

Опыт реконструкции сохраняемых в эксплуатации вертикальных подогревателей сетевой воды

Пермяков К. В., канд. техн. наук
ОАО “НПО ЦКТИ”, Санкт-Петербург

Вертикальные сетевые подогреватели ПСВ, выпускаемые более 60 лет, сегодня физически и морально устарели. Их показатели не соответствуют современному уровню тепловой эффективности, надежности и ремонтпригодности. Вместе с тем вследствие высокой стоимости, большой трудоемкости демонтажных и монтажных работ они будут еще долгое время эксплуатироваться. Поэтому разработан и опробован ряд вариантов реконструкции аппаратов, повышающих их тепловую эффективность и надежность. В зависимости от вида ремонта и степени вмешательства в трубную систему повышение тепловой эффективности составляет от 12 – 15 до 45 – 50 %. Реконструкция не требует существенных затрат, может быть проведена на объекте в период плановых ремонтов.

Ключевые слова: сетевые подогреватели ПСВ, тепловая эффективность, надежность, модернизация, реконструкция трубной системы.

Для подогрева сетевой воды конденсирующимся паром от котельных или отборов турбин ТЭЦ и ГРЭС в системах централизованного теплоснабжения широко применяют вертикальные аппараты (бойлеры) типов БО, БП, БПу и ПСВ. Последним официальным нормативным документом, регламентирующим их выпуск, был ОСТ 108.271.101–76 [1]. Основным поставщиком подогревателей многие годы остается Саратовский завод энергетического машиностроения (АО “Сарэнергомаш”). Ряд этих аппаратов включает в себя подогреватели с площадью поверхности нагрева 45 м², 63, 90, 125, 200, 315 и 500 м². Последние три типоразмера имеют по две модификации. Все они были спроектированы более 60 лет назад по единой конструктивной схеме, которая до настоящего времени не претерпела принципиальных изменений [2, 3]. В состав каждого подогревателя входят верхняя съемная водяная камера, корпус, трубная система, малая (“плавающая”) водяная камера. Трубные пучки набирают чаще всего из прямых гладких латунных труб наружным диаметром 19 мм и толщиной стенки 1 мм. Концы труб закреплены в большой и малой трубных досках путем развальцовки. Описание конструктивных особенностей подогревателей имеется во многих изданиях [3, 4], поэтому в данной статье оно не приводится.

Конструктивные и эксплуатационные недостатки этих подогревателей рассматриваются в различных публикациях [5 – 9]. Показатели тепловой эффективности всех аппаратов указанной серии не соответствуют современному техническому уровню. На рис. 1 в качестве примера приведена полученная НПО

ЦКТИ опытная зависимость величины недогрева ($\delta t = t_s - t_B''$, где t_s — температура насыщения греющего пара при давлении его на входе в подогреватель; t_B'' — температура сетевой воды за подогревателем) для подогревателя ПСВ 500-14-23, эксплуатируемого в системе теплоснабжения Прибалтийской ГРЭС, от его тепловой мощности (кривая 1) [11]. Как видно, фактические значения этого параметра при близких к номинальной тепловых мощностях в 4 – 5 раз превышают его нормативное значение. Обследования показали, что на некоторых объектах подогреватели этой серии эксплуатируются с недогревами, достигающими 25 – 30 °С и более [12]. Эксплуатация

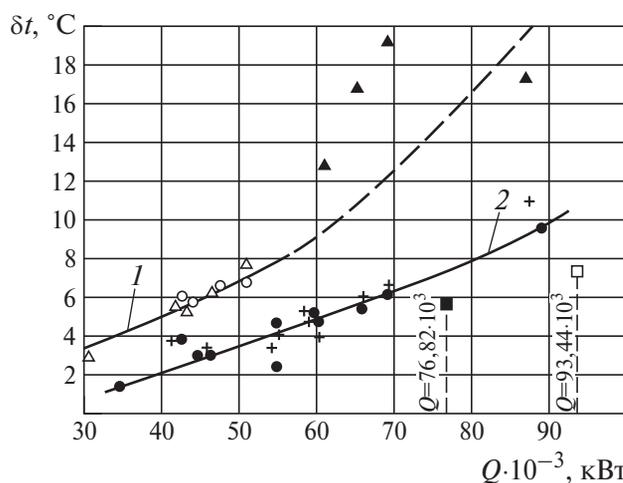


Рис. 1. Зависимости величины недогрева сетевой воды от тепловой нагрузки подогревателя ПСВ-500-14-23:

