

КОМБИНИРОВАННАЯ СОЛНЕЧНО-ТЕПЛОНАСОСНАЯ УСТАНОВКА КАК ВАРИАНТ ТЕХНИЧЕСКОГО РЕШЕНИЯ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЙ УСАДЬБЫ»



Рис. 1. Здание, оборудованное системой солнечного теплоснабжения.

Г.Н. Агеева, «НИИпроектреконструкция», г. Киев;
Н.Н. Лантух, ООО «ТЕПЛОСЕРВИС», г. Киев;
В.С. Щербатый, ООО «Технологии третьего тысячелетия», г. Киев

Одна из основных концептуальных задач отечественного топливно-энергетического комплекса — перевод жилищно-коммунального комплекса с газа на электроэнергетическое обеспечение с параллельной модернизацией неоправданно энергоемкого промышленного производства и снижением техногенного давления на окружающую среду [1, 2] — требует не только технических решений, но и нормативно-правового обеспечения.

Показатель энергоемкости ВВП Украины — 0,89 кг у.т./доллар США, в 2,6 раза превышающий среднемировой уровень, свидетельствует о том, что достижение прогнозного для 2030 г. уровня, равного 0,36 у.т./доллар США, может быть обеспечено за счет внедрения принципиально новых технологий, в том числе и энергосберегающих; систем учета использования энергоресурсов и др. [2].

Уже сейчас для системы жилищно-коммунального хозяйства разрабатываются и внедряются программы перехода с газо- на электропотребление, направленные на снижение экономической зависимости Украины от импорта энергоносителей, в том числе газа, а также пакеты нормативно-методических документов для обеспечения процессов проектирования, внедрения и эксплуатации принципиально новых технологий и систем [4, 5].

В последние годы во всем мире, а особенно в Западной Европе и Азии, возрос

интерес к возобновляемым источникам энергии. В связи с повышением цен на энергоносители решение этого вопроса актуально и для Украины [1-5].

Отсутствие учета отпускаемой и потребляемой тепловой энергии, экономически необоснованные и несоответствующие реальной себестоимости тарифы не стимулируют внедрение мероприятий по снижению энергоемкости жилищно-коммунального хозяйства. В результате удельные, приведенные к одинаковым климатическим условиям затраты использования — на одного человека, на единицу производства национального продукта — в Украине существенно превышают мировой уровень [1, 2].

В городах, где теплоснабжение осуществляется от ТЭЦ или котельных, которые работают на угле (в том числе низкого качества), вопрос загрязнения окружающей среды и ухудшения экологической обстановки стоит очень остро.

В настоящее время в мире работают свыше 1,5 млн систем солнечного теплоснабжения, большая часть которых предназначена для обеспечения потребностей горячего водоснабжения, но за последнее время в Западной Европе и Азии все чаще используют системы круглогодичного децентрализованного комбинированного солнечного отопления зданий. В качестве основного источника теплоснабжения используются солнечные коллекторы, а в качестве «дублера» — котлы газовые, жидкотопливные, электрокотлы (для использования электроэнергии в часы «провалов» нагрузок в электросети, то есть в ночные часы, когда электроэнергия стоит значительно дешевле, чем в дневное время).

Расширение масштабов использования энергии Солнца для теплоснабжения сдерживается в основном из-за высоких удельных капиталовложений при сооружении гелиосистем в сравнении с систе-



Рис. 2. Общий вид солнечного коллектора.

мами, работающими с использованием традиционных источников энергии.

Заслуживает внимания опыт западных экономически развитых стран по разработке специальных программ, стимулирующих внедрение гелиоустановок в частном, коммерческом и муниципальном секторах. Например, при внедрении гелиосистем вступают в действие иные условия кредитования или предоставления финансовой помощи собственникам зданий или лицам, занятым новым строительством. Например, в Германии существует государственная программа стимулирования внедрения гелиосистем, с условиями которой может ознакомиться каждый потребитель.

