

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

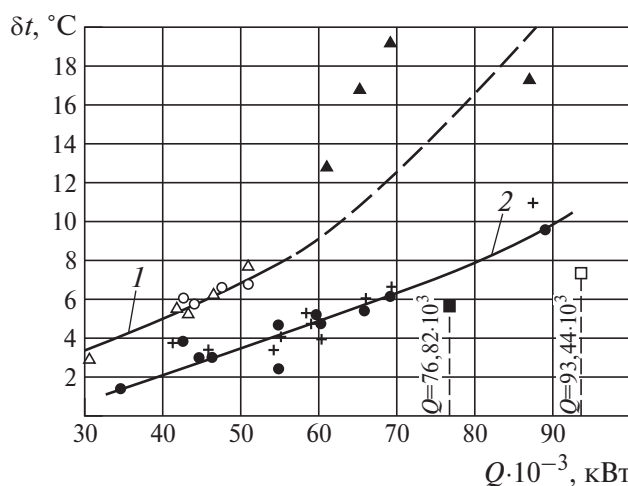


Рис. 1. Зависимости величины недогрева сетевой воды от тепловой нагрузки подогревателя ПСВ-500-14-23:

1 — опытные (O) и расчетные (Δ) 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

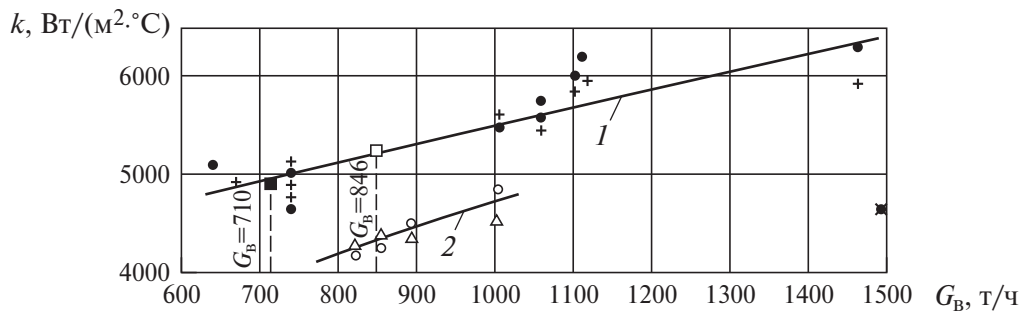


Рис. 2. Зависимости коэффициента теплопередачи от расхода сетевой воды в подогревателе ПСВ-500-14-23:

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. Несколько способов такой реконструкции были разработаны в НПО ЦКТИ и проверены на практике. 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

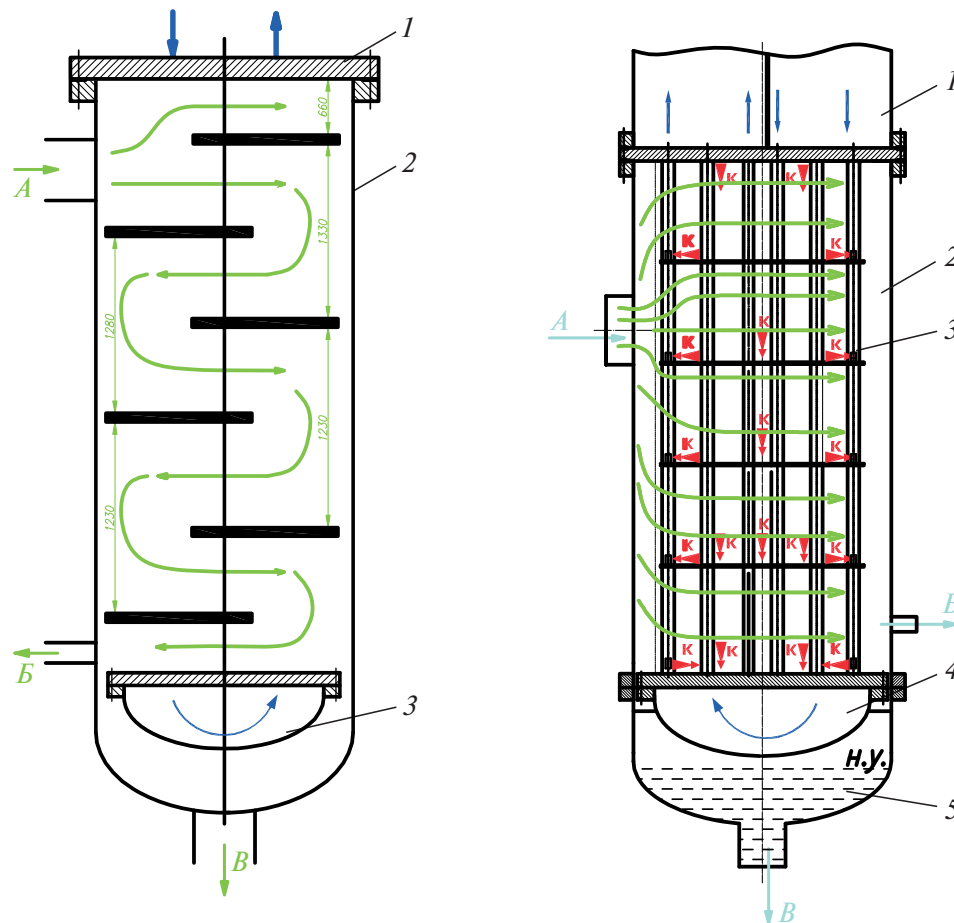


Рис. 3. Принципиальные схемы движения потоков пара, сетевой воды, конденсата греющего пара и паровоздушной смеси в серийных подогревателях сетевой воды (а) и в подогревателях нового типа ПСВК (б):

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