

# Теплообменным аппаратам ТТАИ 30 лет, а вопросы у специалистов не иссякают. ПОМОГУТ ЛИ ВЕБИНАРЫ?



**В. Г. Барон, канд. техн. наук, профессор, директор ООО «Теплообмен» (Севастополь)**

**Ключевые слова:** теплообменный аппарат ТТАИ, теплообменник, рекуператор теплоты вентиляционного воздуха

Теплообменные аппараты ТТАИ (рис. 1) были разработаны сразу после распада Советского Союза на базе опыта и научно-технологических наработок, накопленных в процессе создания теплообменных аппаратов для всех типов и классов кораблей флотов СССР (в Севастополе располагалось закрытое проектное бюро, головное в структуре Минсудпрома СССР).

Первые, созданные уже в общепромышленных целях теплообменники ТТАИ были установлены в 1992 году в одной из котельных теплосети Севастополя. Они поразили специалистов своими характеристиками – на тот момент в теплосети Севастополя появились первые западные пластинчатые теплообменники, которые воспринимались как невероятный прорыв в области теплопередачи, и вдруг оказалось, что собственные разработки превзошли западные чудо-теплообменники по всему комплексу потребительских свойств. Поставленные на опытно-промышленную эксплуатацию теплообменники ТТАИ полностью подтвердили заявленные характеристики: обеспечили необходимые тепловые характеристики и при этом оказались почти в 10 раз легче западных образцов, имели значительно меньший габаритный объем, были существенно проще в

монтаже и могли быть установлены в очень небольшом помещении, в котором невозможно было разместить западные пластинчатые теплообменники. Следует отметить, что эти теплообменники ТТАИ до сих пор эксплуатируются по прямому назначению.

С тех пор теплообменные аппараты ТТАИ, непрерывно совершенствуясь (наше предприятие постоянно ведет НИОКР), неизменно демонстрируют на разных объектах, по разному назначению, у различных заказчиков в разных странах (до отдельных санкций против Севастополя поставки теплообменников ТТАИ на экспорт составляли больше 50 % общего объема поставок) высокие потребительские свойства.

К сожалению, по ряду причин наш рынок был отдан на откуп западным фирмам (подробнее об этом читайте в [1, 2]). На этом фоне информация об отечественных теплообменных аппаратах ТТАИ просто терялась в потоке рекламы западных теплообменников и, как выясняется, была просто неизвестна многим проектным, монтажным и эксплуатирующим фирмам, не говоря уж о заказчиках и потребителях. Конечно, мы, как разработчики, предпринимали усилия по распространению информации о теплообменниках ТТАИ, проводя в течение почти 30 лет регулярно,



■ Рис. 1. Теплообменные аппараты ТТАИ

раз в два года, научно-практические семинары, публикуя статьи в профильных изданиях, выступая на конференциях и участвуя в выставках, но этого оказалось недостаточно. Поэтому нами было воспринято с благодарностью предложение НП «АВОК» провести вебинар на площадке АВОК. Такой вебинар состоялся в ноябре 2022 года и, в связи с проявленным интересом со стороны профессионального сообщества, в феврале 2023 года был проведен еще один. Вебинары показали, что специалисты не обладают информацией об отечественных высокоэффективных теплообменных аппаратах.

**Настоящая статья подготовлена на базе обобщения вопросов, поступивших в ходе вебинаров, с целью создания среди специалистов правильного представления о теплообменниках ТТАИ, их преимуществах и особенностях, а также о научно-методологических основах, на которые опираются разработки этих аппаратов.**

Необходимо отметить, что большинство вопросов относилось к темам, развернуто рассмотренным в отдельных наших статьях, опубликованных в специализированных журналах. Все эти статьи доступны для ознакомления на нашем сайте ttai.ru, некоторые из них, наиболее полно соответствующие рассматриваемой тематике, указаны в списке литературы [3–14].

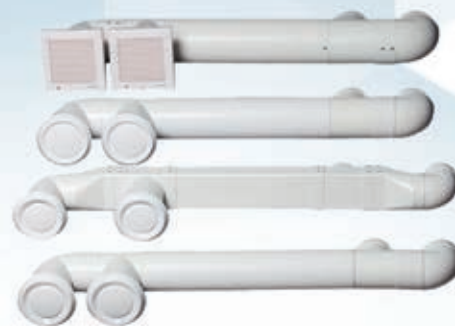
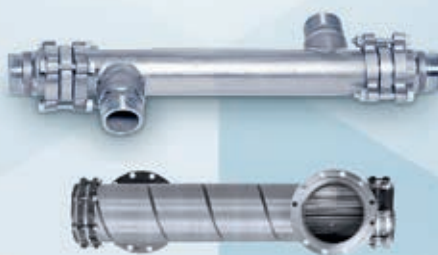
Учитывая, что значительная часть вопросов, обозначенных в ходе вебинаров, имеют, во-первых, общий характер и, во-вторых, подробные ответы на них имеются в вышеперечисленных публикациях, в настоящей статье есть смысл привести лишь краткую информацию о преимуществах разработанных и выпускаемых нашим предприятием теплообменников ТТАИ и о заложенных в их основу конструктивно-технологических решениях, обеспечивающих достижение высоких результатов. Однако на некоторые вопросы, прозвучавшие в ходе вебинаров и не получившие до этого освещения в наших публикациях, будут даны конкретные ответы.