1 — опытные (○) и расчетные (△) данные для подогревателя с поверхностью из гладких труб; 2 — опытные (●) и расчетные (+) данные для подогревателя с поверхностью из профильно-витых труб (ПВТ); ▲ — данные расчетов по [10] для гладкотрубного аппарата в режимах по ОСТ 108.271.101–76; □, ■ — данные межведомственных испытаний

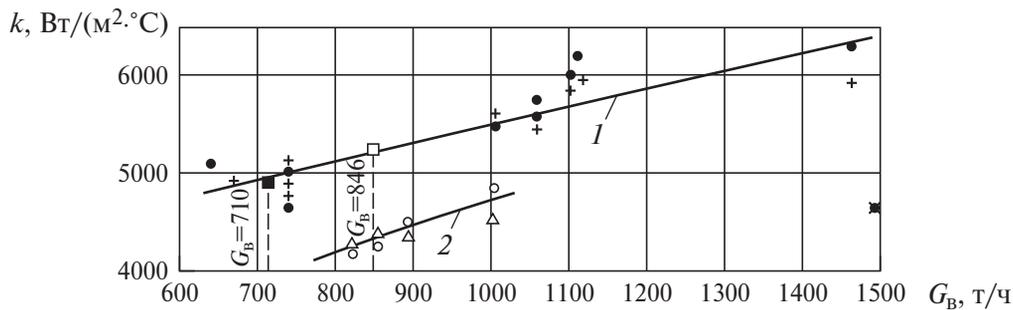


Рис. 2. Зависимости коэффициента теплопередачи от расхода сетевой воды в подогревателе ПСВ-500-14-23:

1 — опытные (●) и расчетные (+) данные для подогревателя с поверхностью из ПВТ; 2 — опытные (○) и расчетные (△) данные для серийного ПСВ-500-14-23; □, ■ — данные межведомственных испытаний

таких подогревателей приводит к значительным пережогам топлива и соответствующему повышению тарифов на тепловую энергию. Однако они еще долго будут эксплуатироваться, поскольку оперативная их замена более совершенными подогревателями, удовлетворяющими современным техническим требованиям, в настоящее время часто невозможна из-за довольно высокой их стоимости. Это обуславливает острую необходимость радикального повышения тепловой эффективности сохраняемых в эксплуатации подогревателей сетевой воды ранних выпусков за счет недорогой реконструкции, осуществляемой на объектах их эксплуатации. Рассмотрим некоторые из них.

Специалистами УГТУ–УПИ (ныне УрФУ) и НПО ЦКТИ была выполнена широкая программа работ по исследованию эффективности применения в энергетическом теплообменном оборудовании поверхностей теплообмена из профильно-витых труб вместо гладких [4, 13]. Эти работы подтвердили перспективность данного метода для существенного улучшения технико-экономических характеристик рассматриваемого оборудования.

При капитальном ремонте подогревателя ПСВ 500-14-23 на Прибалтийской ГРЭС в его трубной системе по рекомендации НПО ЦКТИ была осуществлена замена гладких теплообменных труб на ПВТ. Накатанные винтовые канавки на поверхности латунных труб наружным диаметром 19 мм и толщиной стенки 1 мм имели глубину $0,8 \div 1,2$ мм, шаг между ними — $8 \div 12$ мм. Других изменений в неэффективную трубную систему, принятую в серийных подогревателях, при этом не вносили. Последующие испытания подтвердили, что достигнуто близкое к двукратному снижению величины недогрева в данном ап-

парате [11] (кривая 2 на рис. 1). На рис. 2 приведены зависимости коэффициентов теплопередачи от расходов сетевой воды, полученные при испытаниях. В варианте с трубной системой из ПВТ значения этого коэффициента на 25–30 % выше, чем в серийных подогревателях с поверхностями нагрева из гладких труб. Эти результаты соответствуют данным, полученным ранее УрФУ [3, 4]. Серийное производство ПВТ такого типа освоено на заводе по обработке цветных металлов в г. Ревде (Свердловская обл.).

