

Теплообменным аппаратам ТТАИ – 25 лет

К.т.н. В.Г. Барон, профессор, директор, ООО «Теплообмен», г. Севастополь

Введение

В 1992 г. на рынке теплообменного оборудования появились теплообменные аппараты ТТАИ (дата начала их применения зафиксирована февралём 1999 г. в Акте городского коммунального предприятия «Севтеплоэнерго» по результатам эксплуатации в течение 6,5 лет теплообменников ТТАИ на объектах ГКП «Севтеплоэнерго»). Уже четверть века тому назад аппараты ТТАИ обладали всеми основными конструктивно-технологическими признаками ныне выпускаемых аппаратов и обусловленными этими признаками преимуществами. Комплекс преимуществ этих теплообменников был настолько велик, что оставлял далеко позади активно внедрявшиеся в тот период на постсоветский рынок импортные пластинчатые теплообменники. Возможно, это сыграло в некоторой мере отрицательную роль в части применения теплообменников ТТАИ – нам, разработчикам и производителям этих теплообменных аппаратов, не редко приходилось слышать фразы типа: «Не может быть, чтобы отечественная техника превосходила, причём существенно, современные западноевропейские аналоги!».

Такое недоверие, с одной стороны, и стойкое убеждение отечественных специа-

листов, активно формируемое руководством страны вкуче с менеджерами западных фирм, о том, что всё импортное просто по определению лучше отечественного, мешало продвижению теплообменников ТТАИ на рынок. Нельзя в связи с этим не упомянуть и далеко не последнюю роль в агрессивном захвате отечественного рынка западными производителями их крайне нечистоплотной маркетинговой политики, когда под громкие и правильные заявления о честной конкуренции, об открытом рынке, о неприемлемости коррупции, представители западных производителей широко использовали методы, прямо противоречащие этим заявлениям. В результате сохраняющейся на протяжении последних двух десятилетий такой ситуации очень многие отечественные разработки так и не смогли выйти на рынок. И на фоне этого существующее на сегодня производство замкнутого цикла теплообменников ТТАИ (от научных исследований до выпуска серийной продукции) служит убедительным доказательством высоких потребительских свойств аппаратов этого семейства. На рис. 1 представлено производственное здание, где осуществляется разработка и выпуск теплообменников ТТАИ.

Дополнительным подтверждением высокого научно-технического уровня аппаратов ТТАИ служит то, что, как отмечено выше, основные конструктивно-технологические решения, присущие ныне выпускаемым аппаратам ТТАИ, были заложены в эти аппараты еще 25 лет назад и при этом теплообменники ТТАИ до настоящего времени для обширного круга задач превосходят по всему комплексу потребительских свойств современные западные аналоги – пластинчатые теплообменники, практически всецело заполонившие соответствующий сегмент российского рынка. И это превосходство аппаратов ТТАИ для обширного круга задач сохраняется по сей день, невзирая на то что за минувшие четверть века западные производи-



Рис. 1. Производственное здание, где осуществляется разработка и выпуск теплообменников ТТАИ, г. Севастополь.

тели радикально улучшили свои изделия. Эти конструктивно-технологические улучшения стали возможны благодаря обширным научно-исследовательским и опытно-конструкторским работам, проведённым западными производителями благодаря огромному потоку финансовых средств, который в силу разных причин был направлен с территории постсоветских стран в адрес западных производителей теплообменников в качестве оплаты за поставляемые оттуда аппараты.

Общие сведения

Теплообменные аппараты ТТАИ (ряд модификаций представлен на рис. 2) были созданы в конце 1991 – начале 1992 г. ведущими специалистами располагавшегося в Севастополе, закрытого в советское время, головного конструкторского бюро Минсудпрома СССР, которое осуществляло проектирование всех теплообменных аппаратов для всех флотов Советского Союза, всех видов и классов кораблей (от атомных подводных лодок до десантных катеров на воздушной подушке).

