

## **О применении пластинчатых теплообменных аппаратов в схемах паротурбинных установок**

**Бродов Ю.М. ([turbine66@mail.ru](mailto:turbine66@mail.ru)) (1), Пермяков В.А. (2)**

**(1) Уральский государственный технический университет-УПИ  
(2) НПО ЦКТИ**

Теплообменные аппараты паротурбинных установок (ПТУ) являются крупногабаритным, металлоемким, дорогостоящим и наукоемким оборудованием, в значительной степени определяющим компоновку, эффективность и надежность работы ТЭС в целом. По оценкам ВТИ и МЭИ, при неизменных параметрах свежего пара и пара промперегрева вклад в общее повышение КПД ПТУ, полученный за счет улучшения характеристик теплообменных аппаратов (конденсаторов, подогревателей сетевой воды, подогревателей системы регенерации, маслоохладителей и др.), может достигать 30% [1-4].

Большинство теплообменных аппаратов в схемах ПТУ (и ТЭС в целом), исключая деаэраторы и смешивающие ПНД, имеют кожухотрубную конструкцию, являясь аппаратами рекуперативного типа [1, 2].

Критерием оценки современного уровня разработок (и реализации) рекуперативных конденсирующих теплообменных аппаратов в схемах ПТУ с точки зрения их тепловой эффективности принято считать значения недогрева воды до температуры насыщения пара на номинальном режиме работы аппаратов (ПТУ) [1-4], которые не должны превышать, °С, для:

- конденсаторов ..... – 8,0
- подогревателей:
  1. низкого и высокого давления..... – 1,5
  2. сетевой воды (горизонтальных)..... – 3,5
  3. сетевой воды (вертикальных) и сальниковых ..... – 10,0

Для водоохлаждаемых маслоохладителей в схемах ПТУ критерием, характеризующим их тепловую эффективность, принято считать значение температуры масла на выходе их аппарата (не более 45<sup>0</sup>С) при температуре охлаждающей воды на входе в аппарат, равной 33<sup>0</sup>С [2, 3].

Критериями оценки современного уровня разработок (и реализации) рекуперативных теплообменных аппаратов в схемах ПТУ с точки зрения их надежности и долговечности принято считать следующие показатели [1-4]:

- установленный срок службы – не менее 30 лет;
- межремонтный период (между капитальными ремонтами) – не менее 50 000 ч.;
- средняя наработка на отказ – не менее 16 000 ч.;

- коэффициент готовности – не менее 0,99.

Для маслоохладителей ПТУ к одним из основных критериев надежной работы, наряду с вышеперечисленными, относится их герметичность.

Считаем, что на основе именно этих критериев и следует оценивать целесообразность реализации (внедрения) любых предложений по совершенствованию теплообменных аппаратов ПТУ как на этапе их проектирования (разработки), так и в условиях эксплуатации (при модернизации или замене).

Анализ и обобщение таких работ применительно к кожухотрубным (рекуперативного типа) теплообменным аппаратам ПТУ достаточно подробно представлены в [1-4].

Пластинчатые теплообменные аппараты, поверхность теплообмена которых образована из пакетов параллельно расположенных гофрированных пластин, известны достаточно давно [5-9]. Гофрированные поверхности пластин по мнению авторов этих работ приводит, прежде всего, к увеличению поверхности теплообмена, а также – к некоторой интенсификации теплообмена за счет изменения гидродинамики потоков и разрушения вязкого пограничного слоя теплоносителей. Отдельные пластинчатые теплообменные аппараты с небольшой поверхностью теплообмена ранее применялись в системах теплоснабжения коммунальных хозяйств, однако, в схемах ПТУ (на ТЭС) никогда не использовались.

В последнее время появились достаточно много предложений, в основном – рекламного характера, по использованию пластинчатых теплообменных аппаратов ПТУ (на ТЭС) [10-18\*] в качестве:

- ПНД систем регенерации;
- подогревателей сетевой воды;
- маслоохладителей;
- сальниковых подогревателей;
- подогревателей химически очищенной воды.