Имея опыт разработки и внедрения систем солнечного теплоснабжения, коллектив авторов, не ожидая выпуска отечественного оснащения для внедрения систем с использованием возобновляемых источников энергии, начал работы по внедрению систем солнечного теплоснабжения с использованием импортного оборудования. Появление на рынке отечественного конкурентоспособного оснащения (цена, технические характеристики), разработка и введение в действие нормативных и методических документов позволят расширить внедрение систем солнечного теплоснабжения в Украине [6-10].

В качестве примера использования возобновляемых источников энергии рас-

смотрим техническое решение теплоснабжения двухэтажного коттеджа площадью 340 м² с открытым бассейном, который имеет площадь «зеркала» ванны 95 м². Период строительства — 2005-2006 гг.

Тепловая нагрузка на систему отопления и горячее водоснабжение составляет 32 кВт, на подогрев воды в бассейне — 40 кВт, на кондиционирование коттеджа — 14,5 кВт.

С целью экономии энергоресурсов принято решение частично покрыть тепловые нагрузки за счет возобновляемых источников теплоснабжения (гелиосистема и тепловой насос).

Теплоснабжение плавательного бассейна зависит от его типа. Для крытого бассейна нагрузка на теплоснабжение определяется нагрузкой на вентиляцию, температурой и влажностью помещения, требованиями к температуре ванны бассейна; для открытого бассейна — требова-



Рис. 3. Конструкция солнечного коллектора.

ниями к температуре ванны бассейна и временем года, когда используется бассейн. На данном объекте бассейн используется с апреля по октябрь и его нагрузка на теплоснабжение полностью покрывается гелиосистемой.

Исходя из расчетов, для покрытия тепловой нагрузки и экономии расхода топлива принято следующее оборудование:

- солнечный коллектор — 4 шт,
- тепловой насос мощностью 21,0 кВт — 1 шт;
- буфер-накопитель емкостью 600 л — 1 шт;
- бойлер ГВС емкостью 300 л — 1 шт;
- котел на дизельном топливе мощностью 40 кВт — 1 шт.

Краткая техническая характеристика коллекторов, которые применяются в системе:

- коэффициент полезного действия 84 %;
- коэффициент теплопотерь $K_1 = 3,36 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; $K_2 = 0,013 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К}^2)$;
- теплоемкость коллектора 6,4 кДж/(м² · К);
- масса коллектора 60 кг;
- объем теплоносителя 2,2 л.

При интенсивности солнечной радиации 1000 Вт и отсутствии отбора теплоносителя температура солнечного коллектора равна 211 °С.

Солнечные коллекторы устанавливаются на кровле здания, одна из сторон которого ориентирована на юг (рис. 1).

Главный компонент солнечного коллектора — медный поглотитель с гелиотитановым покрытием — обеспечивает высокий уровень поглощения солнечной энергии и характеризуется незначительным уровнем тепловых потерь. На поглотителе установлена медная трубка, через которую протекает теплоноситель. Теплоноситель через медную трубку отбирает тепло от поглотителя, который защищен корпусом коллектора (с усиленной теплоизоляцией), обеспечивая этим минимальные потери тепла коллектора. Коллектор покрыт гелиостеклом с низким составом железа, что позволяет уменьшить теплопотери в окружающую среду (рис. 2, 3).

Расчет предлагаемой комбинированной системы солнечного теплонасосного теплоснабжения проведен с учетом технических характеристик:

- солнечных коллекторов;
- теплового насоса (ТНУ), а также характеристик грунта для коллектора ТНУ;

- котла, работающего на дизельном топливе;
- интенсивности солнечной радиации для проектируемой местности ($\varphi = 50^\circ$ северной широты, климатические условия Киева);
- наклона крыши (30°);
- ориентации солнечных коллекторов;
- сезонности использования коллекторов;
- системы автоматизации (контроллер в комплекте с датчиками температуры и пускателями, которые контролируют параметры и руководят работой котла, теплового насоса и солнечными коллекторами).

