

Опыт Научно-производственного Центра  
"СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ  
СИСТЕМЫ" в разработке и изготовлении  
промышленной высокопроизводительной  
энергосберегающей теплообменной аппаратуры

Презентация

**Explotex**<sup>®</sup>  
ТЕХНОЛОГИИ НА СТРАЖЕ ЭКОЛОГИИ

Москва, 2012 год

## Содержание:

1. О компании
2. О Пластинчато-ребристых теплообменниках (ПРТ)
  - 2.1. Основные характеристики пластинчато-ребристых теплообменников (ПРТ)
  - 2.2 Конструкция и технология изготовления ПРТ
  - 2.3. Теоретическая часть
    - 2.3.1. Теплоотдача в каналах
    - 2.3.2. Теплопроводность элементов конструкции.
    - 2.3.3. Многопоточный теплообмен.
  - 2.4. Преимущества ПРТ
3. АВО на базе ПРТ
4. Продукция, реализованная ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»
5. Контактная информация

## 1. О КОМПАНИИ

- **ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»**, основанное в 2008 г., является единственным на постсоветском пространстве разработчиком и производителем крупногабаритных пластинчато-ребристых теплообменников (ПРТ).
- Основное направление деятельности нашего предприятия – разработка и изготовление высококомпактных и эффективных ПРТ из алюминиевых сплавов и теплообменных систем на их основе для различных отраслей промышленности: компрессоростроения, холодильной и криогенной техники, энергетики, авиационной и космической техники, железнодорожной техники, оборонной техники, газовой промышленности.
- Наше новое предприятие вошло в группу компаний, объединённых под общим брендом EXPLOTEX, который является одновременно и торговой маркой, под которой выпускается оборудование.
- Основное ядро коллектива нашего предприятия имеет более чем 20 – летний успешный опыт создания опытных образцов и серийного производства ПРТ для различных отраслей техники, которые успешно эксплуатируются в различных регионах России, а также в некоторых странах ближнего и дальнего зарубежья.

## ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»

обладает современным научно-техническим потенциалом, позволяющим проводить следующие виды работ:

- теплогидравлические расчеты и конструирование ПРТ на заданные условия Заказчика (включая многопоточный теплообмен и теплообмен при изменении агрегатного состояния, теплообмен с многокомпонентными смесевыми средами) - для этого на предприятии имеется комплекс необходимого программного обеспечения ;
- определение оптимальных параметров включения теплообменных аппаратов в технологические схемы энергоустановок;
- моделирование процессов течения и переноса массы и энергии в машинах и аппаратах различных установок;
- проведение технологических расчетов энергетических систем и установок;
- проведение энергетического анализа установок, включая энтропийно-эксергетические расчеты;
- проведение прочностных расчетов аппаратов;
- проведение (при необходимости) экспериментального обоснования или экспериментального обследования того или иного решения теплообменной аппаратуры .

ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»  
обладает производственными мощностями, расположенными на  
собственной производственной площадке в г. Можайске Московской  
области

Вставить  
фотографию  
АВТОРОСА

ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ» обладает комплексом технических средств для производства современной теплообменной аппаратуры, начиная от изготовления деталей и заканчивая испытаниями и сборкой теплообменных систем.

Предприятие имеет:

- парк заготовительного оборудования, включающий ленточнопильное оборудование и четыре вида гильотин;
- механообрабатывающий участок, оснащенный универсальным токарным, фрезерным и сверлильным оборудованием;
- парк гофрирующего оборудования, позволяющий изготавливать теплообменные поверхности (насадки) с прецизионной точностью ;
- две установки для автоматической высокотемпературой бесфлюсовой вакуумной пайки, оснащенные системами автоматического регулирования процессами нагрева и пайки, а также поддержания требуемой технологическим процессом глубины вакуума;
- контрольно-измерительное оборудование.

## ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»



Общий вид главного цеха

## 2. О пластинчато-ребристых теплообменниках (ПРТ)

Разумный подход к выбору теплообменного оборудования технологических установок

Важность  
реализации  
эффективных  
решений



Стоимость  
эксплуатационных  
затрат (включая  
энергозатраты)

Стоимость  
капитальных  
затрат

## **Эффективный теплообменник – это тот, который:**

1. обеспечивает реализацию процесса теплопередачи с малыми температурными напорами;
2. имеет малые значения гидравлических сопротивлений по всем теплообменивающимся потокам;
3. имеет малые габаритные размеры и низкую металлоемкость, а потому небольшие значения теплопритоков из окружающей среды.

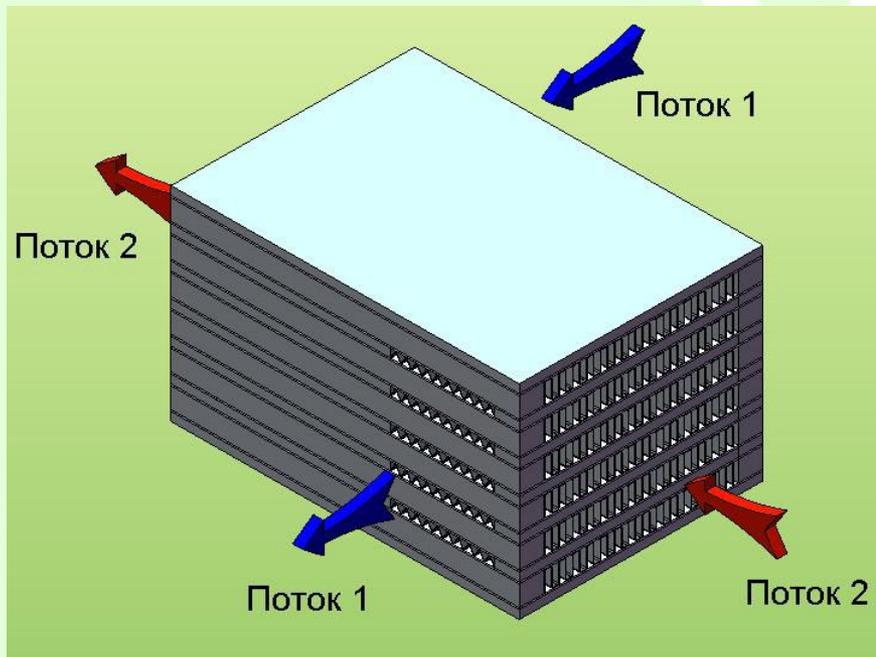
Во многих случаях наиболее полно все вышеперечисленные требования удовлетворяются в **ПЛАСТИНАТО-РЕБРИСТЫХ ТЕПЛООБМЕННИКАХ (ПРТ)**

## Области применения ПРТ

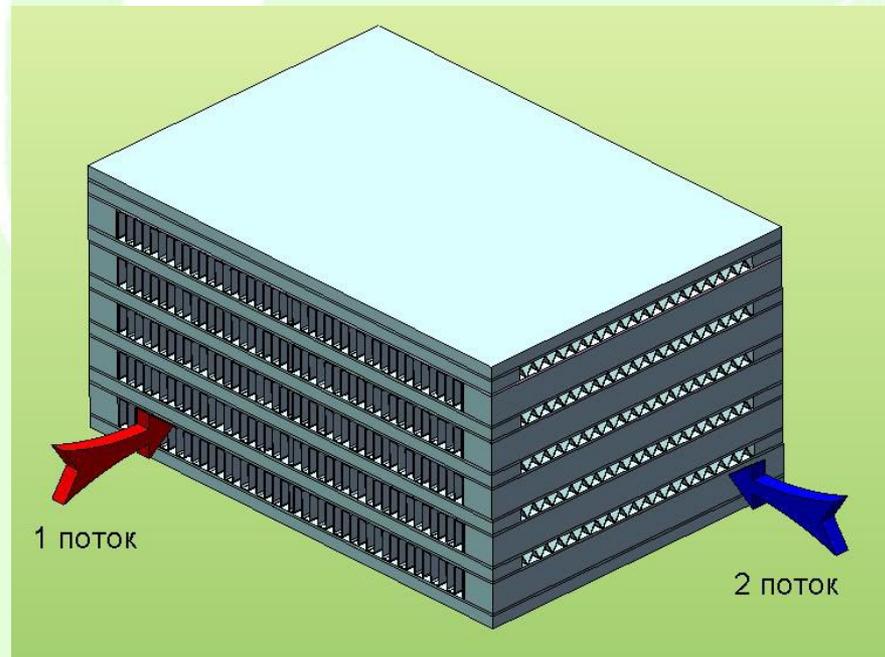
- Криогенная и холодильная техника
- Компрессоростроение
- Нефтепереработка
- Газовая промышленность, в т.ч. газопереработка
- Химическое и нефтехимическое производство
- Железнодорожный транспорт
- Авиация и космическая техника
- Оборонная техника
- Энергетика
- Силовая электроника, светодиодная техника

## 2.1. Конструкция и технология изготовления

Основа ПРТ – жесткая и прочная цельнопаяная матрица

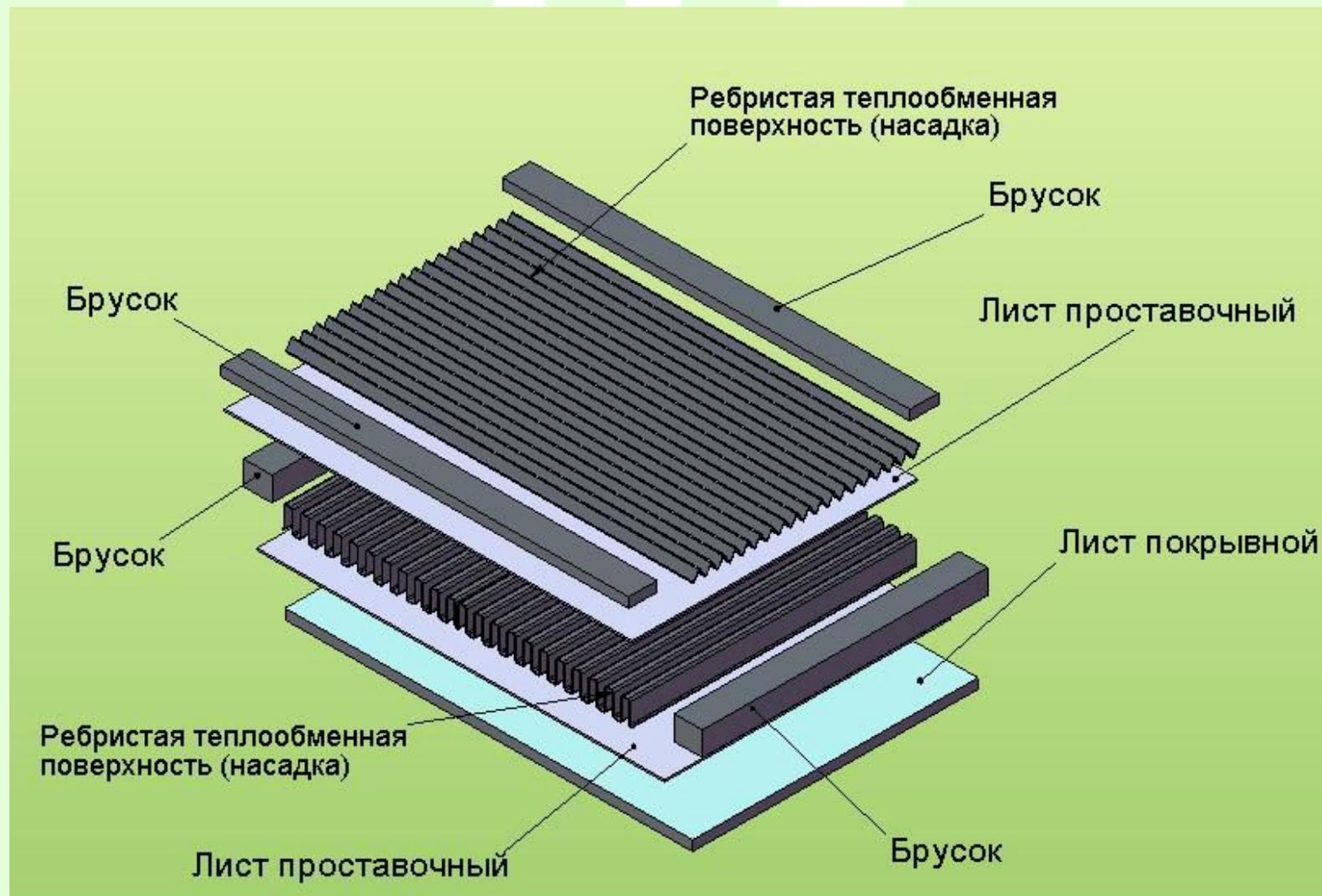


Противоточная схема движения потоков



Перекрестноточная схема движения потоков

## Структурная схема внутреннего устройства теплообменной матрицы ПРТ:



## 2.2. Основные характеристики пластинчато-ребристых теплообменников (ПРТ)

### 1. Материалы

а) Матрица ПРТ изготавливаются из тонколистовых материалов (толщины от 0,15 до 2,6 мм и более) из алюминиевых сплавов марок АМцМ, А5.

Проставочные листы имеют двустороннюю плакировку легкоплавким силуминовым припоем.

б) Элементы коллектирования ПРТ изготавливаются из алюминиевых сплавов марок АМг3, АМг5 и др.

в) Присоединительные элементы изготавливаются из алюминиевых сплавов или выполняются стальными (с защитными покрытиями).

Плотность алюминиевых сплавов – 2700 кг/м<sup>3</sup>, что 2,9 раза ниже плотности сталей (7800 кг/м<sup>3</sup>), что одновременно с применением тонколистовых конструкций делает ПРТ существенно легче своих аналогов.

## 2. Каналы теплообменников

Движение каждого потока организовано через систему параллельно работающих слоёв, сколлектированных вместе.

### а) размеры каналов

Каждый слой состоит из системы каналов с гидравлическим диаметром, подбираемым под конкретную задачу.

Диапазоны применяемых диаметров каналов от 1,0 до 5,0 мм.

