

Отечественные атмосферные испарители криогенных жидкостей.

Чл.-корр. МАХ, к.т.н. Ельчинов В.П.

Проблема испарения низкокипящих (криогенных) жидкостей и выдача потребителю газа заданного расхода, давления и температуры (газифицирование) – известная проблема криогенной техники. При ее решении используются такие носители теплового потока, как водяной пар, горячие выхлопные газы двигателя, электрические нагреватели, работающие через промежуточный теплоноситель – горячую воду, и, наконец, тепло окружающей среды (воздух).

Естественно, наиболее экономичный способ газифицирования последний. Он же является и наиболее применяемым в технике. В России, в соответствии со сложившейся терминологией, газификаторы (установки, включающие сосуд для хранения жидкости и испаритель для газификации жидкости) такого типа называют «холодными», а испарители «атмосферными».

История вопроса.

Первые в отечественной истории атмосферные испарители были созданы в НПО «Криогенмаш» (г.Балашиха). В 1972 году это предприятие, после проведения экспериментальных исследований, успешно освоило выпуск панельных атмосферных испарителей [1]. Результаты этой работы были отмечены государственной премией. Панели испарителей изготавливал ВИЛС (Всесоюзный институт легких сплавов, г.Москва) прокатно-сварным способом из алюминиевых листов из сплава АД1 с нанесенным на них рисунком восьми каналов (технология испарителей бытовых холодильников). Каналы формировались (раздавались изнутри) воздухом и были рассчитаны на рабочее давление 1,6 МПа. Панели собирались вертикально в теплообменные блоки. Каждый блок включал секцию подъема давления (надвную) и производственные секции. Надвная секция предназначалась только для испарения криогенной жидкости. Образовавшийся газ, выходя из этой секции, подавался в верхнюю часть сосуда для создания в нем рабочего давления. За счет давления жидкость с заданным расходом подавалась в две последовательные производственные секции. Производственные секции (холодная и теплая) служили для испарения жидкости и подогрева газа до температуры, практически равной температуре окружающего воздуха. Безусловно, для того времени эти решения были пионерскими. С помощью газификаторов ГХК (ГХК3/1,6-200, ГХК8/1,6-500...2000, ГХК25/1,6-500...2000, ГХ-1,0-0,035/1,6) с атмосферными испарителями панельного типа предприятиями криогеники (НПО «Криогенмаш», НПО «Микрокриогенмаш», г. Омск, Свердловским заводом криогенного машиностроения) было решено множество народно-хозяйственных задач (металлургия, химия, космос, медицина и др.).

Несомненным достоинством панельных атмосферных испарителей криогенных газификаторов ГХК являлась простота периодической очистки их поверхности от десублимирующихся из воздуха кристаллов инея воды и углекислоты. Необходимо отметить, что проблема инееобразования - известная проблема снижения эффективности атмосферных испарителей с течением времени из-за увеличения их термического сопротивления. Наиболее актуальна эта проблема именно для России с ее климатом. Так в 1989 году были выполнены многодневные экспериментальные исследования с целью определения степени изменения тепловых характеристик холодного криогенного газификатора ГХК25/1,6-500 (рис.1) с течением времени [2]. Испытания проводились при самых неблагоприятных условиях с точки зрения инееобразования (температура $0 \div 1^\circ\text{C}$, относительная влажность $90 \div 95\%$). Вот только не-



Рис. 1. Испытания панельного испарителя атмосферного газификатора на обмерзание инеем, февраль 1989 г.

известная проблема снижения эффективности атмосферных испарителей с течением времени из-за увеличения их термического сопротивления. Наиболее актуальна эта проблема именно для России с ее климатом. Так в 1989 году были выполнены многодневные экспериментальные исследования с целью определения степени изменения тепловых характеристик холодного криогенного газификатора ГХК25/1,6-500 (рис.1) с течением времени [2]. Испытания проводились при самых неблагоприятных условиях с точки зрения инееобразования (температура $0 \div 1^\circ\text{C}$, относительная влажность $90 \div 95\%$). Вот только не-