Тепловой насос (ТНУ), в рассматриваемом случае это тип «рассол/вода», использует тепло грунта, который имеет свойство сохранять тепло, полученное от солнца в течение длительного времени, при этом достигаются высокие коэффициенты мощности. Основная часть тепла, которое отдается потребителю, производится не за счет приводной энергии компрессора ТНУ, а является солнечной энергией, которая естественным образом накопилась в грунте. Эта часть энергии может быть в 3-5 раз больше, чем энергия, которая подается на компрессор ТНУ. Коэффициент мощности (КПД) ТНУ — это отношение тепловой мощности, которая отдается потребителю тепловым насосом, к электрической мощности, которая в настоящий момент подводится к тепловому насосу.

Для каждого ТНУ действует основное правило термодинамики: чем меньше разность температур между источником тепла (грунтовый аккумулятор) и потребителем тепла (буфер-накопитель), тем выше (лучше) коэффициент мощности.



Рис. 4. Фрагмент укладки грунтового коллектора.

Отбор тепла из грунта осуществляется с помощью проложенной в грунте системы пластиковых труб большой площади (рис. 4). Рассол циркулирует по пластиковым трубам, забирая при этом накопленное низкопотенциальное тепло грунта. ТНУ преобразует низкопотенциальное тепло в высокопотенциальное, используя при этом электроэнергию (аналогично холодильнику). Одним из достоинств данного ТНУ является свободное от фреона, негорючее и биологически расщепляемое рабочее вещество (хладагент) R 407 C.

Одновременно с выработкой тепла ТНУ вырабатывает и холод, который используется для охлаждения помещений в летний период, при этом тепло от ТНУ накапливается в буфере и используется для теплоснабжения (рис. 5).

Краткая техническая характеристика теплового насоса:

- номинальная тепловая мощность — 21,6 кВт;
- холодопроизводительность — 16,8 кВт;
- минимальная температура на вход в первичный контур — минус 5°C ;
- максимальная температура подачи греющего контура — $+55^\circ\text{C}$;
- температура охлаждающего контура — $+5-11^\circ\text{C}$;
- питание — 220 В;
- максимальная потребляемая мощность — 4,8 кВт;
- средний за период эксплуатации КПД — 4,61;
- пониженный уровень шума благодаря использованию полностью герметичного компрессора *Compliant Scroll* с двойной системой глушения шума.

Комбинированная солнечно-тепловая система теплоснабжения работает

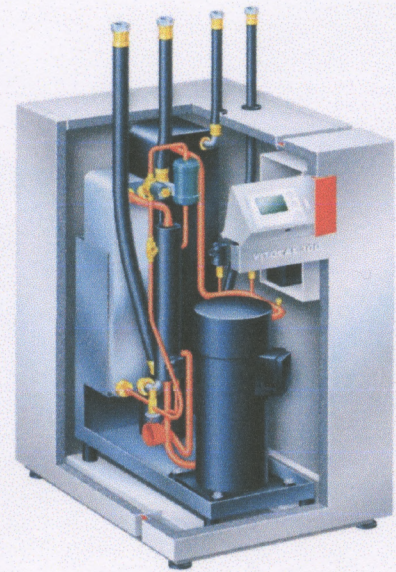


Рис. 5. Общий вид теплового насоса.

в автоматическом режиме и после наладки не требует вмешательства в работу потребителя (рис. 6).

Система автоматического регулирования построена на 4 взаимосвязанных контроллерах, информационный обмен между которыми производится через телекоммуникационную шину *LON-BUS*.

Комбинированная солнечно-тепловая установка функционирует следующим образом.