### б) компактность

Компактности теплообменных поверхностей ПРТ, соответствующие указанным выше диаметрам каналов, находятся в диапазоне от 800 до 4000 м<sup>2</sup> поверхности в 1м<sup>3</sup> свободного объема каналов.

# Диапазоны рабочих параметров потоков для ПРТ из алюминиевых сплавов

## Давления

Диапазон расчетных давлений: от вакуума до 12,0 МПа (120 бар)

## Температуры

Диапазон расчетных температур: от минус 269°С до плюс 180 (200) °С

## Теплоносители

Жидкие, газообразные, парожидкостные смеси, не приводящие к коррозии алюминиевых сплавов

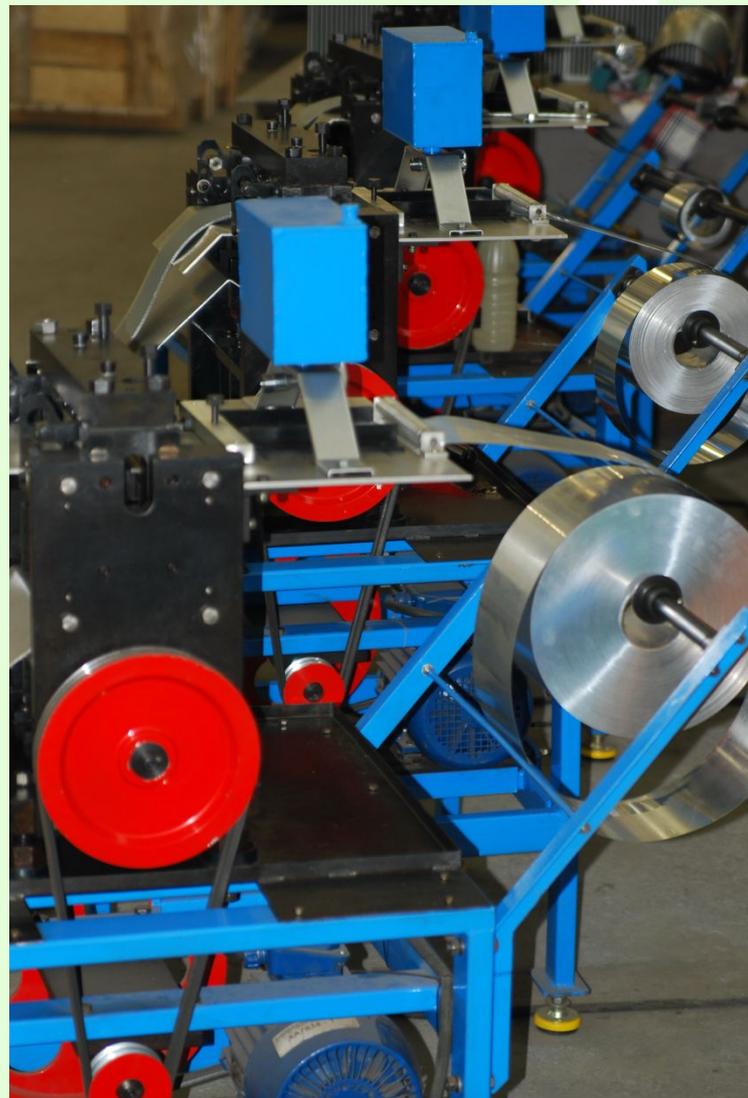
## Чистота потоков

Теплообменивающиеся потоки должны быть свободны от механических включений. Применение фильтров с размером ячеек сита 177 мкм подходит для большинства процессов с участием газов.

## Описание процесса изготовления ПРТ

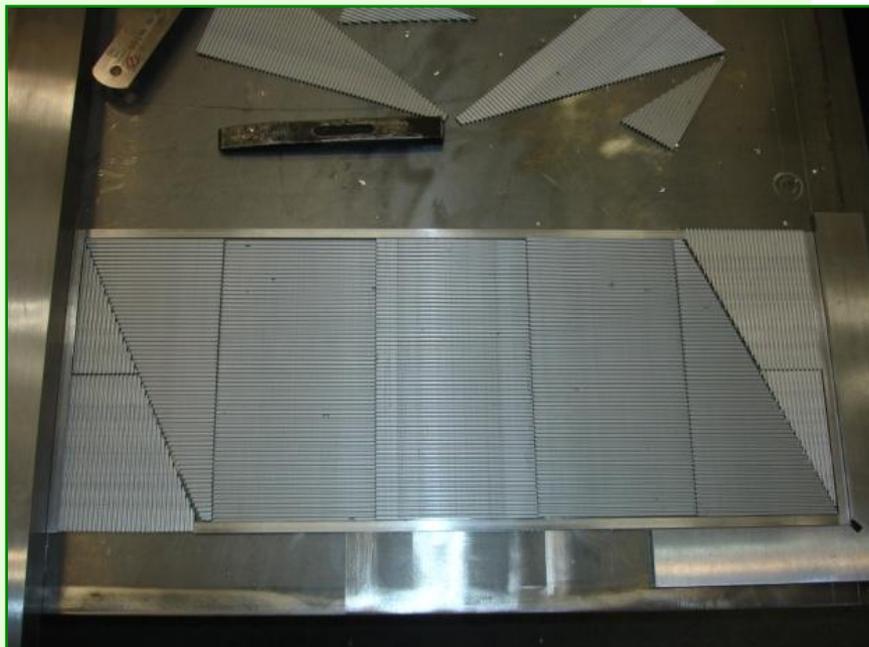
Ребристая насадка изготавливается из фольговых материалов методом прецизионной штамповки-гибки. В качестве проставочных листовых используется выпускаемый промышленностью плакированный листовой прокат. Бруски изготавливаются прецизионной прокаткой. Соединение элементов в жесткий цельнометаллический пакет осуществляется методом автоматической бесфлюсовой вакуумной пайки после соответствующей химической подготовки поверхности паяемых деталей. При пайке пакета образуются паяные швы весьма большой протяженности между листами и насадкой с одной стороны и листами и брусками с другой стороны. Необходимым условием достижения высокого качества паяных швов является соблюдение жесткой системы допусков сопрягаемых деталей. Спаянный пакет подвергается опрессовке с целью проверки качества паянных соединений. Присоединение коллекторов к пакету производится аргонно-дуговой сваркой. Далее производятся окончательные проверки теплообменника на прочность и герметичность, а также иные необходимые проверки и испытания.

## ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»



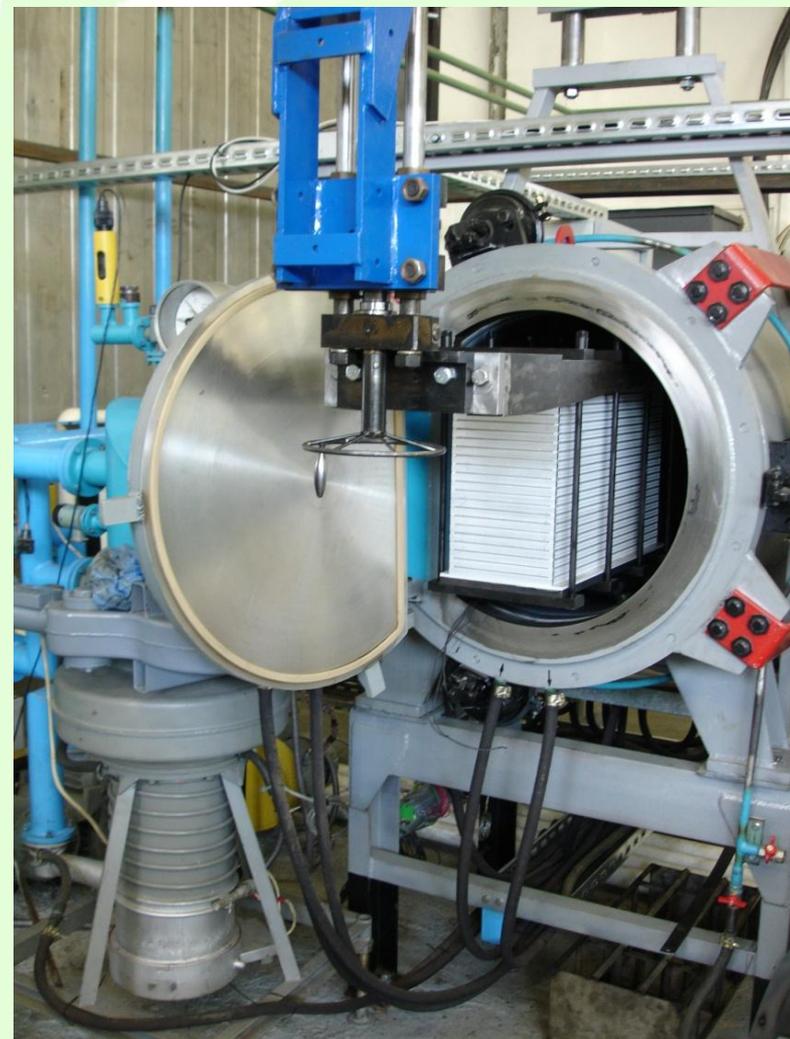
Оборудование для гофрирования вторичных поверхностей (насадок)

## Элементы основного технологического процесса



Контрольная сборка канала противоточного теплообменника  
перед пайкой

## ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»



Загрузка пакета в вакуумную печь

## ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»



Установка для вакуумной пайки пакетов длиной до 3 м.

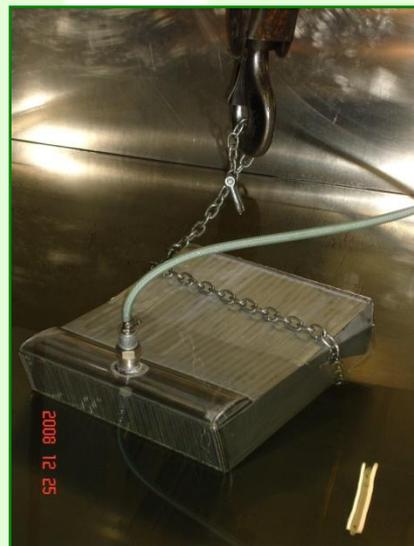
## Элементы основного технологического процесса



Теплообменная матрица с готовым для приварки коллектором с патрубком



Сварочный процесс



Процесс испытания теплообменника



Таким образом, производство ПРТ требует наличия современной высокоразвитой технологической базы. Это, прежде всего, автоматическая высокотемпературная бесфлюсовая вакуумная пайка и наличие высоковакуумного оборудования, обеспечивающего в крупногабаритном вакуумном рабочем пространстве равномерное температурное поле (отклонение не более 5 °С), обеспечение вакуумной гигиены производства; это прецизионная штамповка и прокатка. Достаточно сказать, что допуск в размерах многочисленных сопрягаемых деталей не должен превышать 30 – 40 мкм; высокие требования предъявляются к аргонодуговой сварке и сварочному оборудованию.

Отсутствие такого производства тормозило внедрение ПРТ в отечественной промышленности.

В СССР изготавливались трубчатые теплообменники различного типа конструкции в цехах котельно-медницкого типа. Так делается и до сих пор. В некоторых отраслях ВПК, в частности в авиации, производились ПРТ небольших размеров, требуемых для транспортной техники.

## 3. Преимущества ПРТ

Остановимся кратко на теоретических основах, позволяющих выявить основные преимущества ПРТ.

### 3.1. Теоретические основы

Теплопередача - сложный процесс. Ее результат определяется действием частных процессов: конвективным теплообменом или теплообменом при изменении агрегатного состояния при взаимодействии потоков со стенками теплообменника и теплопроводностью элементов конструкции теплообменника. В инженерных расчетах, в соответствии с классической теорией теплопередачи для простейшего случая двухпоточного теплообменника, интенсивность процесса определяется с помощью коэффициента теплопередачи, который для передачи тепла от одного потока к другому через разделяющую их стенку теплообменника при отсутствии загрязнений на стенках, определяется по формуле

$$k_1 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1 \cdot \eta_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{см}} \cdot \frac{F_1}{F_{см}} + \frac{1}{\alpha_2 \cdot \eta_2} \cdot \frac{F_1}{F_2}} \quad (1),$$

где

$k_1$  – коэффициент теплопередачи, отнесенный к поверхности потока 1;

$\alpha_1$  и  $\alpha_2$  - коэффициенты теплоотдачи в потоках 1 и 2 характеризуют интенсивность конвективного теплообмена или теплообмена при изменении агрегатного состояния;

$\eta_1$  и  $\eta_2$  - КПД ребра характеризуют передачу тепла теплопроводностью по ребрам поверхностей в потоках 1 и 2 ;

$F_1/F_2$  - отношение величин теплообменной поверхностей,  $F_1/F_{ст}$  – отношение величин поверхностей потока 1 и разделяющей стенки;

$\lambda_{ст}$  - коэффициент теплопроводности стенки;

$\delta_{ст}$  – толщина стенки.

### 3.1.1. Теплоотдача в каналах

Теплоотдача со стороны каждого потока определяется формой и размерами элементов обтекания теплообменной поверхности. Геометрические параметры теплообменных поверхностей определяются следующими соотношениями:

- гидравлический диаметр поверхности  $d_r$ , в частном случае, при течении внутри труб гидравлический диаметр равен геометрическому внутреннему диаметру трубы;

- компактность теплообменной поверхности  $\beta$ , т.е. величина теплообменной поверхности в единице занимаемого ею свободного объема,  $d_r$  и  $\beta$  связаны соотношением

$$d_r = 4/\beta \quad (2);$$

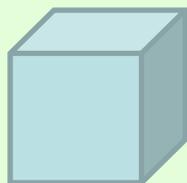
- пористость поверхности  $p$ , т.е. отношение свободного объема (объема пустот) к полному объему, занимаемому поверхностью;

- удельная поверхность  $\psi$ , т.е. величина теплообменной поверхности в единице полного занимаемого ею объема,  $\beta$  и  $\psi$  связаны соотношением

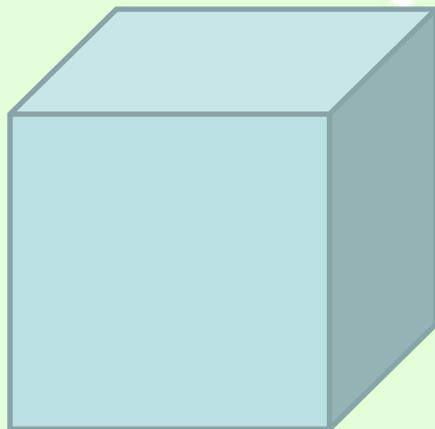
$$\beta = p \cdot \psi \quad (3).$$

Исторически в технике вначале появились трубчатые теплообменные поверхности из гладких прямых и витых труб и из труб с различным оребрением. Позже появились пластинчато-ребристые поверхности большого разнообразия размеров и формы.