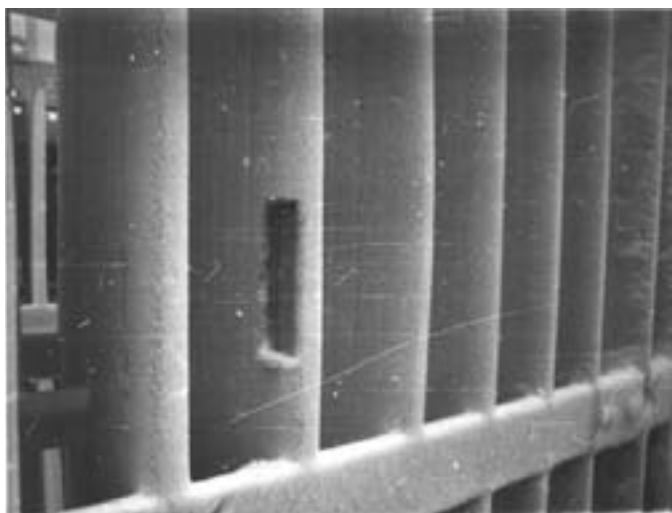


Рис. 2. Обмерзание теплой секции

Рис. 3. Обмерзание холодной секции

большой пример (рис.2,3,4). Толщина инея на панелях через десять часов эксплуатации в номинальном режиме достигала величины $20 \div 25$ мм. При этом величина недорекуперации продукта увеличивалась до $70 \div 75^\circ\text{C}$ вместо расчетных 20°C (рис.4). Удаление инея возвращало расчетные характеристики испарителя.

Проблема очистки панельных испарителей атмосферных газификаторов получила развитие в статьях [3,4] и закреплена в ряде авторских свидетельств [5,6,7].

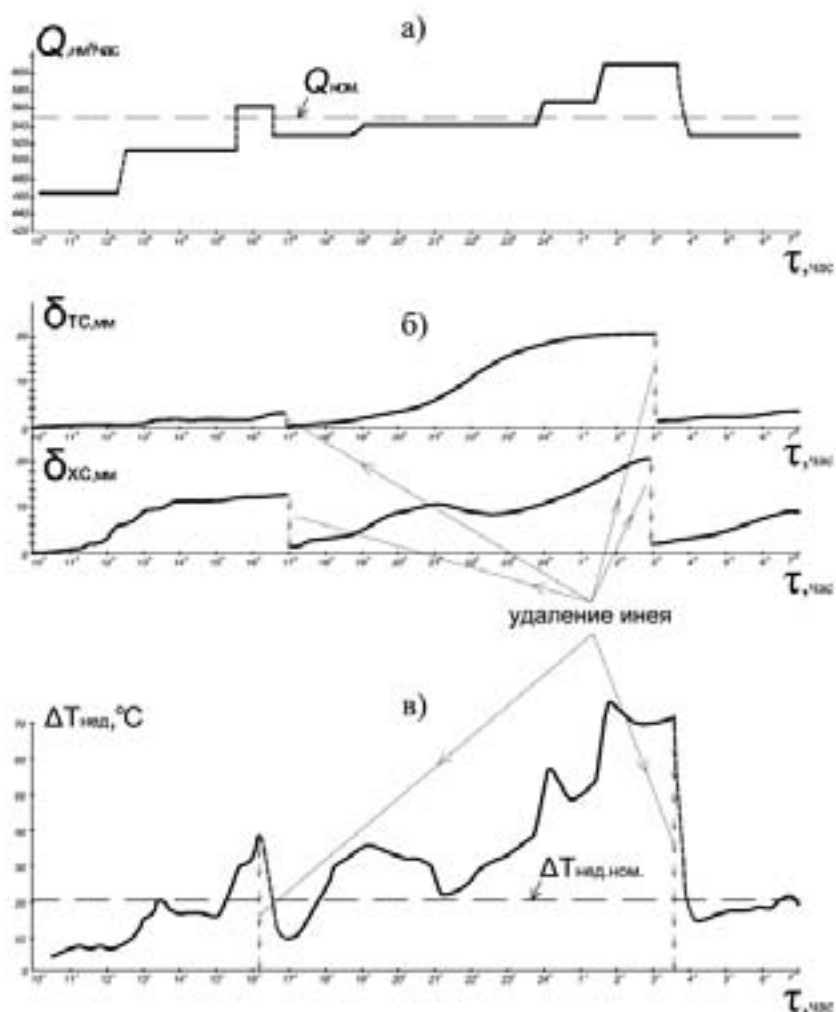


Рис. 4. Результаты экспериментального исследования процесса газификации ГХК25/1,6-500М. Изменение во времени:

- а) расхода газифицируемого азота,
- б) толщины слоя инея в теплой (ТС) и холодной (ХС) секциях испарителя,
- в) недорекуперации газифицируемого азота относительно температуры окружающей среды.

В настоящее время цельносварные панельные атмосферные испарители выпускаются ОАО «Криогенмаш» в небольших количествах. Их условно относят к группе атмосферных испарителей низкого давления (до 1,6 МПа).

В середине 80-х годов прошлого века перед НПО «Криогенмаш» была поставлена задача изготовления холодного криогенного газификатора (ГХК) аргона среднего давления (4,0 МПа) для сталелитейной промышленности.

Отдельная задача (кроме изготовления сосуда) состояла в разработке атмосферного испарителя на это давление и была поручена автору этой статьи.