А. Бивалентное приготовление горячей воды

Тепловая энергия в бивалентном емкостном водонагревателе ГВС (Б-А) накапливается при помощи солнечной энергии. Температура, контролируемая нижним датчиком температуры TE4, поддерживается на уровне $T_{уст1}$. Если регистрируемый датчиком температуры солнечного коллектора TE5 и датчиком температуры Б-А TE4 разность превышает уставленную на контроллере (V200) разность температур $T_{уст2}$, включается циркуляционный насос гелиоконтура 23 для приготовления горячей воды — идет накопление тепла в Б-А. Управление работой циркуляционного насоса разбора ГВС 18 происходит при помощи контроллера 200 KW2.

При достижении датчиком TE3 уставленной температуры Б-А уставки $T_{уст1}$, насос 23 отключается и включается циркуляционный насос гелиоконтура 20 — идет накопление тепла в буфере-накопителе (БН).

При отсутствии солнечной радиации либо недостаточной ее интенсивности верхняя часть Б-А нагревается теплом бу-

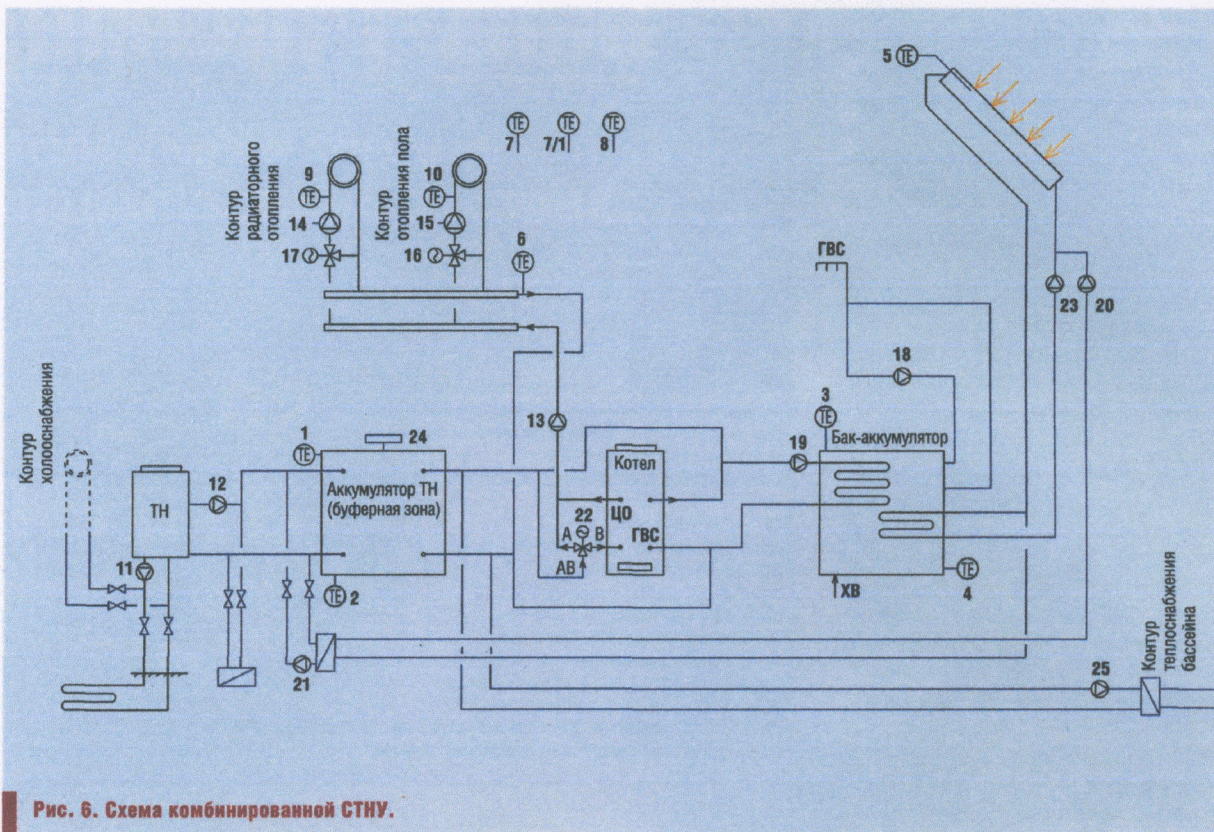


Рис. 6. Схема комбинированной СТНУ.