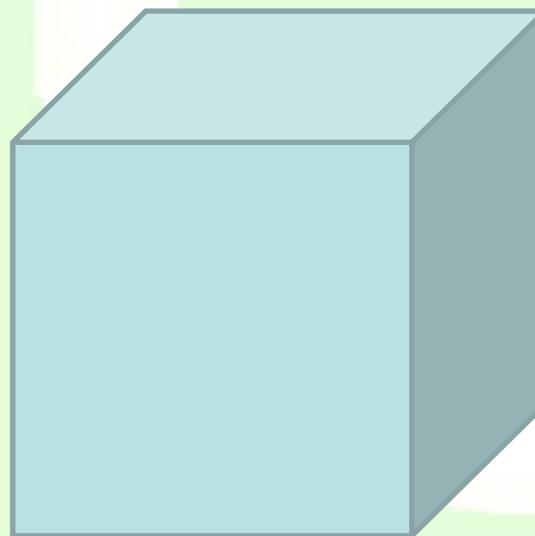
Влияние компактности на габариты теплообменника поясняется рис.  
 (...)



а) 4000 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>  
 (ПРТ)



б) 215 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>  
 (трубчатый ТО)



в) 107 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>  
 (трубчатый ТО)

Интенсивность теплоотдачи в безразмерной форме характеризуется критериями Нуссельта  $Nu$  или Стантона  $St$ :

$$Nu = \alpha \cdot d_r / \lambda \quad (4);$$

$$St = \alpha \cdot w \cdot c_p \quad (5),$$

где

$\lambda$  и  $c_p$  – коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость при постоянном давлении теплообменивающегося потока;

$w$  – линейная скорость его течения.

Зависимости  $Nu$  и  $St$  от режима течения определяются экспериментальным исследованием. В этих исследованиях находится и зависимость коэффициента сопротивления  $f$  или критерия Эйлера  $Eu$ , величин, необходимых для расчета гидравлического сопротивления поверхности.

При ламинарном течении известны теоретические решения, в частности Грэтца-Нуссельта, в соответствии с которыми критерий Нуссельта есть постоянная величина, а коэффициент сопротивления линейно зависит от  $1/Re$

$$Nu = A = \text{const} \quad (6),$$

$$f = B/Re \quad (7),$$

где константы  $A$  и  $B$  зависят от формы поперечного сечения канала.

Формулы (6-7) неоднократно подтверждена практикой.

### 3.3. Оптимальный выбор эффективных поверхностей для двухпоточного теплообменника

«Какая из множества поверхностей наиболее эффективна для того или иного случая?» – постоянно решаемый вопрос при разработке теплообменника.

Для этого существует достаточно много методик сравнения различных авторов, начиная с академика Кирпичева, которые не дают ответа на вопрос об оптимальном выборе поверхности в теплообменнике, а только определяют сравнительную эффективность той или иной поверхности.

Из теории теплопередачи, например между двумя теплоносителями, известно, что общее термическое сопротивление складывается из частных термических сопротивлений на стороне каждого из теплоносителей. Подобно тому, как, в соответствии с законом Ома, общее сопротивление цепи равно сумме сопротивлений последовательно соединенных проводников, в общем случае имеющих разные сопротивления. Если мы хотим снизить сопротивление цепи, то нет смысла уменьшать сопротивление проводника, имеющего меньшее сопротивление. В этом случае общее сопротивление цепи будет определяться, в основном, сопротивлением второго проводника и практически не уменьшится. Также и в теплопередаче.

В конструкции теплообменника следует стремиться обеспечить по возможности низкие значения частных термических сопротивлений, и при этом желательно, чтобы они были близкими по значению, как бы уравновесились. В этом случае обеспечивается по возможности низкое значение общего термического сопротивления теплопередаче, что ведет к уменьшению габаритных размеров теплообменника. Т.е. важным вопросом является оптимальный выбор поверхностей для каждого из теплообмениваемых потоков: масла, воды, антифриза или газа; при конвективном теплообмене или теплообмене с изменением агрегатного состояния. В ПРТ этот вопрос принципиально решается просто. Для каждого из потоков, характеризующихся различными теплофизическими свойствами, давлением, температурным перепадом, допускаемым гидравлическим сопротивлением, условиями процесса, подбирается ребристая насадка соответствующего типоразмера (различная форма каналов, шаг, высота и толщина ребер).

## 3.1.2. Теплопроводность элементов конструкции

Здесь следует особо остановиться на теплопроводности в поперечном сечении и теплопроводности по длине теплообменника.

### 3.1.2.1. О влиянии распределения температур в поперечном направлении

Особенностью ребра ПРТ является одновременный контакт ребра с двумя, а не одной поверхностями, что отличает его от ребер трубчатых теплообменников. В этом случае (т.е. при таких граничных условиях) уравнение распределения температур в ребре принимает следующий вид

$$\theta = \frac{\theta'' \operatorname{sh} mx + \theta' \operatorname{sh} [m(l-x)]}{\operatorname{sh} ml} \quad (8),$$

где

$\theta$  – избыточная текущая температура по длине ребра,

$\theta'$ ,  $\theta''$  – избыточные текущие температуры в начале и в конце ребра, равные избыточным температурам соответствующих стенок,

$m$  – параметр ребра,

$l$  – длина ребра (от стенки до стенки).

Для тонких ребер (какими являются ребра ПРТ) параметр ребра  $m$  определяется по формуле

$$m = \sqrt{\frac{2\alpha}{\lambda_m \delta_p}} \quad (9),$$

где

$\alpha$  – коэффициент теплоотдачи в потоке, омывающем ребро,

$\lambda_m$  – коэффициент теплопроводности материала ребра,

$\delta_p$  – толщина ребра.

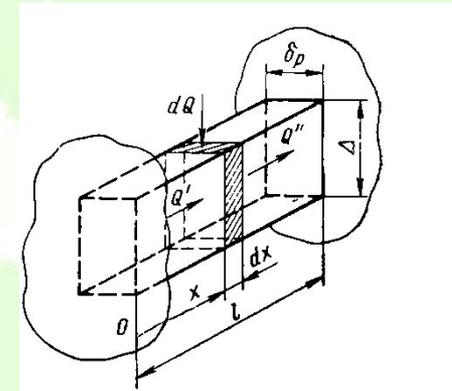


Рис. Ребро ПРТ

Анализ уравнения (8) позволяет выявить интересные для практических расчетов соотношения и положения. Разделение ребра на части, работающие на каждую стенку теплообменника, произойдет в том его сечении, где производная избыточной температуры по длине ребра примет нулевое значение. В частном случае двухпоточного теплообменника (симметричные граничные условия)  $l_p = l/2$  и КПД ребра вычисляется по формуле

$$\eta_p = \frac{\text{th} \frac{ml}{2}}{\frac{ml}{2}} \quad (10),$$

При многопоточном теплообмене длина ребра, работающего на одну стенку, может изменяться

от 0 до  $l$  и может быть переменной в каждом поперечном сечении теплообменника.

Таким образом, в многопоточном ПРТ, в отличие от трубчатых конструкций, соотношение поверхностей по длине теплообменника является переменным.

На рис. (...) представлена эпюра

распределения температурных напоров в поперечном сечении трехпоточного теплообменника.

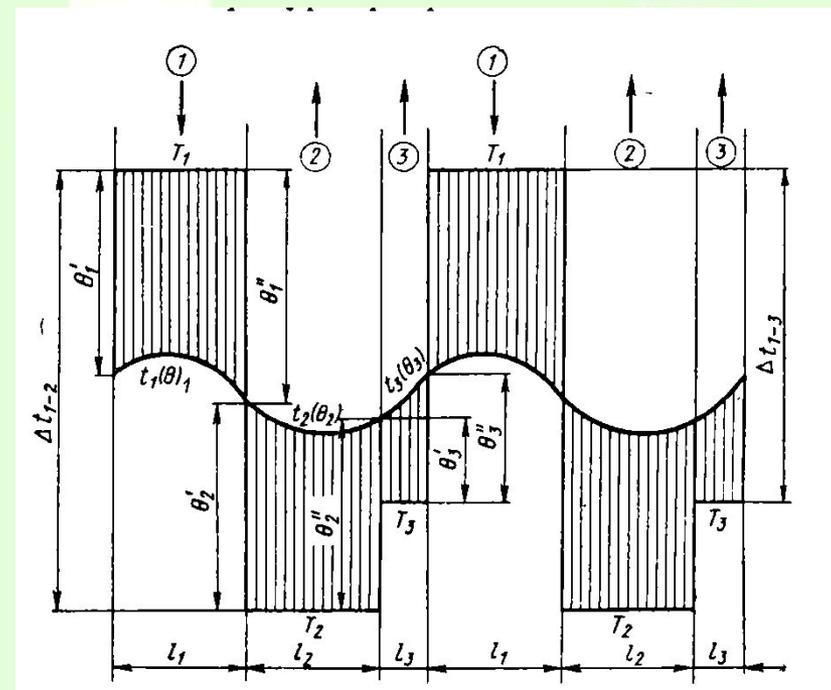


Рис. Эпюра температурных напоров «стенка-поток» в поперечном сечении трехпоточного ПРТ

### 3.1.2.2. Продольная теплопроводность конструкции

В теплообменниках, которые должны работать с высокими температурными КПД (степенью регенерации)  $\epsilon = 0,95 \dots 0,98$  при равных значениях водяных эквивалентов по обоим потокам, особенно в теплообменниках низкого давления с низкими значениями допустимого гидравлического сопротивления, важную, иногда определяющую роль играет продольная теплопроводность конструкции. Так для решения некоторых задач теплопередачи были изобретены матричные или сетчатые теплообменники (дальнейшее развитие идеологии ПРТ), в которых реализована очень высокая компактность в пакете с анизотропной теплопроводностью конструкции: максимальной в поперечном сечении и минимальной по длине теплообменника. В ПРТ из алюминиевых сплавов по монолитному пакету тепло перетекает с теплого конца теплообменника на его холодный конец, ухудшая рассчитанные результаты конвективного теплообмена.

Отрицательная роль продольной теплопроводности конструкции иллюстрируется примером, представленном на следующем рис. (.....)

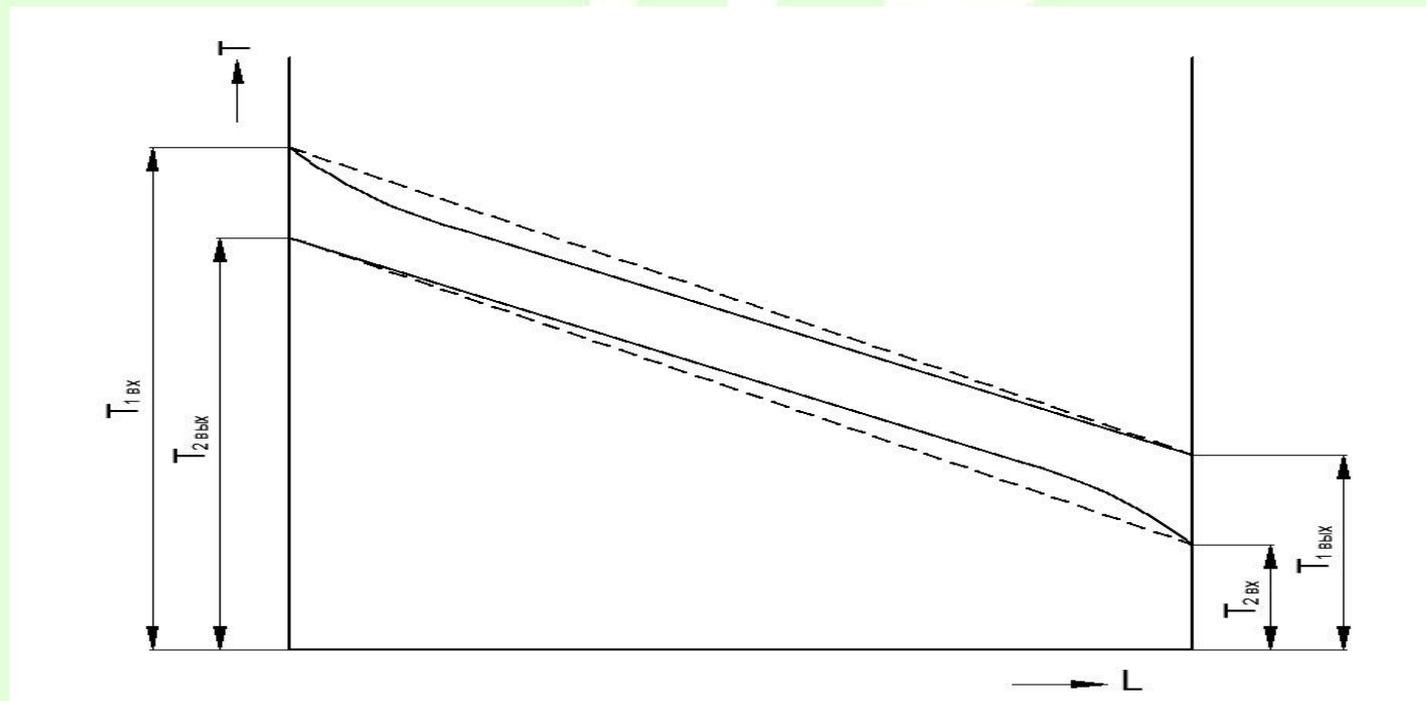


Рис. Распределение температур по длине противоточного сбалансированного теплообменника.