Распространение имеющегося опыта изготовления панельных испарителей на давление 4,0 МПа было невозможно в силу ряда обстоятельств. Во-первых, увеличенная толщина алюминиевых пластин не позволяла в полной мере применить прокатно-сварной способ их соединения из-за расплавления поверхностных слоев, во-вторых, был велик процент брака при раздаче каналов воздухом.

В этой связи, при решении задачи создания первого отечественного атмосферного испарителя среднего давления был учтен опыт зарубежных фирм, а также появившаяся технологическая возможность – изготовление оребренных алюминиевых труб методом экструзии. В этой связи был разработан и запатентован теплообменный элемент – труба с наружным и внутренним продольным оребрением [8]. Диаметр несущей трубы составлял 30 мм. Толщина стенки 3 мм. Диаметр окружности по концам наружных ребер 160 мм, диаметр окружности по концам внутренних ребер 12 мм. Толщина ребер у основания 2,5 мм, на концах 1,8 мм. Количество ребер 6,8 и 12. Официальное название этих элементов носило аббревиатуру ТРФ, неофициально их до настоящего времени называют «звездочки» или «снежинки».

Необходимо отметить, что «вытяжка» тонких (2 мм) высоких (65 мм) ребер в те годы было сложной технологической проблемой. Для ее решения было привлечено ведущее отечественное предприятие в области обработки легких сплавов - ВИЛС. Совместные усилия НПО «Криогенмаш» (изготовление инструментальной оснастки (рис. 5,6)) и ВИЛС (экструзия труб) позволило в конце 80-х годов двум предприятиям криогенной отрасли НПО «Криогенмаш» и НПО «Микрокриогенмаш» начать выпуск холодных криогенных газификаторов с испарителями нового типа из труб с продольным оребрением. Трубы изготавливались из алюминиевого сплава АМц.

Конечно, выбор геометрии оребрения не был оригинален и был обусловлен стремлением к максимальной площади поверхности теплообмена на одном погонном метре трубы, а, следовательно, к наибольшей высоте ребра, тем более что высокий тепловой КПД ребра (0,97±0,98) это допускал. Однако технологические возмож-

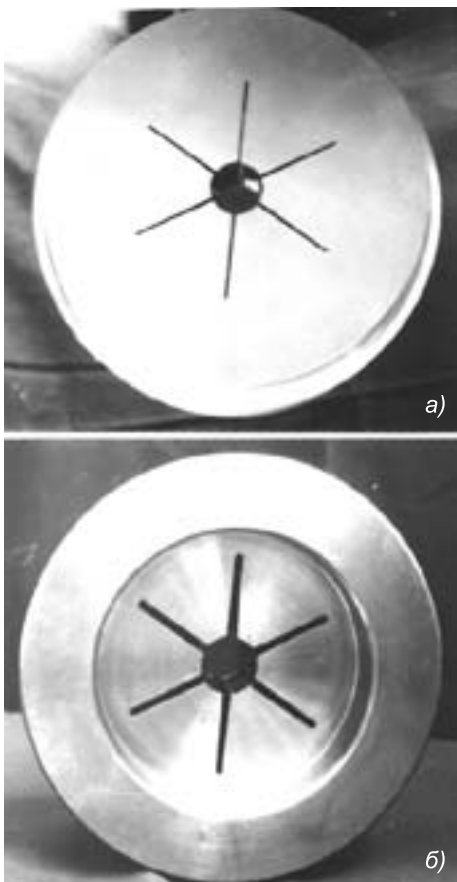


Рис. 5. Элементы оснастки. Матрица для формирования наружных ребер (6 шт.) труб с продольным оребрением методом экструзии:

- а) Формирующая часть,
- б) Подложка



Рис. 6. Элемент оснастки. Игла для формирования внутренних ребер (6 шт.) труб с продольным оребрением методом экструзии.

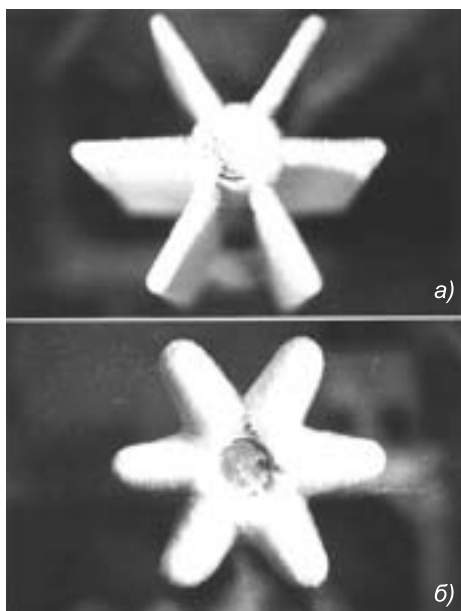


Рис. 7. Обмерзание опытного образца ТРФ:
а – через 3 часа,
б – через 24 часа.