## Преимущества теплообменных аппаратов ТТАИ

На сопоставимые условия по сравнению с современными западными разборными пластинчатыми теплообменниками аппараты ТТАИ:

- примерно в 10 раз легче и имеют в 8–10 раз меньший габаритный объем. Здесь необходимо подчеркнуть, что теплообменники ТТАИ также разборные, что делает их ремонтпригодными, как и разборные пластинчатые аппараты;
- удобнее компонуются на объектах, что позволяет размещать их в труднодоступных и затесненных

Разработанные и выпускаемые по полному производственному циклу отечественные теплообменники ТТАИ и децентрализованные рекуператоры тепла вентиляционного воздуха «ТеФо» для обширного круга задач превосходят западные аналоги по всему комплексу потребительских свойств.



помещениях, в которых невозможно разместить разборные пластинчатые теплообменники. Эта же особенность позволила нам сформулировать принципиально новую идеологию создания тепlopунктов, особенно индивидуальных, – «планшетные» тепlopункты;

- позволяют экономить производственные площади и даже сокращать объем строительно-монтажных работ и размеры необходимых земельных участков при грамотном проектировании объектов, в которых одним из основных видов оборудования являются теплообменные аппараты;
- не требуют не только мощных фундаментов, но, как правило, даже применения грузоподъемных средств при монтаже;
- несколько дешевле на стадии закупки и радикально дешевле на стадии эксплуатации, что делает их стоимость на протяжении жизненного цикла в несколько раз ниже, чем стоимость пластинчатых разборных аппаратов;
- обладают эффектом самоочистки, что повышает вероятность их безотказной работы на протяжении заданного отрезка времени;
- обладают более высокими показателями надежности, в т. ч. ввиду значительно более простой, менее трудоемкой и более краткосрочной процедуры техобслуживания и текущего ремонта.

## Основные научно-технические и конструктивно-технологические решения, реализованные в теплообменниках ТТАИ

Приведем основные научно-технические и конструктивно-технологические решения, реализованные в теплообменниках ТТАИ (рис. 2) и обеспечивающие вышеперечисленные преимущества. Решения даются без пояснений, т. к. таковые были



■ Рис. 2. Особенности теплообменника ТТАИ (собственные разработки)

даны в отдельных статьях (наиболее развернуто в [14]).

В теплообменниках ТТАИ:

- применяются термодинамически целесообразно профилированные трубки (расчет термодинамически целесообразного профиля базируется на закрытых НИОКР, проводившихся в авиационно-космической отрасли СССР);
- используется нерегулярная разбивка трубного пучка, идея применения которой сформировалась у нас также в ходе закрытых советских НИОКР в интересах ВМФ;
- применение входного и выходного патрубков межтрубной полости с диаметрами не только равными, но даже большими, чем диаметр корпуса аппарата;
- усредненный шаг расположения теплопередающих трубок в трубном пучке соответствует понятию «плотно упакованный трубный пучок»;
- 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;
- как теплопередающие трубки, так и корпуса аппаратов ТТАИ являются тонкостенными (толщина трубок от 0,2 до 0,4 мм, а корпуса от 0,8 до 2,2 мм);
- для изготовления как теплопередающих трубок, так и корпусов аппаратов применяются коррозионно-эрозионностойкие металлы – высоколегированная нержавеющая сталь аустенитного класса или титановые сплавы;
- применяется метод «плавающих» трубных решеток (причем обеих) для установки трубного пучка в корпусе, что позволяет снять термические напряжения в цепочке «корпус – трубный пучок», способствуя тем самым повышению надежности работы аппарата;
- трубные решетки выполняются либо цельнометаллическими из нержавеющей стали или титана, либо композитными (последние были впервые применены в теплообменниках для кораблей советского ВМФ с динамическими принципами поддержания – такое исполнение способствует как снижению веса, так и повышению тепловой эффективности за счет более оптимальной компоновки трубного пучка);
- разъемные соединения в базовом варианте исполнения имеют специфичную конструкцию – болтовые разъемные, но бесфланцевые соединения. Такие соединения, разработанные для советского ВМФ, полностью выполняют функции фланцевого соединения, т. е. позволяют с