\_\_\_\_\_ с учетом продольной теплопроводности  
 ----- без учета продольной теплопроводности

Поэтому при разработке конкретного высокоэффективного противоточного ПРТ нельзя пренебрегать продольной теплопроводностью конструкции, как это делается в классической теплопередаче, а габаритные размеры определять с учетом анализа температурных полей по длине теплообменника.

Это в той или иной степени относится к созданию высокоэффективных противоточных теплообменников других типов конструкции.

### 3.1.3. Многопоточный теплообмен.

Конструкция ПРТ такова, что в них достаточно просто организовать теплообмен не только между двумя потоками, но и между несколькими потоками одновременно, чередуя тем или иным способом расположение каналов в пакете. При этом возможны разные варианты чередования. Например, в ПРТ в теплообмене должны находиться пять потоков с номерами соответственно от 1 до 5. Возможно чередование каналов в поперечном сечении пакета 1-2-3-4-5, или 1-2-3-1-2-4-1-2-5 и т. д., все зависит от расходов, давлений, допускаемых гидравлических сопротивлений и других определяющих теплообмен условий. При этом для каждого потока в соответствии с условиями его теплообмена выбирается эффективная теплообменная поверхность (ребристая насадка) при соблюдении оптимального соотношения между этими поверхностями, как было показано выше на простейшем примере двухпоточного теплообменника. При рассмотрении условий работы ребра в ПРТ нами было показано, что длина ребра, работающего на каждый поток, в зависимости от условий теплообмена может изменяться по длине теплообменника, т.е. может изменяться соотношение поверхностей по длине ПРТ. При этом вырождаются и теряют смысл такие основные понятия классической теплопередачи как коэффициент теплопередачи и средний температурный напор между потоками.

## 3.2. Основные преимущества

### 3.2.1. Высокая компактность поверхностей

Из теории конвективного теплообмена известно, что чем меньший размер гидравлического диаметра теплообменной поверхности (или чем выше ее компактность), тем выше интенсивность теплообмена, характеризуемая обычно величиной коэффициента теплоотдачи, т.е. тем меньше требуется величина теплообменной поверхности, необходимой для осуществления заданного теплосъема. Поясним это коротким примером. При ламинарном течении теплоносителя, характеризуемом низким значением критерия Рейнольдса вследствие малых значений гидравлического диаметра (или высокой компактности), в соответствии с теоретическим решением Грэца-Нуссельта, величина критерия Нуссельта есть величина постоянная (см. формулы (4), (6)). Из этого простого соотношения видно, чем меньший гидравлический диаметр (высокую компактность) удастся реализовать в аппарате, тем большим будет коэффициент теплоотдачи, т.е. тем большей интенсивностью будет характеризоваться процесс теплообмена между теплоносителем и стенкой теплообменника.

### 3.2.2. Оптимальное соотношение поверхностей

В ПРТ, как было указано выше, возможно осуществить оптимальное соотношение теплообменных поверхностей участвующих в теплообмене потоков.

В трубном пространстве трубчатых теплообменников, особенно в трубах малого диаметра, трудно себе представить размещение какого либо интенсифицирующего оребрения, оптимального для каждой конкретной задачи.

Второе преимущество ПРТ – возможность оптимального выбора поверхностей для каждого теплообменивающегося потока, что также приводит к уменьшению габаритных размеров аппарата.

## Высокая компактность ПРТ существенно уменьшает размеры холодного блока



Холодный блок на основе трубчатого витого ТОА

Холодный блок на основе ПРТ

На фотографии справа изображены два холодных блока **ОДИНАКОВОЙ** производительности компании **Linde** завода сжижения ПГ для устранения пиковых нагрузок в Южной Африке

### **3.2.3. Многопоточный теплообмен**

Конструкция ПРТ такова, что в нем одновременно могут теплообмениваться несколько потоков (многопоточный теплообмен) с оптимальным выбором поверхностей для каждого из потоков, что позволяет в различных установках осуществлять компактные компоновочные решения.

Третье преимущество ПРТ – возможность многопоточного теплообмена и осуществления компактных компоновочных решений.

### **3.2.4. Прочность ПРТ**

Высокая компактность теплообменных поверхностей в ПРТ позволяет решать и вопросы прочности. Монолитный спаянный пакет ПРТ представляет собой сотовую конструкцию. Несмотря на то, что при изготовлении ПРТ используются тонколистовые и фольговые материалы из алюминиевых сплавов, и каналы в ПРТ имеют плоские стенки, ввиду малых размеров поперечного сечения каждого канала, образованного ребристой насадкой, припаянной к проставочным листам, теплообменник может работать при достаточно высоких давлениях.

Конструкция ПРТ характеризуется также и высокой вибропрочностью, что подтверждено испытаниями образцов ПРТ, изготовленных для ОАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С.П. Королёва».

Четвертое преимущество ПРТ - высокая прочность, несмотря на использование тонколистовых и фольговых материалов из алюминиевых сплавов.

### **3.2.5. Низкая металлоемкость ПРТ**

Малые габаритные размеры компактных ПРТ и изготовление их из тонколистовых и фольговых материалов из алюминиевых сплавов делают ПРТ достаточно легкими аппаратами; их масса по сравнению трубчатыми аналогами уменьшается в 7 – 10 раз. Это показала, в том числе, и НИОКР, выполненная проектным институтом ОАО «НИПИгазпереработка». Такое снижение массы значительно упрощает фундаменты и строительномонтажные работы.

### **3.2.6. Незабиваемость воздушных полостей ПРТ в АВО**

Применительно к аппаратам воздушного охлаждения («АВО») следует упомянуть о важном для эксплуатации преимуществе ПРТ по сравнению с трубчато-ребристыми теплообменниками - незабиваемость воздушных полостей, что подтверждено многолетней промышленной эксплуатацией АВО с ПРТ.

## АВО на базе ПРТ

В течение 2009-2011 гг. проведена совместная работа ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ» и ОАО «НИПИгазпереработка» по применению пластинчато-ребристого теплообменного оборудования в технологических объектах ЗАО «Сибур Холдинг» в объеме технико-коммерческих предложений<sup>1)</sup> по соответствующим запросам<sup>2)</sup>.

В качестве примера, иллюстрирующего целесообразность применения в аппаратах воздушного охлаждения (АВО) на базе ПРТ различных установок ЗАО «Сибур Холдинг», приведена выдержка из письма ОАО «НИПИгазпереработка» от 30.03.2010 г.

### Примечание:

1)Номера исходящих писем от ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»: 177/ИЖ-09 от 24.11.09; 181/С-09 от 27.11.09; 001/С-10 от 11.01.10; 030/С-10 от 10.03.10; 062/С-10 от 02.06.10; 016/С-11 от 18.02.11.

2)Номера исходящих писем от ОАО «НИПИгазпереработка» в ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»: Вх. 272 от 20.11.09; Вх. 277 от 03.12.09; Вх. 001 от 11.01.10, Вх. 005 от 22.01.10, Вх. 034 26.02.10, Вх. 065 от 05.05.10, Вх. 025 от 10.02.11

## Выдержка из письма ОАО «НИПИгазпереработка» от 30.03.2010 г.:

Поз. по схеме	Тип АВО	Общий расход энергии на приводы вентиляторов, кВт	Габаритные размеры, LxВ, мм	Кол-во аппаратов, шт.	Площадь, занимаемая блоком аппаратов <sup>1)</sup> (ориентировочно) м <sup>2</sup>	Масса одного аппарата, кг	Стоимость одного аппарата (без НДС), тыс. руб.	Общая стоимость аппаратов (без НДС), тыс. руб.
<b>ВХ-1</b> (охлажденное отбензиненного газа)	Традиционный (оребранный), тип АВГ	118	8800x4200	2	74	23 500	4 700 <sup>2)</sup>	<b>9 400</b>
	Пластинчатый, на базе алюминиевого ПРТ	60	8000x4000	1	32	8 000	9 740	<b>9 740</b>
<b>ВХ-2</b> (конденсация верхних паров стабилизатора)	Традиционный (оребранный), тип АВГ	118	8500x4200	2	71	21 700	4 350 <sup>2)</sup>	<b>8 700</b>
	Пластинчатый, на базе алюминиевого ПРТ	60	8000x4000	1	32	8 000	9 740	<b>9 740</b>
<b>Т-309</b> (охлажденное ШФЛУ) в установке НТК	Традиционный (оребранный), тип АВГ-КБ	58	8500x3100	2	53	16 300	4 100 <sup>2)</sup>	<b>8 200</b>
	Традиционный (оребранный), тип АВГБ	62	12300x3500	2	86	19 200	3 900 <sup>2)</sup>	<b>7 800</b>
	Пластинчатый, на базе алюминиевого ПРТ	60	8000x4000	1	32	8 000	9 740	<b>9 740</b>

### Примечания:

1) Без учета площадей, необходимых для обвязки, монтажа и обслуживания воздушных холодильников;

2) При расчете стоимости аппаратов принимались усредненные удельные стоимости аппаратов материального исполнения Б1 по данным заводов-изготовителей на начало . (без учета стоимости АСУ).

## Выдержка из письма ОАО «НИПИгазпереработка» от 30.03.2010 г.:

«Необходимо отметить, что специально для проведения данного сравнения нами были запрошены у заводов-изготовителей (Спецнефтехиммаш (г. Воронеж), Пензхиммаш) ориентировочные удельные стоимости оребренных АВО....

Как видно из таблицы, для указанных технологических позиций:

1. **Стоимости АВО пластинчатого типа находятся на уровне**, а в некоторых случаях выше (до 25 %) стоимостей оребренных аппаратов материального исполнения Б1\*.
2. **Потребление электроэнергии воздушных холодильников пластинчатого типа в ~ 2 раза ниже**, чем у традиционных АВО типа АВГ и находятся на уровне потребления электроэнергии комплектно-блочными аппаратами.
3. **Габаритные размеры воздушных холодильников пластинчатого типа на 40-60% ниже габаритов традиционных АВО**, что предопределяет соответственное снижение стоимости строительно-монтажных работ (особенно это касается технологической позиции ВХ-2, т.к., в соответствии с проектом, конденсатор установлен на этажерке).
4. **Массы воздушных холодильников пластинчатого типа в 4-6 раз ниже** масс (суммарных для каждой технологической поз.) оребренных АВО.

Примечание: \* - Материальное исполнение - углеродистая сталь.

Таким образом, **дальнейшая работа по определению возможности использования АВО на базе ПРТА в технологических схемах переработки ПНГ представляется целесообразной ...»**

В 2011 г. в ОАО «НИПИгазпереработка» для ООО «СИБУР» по договору №СХ.8121 от 01.09.2010 г. был выпущен отчет «Исследование в области повышения эффективности и производительности технологического оборудования объектов ЗАО «Сибур Холдинг», в котором нашло отражение перспективности применения ПРТ и АВО на их основе.

Достоинства АВО на базе ПРТ были оценены в ОАО «Газпром», что позволило перейти начиная с 1994 г. на закупки АВО масла на базе ПРТ отечественного производства, имеющих существенно более высокие технико-экономические показатели по сравнению с АВО традиционных трубчатых конструкций.

Переход на АВО масла на базе ПРТ позволил отказаться ОАО «Газпром» от закупок по импорту АВО масла венгерского производства.

Многолетняя эксплуатация АВО масла на базе ПРТ отечественного производства показала их высокую надежность в различных климатических условиях России и устойчивость к загрязнению воздушных полостей в отличие от АВО на базе трубчатых оребренных теплообменников, межтрубное пространство которых склонно к загрязнению и требует периодической очистки.

Достоинства АВО на базе ПРТ были оценены в ОАО «Газпром», что позволило перейти начиная с 1994 г. на закупки АВО масла на базе ПРТ отечественного производства, имеющих существенно более высокие технико-экономические показатели по сравнению с АВО традиционных трубчатых конструкций.

Переход на АВО масла на базе ПРТ позволил отказаться ОАО «Газпром» от закупок по импорту АВО масла венгерского производства.

Многолетняя эксплуатация АВО масла на базе ПРТ отечественного производства показала их высокую надежность в различных климатических условиях России и устойчивость к загрязнению воздушных полостей в отличие от АВО на базе трубчатых оребренных теплообменников, межтрубное пространство которых склонно к загрязнению и требует периодической очистки.

Специалистами ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ» накоплен богатый опыт по созданию и внедрению АВО на базе ПРТ, а производственные мощности компании позволят решить проблему перехода на такие АВО.