Создание аппаратов ТТАИ осуществлялось с осознанием различий в требованиях, обусловленных применением изделий военного и гражданского назначения, но на базе опыта и знаний, приобретённых в ходе нескольких десятилетий исследований и проектирования корабельных теплообменников. В конструкции и технологии изготовления аппаратов ТТАИ были заложены последние достижения советского ВПК в области тепло-массообмена. В основном эти знания были получены в результате выполнения закрытых НИОКР в интересах корабельной энергетики и, частично, в области авиационно-космической энергетики.

ООО «Теплообмен» было создано с единственной целью – не потерять и претворить в металле вышеуказанные закрытые наработки в мирных целях. С тех пор ООО «Теплообмен» продолжает осуществлять деятельность только и исключительно в этой области.

За минувшие 25 лет ООО «Теплообмен» выпустило около 9 500 шт. теплообменников ТТАИ, которые с завидным упорством под-



Рис. 2. Серийные представители семейства аппаратов ТТАИ.

тверждают заявленные высокие технико-экономические и эксплуатационные качества, успешно работая в самых разных условиях, по различному назначению у разных заказчиков. Первые аппараты, выпущенные в конце 1992 г., до сих пор эксплуатируются в Севастополе (на тепловых пунктах севастопольской теплосети, а также на севастопольском винзаводе). Следовательно, производственный опыт нашего предприятия по выпуску аппаратов ТТАИ и время их практического применения превышает на сегодня четверть века.

Высокие технические характеристики аппаратов ТТАИ подтверждаются не только многочисленными положительными отзывами, но и многочисленными рекомендациями по применению аппаратов ТТАИ, оформленными авторитетными инстанциями. В частности, научно-технический совет Департамента топливно-энергетического хозяйства г. Москвы на базе проведённого НП «Российское теплоснабжение» анализа особо выделил теплообменники ТТАИ как наиболее



успешные и рекомендовал их к применению при устройстве ИТП в затеснённых и ограниченных по объёму помещениях.

Высокие потребительские качества теплообменников ТТАИ обусловили разработку на Украине официального нормативного документа «Рекомендации по применению теплообменников ТТАИ в тепловых пунктах жилых и общественных зданий», предназначенного, в основном, для проектантов инженерных систем зданий и сооружений (доступен на сайте [ООО «Теплообмен»](#)).

В России аппараты ТТАИ также включались в аналогичные документы:

- «Альбом инженерных решений энергоэффективных систем теплоснабжения», г. Москва (издан под эгидой Министерства промышленности, науки и технологий РФ); 2002 г.;

- альбом «Энергосберегающие системы теплоснабжения зданий на основе современных технологий и материалов», г. Санкт-Петербург (разработан по заданию Госстроя России), 2003 г.;

- в 2016 г. на основании решения научно-технического совета ГУП ТЭК Санкт-Петербурга теплообменники ТТАИ включены администрацией Санкт-Петербурга в рамках программы импортозамещения в раздел «Теплоснабжение»;

- в 2017 г. Минпромторг России включил наше предприятие с аппаратами ТТАИ в качестве официального поставщика в базовый каталог высокотехнологичной промышленной продукции и услуг для нужд Арктической зоны Российской Федерации;

- высокие теплотехнические характеристики наших аппаратов были подтверждены в ходе испытаний в институте ядерных исследований «Сосны» Академии наук Белоруссии (отчёт № УДК 621.565.93, инв. № 663 от 15.06.09 г.).

Участие нашего предприятия с теплообменниками ТТАИ в крупных и престижных профессиональных выставках и конкурсах позволяло практически ежегодно занимать призовые места или побеждать. Среди таких мероприятий можно отметить победу в проводимом Министерством науки и образования Украины Всеукраинском

конкурсе на награду Всемирной организации интеллектуальной собственности (структура ЮНЕСКО) для предприятий с инновационной деятельностью, победу в номинации «Оборудование тепловых пунктов» в проводимом Правительством Санкт-Петербурга конкурсе «На лучшее оборудование для топливно-энергетического комплекса и жилищно-коммунального хозяйства Северо-Западного региона России» и многие другие.