помощью крепежа (болтов с гайками) сочленять между собой элементы, однако не имеют собственно фланцев (блинов), что обеспечивает снижение массогабаритных характеристик теплообменника;

- среди прочих модификаций имеется сложнородовой вариант исполнения теплообменника (также имеющий корни в закрытых работах советского периода), когда среда межтрубного пространства подается в корпус аппарата не через один, а через два патрубка, что оказывается весьма эффективным в случаях существенно различающихся между собой расходов или располагаемых напоров сред;
- применяются распределенные дистанцирующие перегородки, предложенные в советское время для решения специальных задач корабельных теплообменников и конструктивно в аппаратах ТТАИ выполненные из ленты, изготовленной из нержавеющей сетки и оплетающей смежные трубки, что позволяет реализовать чистый противоток в корпусе теплообменника, исключив любые застойные зоны по пути движения жидкости в межтрубном пространстве.

## Ответы на некоторые ранее не рассмотренные вопросы



**В месте сварки нержавеющей частей покрытие нарушается. Как вы с этим боретесь?**

Поскольку в наших теплообменниках применяются только и исключительно коррозионно-эрозийноустойчивые металлы (высоколегированная нержавеющая сталь аустенитного класса или титановые сплавы), то мы не применяем покрытия, т. к. в этом отсутствует необходимость.



**Есть ли какие-то особенности в обслуживании ваших ТО?**

Особенности есть, причем не только в обслуживании, но и в монтаже. Однако они не требуют ни спецоснастки, ни спецподготовки, ни спецоборудования. Надо просто знать и учитывать все моменты, детально рассмотренные в «Техническом описании и инструкции по эксплуатации», прилагаемых в составе прочей документации к каждой поставке. Кроме того, в случае возникновения каких-либо вопросов можно обратиться за устной консультацией непосредственно на наше предприятие.



**Делаете ли ИТП под ключ?**

На данный момент мы не занимаемся ничем, кроме разработки и изготовления емкостного оборудования, в частности теплообменных

аппаратов. Мы являемся узкоспециализированным производственным предприятием. Однако мы сотрудничаем с рядом предприятий в России и Белоруссии, которые выполняют весь комплекс работ (поставка, монтаж, обслуживание ИТП, ЦТП, котельных и пр.).



**Какое программное обеспечение вы используете в своей конструкторской деятельности? Есть ли какие-то публикации по математической модели ТТАИ?**

Для создания наших теплообменников ТТАИ мы используем только собственное программное обеспечение. Наши сотрудники:

- разработали специфичную математическую модель, описывающую теплогидродинамические характеристики теплообменников ТТАИ (зависимости, являющиеся основой этой математической модели, существенно отличаются от общепринятых при расчете кожухотрубных теплообменников и потому являются нашим ноу-хау) и сформировали расчетный алгоритм;
- написали соответствующую компьютерную программу (также наше ноу-хау);
- выполнили теоретический анализ специфичных процессов гидродинамики, что было описано в статьях в российских изданиях [17, 18], адаптированных для инженерно-технических специалистов, а также в статьях, опубликованных в одном из наиболее авторитетных международных научных журналов [19, 20] и ориентированных на специалистов, работающих в области теоретических исследований и математического описания процессов гидроаэродинамики.



**Каковы сроки подбора и сроки поставок ТТАИ?**

Срок подбора теплообменников ТТАИ составляет, как правило, не более одного рабочего дня с момента получения правильно заполненного опросного листа, который размещен у нас на сайте [ttai.ru](http://ttai.ru).

Срок поставки, если речь идет о поставке на условиях передачи изготовленных теплообменников указанному заказчиком перевозчику, находится в районе двух недель. Если в срок поставки включать срок доставки до заказчика, то такой срок в значительной мере определяется условиями транспортной компании, которую указал заказчик.



**Есть ли какие-то публикации по «ТeФo»?**

В ходе вебинара вызвала интерес наша инновационная разработка децентрализованных рекуператоров тепловой энергии вентиляционного воздуха под торговой маркой «ТeФo» (мы одними из

первых в мире предложили и реализовали идеологию децентрализованных рекуператоров тепловой энергии вентиляционного воздуха).

