

**ЭКСПРЕСС-МЕТОДИКА ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ
РЕКУПЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ
ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ
ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ**

В. И. Дешко, проф.; Ю. В. Хоренженко, акад. АБУ;

М. М. Шовкалюк, асп.;

К. И. Луданов*; А. С. Гордиенко**

Национальный технический университет Украины «КПИ»,

**Институт проблем материаловедения НАНУ,*

***ООО «Экотеп»*

Представленная методика испытаний рекуперативных теплообменников (кожухотрубных и пластинчатых типа «вода-вода») позволяет в условиях эксплуатации контролировать их теплотехнические показатели и принимать решения о необходимости останова для снятия отложений с поверхности теплообмена, а также прогнозировать контрольный срок следующих испытаний.

ВВЕДЕНИЕ

Постоянный рост цен на топливно-энергетические ресурсы и зависимость Украины от их импорта привели к тому, что энергосбережение сегодня является важной проблемой национальной безопасности. Одним из основных путей рационального использования ресурсов в энергетике является снижение их расхода на работу систем теплоснабжения (СТС), которые потребляют более 20% энергоресурсов. В этих условиях существенно повышается значение и роль научных разработок по выявлению причин низкой эффективности использования тепловой энергии. Теплообменники (ТО) теплопунктов представляют собой наиболее важные элементы СТС. Эффективность использования теплообменников определяется возможностью их эксплуатации при минимальном загрязнении поверхности теплообмена, поэтому правильный выбор оптимальных условий эксплуатации ТО является важной инженерной задачей. Предлагаемая методика испытаний теплообменников является одним из средств повышения эффективности работы СТС. Разработанная нормативно-методическая база позволяет решать актуальную задачу тепловой диагностики теплообменного оборудования котельных и теплопунктов СТС, использовать его с максимальной эффективностью, давать рекомендации по целесообразности очистки.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Методика тепловых испытаний ТО выполнена на высоком научно-техническом уровне и основана на двух авторских свидетельствах СССР по способам тепловых испытаний рекуператоров (№1377558 и №1589021, «Универсальный метод испытаний ТО»). Для решения задачи испытаний применительно к рекуперативным ТО котельных и теплопунктов централизованных тепловых сетей разработан и зарегистрирован в Укрметрестстандарт (№24-8/303 от 25.09.2003) нормативно-методический документ «Определение коэффициента теплопередачи рекуператора. Экспресс-методика эксплуатационных испытаний». Этот документ включает описание процедуры измерений, необходимый для этого комплект аппаратуры и метод обработки результатов, а также критерии оценки и логику принятия решения на этой основе и в случае

возможности продолжения дальнейшей эксплуатации - прогноз времени непрерывной работы до срока останова ТОО для проведения очистки поверхности теплообмена от слоя отложений.

Коэффициент теплопередачи является основным параметром теплообменника, который определяет практически все его достоинства и недостатки. Традиционно действительное значение величины коэффициента теплопередачи определяется экспериментально - в результате проведения тепловых испытаний ТОО и обработки результатов в рамках формулы

$$k = Q/F \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где Δt - средняя разность температур, она зависит не только от величины начальных и конечных температур теплоносителей, но и от схемы их взаимного тока.

Существующие методы испытаний ТОО (ДСТУ EN306:2003 или EN306:1997) основаны на графоаналитической методике Баумана (1936 г.), которая уже давно морально устарела, не соответствует современным требованиям к точности и не «стыкуется» с компьютерными технологиями обработки экспериментальных данных, полученных при испытаниях ТОО.

Универсальный метод тепловых испытаний относится к методам косвенного определения k в рамках совместного определения двух основных характеристик ТОО: этим методом определяется не только коэффициент теплопередачи k (характеристика интенсивности теплообмена), но и так называемый индекс противоточности схемы тока p (показатель совершенства схемы тока). Для противотока он максимальный: $p = 1$, для прямотока - минимальный $p=0$, а для всех остальных схем тока в рекуператорах $0 < p < 1$. В универсальном методе измерение параметров теплоносителя проводится при расчетных расходах и температурах на входе в ТОО, но при двух режимах протекания нагреваемой воды: расчетном режиме и режиме с противоположным по отношению к расчетному направлением ее течения.