## 4. Продукция, реализованная ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛОБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»



Однопоточный ПРТ для дыхательного прибора



Перекрёстноточные ПРТ для компрессорной установки



Противоточный ПРТ для криорефрижератора (подготовка к процессу испытания)

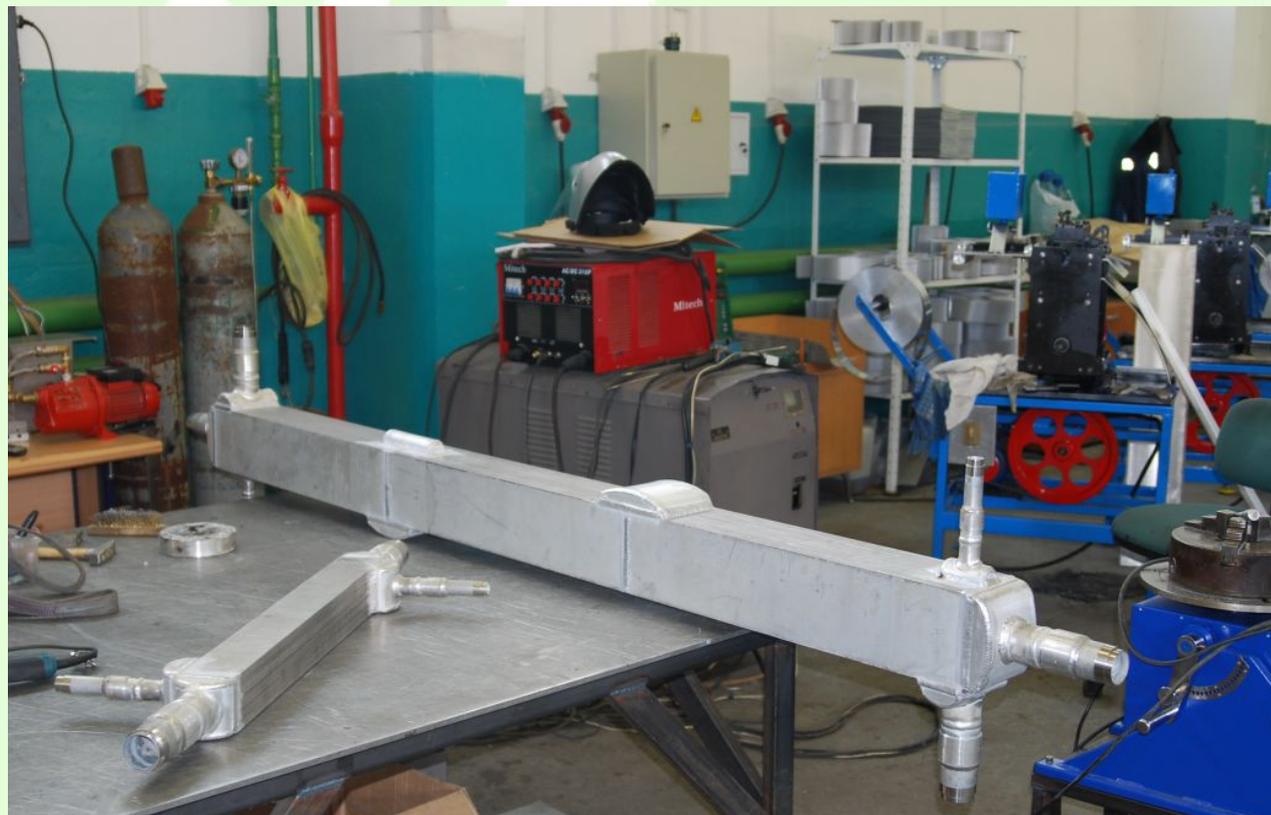


Трёхсекционный перекрестноточный ПРТ

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)

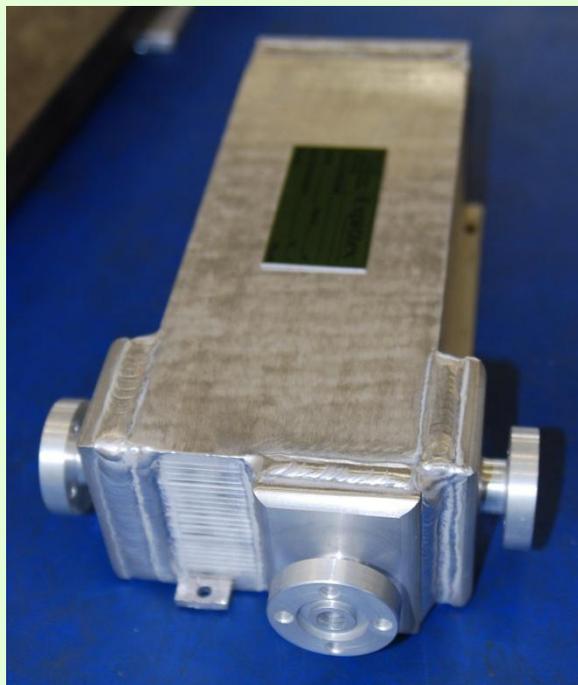


Трёхпоточный  
противоточный ПРТ



Противоточные ПРТ для  
установки разделения редких  
газов

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



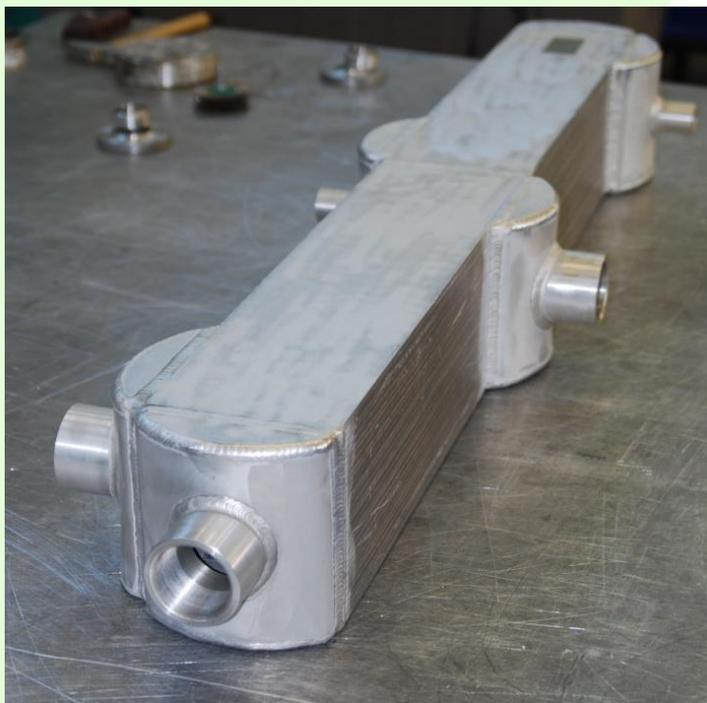
Аммиачные испарители для охлаждения антифриза:  
 испытаны на стенде Заказчика на вакуумную плотность, вибропрочность и на  
 соответствие жестким требованиям ТТЗ. **Достигнуто снижение массы в 4 раза по  
 сравнению с применяемым ПРТ у Заказчика.**

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



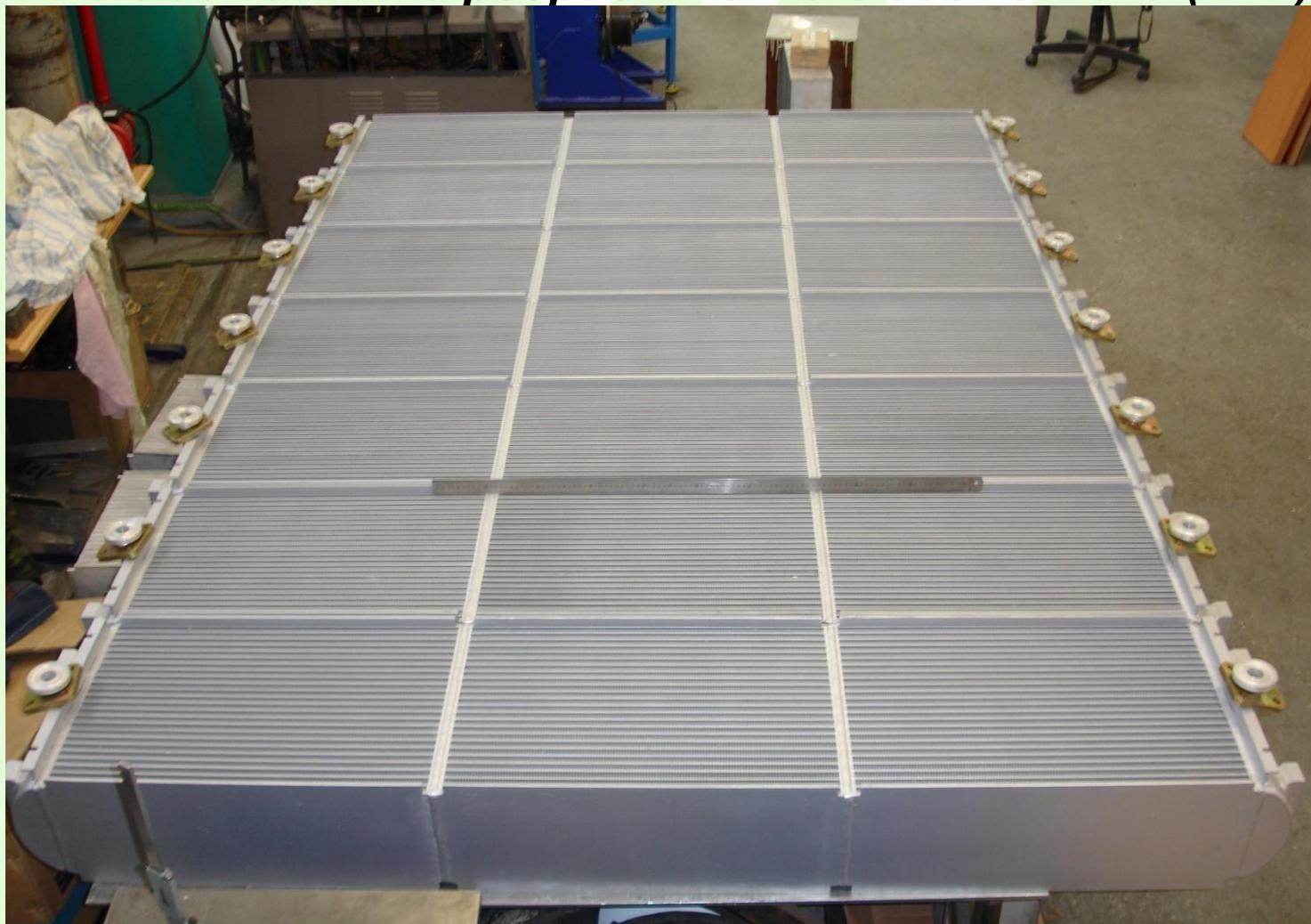
Блок промежуточных и концевого ПРТ - жидкостных холодильников трехступенчатого центробежного неоновового компрессора установки высокотемпературной сверхпроводимости (**работа удостоена Правительственной Премии в области техники**)

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



Конденсатор тяжелых фракций попутного нефтяного газа,  
эксплуатируемый в составе установки подготовки топливного газа

## **Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)**



Модульный теплообменник воздушного охлаждения масла мобильной компрессорной установки (560 кВт, 1,5 МПа)

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)

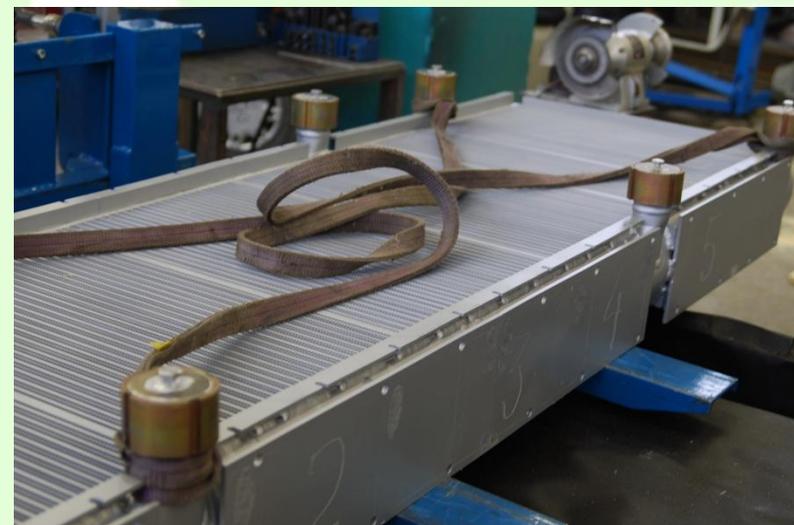


Комбинированный ПРТ для охлаждения масла, сжатых воздуха и азота для мобильной компрессорной азотной установки

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)

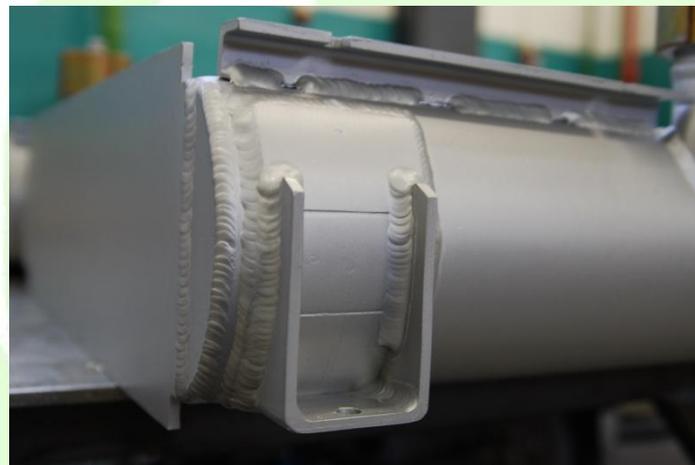
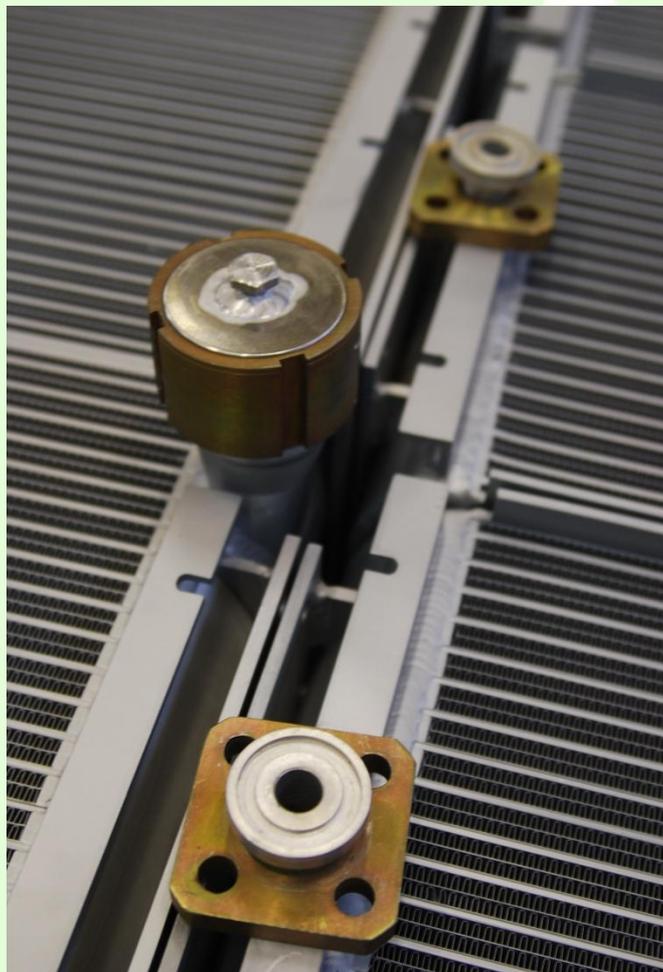