ности ВИЛС позволяли формировать теплообменные элементы с диаметром по концам ребер не более 160 мм.

Другим параметром, увеличивающим площадь поверхности погонного метра, была вариация числа ребер. В процессе детальных исследований, проведенных на экспериментальных моделях труб с продольным оребрением [9,10], с учетом процесса инееобразования (рис.7) было выбрано оптимальное количество ребер -8.

Опытно-промышленные испытания первого промышленного образца испарителя (рис.8,9) подтвердили правильность принятых конструктивных решений. Одновременно делались попытки повышения эффективности этой конструкции испарителей [11,12].

Атмосферные испарители из труб с продольным оребрением выпускаются ОАО «Криогенмаш» двух типов ИА-33 и ИА-65 (площадью наружной поверхности теплообмена, соответственно, 33 и 65 м²). Они рассчитаны на производительность, соответственно, 100 и 250 нм³/час по кислороду [13].

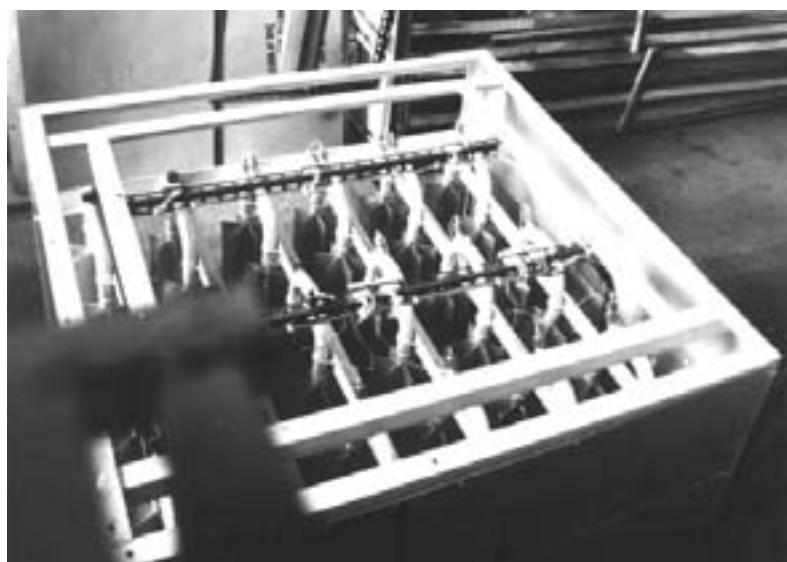
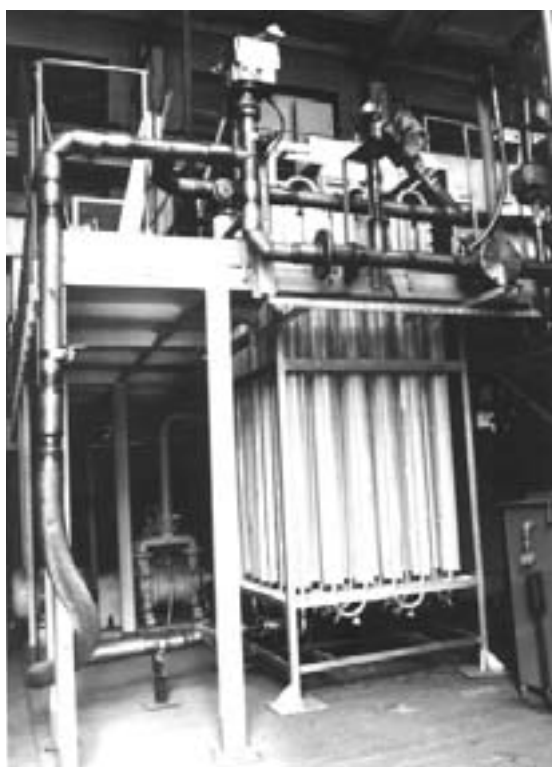


Рис. 9. Первый промышленный испаритель из труб с продольным оребрением. Вид сверху

← Рис. 8. Стенд промышленных испытаний первого испарителя из труб с продольным оребрением. Число теплообменных элементов – 36, высота рабочей части – 3 м