Идеологически методика была построена на основе ряда объективных критериев оценки состояния ТОО, которые были приняты в нормативных материалах СССР (в т.ч. в РТМ 26-01-36-70) и опубликованы в [1]. Одним из критериев является толщина отложений на поверхности теплообмена - она не должна превышать 0,5 мм. Для прогноза допустимого времени работы t рекуператора после проведения его испытаний была использована модель роста толщины слоя отложений, разработанная Керном-Ситоном и принятая в мире в качестве базовой [2]:

$$R(t) = R_{max}[1 - \exp(-bt)] \quad (2)$$

где R_{max} - термическое сопротивление слоя отложений на поверхности теплообмена, максимально возможное в заданных условиях эксплуатации, определяемых температурой поверхности, скоростью воды, химическим составом и концентрацией растворенных в ней веществ и т.д.; b - коэффициент, характеризующий темп роста слоя отложений на поверхности теплообмена: τ - время эксплуатации теплообменника от «чистого» состояния поверхности.

В результате проведения эксплуатационных испытаний по определению коэффициента теплопередачи k принимается решение о дальнейшем использовании ТОО. Если установлено, что коэффициент работоспособности $\beta = k/k_0$, где k_0 - коэффициент теплопередачи для чистого рекуператора менее 65% ($\beta < 0,65$), рекомендуется немедленная остановка ТОО для снятия отложений. Если $0,65 < \beta < 0,7$ - рекомендуется остановка рекуператора в самое ближайшее время. Если $\beta > 0,7$, то

принимается рекомендация о продолжении дальнейшей эксплуатации вплоть до наступления контрольного срока, который вычисляется по формуле

$$\tau_{кк} = t_1 \frac{\ln[(R_{з. max} - R_{з.1}) / (R_{з. max} - R_з)]}{\ln[(R_{з. max} - R_{з.1}) / R_{з. max}]}, \quad (3)$$

где t_1 – время эксплуатации ТО от состояния с чистой поверхностью до момента испытаний; $R_{з.1}$ – термическое сопротивление слоя отложений, установленное при испытаниях, $\text{м}^2\text{К}/\text{кВт}$; $R_з$ – предельно допустимое термическое сопротивление отложений ($0,43/\text{к0}$); $R_{з. max}$ – максимально возможное термическое сопротивление слоя отложений со стороны нагреваемой воды.

Фирмой «Экотеп» (Киев) создан передвижной стенд для проведения экспресс-испытаний теплообменников непосредственно на объектах эксплуатации – тепловых пунктах тепловых сетей. В его состав включены наиболее современные инженерные решения, необходимые датчики, высокоточные приборы и мобильный компьютерный информационно-измерительный комплекс на базе ПК «Ноутбук» для воспроизведения измеряемых параметров (расходов и температур) на экране, их записи в электронном виде и математической обработки результатов в соответствии с ДСТУ EN305:2001.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ

В рамках апробации методики был проведен ряд испытаний ТО, находящихся в эксплуатации на объектах тепловых сетей г.Киева. Из них – два крупных ТО (F около 10 м^2) производства фирмы Альфа-Лаваль и один – небольшой (около 1 м^2) фирмы СВЕП. Теплообменники Альфа-Лаваль функционируют в тепловых пунктах города в течение нескольких лет и оказались сильно загрязненными, их поверхность теплообмена покрыта большим слоем отложений: k одного из них уменьшился вдвое (соотношение “чистый”/”грязный” – $2571/1315 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$), а другого – на треть (“чистый”/”грязный” – $1391/930 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$). В первом случае в соответствии с методикой необходим немедленный останов ТО для очистки поверхностей теплообмена, а во втором – необходим останов в ближайшее время. Третий теплообменник производства фирмы СВЕП эксплуатировался недолго и оказался практически незагрязненным: (“чистый”/”грязный” – $4591/4571 \text{ т}/\text{м}^2\text{К}$). В результате диагностики пластинчатого ТО фирмы Альфа-Лаваль ($F=17\text{м}^2$), проработавшего в тепловом пункте корпуса №22 НТУУ «КПИ» больше года, выяснилось, что он сильно загрязнен и требует немедленной очистки для дальнейшей эффективной работы (“чистый”/”грязный” – $2341/1212 \text{ Вт}/\text{м}^2\cdot\text{К}$). Дальнейшее продолжение эксплуатации таких водоподогревателей приводит к тому, что слой накипи и отложений на теплообменных поверхностях рекуператоров блокирует теплопередачу и уменьшает расход и температуру воды, которая в них подогревается, а это значительно сокращает запланированный отпуск теплоэнергии ее потребителям.

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ ТО

Таким образом, для повышения эффективности работы тепловых сетей города необходима своевременная очистка поверхностей теплообмена ТО тепловых пунктов. Известны следующие способы снятия отложений: механическая или химическая промывка; а также физические методы очистки.