В настоящей статье, на основе анализа и обобщения информации об эффективности и надежности пластинчатых теплообменных аппаратов, сформулированы представления авторов о целесообразности их применения в схемах ПТУ (на ТЭС).

Авторы материалов, усиленно рекламирующих и предлагающих пластинчатые теплообменные аппараты, как правило, подчеркивают следующие их преимущества (в сравнении с кожухотрубными):

---

\* Авторы не считают необходимым приводить все известные им рекламные материалы (а их очень много), в т.ч. из интернета.

1. Более высокий (в 3-5 раз) коэффициент теплопередачи, что, естественно, должно предопределять меньшие массо – габаритные характеристики аппаратов.

2. Более высокую надежность аппаратов.

3. Простоту эксплуатации и обслуживания.

Ниже представлен анализ этих факторов, в том числе с позиций возможности применения пластинчатых теплообменных аппаратов в схемах ПТУ (на ТЭС).

Достижение высоких значений коэффициентов теплопередачи в рассматриваемых аппаратах (до 20 кВт/м<sup>2</sup>к) с точки зрения современных представлений науки по теплообмену вполне возможно. Это определяется особенностями их (аппаратов) конструкцией, в частности – малыми размерами каналов (1,5 – 5,0 мм), а также их профилированием (гофрированием), что в совокупности предопределяет высокую степень турбулизации теплоносителей.

Такие высокие значения коэффициентов теплопередачи, естественно, предопределяют и меньшие массо-габаритные характеристики пластинчатых аппаратов. Однако (!), авторы всех рассматриваемых материалов [10-18] умалчивают о значениях гидравлических потерь в трактах пластинчатых аппаратов, которые по данным [19-24] существенно (в разы) выше, чем у аналогичных кожухотрубных аппаратов. Это вполне естественно в узких каналах с искусственной шероховатостью при высокой степени турбулизации теплоносителей. Между тем, повышение общего гидродинамического сопротивления в схемах ПТУ, которое может возникать при замене кожухотрубных аппаратов на пластинчатые, считаем нецелесообразным, т.к. практически все насосы в схемах современных ПТУ работают на пределе своих возможностей, а величина расхода электроэнергии на собственные нужды ТЭС в отдельных случаях уже достигает 6-7 %, что в современных условиях экономически невыгодно.

Надежность работы оборудования ПТУ (и ТЭС в целом) является в настоящее время одним из основных требований как при разработке (проектировании), так и при его эксплуатации (в т.ч. при модернизации оборудования). Утверждения авторов работ [10-18] о более высокой надежности пластинчатых аппаратов по сравнению с кожухотрубными базируется на их более высокой коррозионной стойкости (по утверждению тех же авторов). Это в определенной степени естественно, т.к. пластинчатые аппараты, как правило, изготавливаются из коррозионно-стойких материалов: нержавеющей сталь, титан, никелевые сплавы и т.п. Никаких других показателей надежности пластинчатых аппаратов авторы вышеуказанных работ не приводят. Между тем известно [1-4, 19-24], что современные кожухотрубные теплообменные аппараты ПТУ, трубные системы которых (в отдельных случаях и корпуса) изготавливаются из аналогичных материалов (сплавов), имеют показатели надежности

значительно превышающие аналогичные показатели ранее изготавливаемых аппаратов. Сравнивая показатели надежности пластинчатых и кожухотрубных аппаратов необходимо также иметь в виду, что по данным [20-24] пластинчатые теплообменники весьма чувствительны к гидро- и термоударам, а также к механическим воздействиям со стороны присоединительных трубопроводов. Кожухотрубные же аппараты современных конструкций этого недостатка не имеют.

Эксплуатация и техническое обслуживание теплообменных аппаратов ПТУ в условиях ТЭС, как правило, сводится к решению вопросов загрязнения и очистки, разборки и сборки аппаратов, а также ремонту элементов их конструкций.

Авторы работ [10-18], обобщая в основном опыт эксплуатации пластинчатых теплообменных аппаратов в пищевой, фармацевтической и холодильной промышленности, а также данные по отдельным аппаратам в системах горячего водоснабжения жилищно-коммунальных хозяйств утверждают, что пластинчатые аппараты:

- практически не загрязняются или загрязняются незначительно; химический состав воды, а также скорости движения теплоносителей при этом не указываются;
- легко разбираются;
- быстро чистятся; способы очистки не указываются;
- не имеют никаких проблем при ремонте и сборке.