В середине 80-х годов прошлого века в НПО «Кислородмаш» г. Одессы Резниковым Л.Е. была успешно решена задача создания атмосферных испарителей высокого давления (20,0-40,0 мПа) [14]. Благодаря этим техническим решениям, были созданы эффективные стационарные газификационные установки высокого давления Г-1,6-0,28/40, Г-7,4-0,25...0,5/20 и транспортные газификационные установки высокого давления ПГ-3,2-0,63/20 [1]. Теплообменный элемент испарителей представлял собой биметаллическую трубу. Внутренняя (несущая) труба выполнена из нержавеющей стали и выдерживает высокие давления, наружная алюминиевая труба, предназначенная для развития поверхности теплообмена, выполнена из алюминиевого сплава и оребрена. Этот, в общем-то, простой принцип, до сих пор используется при создании атмосферных испарителей высокого давления с той лишь разницей, каким образом решена проблема контактного термического сопротивления. В работе [14] было предусмотрено соединение нержавеющей и алюминиевой труб клеем с теплопроводным на-

полнителем. С этой целью на трубах были предусмотрены специальные «спирально-шлицевые замки». «Замки», при повороте сопрягаемых труб в противоположных направлениях, заклинивали трубы и обеспечивали вместе с клеем их надежный тепловой и механический контакт. Испарители высокого давления, выпускаемые ОАО «Кислородмаш» были рассчитаны на одну объемную производительность—250 нм³/час по кислороду. Увеличение производительности достигалось увеличением числа теплообменных блоков.

В настоящее время основным **отечественным** производителем атмосферных испарителей, входящих в состав, выпускаемых ими же холодных криогенных газификаторов являются приемники НПО «Микрокриогенмаш», г. Омск – российские фирмы ООО «НТК Криогенная техника» и ООО «КриоВап» [15,16]. Материал теплообменных элементов – алюминиевые сплавы 6060, 6063. Для испарителей низкого и среднего давления разработаны и изготавливаются в России высокоэффективные теплообменные элементы и высокотехнологичные связующие элементы по ГОСТ2223-2001. Трубы с продольным оребрением имеют высокие наружные ребра и за счет этого высокие показатели площади поверхности теплообмена, приходящейся на один метр длины - $F_{уд.} = 1,486 \text{ м}^2/\text{п.м.}$ По этому показателю испарители ООО «НТК Криогенная техника» и ООО «КриоВап» находятся на уровне лучших зарубежных образцов («Linde», Германия (1,49 м²/п.м), «L’Air Liquid», Франция (1,51 м²/п.м), «Nippon Sanso», Япония (1,39 м²/п.м)) и даже превышает их («Ferox», Чехия (1,297 м²/п.м), «VRV», Италия (1,174 м²/ п.м)).

Параметры испарителей, выпускаемых «НТК Криогенная техника» и ООО «КриоВап»:

- рабочее давление – до 4,0 МПа,
- объемная производительность для производственных испарителей от 35 до 500 нм³/час, для испарителей подъема давления от 35 до 100 нм³/час.

Увеличение производительности достигается увеличением числа теплообменных блоков.

Год назад начала выпускать атмосферные испарители российская фирма ООО «Мониторинг» (г.Москва) [17]. Параметры труб с продольным оребрением, входящих в состав испарителей этой компании, точно такие же, как у труб с продольным оребрением в испарителях, выпускаемых ОАО «Криогенмаш». Показатель площади поверхности теплообмена, приходящейся на один метр длины – 1,115 м²/п.м. В работе [17] декларируются следующие параметры испарителей:

- рабочее давление – до 4,0 МПа,
- объемная производительность производственных испарителей от 20 до 2300 нм³/час.

В настоящее время потребности отечественной промышленности в атмосферных испарителях обеспечиваются поставками зарубежных и российских производителей примерно в равных долях.

При этом, хотя поставляемое оборудование этого типа и имеет достаточно высокий технический уровень, оно не лишено существенных недостатков (не адаптировано к российским условиям эксплуатации, зафиксированы частые выходы из строя, высокая цена).

Модернизация атмосферных испарителей.

Автор этой работы, имея положительный предшествующий опыт, в рамках частного предприятия ИП Ельчинов В.П. (г. Балашиха) совместно с ЗАО «НПП Криосервис» (г. Балашиха) в 2007 году начал освоение и выпуск атмосферных испарителей для газификации криогенных жидкостей.

При разработке испарителей были приняты за основу следующие принципы:

- **повышенный запас площади поверхности теплообмена,**
- **надежность,**
- **низкая цена.**

В испарителях, в качестве теплообменных элементов, используются трубы с продольным оребрением (рис.10), разработанные для среднего (а) и высокого (б) давления. Показатели площади поверхности теплообмена, приходящейся на один метр длины соответственно для вариантов (а) - $F_{уд.} = 1,184 \text{ м}^2/\text{п.м.}$ и для (б) - $F_{уд.} = 1,134 \text{ м}^2/\text{п.м.}$