Механическая очистка поверхности теплообменника – очень трудоемкая операция. ТО необходимо обязательно вскрывать, а при этом могут быть повреждены прокладки между пластинами или нарушена

герметичность. Замена прокладок стоит приблизительно 30% стоимости самого теплообменника.

Интенсивность и продолжительность химической промывки определяются составом и структурой отложений. Если это нельзя косвенно определить, то возникает необходимость вскрытия хотя бы одной пластины, что нежелательно. От состава отложений зависят химический состав (кислотный или щелочной) и концентрация моющего раствора. Зачастую верхний слой отложений более мягкий, чем нижний. Высокая концентрация активно-агрессивных компонентов моющего раствора, в свою очередь, может сильно повлиять на качество прокладок и испортить поверхность пластин. Увеличение шероховатости поверхности пластин после их промывки резко увеличивает скорость их загрязнения после начала последующей эксплуатации. При снижении концентрации активных компонентов моющего раствора увеличивается емкость бака установки. Экологическая опасность состоит в нейтрализации промывочного раствора после использования и в ее вредности для персонала.

В последнее время все большее внимание уделяется физическим методам очистки и защиты теплообменного оборудования, в частности с использованием ультразвуковых генераторов, электрогидроимпульсных аппаратов, акустических приборов и т.д. Среди названных методов магнитная обработка воды имеет следующие преимущества: практически исключается загрязнение окружающей среды, не только предотвращается возникновение накипи, но и удаляется старая накипь, за счет создания тонкого слоя магнетита понижается скорость коррозии металла поверхностей нагрева. Использование ультразвукового метода в паяных пластинчатых теплообменниках позволяет снизить скорость образования накипи на теплообменных поверхностях в 3-5 раз и при той же тепловой нагрузке снизить температуру обратной сетевой воды на 3-4 °С.

Наиболее дешевый способ очистки – механический, но он малоэффективный и трудоемкий, может использоваться только для разборных ТО. Более дорогая альтернатива – химическая промывка, но она подходит также и для паяных теплообменников, которые невозможно разобрать, это быстро и эффективно: за 60 минут очистки возможно уменьшить потери давления в каналах ТО до расчетных параметров. Еще более дорогие – физические методы очистки. Эти технологии за короткое время очищают поверхности от отложений, а дальше предотвращают дальнейшее образование накипи и грязи. Их целесообразно использовать тогда, когда работает большое количество оборудования, эффективность работы которого зависит от качества воды, так как через некоторое время не придется использовать другие виды очистки или останавливать работу всего оборудования, чтобы почистить один прибор.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Степень эффективности систем теплоснабжения определяется в значительной степени условиями эксплуатации теплообменного оборудования, а оно на многих объектах тепловых сетей сильно изношено, отличается плохим состоянием. Наличие слоя отложений на поверхностях теплообмена приводит к тому, что теплоноситель не отдает в ТО в достаточной мере свое тепло, возвращаясь на ТЭЦ или в котельную перегретым, а нагреваемая вода подается потребителю недогретой до температуры, требуемой по СНиП, и с расходом ниже расчетного. Загрязнения значительно снижают k и увеличивают гидравлическое сопротивление, что может привести к разрыву металла пластин и потере плотности прокладок.

Разработанная методика эксплуатационных испытаний является базой для технико-экономических прогнозов и позволяет решать целый

комплекс вопросов: диагностику ТО, принятие решения о его дальнейшей работе, период между очистками для конкретных условий эксплуатации, поддержка необходимых режимов отпуска тепловой энергии потребителям, так как температурой нагреваемого в ТО теплоносителя определяются комфортные условия в помещении. Своевременные диагностика и очистка теплообменного оборудования от загрязнений позволяют использовать его с максимальной эффективностью и не проводить нецелесообразные очистки. Это связано с тем, что скорость образования отложений очень высока в первоначальный период — при чистой теплообменной поверхности, и значительно падает в последующее время эксплуатации, продолжительность которого составляет примерно 80-90 % всего межпромывочного периода [3]. На практике периодичность чистки тесно связана с эксплуатационными циклами работы. Например, чистка для ТО систем отопления обычно проводится в межотопительный период. В случае частого проведения химических промывок (ежегодно между сезонами) износ поверхности пластин и прокладок между ними будет гораздо выше, и они выйдут из строя раньше, чем в случае выполнения оптимальной стратегии: принятия решения о чистке теплообменника по результатам эксплуатационных испытаний, методика которых содержит не только процедуру оценки и принятия решений, но и метод расчета срока дальнейшей эксплуатации.

