. — М., 2008.
15. Scambiatori di calore a pacco alettato. Finned pack heat exchangers / Roen Est. 34077 Ronchi dei Legionari — Italia, 1990.
16. <http://www.rivacold.ru/>
17. Воздухоохладители кубические потолочные RCV. — Italy: Rivacold s. r. l., 2007.
18. Static evaporators. Unit coolers. — Italy: Rivacold s. r. l., 2006.
19. Фирма Remak. Чистая игра. — Česká republika: Remak. Roznov pod Radhostem, 2004.
20. RMK10.1. Водные обогреватели с регулирующей арматурой. — Česká republika: Remak. Roznov pod Radhostem, 1995.
21. GCO. Finned heat exchangers customized. — Germany: Guentner AG & Co KG, 2009.
22. Finned pack heat exchangers. — Italy: Thermokey, 2005.
23. SEST. 30th Anniversary 1974–2004 / Sest. 32020 Litana (BL). — Italy, 2007.
24. Йозеф Маер. Профессиональность, опыт, качество. Теплообменники. — Словакия: HRM therm., 1998.
25. <http://www.alfalaval.com/solution-finder/products/>
26. <http://www.htsystems.cz/ru/>
27. http://www.luve.it/cms/view/prodotti/tutti_i_prodotti/tutti_i_prodotti/s124
28. ECO coils & coolers. Coils catalogue. Luvata partnerships beyond metals: II-edition / Project Luvata G&C dpt. 33050 Pocenia (UD) — Italy, 2009.
29. Емельянов А. Л., Кожевникова Е. В., Лопаткина Т. А. Обзор методов оптимизации трубчато-пластинчатых теплообменников // Холодильная техника. 2010. № 5.