Эти данные по нашему мнению дают только качественную характеристику вопросов эксплуатации пластинчатых аппаратов без какого либо указания конкретных параметров и режимов их работы, без сопоставления с аналогичными данными для кожухотрубных аппаратов и, опять же, носят в основном рекламный характер. При этом в большинстве вышеприведенных работ указывается, что ремонт и очистку пластинчатых аппаратов желательно осуществлять силами специализированных организаций, фактически – поставщиками (изготовителями) аппаратов.

Считаем, что такая постановка важнейших вопросов эксплуатации пластинчатых теплообменных аппаратов (ремонт и очистка) принципиально неправильна, т.к. практически исключает оперативный ремонт аппаратов силами эксплуатационного (ремонтного) персонала. Необходимо иметь в виду, что существующая на ТЭС РФ система технического обслуживания энергооборудования регламентируется рядом нормативных документов и предполагает проведение персоналом станций работ по оперативному контролю состояния этого оборудования и его ремонту. Применительно к теплообменным аппаратам ПТУ к таким работам относятся периодические испытания аппаратов, сопоставление параметров их состояния с нормативными характеристиками, устранение мелких неисправностей, очистку аппаратов и (часто) замену (отглушение) трубок.

Претензии изготовителей пластинчатых теплообменников на полное сервисное обслуживание аппаратов, включая оценку состояния, устранения незначительных неполадок и очистку, делает станцию заложником предприятия-изготовителя аппаратов, увеличивая стоимость технического обслуживания одного элемента паротурбинных установок. Перевод же только одной группы оборудования ПТУ на иную систему технического обслуживания кроме удорожания услуг может привести к снижению показателей надежности ТЭС в целом за счет уменьшения оперативности в решении ряда вопросов, связанных с эксплуатацией данной группы оборудования (уменьшение коэффициента готовности). Переход же ТЭС в целом на другую (относительно новую) для отечественной энергетики систему сервисного обслуживания энергетического оборудования должен решаться комплексно, в первую очередь для основного оборудования (турбина, котел).

Кроме того, по мнению ряда специалистов, анализировавших весь комплекс сравнительных показателей пластинчатых аппаратов в сравнении с кожухотрубными [19-24], именно в условиях эксплуатации пластинчатых аппаратов проявился целый ряд принципиальных факторов, негативно их характеризующих:

- пластинчатые аппараты, работающие на сетевой воде (в системах теплоснабжения) и на циркуляционной воде (известны отдельные случаи применения их в качестве маслоохладителей), загрязняются гораздо быстрее кожухотрубных (на ряде объектов разборку и чистку аппаратов пришлось осуществлять через каждые (!) 12-14 часов работы); при этом подчеркивается, что чистить их существенно труднее;

- для химической промывки (очистки) пластинчатых аппаратов нужны дорогие промывочные растворы и специальные (как правило – фирменные) промывочные устройства;

- разборка, ремонт и сборка пластинчатых аппаратов является очень трудоемким и дорогостоящим процессом и в основном определяется необходимостью установки новых прокладок, которые очень дороги (до 30 % стоимости аппарата), имеют сложную форму и протяженность в десятки раз большую, чем у кожухотрубных аппаратов (при этом общее количество разборок – сборок аппаратов ограничено); кроме того указывается, что для выполнения всех этих работ требуется высококвалифицированный, специально обученный персонал;

- на случай аварийного нарушения герметичности пластинчатых аппаратов их необходимо закрывать защитными кожухами (экранами) специальных конструкций а под аппараты устанавливаются специальные лотки, что осложняет доступ к аппаратам и их ремонт; такие кожухи (экраны) и лотки, как правило, поставляют заводы-изготовители аппаратов;

- необходимы большие дополнительные площади в цехах вблизи пластинчатых аппаратов для их ремонта, т.к. нужна их полная разборка для организации ревизии всех элементов конструкции; в этом случае эффект относительно лучшей компактности пластинчатых аппаратов по сравнению с кожухотрубными фактически сводится "на нет";