Данный метод повышения тепловой эффективности сохраняемых в эксплуатации вертикальных подогревателей сетевой воды ранних выпусков легко осуществим в период их ремонтов (с перенабивкой трубных пучков) непосредственно на объекте. При такой замене концы ПВТ остаются гладкими и закрепляются в трубных досках также путем развальцовки. После проведения соответствующей ревизии часто удается сохранить для последующей эксплуатации водяные камеры и корпуса подогревателей. Для этого целесообразно на внутренние поверхности водяных камер, перегородки в них и поверхности трубных решеток со стороны воды нанести антикоррозионное покрытие, например “Викор-793 ТРИО”.

Ранее в НПО ЦКТИ была разработана новая схема движения потоков пара, его конденсата и паровоздушной смеси в межтрубном пространстве вертикальных пароводяных подогревателей. Ее предварительно опробовали при модернизации подогревателей сетевой воды типа ПСВ-200у, установленных в Юго-Восточной котельной г. Выборга (Ленинградская обл.), а затем применили в новой серии вертикальных подогревателей сетевой воды типа ПСВК, разработанных и поставленных на производство в НПО ЦКТИ (ТУ 4933-049-05762252–2003). На рис. 3, а для

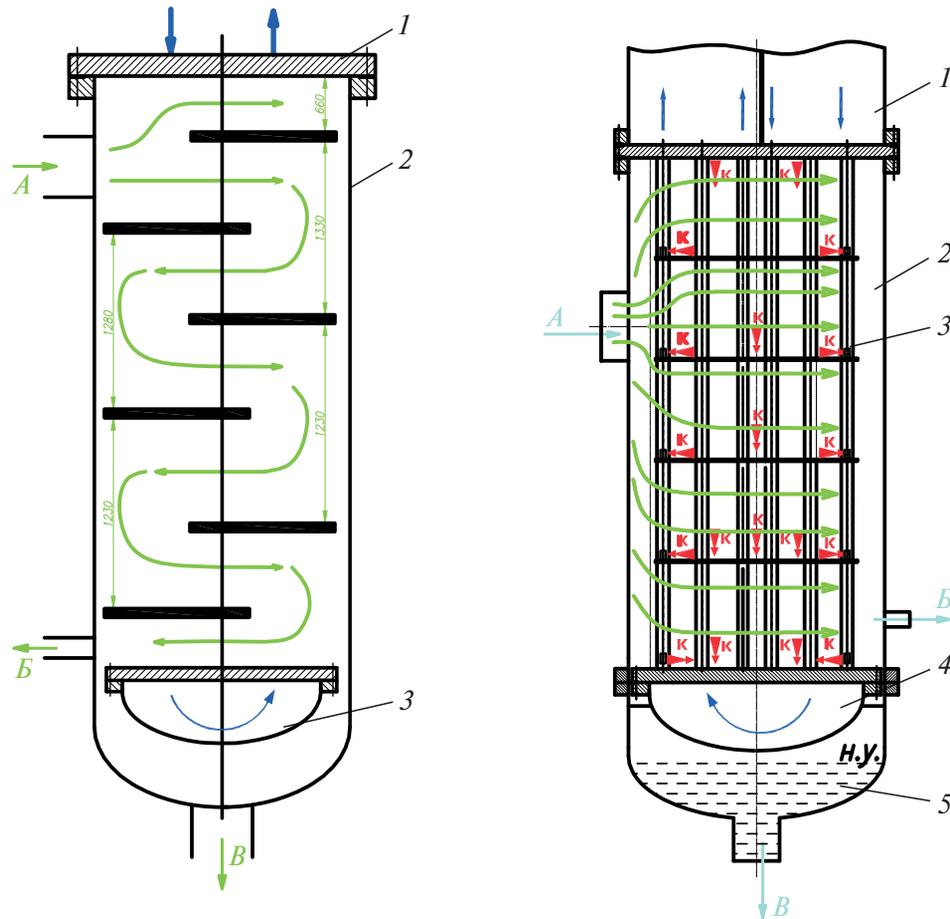


Рис. 3. Принципиальные схемы движения потоков пара, сетевой воды, конденсата греющего пара и паровоздушной смеси в серийных подогревателях сетевой воды (а) и в подогревателях нового типа ПСВК (б):

а: 1 — трубная система; 2 — корпус; 3 — малая водяная камера; А — вход пара; Б — отвод паровоздушной смеси; В — выход конденсата; б: 1 — распределительная водяная камера; 2 — корпус; 3 — трубная система; 4 — малая водяная камера; 5 — съемная крышка; н.у. — нормальный уровень