Учитывая высокие характеристики аппаратов ТТАИ, они активно поставлялись на экспорт (до отдельных санкций против Севастополя), причём не только в страны СНГ, но и в страны Евросоюза, в т.ч. в Западную Европу.

Косвенным подтверждением исключительно высоких характеристик аппаратов ТТАИ служит и тот факт, что некоторые наши бывшие дилеры (в Подмосковье и в Санкт-Петербурге) начали выпускать подделки под теплообменники ТТАИ, скопировав с них то, что удалось скопировать, и получив аппараты, внешне весьма похожие на наши аппараты ТТАИ.

Конструктивно-технологические особенности теплообменников ТТАИ и обусловленные этим преимущества

Специалисты, знакомящиеся с основными техническими и потребительскими характеристиками аппаратов ТТАИ, нередко задают вопрос: «За счёт чего достигнуты столь высокие показатели?».

Краткий ответ на этот вопрос прост – за счёт того, что в одном изделии удалось реализовать ряд ранее известных, но технологически несовместимых рекомендаций по повышению тепловой эффективности, а также ряд новых технических решений, не получивших прежде известности из-за закрытого характера соответствующих работ.

Однако такой ответ оставит неудовлетворённым большинство специалистов и лишь вызовет недоверие, вполне обоснованное таким туманным объяснением. Поэтому ниже приводится развернутое объяснение достижения тех характеристик, которыми обладают теплообменники ТТАИ. Это объ-



яснение включает перечень технических решений, реализованных в теплообменных аппаратах ТТАИ, с кратким пояснением источника появления рассматриваемого технического решения и обеспечиваемого этим положительного эффекта.

1. В аппаратах ТТАИ применяются термодинамически целесообразно профилированные трубки (рис. 3). Расчёт термодинамически целесообразного профиля базируется на закрытых работах, проводившихся в авиационно-космической отрасли Советского Союза.

Такой профиль (плавно очерченные, строго определяемые по высоте, полукруглые выступы-канавки) обеспечивает рост тепловой эффективности, не отстающий от сопряжённого роста гидравлического сопротивления. Соответствующие исследования впервые в мире были выполнены в СССР и уже затем стали использоваться западными фирмами. Правильное выполнение профиля обеспечивает генерирование короткоживущих мелкомасштабных вихрей, не диффундирующих в ядро потока, а движущихся в пристенном ламинарном микрослое рабочей среды. Это исключает диссипацию энергии на дополнительную турбулизацию ядра потока, и обеспечивает полезное использование энергии этих микровихревых структур на перевод теплоотдачи с теплопроводности на конвективный теплоперенос.

Помимо опережающего роста теплоотдачи, этот профиль, адаптированный в ходе выполненных нами в конце 1980-х годов продолжительных закрытых работ к условиям работы на морской воде с целью эффективного применения его под нужды ВМФ,



Рис. 3. Профилированные теплообменные поверхности ТТАИ, упакованные в трубный пучок.

обеспечивает ещё и такое важное преимущество аппаратов ТТАИ, как эффект самоочистки поверхности теплопередающих труб.

При проектировании аппаратов ТТАИ наше предприятие всегда учитывает этот фактор и предлагает теплообменник ТТАИ, который на заданном заказчиком режиме эксплуатации и в окрестностях этого режима обеспечит указанный эффект самоочистки.

2. При компоновке трубного пучка используется его нерегулярная разбивка (рис. 4), идея применения которой также сформировалась у нас в ходе закрытых советских НИ-ОКР, но, к сожалению, не была отработана. Реализация этой идеи в аппаратах ТТАИ



Рис. 4. Компоновка трубного пучка с нерегулярной разбивкой.