- уровень тепловой эффективности пластинчатых аппаратов не превышает аналогичных показателей для современных кожухотрубных аппаратов, а стоимость пластинчатых аппаратов выше (по данным [22], например, в 3 раза), чем у кожухотрубных при одинаковой величине поверхности теплообмена ( $F \leq 400 \text{ м}^2$ );

- известен явно отрицательный опыт эксплуатации примерно 30 пластинчатых аппаратов (в основном – в различных системах горячего теплоснабжения в коммунальных хозяйствах как минимум 10 городов и поселков РФ), когда после непродолжительного периода их использования (не более 1-2 лет), аппараты были демонтированы и заменены на кожухотрубные; имеются данные об отрицательном опыте применения пластинчатых аппаратов и за рубежом (Англия, Франция, Италия);

- общая эксплуатационная надежность пластинчатых аппаратов существенно ниже, чем у кожухотрубных; по данным [10], например, в ряде крупных европейских городов не разрешается установка разборных пластинчатых аппаратов (за исключением особых случаев) из-за их низкой надежности.

В дополнение к вышеизложенному считаем необходимым сформулировать также ряд собственных соображений авторов настоящей статьи.

1. Отсутствуют представительные данные по результатам сравнительных балансовых испытаний пластинчатых и кожухотрубных аппаратов одинаковой поверхности теплообмена в условиях эксплуатации (по типу межведомственных). Отдельные ссылки на такие данные дают лишь качественную оценку и носят откровенно рекламный характер.

2. Отсутствуют нормативные документы (ОСТы, РД, РТМ и т.п.), регламентирующие методики расчета и эксплуатации пластинчатых аппаратов. Во всех известных материалах (публикациях) разработчики – поставщики аппаратов предлагают обращаться по всем вопросам к ... (!) разработчикам. Такая постановка вопроса с нашей точки зрения принципиально недопустима, т.к. не позволяет объективно оценить уровень разработок (как научный, так и инженерный). Кроме того, невозможно провести поверочный расчет аппаратов применительно к конкретным условиям эксплуатации и, следовательно, сопоставить реальные показатели работы аппаратов с расчетными.

3. Нет оценки уровня разработок и реализации (внедрения) пластинчатых аппаратов в сравнении с кожухотрубными с позиций принятых в энергетике критериев (см. выше). Приводимые различными

разработчиками пластинчатых аппаратов данные противоречивы, а отдельные (например, данные по общей надежности работы аппаратов и их гидродинамическому сопротивлению в различных условиях эксплуатации) вызывают большие сомнения.

Не отрицая принципиальную возможность применения (использования) пластинчатых аппаратов в отдельных случаях, например, в системах коммунального хозяйства ЖКХ при технически чистой воде, считаем, что современное состояние разработок и не поддающийся систематизации опыт эксплуатации пластинчатых теплообменных аппаратов (разрозненный и чаще всего противоречивый), при практически полном отсутствии такого опыта в энергетике, показывает нецелесообразность в настоящее время применения пластинчатых аппаратов в схемах ПТУ (на ТЭС).

Необходима координация работ всех заинтересованных сторон в проведении совместных комплексных исследований пластинчатых теплообменных аппаратов, прежде всего, с позиций принятых в энергетике критериев.

## Литература

1. Назмеев Ю.Г., Лавыгин В.М. Теплообменные аппараты ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1998. – 286 с.
2. Теплообменники энергетических установок: Учебник для вузов. К.Э.Аронсон, С.Н.Блинков, В.И.Брезгин и др. Под ред. Ю.М.Бродова. Екатеринбург: Изд-во "Сократ", 2003. – 986 с.
3. Повышение эффективности и надежности теплообменных аппаратов паротурбинных установок. – 3-е изд., перераб. и доп. / Ю.М.Бродов, К.Э.Аронсон, Г.Д.Бухман и др. Екатеринбург: Изд-во Президиума УрО РАН, 2004. – 456 с.
4. Бродов Ю.М. Совершенствование рекуперативных теплообменных аппаратов паротурбинных установок на различных этапах их жизненного цикла // Теплоэнергетика. 2005. № 5. С. 20 – 23.
5. Барановский Н.В., Коваленко Л.М., Ястребеницкий А.Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники. – М.: Машиностроение, 1973. – 288 с.
6. Radge C., Chand G. Consider the plate heat exchanger. // Chemical engineering, 1980, № 8.
7. Применение пластинчатых теплообменников в системах теплоснабжения / Зингер Г.М., Сиротенко В.А., Тарадий А.М., Кульбаченко Н.Л. // Водоснабжение и санитарная техника, 1981, № 6, с. 16-18.