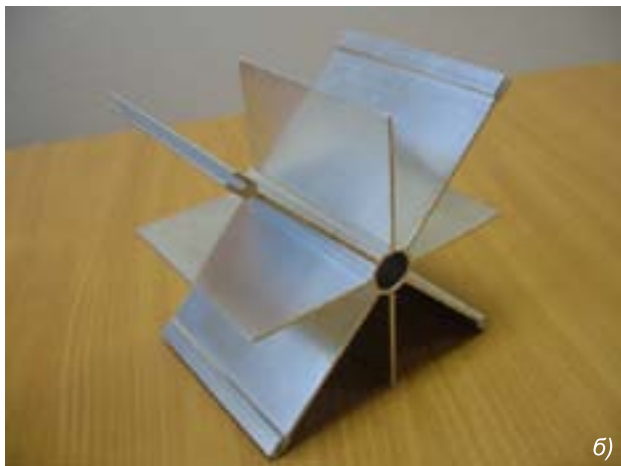
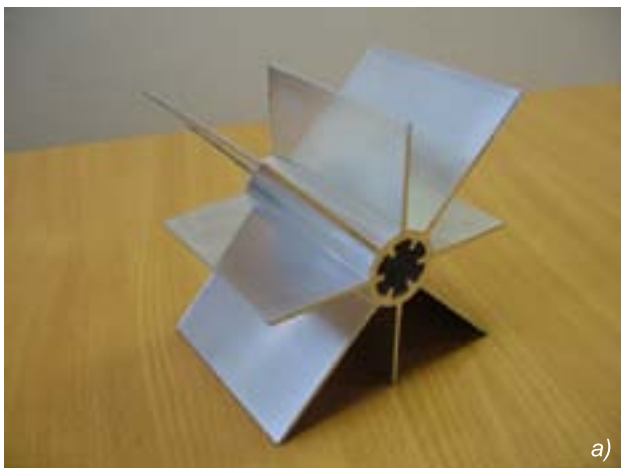


Рис. 10. Алюминиевые трубы с продольным оребрением:
 а – на среднее давление
 б – для высокого давления (без несущей стальной трубы)

Продукционные испарители низкого и среднего давления.

При изготовлении испарителей низкого и среднего давления элементы **а** (рис.10) используются, как теплообменные, а элементы **б** (рис.10), как проставочные и опорные. Сборка осуществляется посредством аргоно-дуговой сварки.

Повышенный запас площади поверхности теплообмена в российских весенне-осенних (влажных) и зимних (холодных) условиях просто необходим. С этой целью в наших испарителях *на расход в один нормальный кубометр газообразного кислорода в час приходится 0,474 м² теплопередающей поверхности* (таблица 1).

В испарителях других производителей этот показатель меньше примерно в 1,5 (!) раза.

Наличие запаса площади позволяет нам **увеличить вдвое** рабочую кампанию испарителя в номинальном режиме (16 часов вместо 8 часов, заявленных изготовителями, приведенными в таблице 1), то есть вдвое дольше работать без отогрева.

Наличие запаса площади позволяет также в ряде случаев **обеспечить кратковременную пиковую нагрузку** с полуторным расходом от номинального.

Таблица 1. Сравнение удельных поверхностей теплообмена

Компания - производитель	Поверхность теплообмена, отнесенная к декларируемой производительности испарителя по кислороду (при $\Delta T_{нед.} = idem$), м ² /нм ³ /час
«Linde», Германия	0,299
«Ferox», Чехия	0,307
«VRV», Италия	0.302
ООО «Мониторинг», Россия	0,297
ИП Ельчинов, Россия	0,474

Надежность испарителей достигается следующими мероприятиями:

- увеличенные несущий диаметр (35 мм) и толщина стенки (4 мм), как оребренных труб, так и гладких труб, предназначенных для поворота потока (калачей) обеспечивают высокую прочность и в то же время жесткость конструкции, необходимую при транспортировке;
- относительно низкая высота испарителей (теплообменные элементы 2 или 3 метра), конечно не экономит площадь под ними (а это и не критично для России), но зато позволяет изготавливать изделия,

выдерживающие большие ветровые и сейсмические нагрузки. Это также удобно и с точки зрения эксплуатации при удалении инея;

- соединение элементов испарителей аргоно-дуговой сваркой, а не механическим сдавливанием, как это делается практически у всех российских и европейских компаний, кроме «VRV», более надежно. Автору известны случаи, когда неравномерная инеевая «шуба» приводила к «сползанию» теплообменных элементов относительно креплений и перекосу испарителя, то есть сдавленные механические соединения ослабевали («Fegox»).

Низкая цена испарителей обусловлена узкой специализацией предприятия (теплообменники) и низкими накладными расходами.