Модули ПРТ для воздушного охлаждения масла (2,5 МПа, 190 кВт)



Модуль ПРТ для охлаждения сжатого воздуха (1,5 МПа, 45 кВт), сжатого азота (2,5 МПа, 22 кВт)

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



Элементы комбинированного теплообменника

## ***Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)***



Применение ПРТ в передвижных компрессорных станциях (ПКС) ОАО «УКЗ»  
(г. Екатеринбург) для нужд ОАО «АК «Транснефть»

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



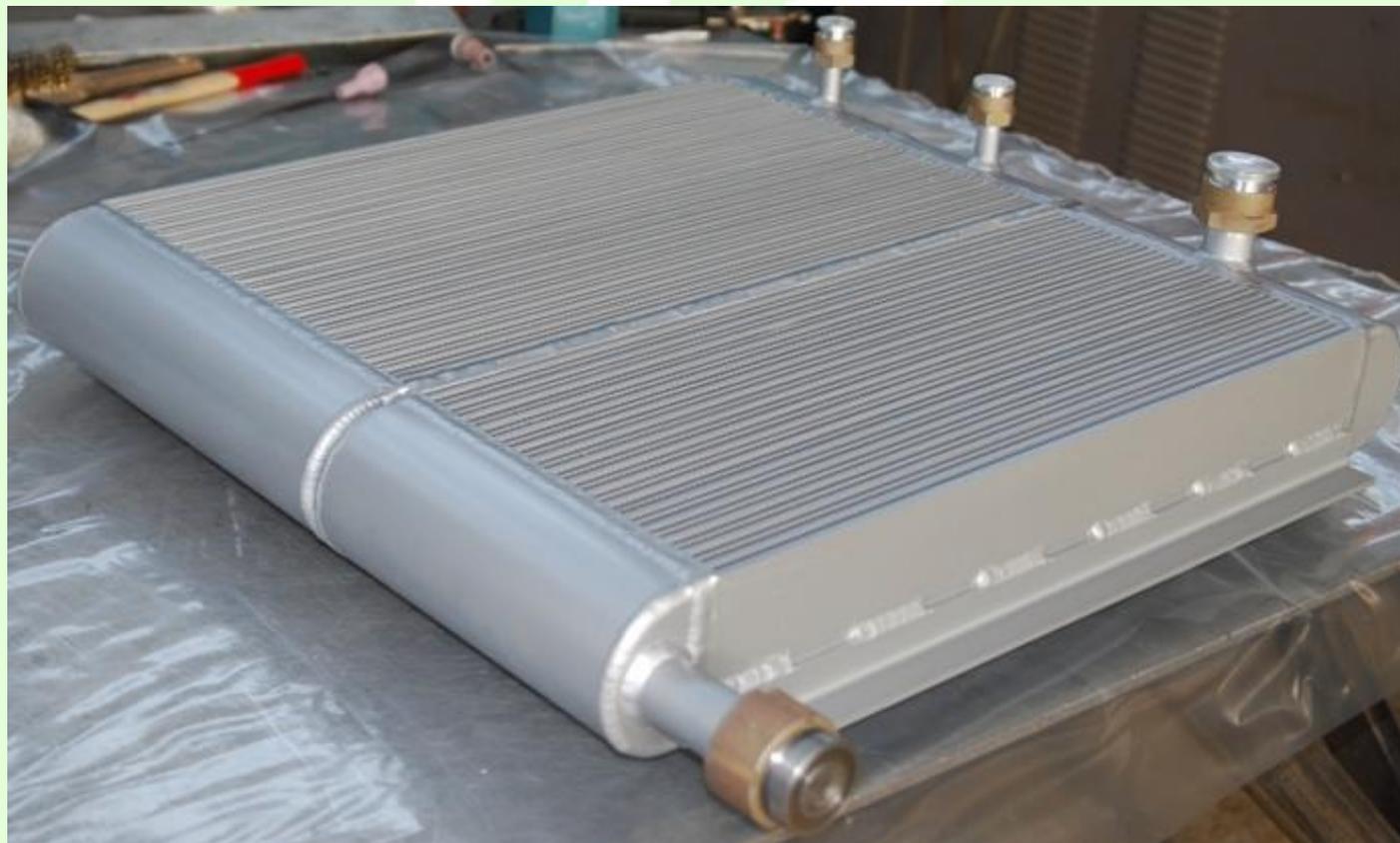
Вид на систему охлаждения ПКС производства ОАО «УКЗ», выполненную на базе ПРТ

## *Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)*



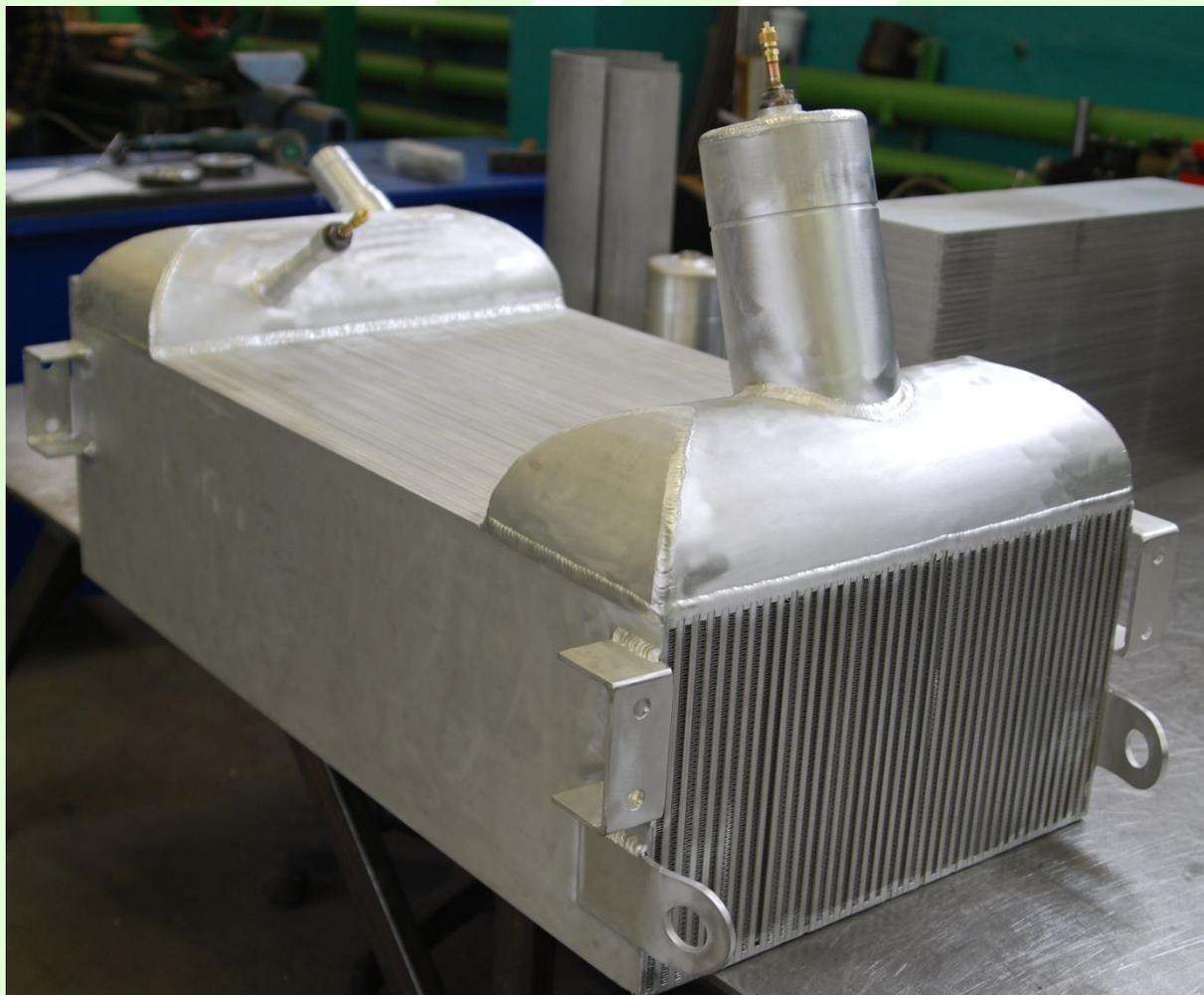
Теплообменники для воздушного охлаждения антифриза «Экосол» в составе дизельной электростанции

## ***Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)***



Комбинированный теплообменник для винтовой компрессорной установки

## ***Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)***



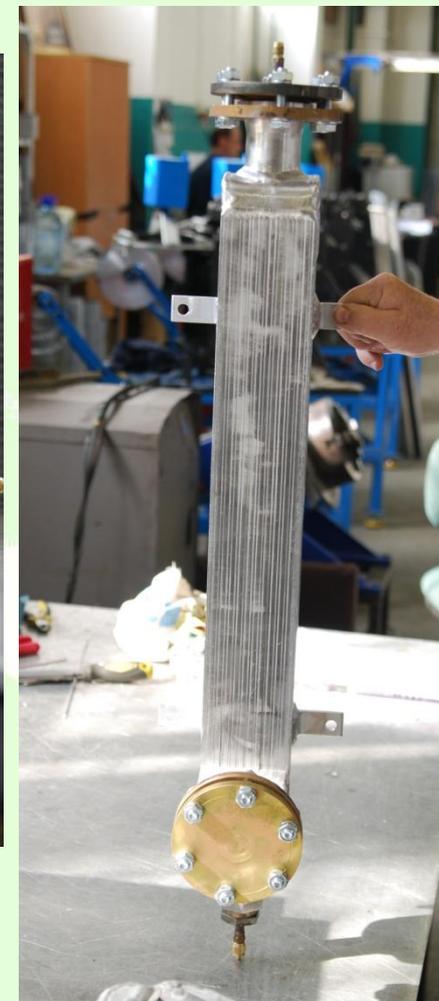
Конденсатор-испаритель криогенной воздуходелительной установки

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



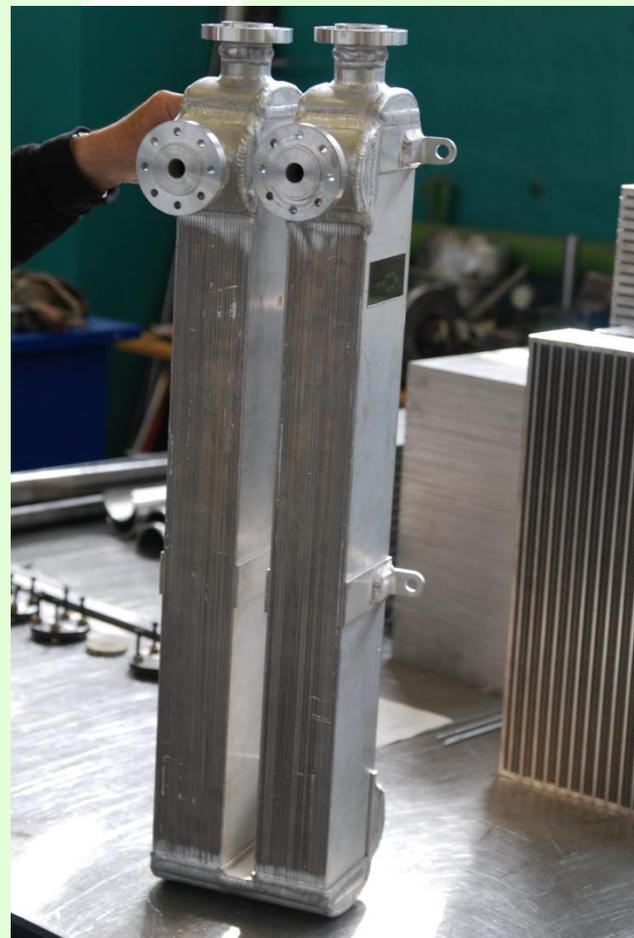
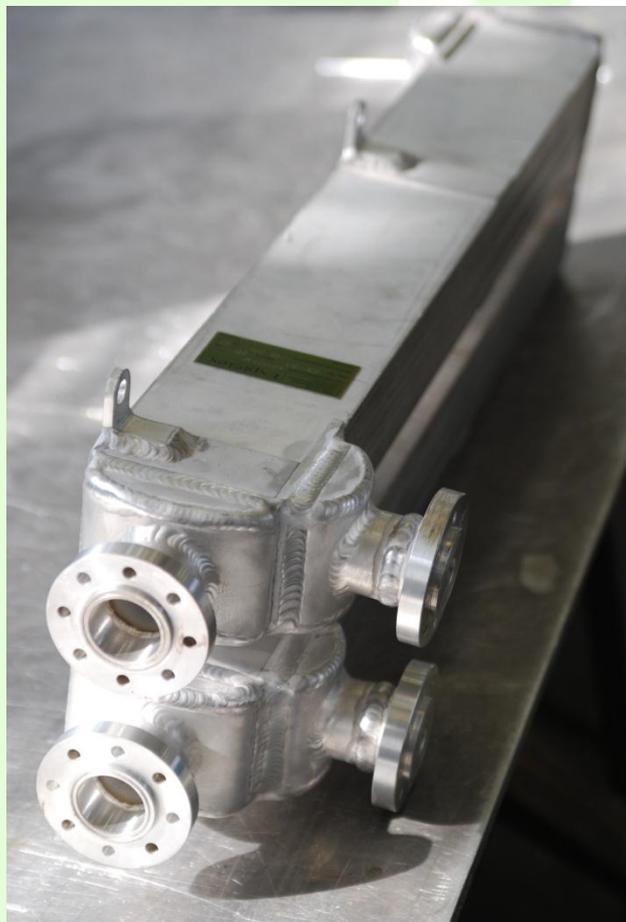
Конденсатор-испаритель криогенной воздуходелительной установки