8. Пластинчатые теплообменные аппараты: Каталог. М.: ЦИНТИХимнефтехиммаш, 1983. – 56 с.

9. Аппараты теплообменные пластинчатые. Типы, параметры и основные размеры. ГОСТ 15518 – 87 // ИПК Изд-во стандартов, Москва, 1987, 30 с.; Переиздано с изменениями, 1999 г.

10. Паяный или разборный? // ЭСКО. Электронный журнал энергосервисной компании "Энергетические системы", 2003 г., № 4 (<http://esco-ecosys.narod.ru/2003-4/art185/htm>).

11. Пластинчатые теплообменники Альфа Лаваль. Есть ли предел совершенству? // Теплоэнергоэффективные технологии, Санкт-Петербург, 2003, № 1, с.40-44.

12. Преимущества использования пластинчатых теплообменников концерна APV на теплоэлектростанциях и в централизованном теплоснабжении // Рекламный буклет компании APV. Изд-во Моск. представительства APV. - 11 с.

13. Пластинчатые теплообменники производства "Теплотекс" ГУП "Мостеплоэнерго". Комплексный подход к применению пластинчатых теплообменников в системах теплоснабжения // Рекламный буклет – 12 с.

14. Преимущества теплообменников Ридан // Рекламный буклет.–5 с. Инновационный подход к применению теплообменного оборудования на ТЭС //Реклама в журнале "Электрические станции", 2005, №8. С 91-92.

15. Разборные пластинчатые теплообменники VT. // Рекламный буклет группы компаний "Промэнерго" – 7 с.

16. Шелен. Пластинчатые теплообменники. Рекламные материалы производственно-консалтингового предприятия "Шелен" // <http://www.shelen.ru/side25.html>. – 2 с.

17. Пластинчатые теплообменники – Промышленная группа "Генерация". Рекламные материалы // <http://generation.ru/kotov2.php>. - 8 с.

18. Пластинчатые теплообменники. Проектирование, разработка технологии изготовления. Рекламные материалы предприятия "Инженер" //– 2 с.

19. Беляков В.К., Винокур И.А., Степин Н.М. Новое в производстве теплообменного оборудования для систем теплоснабжения г. Москвы // Промышленное и гражданское строительство, 1995, № 3.

20. К вопросу выбора типа водо-водяных подогревателей для систем теплоснабжения / Пермяков В.А., Пермяков К.В., Якименко А.Н., Нейбургер А.Н. // Промышленная энергетика, 2000, № 4, с. 37-44.

21. Барон В.Г. Тонкостенные теплообменные интенсифицированные аппараты – альтернатива пластинчатым теплообменникам // Теплоэнергоэффективные технологии, 2003, № 4, с. 52 – 55.

22. Дрейцер Г.А. О некоторых проблемах создания высокоэффективных трубчатых теплообменных аппаратов // Материалы V

Минского межд. форума по тепло- и массообмену 24 – 28 мая 2004 г., том 2, с. 288-289.

23. В.Г.Барон. Легенды и мифы современной теплотехники. Пластинчатые теплообменные аппараты и кожухотрубные аппараты ТТАИ // Новости теплоснабжения, 2004, №8 (48), (<http://teploobmen.boom.ru/Publications/ТТАИ/art 2.htm>).

24. Отечественные кожухотрубные подогреватели нового поколения для технического перевооружения систем теплоснабжения / Пермяков В.А., Пермяков К.В., Боровков В.М., Кошелев С.М. // Промышленная энергетика, 2004, № 11, с. 22-30.