сравнения приведена схема, применяемая в серийных подогревателях, например ПСВ-315-14-23. Основные особенности новой схемы (рис. 3, б):

наличие системы сбора и непрерывного отвода из зон конденсации конденсата пара и воздуха (паровоздушной смеси);

на входе пара в трубный пучок создан вертикальный раздающий коллектор, способствующий выравниванию скоростей пара по длине теплообменных труб, а за пучком — аналогичный коллектор сбора поступающей из зон конденсации паровоздушной смеси; из последнего она отводится через соответствующий патрубок на корпусе подогревателя;

схема движения пара через трубный пучок — однопроходная, при которой сохраняется преимущественно поперечное наружное омывание паром теплообменных труб и уменьшается (по сравнению со схемой многоходового движения пара через пучок, принятой в аппаратах ранних выпусков) гидравлическое

сопротивление по пару межтрубного пространства реконструированного или нового аппарата.

При реконструкции сохраняемых в эксплуатации подогревателей типов БО, БП, БПу и ПСВ ранних выпусков эта схема может быть реализована в полном объеме в ходе их капитальных ремонтов непосредственно на объектах, при которых осуществляется замена труб в пучке, опорных перегородок и анкерных связей в нем. Такая реконструкция узла теплоснабжения в Юго-Восточной котельной г. Выборга по проекту НПО ЦКТИ была проведена в 1995 г. По первоначальному проекту в ней были установлены три паровых котла ДЕ-25-14 и два вертикальных подогревателя сетевой воды типа ПСВ-200у. Из-за низкой тепловой эффективности данных аппаратов использовался пар только от двух котлов, хотя была острая необходимость повышения отпускаемой котельной тепловой мощности. После модернизации

подогревателей ПСВ-200у, осуществленной ремонтным персоналом “Выборгтеплоэнерго” на площадке данной котельной с использованием некоторых элементов, изготовленных НПО ЦКТИ (перегородок, анкерных связей трубного пучка и др.), отпуск теплоты потребителям увеличился на 40 %, и в работу были включены все три котла [12]. Если бы в ходе этой реконструкции гладкие трубы в подогревателях заменили на ПВТ или “олуненные” трубы [14, 15], тепловая мощность котельной дополнительно возросла бы еще на 25 – 30 %.

Тепловая мощность сохраняемых в эксплуатации вертикальных подогревателей сетевой воды может быть также ощутимо повышена и в тех случаях, когда при их ремонтах или ревизиях не осуществляется замена теплообменных труб. Для этих случаев НПО ЦКТИ разработана и передается заказчикам документация на несколько вариантов такой реконструкции, в результате осуществления которой удастся приблизить принципиальную конструктивную схему подогревателя к показанной на рис. 3, а. Но поскольку при этом разборка трубного пучка не выполняется, системы сбора и отвода конденсата греющего пара с поверхности теплообменных труб, сбора и удаления из межтрубного пространства неконденсирующихся газов удается только частично воспроизвести по схеме на рис. 3, а. Однако и такая реконструкция дает значительный экономический эффект.

В табл. 1 в качестве примера приведены данные о величинах недогрева в подогревателе ПСВ-315-14-23, установленном на ГРЭС-8 Ленэнерго (г. Кировск Ленинградской обл.), зафиксированных ее службой эксплуатации до и после модернизации, в ходе которой трубный пучок при разборке не подвергался и сохранились без каких-либо изменений узлы корпуса и водяных камер подогревателя. Эти данные показывают, что даже при “усеченном” варианте реконструкции этого подогревателя было достигнуто практически двукратное снижение величины недогрева по отношению к ее значению для аппарата в традиционном заводском исполнении. Затраты на такую модернизацию окупаются уже в первый отопительный сезон.