подтвердила её правомерность и обеспечивает снижение гидравлического сопротивления межтрубной полости, что позволяет более рационально использовать располагаемый напор в интересах роста тепловой эффективности.

3. Также снижению бесполезных потерь напора способствует принятое нами при создании аппаратов ТТАИ решение о применении входного и выходного патрубков межтрубной полости с диаметрами не только равными, но даже большими диаметра корпуса аппаратов (рис. 5).

4. Усреднённый шаг расположения теплопередающих трубок в трубном пучке соответствует понятию «плотно упакованный» трубный пучок, что не только увеличивает удельную плотность теплопередающей поверхности, но и способствует росту коэффициента теплоотдачи. Целесообразность «плотно упакованного» трубного пучка была известна еще в советское время (даже были установлены границы наиболее целесообразного шага разбивки трубного пучка), однако существовавшие технологии не позволяли это обеспечить. В аппаратах ТТАИ, благодаря специальным технологическим решениям, удаётся реализовать целесообразный шаг разбивки трубного пучка. Оче-

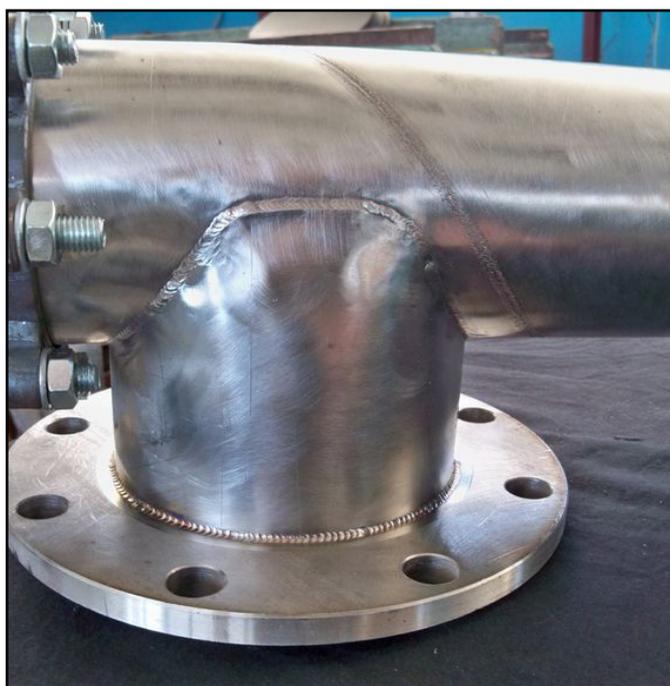


Рис. 5. Входной патрубок аппарата ТТАИ.

видно, что как увеличенная удельная плотность теплопередающей поверхности, так и рост коэффициента теплоотдачи снижают удельную металлоёмкость аппарата и повышают его интегральную тепловую эффективность.

5. В аппаратах ТТАИ используются трубки малого эквивалентного диаметра (в базовом варианте – 8 мм, а по согласованию – 6 мм). Такие диаметры трубок являлись основными при создании теплообменников для нужд советского ВМФ и успешно применялись, в т.ч., при эксплуатации теплообменников на забортной воде. Это способствует росту удельной тепловой эффективности и повышает коэффициент компактности, что также ведёт к снижению массогабаритных характеристик теплообменника и увеличению интегральной тепловой эффективности аппарата.

6. Как теплопередающие трубки, так и корпуса аппаратов ТТАИ являются тонкостенными (трубки имеют толщину 0,3 или 0,4 мм, а корпус – от 0,8 до 2,2 мм). Указанные толщины определены с установленным коэффициентом запаса расчётным путём и подтверждены в ходе экспериментов для рабочих давлений до 2,5 МПа включительно. Это снижает металлоёмкость теплообменника, делая его чрезвычайно лёгким (в среднем в 10-12 раз легче современного западноевропейского разборного пластинчатого теплообменника), что позволяет не только исключить необходимость изготовления фундаментов для аппаратов ТТАИ, но и не применять грузоподъёмные средства при их монтаже-демонтаже.