Таблица 2. Ценовые характеристики различных производителей

Производитель	Цена 1 м ² пов. т/о EXW, €**	Цена 1 м ² пов. т/о без НДС В России, €**	Срок поставки, недели
VRV (Италия)*	37,66	60,62	10 недель
ООО «Мониторинг»*		59,56	3 недели
ИП Ельчинов В.П.*		41,03	2 недели

* - цена испарителей в интервале производительностей 90-110 нм³/час по кислороду

** - 1€ = 40 руб.

Так в таблице 2 приведено сравнение цен на отечественные и импортные испарители одинаковой производительности. Из зарубежных испарителей в таблицу включены данные по ценам итальянской фирмы VRV, как наиболее низкие в Европе. В качестве показателя принята цена одного квадратного метра поверхности теплообмена для сравниваемых аппаратов одной производительности. Как видно из таблицы, ценовые характеристики наших испарителей наиболее низкие. Значительно меньше срок поставки.

Типоразмерный ряд разработанных испарителей низкого и среднего давления (17 типоразмеров) представлен в таблице 3. Производительность испарителей приведена для кислорода. В таблице 4 приведены коэффициенты пересчета производительности испарителей на другие продукты испарения. При этом производительность испарителя по используемому продукту равна производительности его по кислороду, умноженной на коэффициент пересчета.



Рис.11. Процесс сборки

На рисунках 11, 12, 13, 14 представлены процесс изготовления и некоторые изготовленные представители типоразмерного ряда испарителей. В некоторых случаях (рис.13,14) по желанию заказчика, как дополнительная опция на производственный испаритель может быть дополнительно установлен навесной испаритель подъема давления. Испарители поставляются обезжиренными и упакованными (рис. 14).

Увеличение производительности при необходимости достигается увеличением числа теплообменных блоков.



Рис. 12. Испаритель ИА-90/4



Рис. 13. Производственные испарители ИА-190/4 с навесными испарителями наддува



Рис. 14. Испаритель ИА-120/4 в состоянии поставки



Рис. 15. Теплообменный элемент испарителя высокого давления

Производственные испарители высокого давления.

При изготовлении испарителей высокого давления элементы **б** (рис.10) с расположенными в них гладкими нержавеющими трубами используются, как теплообменные, а элементы **а** (рис.10), как проставочные и опорные.

Нами отработано создание надежного контакта между сочленяемыми алюминиевой и стальной нержавеющей трубой (рис. 15). Детали этой задачи не обсуждается в рамках данной статьи.

Типоразмерный ряд разработанных испарителей высокого давления (3 типоразмера) также представлен в таблице 3. С целью уменьшения габаритов, как вариант представлен испаритель со встроенным дутьевым средством (осевым вентилятором).

Увеличение производительности при необходимости достигается увеличением числа теплообменных блоков.

Таблица 3. Типоразмерный ряд атмосферных испарителей.

Марка	Производительность, $\text{нм}^3\text{O}_2/\text{час}^*$	Давление рабочее, МПа	Площадь поверхности теплообмена, м^2	Масса, кг
ИА-15/4-1н	15,0	4,0	7,10	26,7
ИА-15/4-2н	15,0	4,0	7,10	25,3
ИА-20/4н	20,0	4,0	9,47	36,0
ИА-20/4	20,0	4,0	9,47	40,0
ИА-30/4н	30,0	4,0	14,21	51,3
ИА-30/4-1	30,0	4,0	14,21	56,0
ИА-30/4-2	30,0	4,0	14,21	53,0
ИА-45/4	45,0	4,0	21,33	88,0
ИА-65/4	65,0	4,0	30,81	130,0
ИА-80/4	80,0	4,0	37,89	152,0
ИА-90/4	90,0	4,0	42,66	168,0
ИА-120/4	120,0	4,0	56,88	220,0
ИА-150/4	150,0	4,0	71,17	262,0
ИА-180/4	180,0	4,0	85,32	320,0
ИА-190/4	190,0	4,0	90,06	336,0
ИА-225/4	225,0	4,0	106,65	390,0
ИА-270/4	270,0	4,0	127,98	470,0
ИА-100/20	100,0	20,0	54,43	240,0
ИА-250/20	250,0	20,0	122,47	495,0
ИА-250/20в	250,0	20,0	73,48	433,0

н – навесное исполнение, в – исполнение с вентилятором

* - при температуре окружающей среды 20°C и относительной влажности 70%, величине недоохлаждения не более 15°C и 16-ти часовой эксплуатации.

Таблица 4. Коэффициенты пересчета производительности испарителей

Продукт испарения	Переводной коэффициент производительности
Азот	1,09
Кислород	1,00
Аргон	1,25
Углекислота	0,36
Водород	1,90
Метан	0,83



Рис. 16. Алюминиевые трубы с продольным оребрением для испарителей подъема давления

Испарители подъема давления.