По технической документации НПО ЦКТИ варианты реконструкции вертикальных сетевых подогревателей типов БО, БП, БПу и ПСВ могут быть без затруднений осуществлены практически в любой котельной и на ТЭЦ. На вновь сооружаемых или капитально

Таблица 1

| Год | Температурный напор (среднегодовой) в бойлере № 2, °С |
|-------------------------------------|---|
| До реконструкции | |
| 1990 | 22 |
| 1991 | 21 |
| 1992 | – |
| 1993 | 24 |
| 1994 | 33 |
| 1995 | 32 |
| 1996 | 30 |
| 1997 | 21 |
| 1998 | 18 |
| Среднее значение за 1990 – 1998 гг. | 25 |
| После реконструкции | |
| 1999 | – |
| 2000 | 12 |
| 2001 | 15 |
| 2002 | 15 |
| 2003 | 9 |
| 2004 | 14 |
| Среднее значение за 1999 – 2004 гг. | 13 |

реконструируемых (с заменой устаревшего оборудования) объектах теплоснабжения применение вертикальных подогревателей этих типов, базирующихся на устаревших конструктивных решениях, должно быть прекращено. Вместо них рекомендуются аппараты типа ПСВК по ТУ 4933-049-05762252–2003, поставляемые НПО ЦКТИ [6]. Их тепловая эффективность даже при поверхности теплообмена из гладких труб превышает соответствующие показатели серийных аппаратов на 25 – 30 %, а при варианте из ПВТ или “олуненных” труб [14, 15] — на 45 – 50 %. Габаритные и присоединительные размеры рекомендуемых подогревателей близки к тем, которые имеются у соответствующих заменяемых аппаратов. Необходимо еще раз отметить, что конструкция подогревателей типа

Таблица 2

| № варианта | Техническая характеристика варианта реконструкции | Повышение эффективности реконструированного подогревателя по отношению к серийному, % | Тип модернизированного подогревателя и объект проведения испытаний |
|------------|---|---|---|
| I | Трубный пучок сохраняется; трубная система преобразуется в одноходовую по пару; вводятся дополнительные элементы, обеспечивающие частичный сбор и отвод конденсата и паровоздушной смеси из зон конденсации пара | 12 – 15 | ПСВ-315-14-23 (2 шт.), ГРЭС-8 Ленэнерго |
| II | Полная разборка пучка, замена изношенных труб новыми гладкими, замена перегородок и анкерных связей; введение систем сбора и отвода конденсата пара и паровоздушной смеси из зон конденсации; переход на однопроходную схему движения пара через пучок (см. рис. 3) | 20 – 25 | ПСВ-200у (2 шт.), Юго-Восточная котельная, Выборг; ПСВК-12-1,0-1,0, ФГУП “Салют”, Москва; ПСВК-110-1,0-1,6, ОАО “Краснодартеплосеть”, Краснодар |
| III | Сохранение исходного каркаса трубной системы и схемы движения пара через пучок; замена гладких теплообменных труб на профильно-витые или “олуненные” | 25 – 30 | ПСВ-500-14-23, Прибалтийская ГРЭС |
| IV | Сохранение (по возможности) трубных досок, полная замена изношенных гладких труб на профильно-витые или “олуненные”; движение пара, конденсата и паровоздушной смеси осуществляется по схеме рис. 3, а | 40 – 45 | Расчетная оценка на основе исследований НПО ЦКТИ и УГТУ–УПИ (УрФУ) |
| V | Замена серийных подогревателей БО, БП, БПу, ПСВ аппаратами типа ПСВК с поверхностью теплообмена из профильно-витых или “олуненных” труб | 45 – 50 | Расчетная оценка на основе исследований НПО ЦКТИ и УГТУ–УПИ (УрФУ) |

ПСВК позволяет выполнять все необходимые в ходе их эксплуатации операции (очистку внутренней поверхности теплообменных труб, подвальцовку их концов в трубных решетках, глушение поврежденных труб или их замену) без выемки трубной системы из корпуса. В серийных подогревателях такой возможности нет.

В табл. 2 дана приближенная оценка эффективности вариантов реконструкции сохраняемых в эксплуатации вертикальных подогревателей сетевой воды или их замены. Наименее затратны I и II варианты. Наиболее эффективный и одновременно самый дорогостоящий — V вариант, по которому осуществляется полная замена устаревших подогревателей новыми типа ПСВК. Вариант реконструкции намечаемых к дальнейшему использованию подогревателей ранних выпусков для каждого объекта выбирается индиви-

дуально с учетом имеющихся технических и финансовых возможностей.

Для ускорения решения проблемы повышения тепловой экономичности отечественных систем теплоснабжения представляется необходимым использовать два пути: модернизацию входящего в них теплопередающего оборудования на базе эффективных отечественных разработок; замену новым отечественным оборудованием той части его парка, реконструкция которой экономически нецелесообразна.