7. Теплообменные аппараты ТТАИ изготавливаются в двух материальных исполнениях: высоколегированная нержавеющая сталь аустенитного класса или титановые сплавы (последнее исполнение ввиду дороговизны применяется только в обоснованных случаях). Обоснованное применение таких металлов, с учётом закрытых рекомендаций (в советское время существовал отраслевой стандарт ограниченного распространения о допустимых применениях различных металлов в зависимости от рабочих условий), позволяет обеспечить продолжительный срок

службы аппаратов при вышеупомянутых тонкостенных трубках.

8. В аппаратах ТТАИ применяется метод «плавающих» трубных решёток (причём, обеих) для установки трубного пучка в корпусе. Мы применили этот метод установки трубного пучка в корпусе аппарата, т.к. он хорошо зарекомендовал себя в теплообменниках, создававшихся нами в советское время для нужд кораблей ВМФ. Это позволяет не только снять термические напряжения в цепочке «корпус – трубный пучок», что повышает надёжность работы аппарата, но и обеспечивает возможность разборки аппарата путём извлечения трубного пучка из корпуса (рис. 6). Такая возможность повышает ремонтпригодность аппарата и, кроме того, обеспечивает возможность агрегатного ремонта путём замены одного из вышеупомянутых элементов теплообменника.

9. Трубные решётки в теплообменниках ТТАИ выполняются либо цельнометаллическими из нержавеющей стали или титана с приваркой к ним трубок, либо композитными. Последний вариант трубных решёток начал отрабатываться нами в советское время с целью снижения веса аппаратов для кораблей с динамическими принципами поддержания, однако из-за низких ресурсных характеристик (вполне устраивавших военных) потребовал радикальной доработки в начале 1990-х годов.

В результате выполненной нами доработки была достигнута надёжная работа аппаратов с такими трубными решётками, подтверждённая уже 25-летним опытом эксплуатации.

10. Разъёмные соединения в аппаратах ТТАИ в базовом варианте имеют специфичную конструкцию – это псевдофланцевые соединения (рис. 7). Такие соединения полностью выполняют функции фланцевого соединения, т.е. позволяют с помощью крепежа (болтов с гайками) сочленять между собой

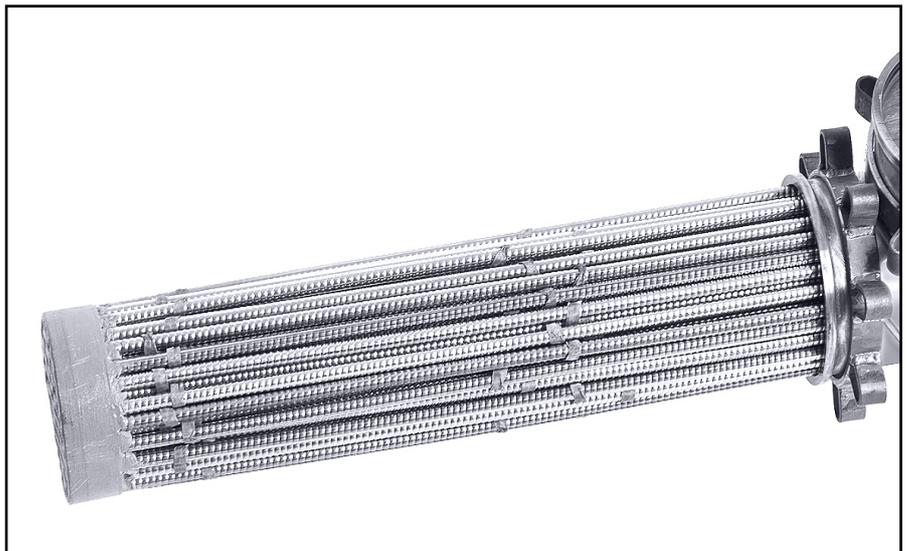


Рис. 6. Трубный пучок аппарата ТТАИ, извлечённый из корпуса.