В современных криогенных атмосферных газификаторах испарители подъема давления обычно располагаются под емкостью для хранения криогенной жидкости и входят в состав ее поставки. Однако в ряде случаев эти испарители требуются отдельно. С этой целью нами разработаны:

- навесные вертикальные испарители подъема давления (рис.13,14), устанавливаемые на производственные испарители,

- отдельно стоящие горизонтальные испарители подъема давления (выполняются из специального двухреберного (рис.16.) профиля) для емкостей малого объема,

- отдельно стоящие вертикальные испарители подъема давления для емкостей большого объема (рис. 17).

Испарители для тепловых насосов.

Некоторые модификации тепловых насосов включают в состав холодильного контура атмосферные испарители, устанавливаемые на воздухе (например, шведские тепловые насосы Ostorus). Как правило, это вариант размещения испарителя в стесненных условиях, когда строительная инфраструктура уже создана. Такие тепловые насосы эффективны для температур окружающего воздуха до $-10 \div -15^{\circ}\text{C}$, так как температура кипящего хладагента (пропана) составляет $-35 \div -40^{\circ}\text{C}$. На рисунке 18 представлен изготовленный нами атмосферный испаритель для теплового насоса в работе.

Выпускаемые атмосферные испарители имеют ТУ и Сертификат соответствия техническому регламенту.

Заключение.

Отечественные товаропроизводители успешно конкурируют с иностранными, обеспечивая поставку на внутренний рынок атмосферных испарителей криогенных жидкостей. Предприятие ИП Ельчинов В.П. освоило выпуск изделий этого класса, конкурентоспособных зарубежным аналогам. По ряду показателей (цена, надежность, срок рабочей кампании) наши атмосферные испарители превосходят испарители других изготовителей. Срок поставки российских испарителей значительно меньше.

Контактная информация.

По вопросу изготовления атмосферных испарителей обращайтесь по адресу: 143900, г. Балашиха, ул. Пушкинская, д.7, стр.1, ИП Ельчинов В.П.,

www.aparatel.ru,

elchinov@mail.ru,

тел. (495)974-26-65, 521-57-96,

факс. (495)521-77-91, 529-01-36.



Рис.17. Испаритель подъема давления для БСХ 63/0,5



Рис. 18. Отопление коттеджного поселка. Атмосферный испаритель для теплового насоса в работе

Список литературы

1. Криогенное оборудование. Каталог. НПО «Криогенмаш», ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1988 г.
2. Ельчинов В.П. и др. Экспериментальное и расчетное исследование испарителей атмосферного криогенного газификатора, Тезисы докладов Международной научно-практической конференции «Криогенная техника – науке и производству», ЦИНТИХимнефтемаш, М., 1991.
3. V.Elchinov and others. Results of Industrial Tests on Ambient Plate-type Cryogenic Evaporators, New Challenges in Refrigeration, Montreal Convention Centre, Montreal, Quebec, Canada, August 10-17, 1991.
4. Ельчинов В.П. и др. Интенсификация теплообмена в холодных газификаторах жидких криопродуктов, Химическое и нефтяное машиностроение, №9, 1995.
5. Ельчинов В.П. и др. Авторское свидетельство №1520298, «Криогенный испаритель», 1987 г.
6. Ельчинов В.П. и др. Авторское свидетельство №1638496, «Атмосферный криогенный газификатор непрерывного действия», 1988.
7. Ельчинов В.П. и др. Авторское свидетельство №1615498, «Атмосферный газификатор жидких криопродуктов», 1988.
8. Ельчинов В.П. и др. Авторское свидетельство №1470000, «Теплообменный элемент испарителя-газификатора криогенных жидкостей», 1988.
9. Ельчинов В.П. и др. Исследование свободноконвективного теплообмена на трубах с продольным наружным оребрением, Труды первой Российской национальной конференции по теплообмену, Москва, 21-25.11.1994, т.2.
10. Ельчинов В.П. и др. Теплоотдача от оребренных труб при свободном движении воздуха. ТОХТ, том.30, №2, 1996.
11. Ельчинов В.П. и др. Авторское свидетельство №1239509 «Тепломассообменная труба (ее варианты)», 1986.
12. Ельчинов В.П. и др. Авторское свидетельство №16649232, «Теплообменный элемент», 1988.
13. Криогенное оборудование. Каталог ОАО «Криогенмаш», 2008.
14. Резников Л.Е. Совершенствование процессов и аппаратов систем газификации криопродуктов высокого давления, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, 1987.
15. Криогенное оборудование. Каталог ООО «Торговый Дом «Сибкриомаркет», 2011.
16. КриоВап. Производство атмосферных испарителей. Рекламный проспект, 2010.
17. Иванов К.А., Павлов Н.В. Современные атмосферные испарители криогенных жидкостей, Технические газы, №3, 2010 г.