Как правило, ТО подбираются с запасом по поверхности теплообмена с учетом понижения k из-за загрязнений, а это ведет к увеличению стоимости системы на стадии несения капитальных затрат (подбираются более дорогие и громоздкие ТО), а также эксплуатационных затрат (большие по размеру ТО имеют и большее гидравлическое сопротивление, что ведет к повышению расхода электроэнергии на привод насосов). Данная методика позволяет прогнозировать срок эффективной эксплуатации ТО, из экономических соображений принимать решение о периоде между очистками, прогнозировать параметры теплоносителя. Благодаря этому, по договоренности с Заказчиком возможно принятие решения об уменьшении капитальных затрат на системы теплоснабжения и применения меньших типоразмеров ТО при условии непрерывного мониторинга теплотехнических параметров теплоносителей с помощью данной методики и своевременной промывки поверхностей теплообмена. Очистку поверхности теплообмена рационально проводить не ежегодно, а только в случае крайней необходимости, т.е. в случае неудовлетворительных результатов проведенной диагностики теплообменников, что позволит использовать их с максимальной эффективностью и не тратить ресурсы на очистки, которые, возможно, не являются целесообразными.

ВЫВОДЫ

1 Разработанная методика позволяет в условиях непосредственной эксплуатации оценивать работу ТО и принимать решение о его дальнейшем использовании, а также определять контрольный срок для проведения дополнительных испытаний или снятия отложений с теплообменных поверхностей.

2 Реализация этой методики на практике путем периодической диагностики теплообменников и промывки их поверхностей позволит значительно повысить эффективность эксплуатации ТО и оптимизировать работу систем теплоснабжения в целом.

SUMMARY

Method of testing of recuperative heat exchangers (shell-and-tube and plate types "water-water") presented which allows controlling its thermal technical characteristics in operating conditions and to take a decision about necessity stop for cleaning of heat exchange surfaces and forecast a control period of next tests.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Н.В. Барановский и др. Пластинчатые и спиральные теплообменники. – М.: Машиностроение, 1973.
2. Каневец Г.Е. Теплообменники и теплообменные системы. – К.: Наукова думка, 1982.
3. Бажанов П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М. Справочник по теплообменным аппаратам. – М.: Машиностроение, 1989. – 365 с.

Поступила в редакцию 6 декабря 2005 г.

УДК 620.9: 658.264

ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ ПРОЕКТІВ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В АДМІНІСТРАТИВНИХ І ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЛЯХ

В. І. Дешко, проф.; Ю. В. Хоренженко, акад. АБУ;

М. М. Шовкалюк, асп.

Національний технічний університет України «КПІ»

Запропонована методика для аналізу ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів у системах тепlopостачання в адміністративних і громадських будівлях за рахунок впровадження заходів з енергозбереження.

ВСТУП

Системи тепlopостачання є одним із найбільших споживачів енергії, тому в Україні все ширше проводяться програми, спрямовані на енергоощадність, за кошти інвесторів запроваджується різні енергозбережні проекти для зменшення енергоємності комунального господарства. Із аналізу даних проведених енергоаудитів в адміністративних і громадських будівлях м.Києва впливає, що до 90% спожитої первинної енергії в умовному обчисленні (із розрахунку 0,173 т.у.п/Гкал та 0,35 кг/кВт-год) становить теплова енергія, отже, головним завданням є зниження рівня теплоспоживання. Основними заходами, спрямованими на зменшення витрат на тепlopостачання для цих будівель, є: зниження t_{en} у нічний та неробочий час, утеплення зовнішніх стін, горищних перекриттів, підвалів; заміна вікон та дверей або їх ущільнення; зменшення площі засклення огорожувальних конструкцій; екранування радіаторних ніш, встановлення ефективного теплообмінного обладнання в тепlopунктах та ін.

Грунтуючись на даних проведених розрахунків для будинків невиробничого призначення (переважно це школи, дитячі садочки та лікарні), можна сказати про неефективне споживання теплової енергії і зробити висновок про те, що питоме споживання енергії часто значно перевищує встановлені нормативи, наведені в [2] для різних типів будівель, і в деяких випадках досягає значень 0,35 - 0,6 МВт-год/(м²·рік) і вище. Для прикладу, згідно зі шведськими нормами питоме споживання теплової енергії в школах м. Стокгольма складає 0,175 МВт-год/(м²·рік), ця величина вміщує також значно більше гарячої води для ГВП, ефективну механічну вентиляцію та вищу температуру в приміщеннях. Згідно з [3] в Австрії в найкращих проектах вдається досягти значень до 0,03 МВт-год/(м²·рік).

Встановлення приладів обліку теплової енергії є базою для енергозбереження, дає технічну можливість для проведення заходів щодо економії енергоресурсів, дозволяє встановити об'єкти з