элементы, однако эти соединения не имеют собственно фланцев (блинов), что обеспечивает снижение массогабаритных характеристик теплообменника. Эта конструкция также прорабатывалась нами в советское время для десантных кораблей на воздушной подушке, однако была доработана в 1990-е годы с учётом необходимости ориентироваться не на спецвозможности ВМФ (в т.ч. по специальной форме уплотнительных прокладок), а на общепромышленные возможности.

11. К числу особенностей аппаратов ТТАИ следует отнести и разработанный нами сложнородовой вариант исполнения



Рис. 7. Элементы крепёжных соединений аппарата.



теплообменника, когда среда межтрубного пространства подаётся в корпус аппарата не через один, а через два патрубка. Такое решение оказывается весьма эффективным в случаях существенно различающихся между собой расходов или располагаемых напоров сред, и это техническое решение было принято нами на базе опыта разработки теплообменников с двумя входами одной и той же среды, которые создавались нами для обеспечения специальных характеристик теплообменников для некоторых задач советского ВМФ.

12. В теплообменниках ТТАИ применены распределённые дистанционирующие перегородки, выполненные из ленты, изготовленной из нержавеющей сетки (рис. 8). Изначально идея распределённых перегородок отрабатывались нами также для достижения узкоспециальных характеристик теплообменников, предназначенных для определенного класса кораблей советского ВМФ, однако те технические решения, которые мы отработывали ранее, не могли быть применены при создании аппаратов ТТАИ. Эту идею (распределённая перегородка), но реализованную в совершенно другом конструктивно-технологическом исполнении (нержавеющая лента, оплетающая трубки), на сегодня мы применяем в трубных пучках аппаратов ТТАИ. Применение такой распределённой перегородки позволяет реализовать чистый противоток в корпусе теплообменника, исключив любые застойные зоны по пути движения жидкости в межтрубном



Рис. 8. Распределённые дистанционирующие межтрубные перегородки в аппаратах ТТАИ.

пространстве, что повышает среднелогарифмический температурный напор и, тем самым, способствует повышению интегральной тепловой эффективности теплообменника.

Заключение

В результате того, что нам удалось совместить в одном изделии – теплообменнике ТТАИ – все вышеперечисленные особенности, был создан высокоэффективный (превосходящий по удельной эффективности современные западноевропейские разборные пластинчатые теплообменники), чрезвычайно компактный («псевдоодномерный») и исключительно лёгкий теплообменный аппарат ТТАИ, отличающийся подтверждённым продолжительным сроком службы и имеющий повышенную ремонтпригодность и низкую стоимость обслуживания.

При этом стоимость владения (приведённая стоимость) аппарата ТТАИ в два и более раз меньше соответствующей стоимости аналогов, как российского, так и иностранного производства, что достигается как несколько более низкой изначальной стоимостью, так и, в основном, последующими существенно меньшими затратами на монтаж и обслуживание в ходе эксплуатации.

Наличие исключительно лёгких и псевдоодномерных теплообменников ТТАИ позволило нам впервые в мире сформулировать инновационную концепцию создания тепловых пунктов – так называемые «планшетные» тепловые пункты («планшетным» тепловым пунктам посвящена отдельная статья. – *Прим. авт.*). «Планшетные» тепловые пункты, размещаясь на свободной поверхности стен, не только радикально упрощают процедуры техобслуживания и ремонта любого элемента тепловых пунктов за счёт обеспечения прямого и непосредственного доступа к соответствующему элементу, но практически не требуют площадей для своего размещения, что позволяет высвободить целые помещения и даже отдельно стоящие здания ЦТП. А это создаёт значительные экономические выгоды, благодаря возможности использования в коммерческих целях высвободившихся помещений или даже земельных участков. ■