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



Фреоновый испаритель установки СКВ

## ***Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)***



Воздухо-воздушный рекуператор воздушной турбохолодильной установки

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



Жидкостные холодильники центробежных компрессоров

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



Криогенный неон-неоновый газовый рекуперативный теплообменник



Теплообменник для переохлаждения жидкого азота газообразным неоном

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



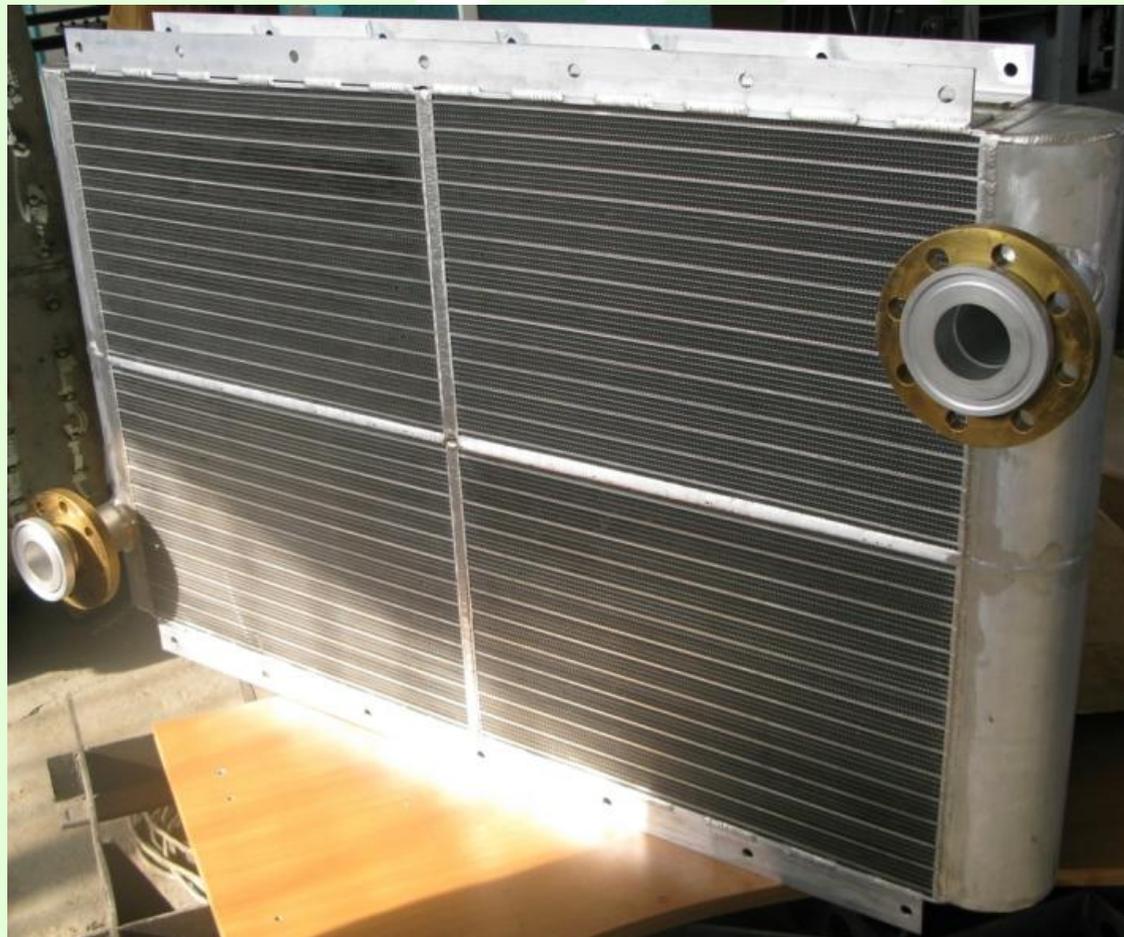
«Теплые» теплообменники в составе криорефрижератора (этап монтажа)

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



Теплообменники для охлаждения масла газоперекачивающего агрегата (ГПА)

## ***Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)***



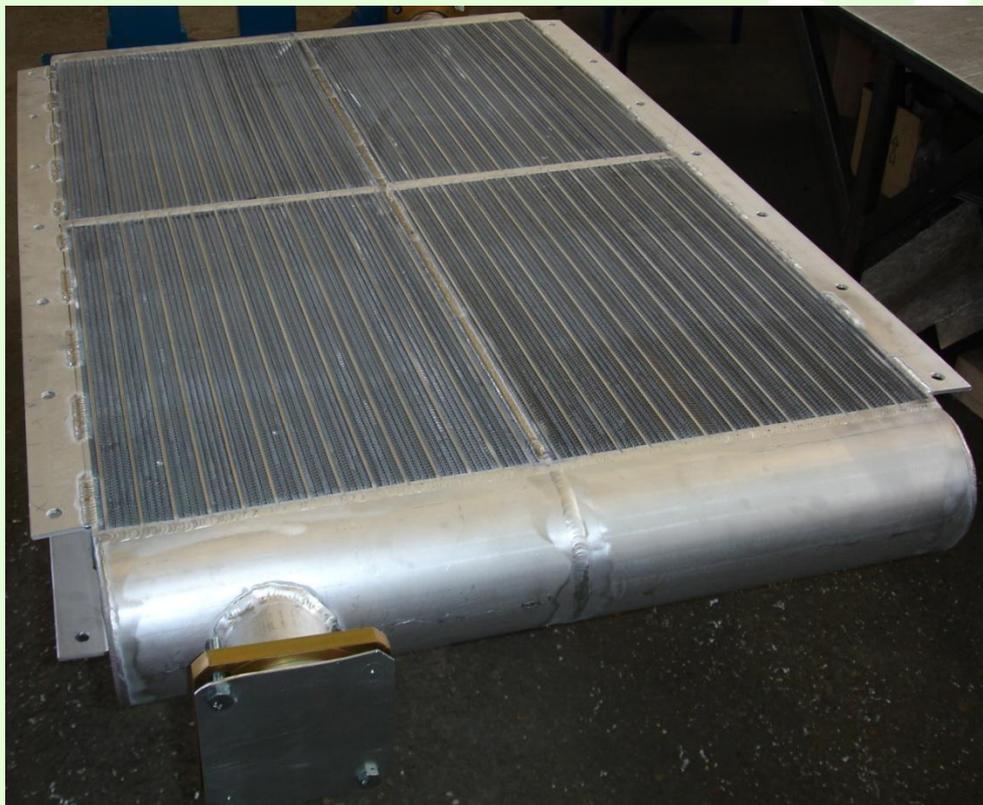
Теплообменник для воздушного охлаждения сжатого воздуха компрессорной установки

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



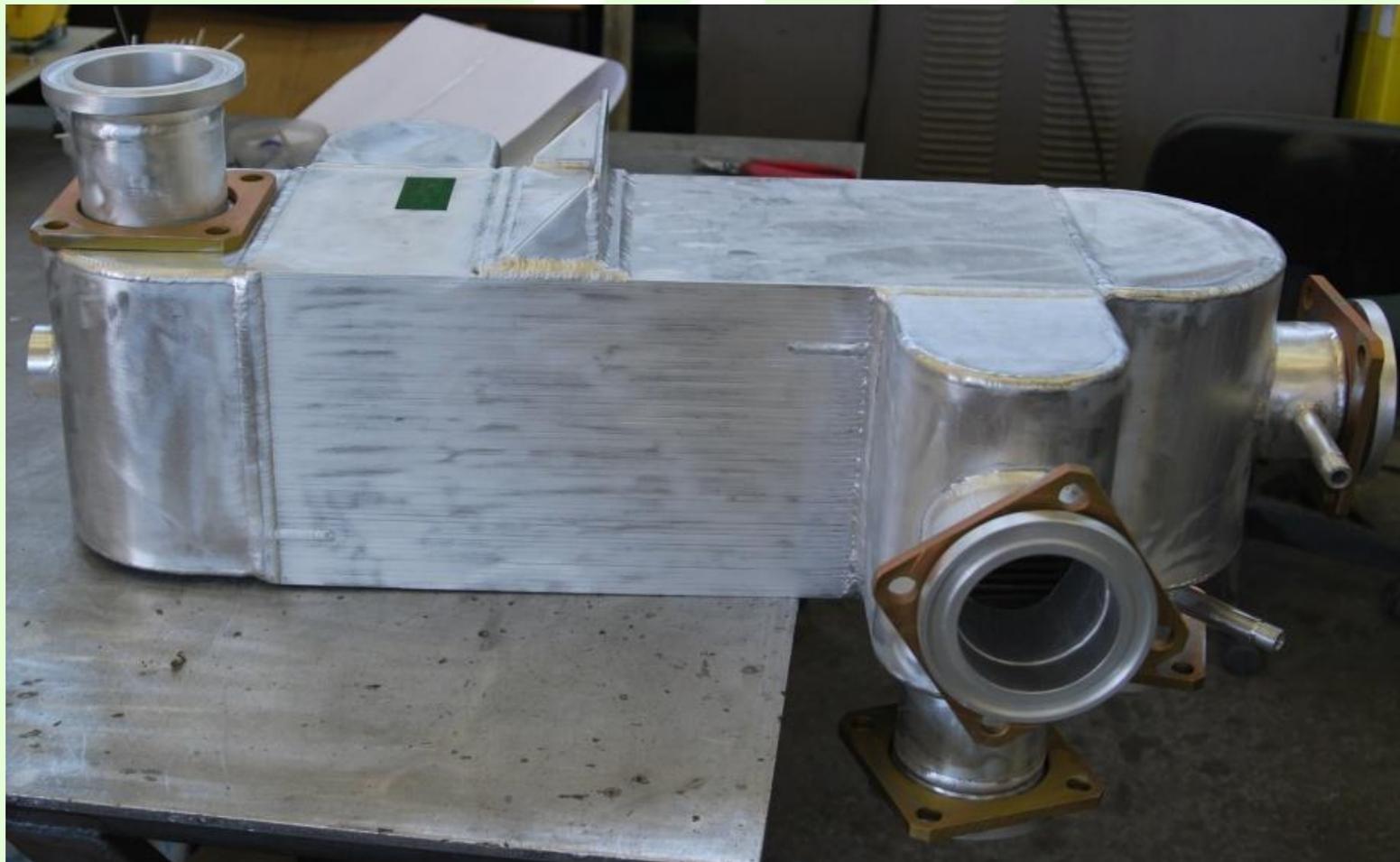
Теплообменник для воздушного охлаждения сжатого воздуха компрессорной установки

## ***Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)***



Теплообменник для воздушного охлаждения сжатого воздуха  
компрессорной установки

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



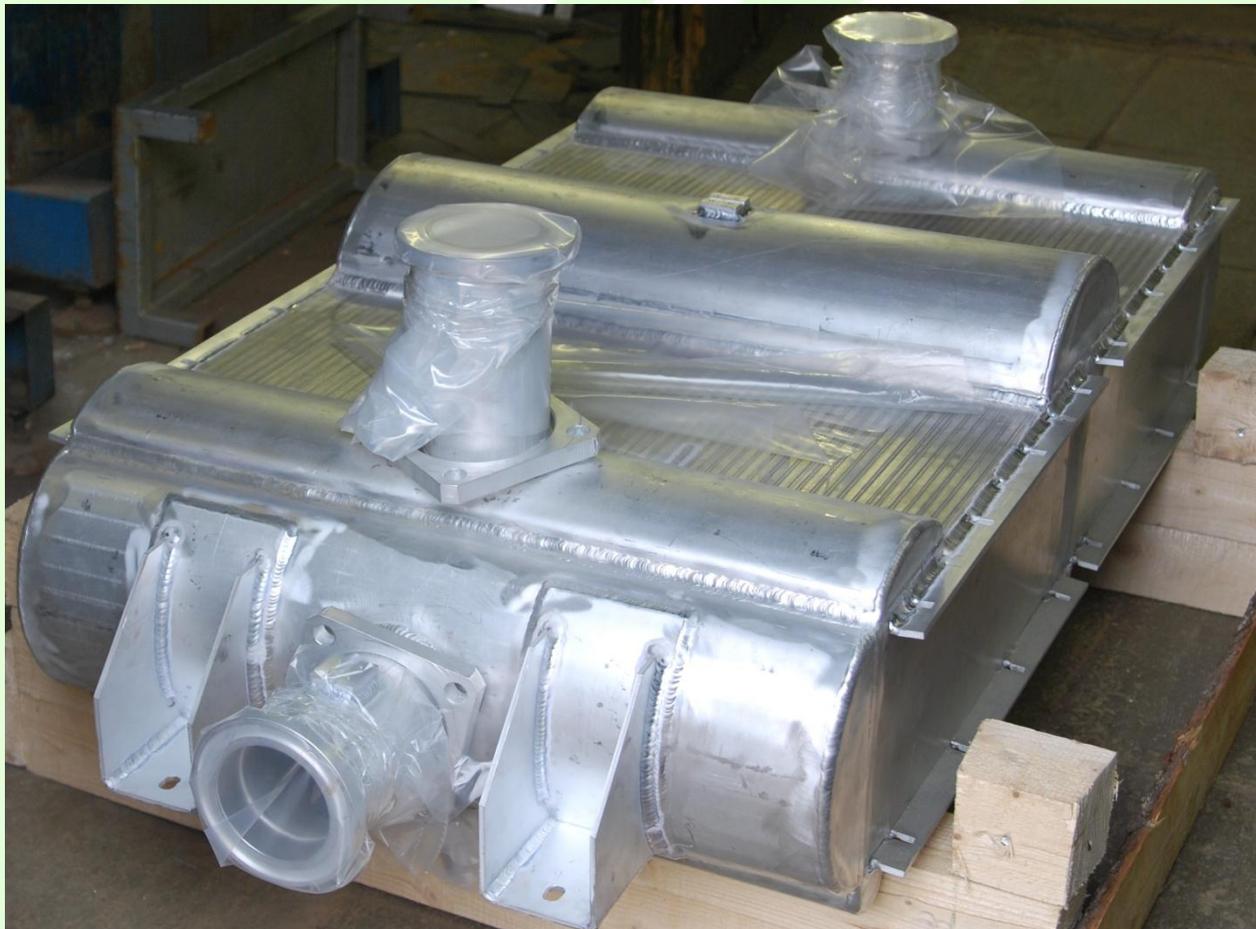
Рекуперативный теплообменник для реконденсации паров углеводородов из паровоздушной смеси