Это направление нашей деятельности является самостоятельным лишь по назначению (рассчитано на широкого потребителя) и по параметрам рабочих сред – воздух, которым дышат люди, с температурами и давлениями, близкими к нормальным. По сути рекуператоры «ТеФо» представляют собой одну из упрощенных разновидностей теплообменников ТТАИ, входят в ТУ на ТТАИ и мало чем отличаются от прочих аппаратов ТТАИ – такие же теплопередающие профилированные трубки из коррозионностойкой стали, аналогичный плотно упакованный трубный пучок, композитные трубные решетки. Имеющиеся отличия обусловлены спецификой назначения. К сожалению, описать преимущества и особенности рекуператоров «ТеФо» хотя бы кратко в настоящей статье не представляется возможным из-за значительного объема материала. Отметим лишь, что разработанные и выпускаемые нами децентрализованные рекуператоры тепловой энергии вентиляционного воздуха «ТеФо» превосходят по всему комплексу потребительских свойств все известные нам, в т. ч. западные, аналоги, появившиеся спустя годы после наших публикаций, выступлений на конференциях и демонстрации наших рекуператоров на крупных специализированных выставках. Желающие более детально ознакомиться с рекуператорами «ТеФо» могут посетить наш сайт [ttai.ru](http://ttai.ru), где данной продукции посвящен отдельный раздел с подразделами «Ответы на вопросы» и «Статьи» – последний содержит значительное количество наших публикаций в ведущих специализированных журналах.

## Литература

1. Барон В. Г. Формирование проектно-технологической зависимости России // АВОК. – 2022. – № 8. – С. 22–25.
2. Барон В. Г. Импортзамещение и локализация. Правильно ли мы понимаем стоящие задачи? // С.О.К. – 2015. – № 12. – С. 18–22.
3. Барон В. Г. Легенды и мифы современной теплотехники, или пластинчатые и кожухотрубные теплообменные аппараты // Новости теплоснабжения. – 2004. – № 8 (48). – С. 38–42.
4. Барон В. Г. Непривычные особенности привычных кожухотрубных теплообменных аппаратов // Холодильный бизнес. – 1999. – № 6. – С. 27–29.
5. Барон В. Г. Тонкостенные кожухотрубные теплообменные аппараты // АВОК. – 2000. – № 3. – С. 62–64.
6. Барон В. Г. Теплообменные аппараты типа ТТАИ и специфические особенности ИТП, созданных на их основе // Новости теплоснабжения. – 2000. – № 2. – С. 24–27.
7. Барон В. Г. Теплообменные аппараты ТТАИ – альтернатива пластинчатым теплообменникам // Теплоэнергоэффективные технологии. – 2003. – № 4. – С. 52–54.
8. Барон В. Г. «Планшетные теплопункты» – новая идеология создания ИТП // Новости теплоснабжения. – 2005. – № 10 (62). – С. 41–44.
9. Барон В. Г. Современные теплообменные аппараты. Несоответствие уровней техники и эксплуатации // Аква-Терм. – 2005. – № 6. – С. 60–61.
10. Барон В. Г. Теплопункты, не занимающие места: новая идеология создания // С.О.К. – 2007. – № 10. – С. 56–60.
11. Барон В. Г. Высокоэффективные теплообменные аппараты ТТАИ, их особенности и некоторые области применения // Теплоэнергоэффективные технологии. – 2009. – № 3. – С. 37–42.
12. Барон В. Г. Возможность проведения реновации теплосетей, не требующая поиска денежных средств, или еще раз о «планшетных» теплопунктах // Новости теплоснабжения. – 2012. – № 7. – С. 38–42.
13. Барон В. Г., Мясников Ю. Н. Отечественные теплообменные аппараты нового поколения – основа энергосбережения и импортозамещения в стационарной и транспортной энергетике // Экология и развитие общества. – 2014. – № 3–4 (11). – С. 29–33.
14. Барон В. Г. Теплообменным аппаратам ТТАИ 25 лет // С.О.К. – 2017. – № 5. – С. 50–55.
15. Барон В. Г. Российские «планшетные» теплопункты, как способ снижения бюджетных расходов // Энергосбережение. – 2018. – № 1. – С. 14–17.
16. Барон В. Г. Индивидуальные тепловые пункты: дань моде или осознанная необходимость // АВОК. – 2020. – № 5. – С. 44–49.
17. Барон А. В. О вычислении гидродинамического сопротивления каналов произвольного сечения. Часть 1 // С.О.К. – 2020. – № 8. – С. 52–55.
18. Барон А. В. О вычислении гидродинамического сопротивления каналов произвольного сечения. Часть 2 // С.О.К. – 2020. – № 10. – С. 66–69.
19. Baron A. Determination of hydraulic resistance of channels using spectral geometry methods // Fluid Dynamics Research. – 2021. – № 6. – Volume 53.
20. Baron A. Using spectral geometry to predict pressure losses in curved pipes at high Reynolds numbers // Fluid Dynamics Research. – 2022. – № 4. – Volume 54.