Выводы

1. В отечественных системах централизованного теплоснабжения, на ТЭЦ и в тепловых центрах эксплуатируется много устаревших вертикальных пароводяных подогревателей сетевой воды (типов БО, БП, БПу и ПСВ). Практически по всем показателям (экономическим, эксплуатационным, ремонтнопригод-

ности и надежности) они не соответствуют современному техническому уровню. Это ощутимо ухудшает показатели эффективности и надежности систем, в которых они эксплуатируются. Требуемая оперативная их замена разработанными в последнее десятилетие более совершенными аппаратами в подавляющем большинстве случаев неосуществима, так как связана со значительными капитальными затратами. Поэтому много устаревших подогревателей еще довольно долго будет находиться в эксплуатации.

2. Разработанные и проверенные на ряде объектов варианты эффективной модернизации таких подогревателей не требуют больших затрат и могут быть реализованы непосредственно на объектах эксплуатации в основном силами ремонтного персонала.

Список литературы

1. **ОСТ 108.271.101–76.** Подогреватели сетевой воды для тепловых электростанций, отопительно-производственных и отопительных котельных.
2. **Теплообменное** оборудование для промышленных энергоустановок и систем теплоснабжения. Промышленный каталог 04-04. — М.: ФГУП ВНИИАМ, НПО ЦКТИ, 2004.
3. **Теплообменное** оборудование паротурбинных установок. Отраслевой каталог 20-89-09. — М.: ЦНИИТЭИтяжмаш, 1989.
4. **Теплообменники** энергетических установок / Ю. М. Бродов, К. Э. Аронсон, С. Н. Блинков и др. — Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2008.
5. **Пермяков К. В.** Разработка и внедрение кожухотрубных водо-водяных и пароводяных подогревателей повышенной эффективности для систем теплоснабжения: Дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. М., 2003.
6. **Пермяков К. В., Кошелев С. М., Пермяков В. А.** Новые вертикальные подогреватели сетевой воды типа ПСВК для котельных, ТЭЦ и промышленных энергоустановок. — Промышленная энергетика, 2003, № 12.
7. **Отечественные** кожухотрубные подогреватели нового поколения для технического перевооружения систем теплоснабжения / В. А. Пермяков, К. В. Пермяков, В. М. Боровков, С. М. Кошелев. — Промышленная энергетика, 2004, № 11.
8. **Пермяков В. А., Пермяков К. В.** Кожухотрубные аппараты нового поколения для тепловодоснабжения. — СПб.: ПЭИПК, 2010.
9. **Кожухотрубные** подогреватели для систем тепловодоснабжения и ТЭС / В. А. Пермяков, К. В. Пермяков, Ю. М. Бродов, С. Н. Валиулин. — Электрические станции, 2010, № 8.
10. **РТМ 108.271.23–84.** Расчет и проектирование поверхностных подогревателей высокого давления. — Л.: НПО ЦКТИ, 1987.
11. **Результаты** испытаний головного образца подогревателя сетевой воды типа ПСВ-500-14-23 с поверхностью теплообмена из профильно-витых труб / В. А. Пермяков, А. Ю. Рябчиков, П. А. Лыгин и др. — Тр. ЦКТИ, 1994, вып. 277.
12. **Опыт** реконструкции системы подогрева сетевой воды котельной / В. А. Пермяков, К. В. Пермяков, В. А. Тихонов, В. А. Шаренков. — Промышленная энергетика, 1999, № 1.
13. **Внедрение** профильных труб в теплообменные аппараты паровых турбин / Л. П. Сафонов, В. А. Пермяков, Ф. З. Рагнер, Ю. М. Бродов. — Энергомашиностроение, 1987, № 7.
14. **Исследование** теплогидравлических характеристик кожухотрубного водоподогревателя с интенсификацией теплообмена путем использования теплообменных труб с лунками / Б. Ф. Балунов, М. А. Готовский, В. А. Пермяков и др. — Теплоэнергетика, 2008, № 1.
15. **Повышение** эффективности теплообменных аппаратов при применении “олуненных” теплообменных труб / М. А. Готовский, В. А. Пермяков, К. В. Пермяков, Г. А. Курмелев. — Новости теплоснабжения, 2012, № 8.

teplo03@ckti.ru