## ***Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)***



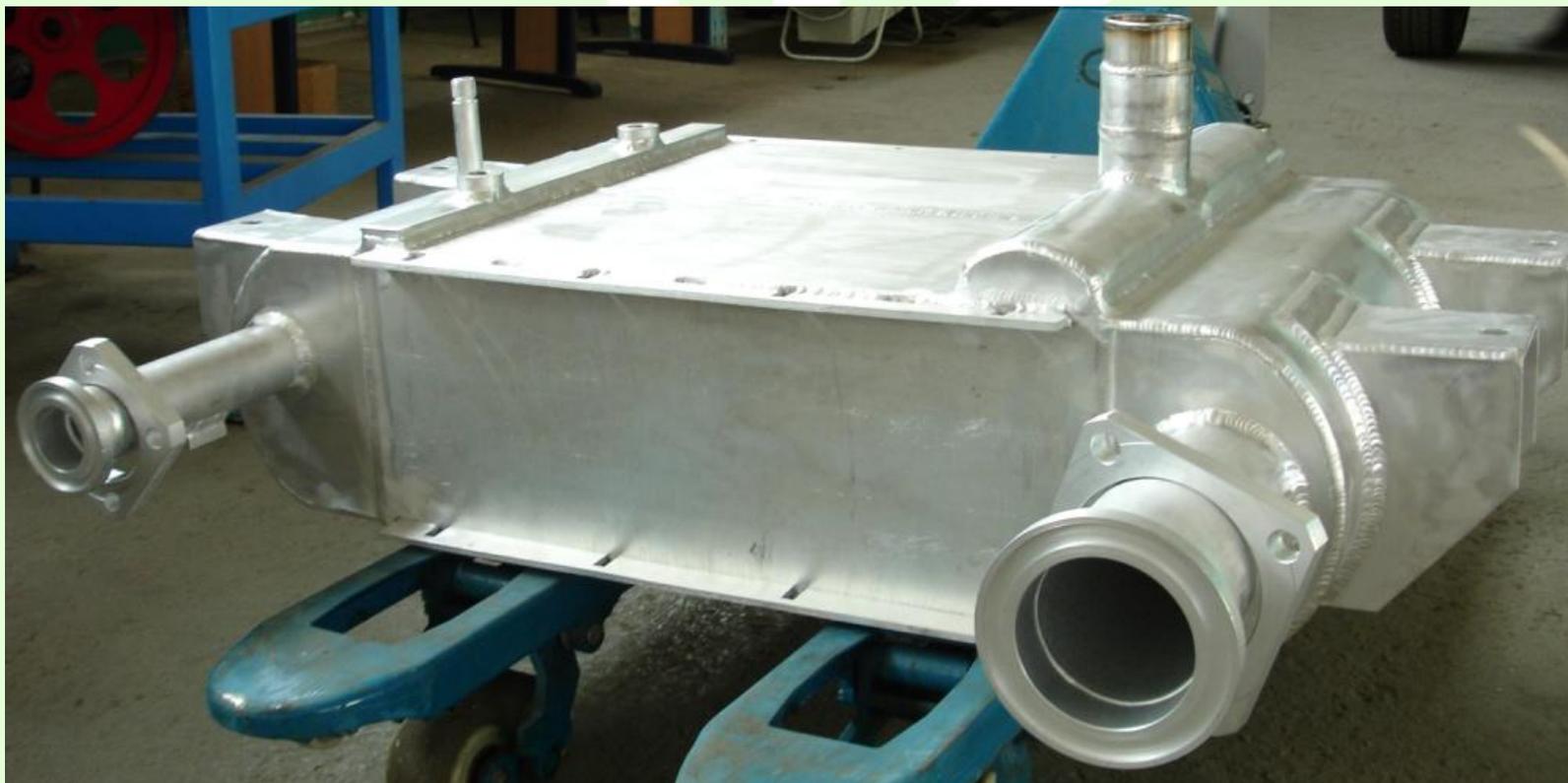
Рекуперативный теплообменник для реконденсации паров углеводородов  
на объекте Заказчика

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



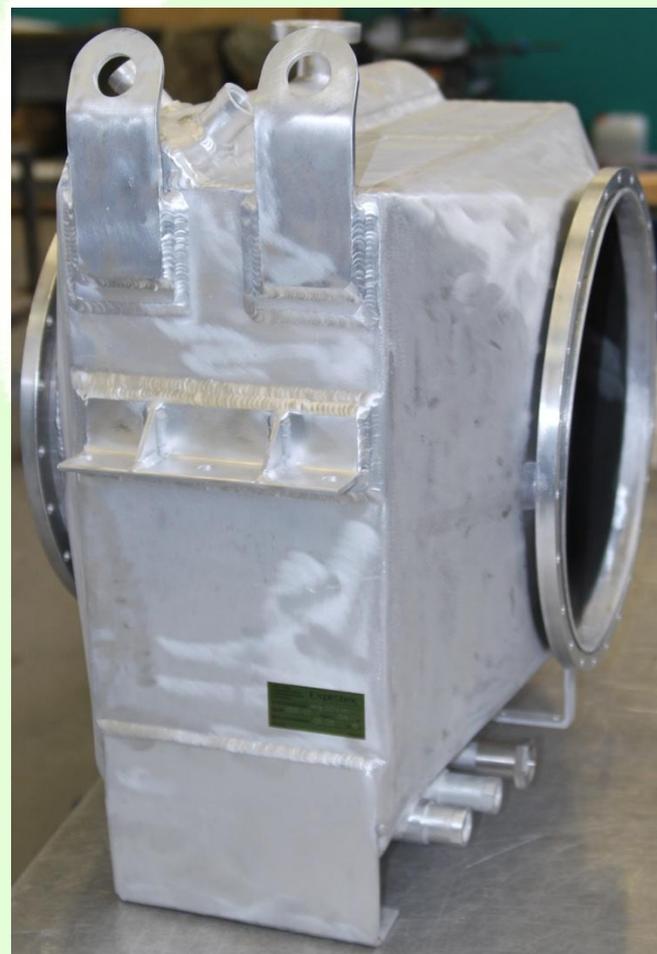
Фреоновый испаритель – фракционный конденсатор паров углеводородов из паровоздушной смеси

## *Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)*



Фреоновый испаритель – фракционный конденсатор паров углеводородов из паровоздушной смеси

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



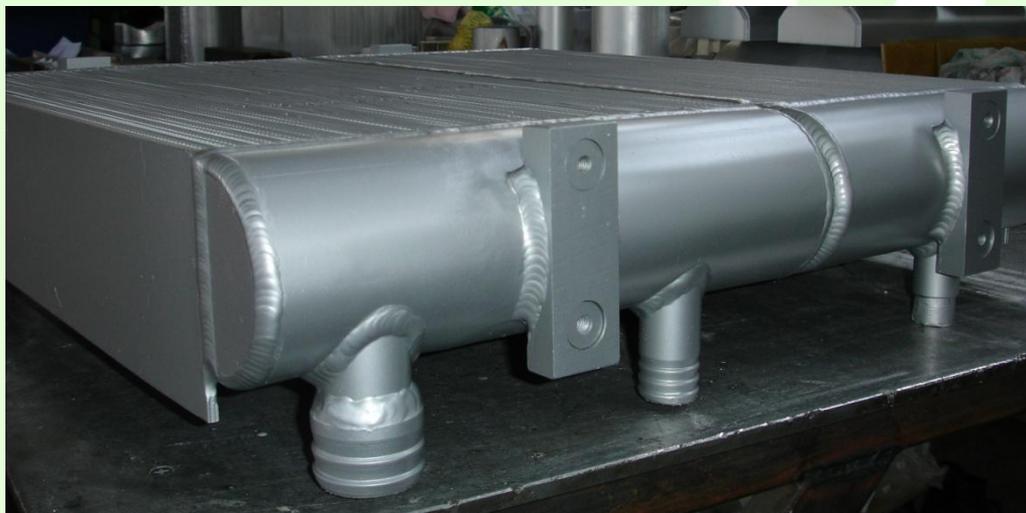
Фреоновый конденсатор авиационной системы кондиционирования воздуха

## *Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)*



Фреоновый испаритель авиационной системы кондиционирования воздуха

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



Комбинированный теплообменник транспортной установки для охлаждения масла, сжатого воздуха и антифриза

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



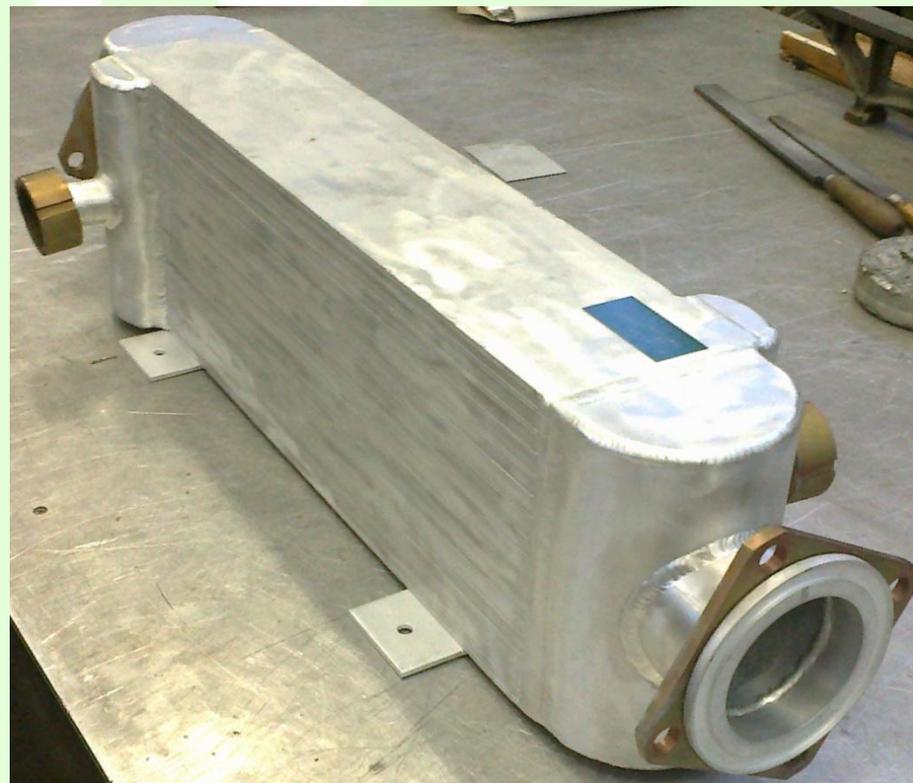
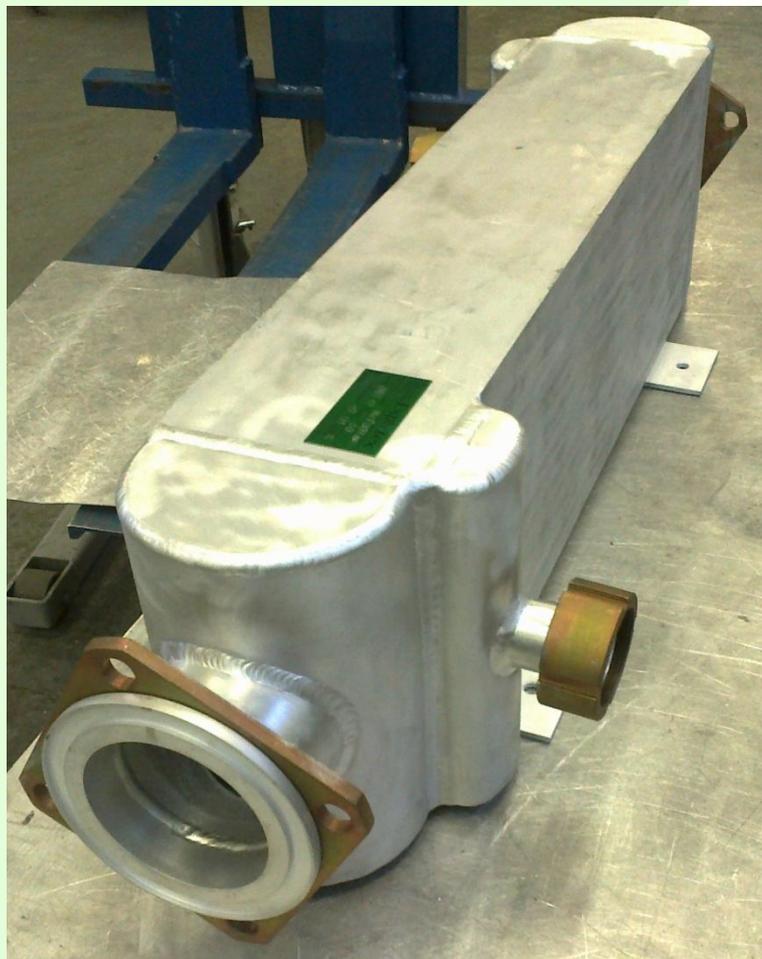
Рекуперативный теплообменник воздушной турбохолодильной установки

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



Рекуперативный теплообменник воздушной холодильной установки

## Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)



Жидкостной холодильник воздушного центробежного компрессора

## **Пластинчато-ребристые теплообменники (ПРТ)**



Воздушный холодильник воздушного винтового компрессора

## Блоки воздушного охлаждения (БВО)



Модификации блоков воздушного охлаждения для поршневых  
трехступенчатых компрессоров

## Блоки воздушного охлаждения (БВО)



Блок воздушного охлаждения (БВО) в эксплуатации  
на Объекте Заказчика - ЗВУ-2,5/46

**ООО «НПЦ «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕПЛООБМЕННЫЕ СИСТЕМЫ»**

***Спасибо за внимание!***

***По всем вопросам сотрудничества  
обращайтесь:***

***РФ, 123022, г. Москва, ул. 2-ая***

***Звенигородская, д. 13, стр.37***

***Тел./факс: (495) 640-25-33***

***[www.explotex.com](http://www.explotex.com)***

***e-mail: [sts@explotex.com](mailto:sts@explotex.com)***