фера-накопителя или котлом. Регулятор температуры Б-А с подключенным датчиком ТЕ3 (200 KW2) включает циркуляционный насос 19 греющего контура Б-А.

Б. Накопление тепла в буфере-накопителе (БН)

Тепловая энергия в БН накапливается с помощью солнечной энергии либо ТНУ. Если регистрируемая датчиком температуры солнечного коллектора ТЕ5 и датчиком температуры БН ТЕ1 разность превышает установленную на контроллере (V200) разность температур $T_{уст4}$, включаются циркуляционные насосы гелиоконтур/БН 20, 21 — идет накопление тепла в БН.

При этом температура в БН ограничивается микроэлектронным ограничителем температуры 24 контроллера (V200).

Тепловой насос (ТНУ) для теплоснабжения запускается в случае, когда температура, измеренная верхним датчиком температуры БН ТЕ1, ниже установленной контроллером ТНУ (CD 60), при этом включаются насосы 11, 12. Отключение ТНУ происходит, когда температура, измеренная нижним датчиком температуры БН ТЕ2, достигнет установленной контроллером ТНУ (CD 60) ($T_{уст3}$).

В. Хладоснабжение коттеджа

В летние месяцы охлаждение коттеджа производится путем применения функции

ТНУ «natural cooling». Это особый энерго-сберегающий метод охлаждения помещений, т.к. в этом случае, отбирая низкопотенциальное тепло земли от грунтового аккумулятора (8-12 °С), потребляется лишь незначительное количество электроэнергии для работы циркуляционных насосов.

Мощность ТНУ и соответствующий ему грунтовой аккумулятор подбираются, исходя из мощности системы охлаждения. При недостаточном охлаждении помещений включается ТНУ, который одновременно с теплом вырабатывает и холод.

Тепловой насос (ТНУ) для хладоснабжения запускается в случае, когда температура в контрольном помещении выше установленной $T_{уст6}$ на контроллере CD 60, при этом включаются насосы 11, 12. ТНУ одновременно с выработкой холода вырабатывает и тепловую энергию, которая поступает в буфер-накопитель (БН). При избытке накопленного тепла в БН, если температура, измеренная датчиком температуры в верхней точке БН, ТЕ1 выше $T_{уст7}$ на контроллере CD 60, тепло отводится в окружающую среду.

Регулирование отбором холода для кондиционирования осуществляется системой автоматического регулирования оборудования контура кондиционирования.

Г. Теплоснабжение коттеджа

Котел теплоснабжения (отопление, ГВС) запускается в случае, если разность температур между верхним датчиком температуры БН ТЕ1 и датчиком температуры обратной магистрали теплоснабжающего контура ТЕ6 ниже установленной $T_{уст5}$ на контроллере CD 60/200 KW2. Контроллер переводит переключающий клапан 22 в положение «АВ-В» — возвращающийся теплоноситель подается через буферную емкость в водогрейный котел, который дополнительно подогревает его (теплоноситель) до необходимой температуры. Аналогично, в случае, если температура в верхней точке Б-А ГВС ниже установленной температуры $T_{уст8}$ на контроллере CD 60/200 KW2, запускается котел (контур ГВС), при этом насос 19 включен.

Д. Система отопления (радиаторного, напольного)

Отбор тепла, при необходимости, производится от общего распределительного коллектора. При этом включается насос 13. На распределительный коллектор тепло поступает либо от БН, либо от котла, в зависимости от требуемых температурных параметров теплоносителя. Поток теплоносителя перераспределяется при помощи переключающего клапана 22 (положение «АВ-А» либо «АВ-В»). Регулирование температуры подачи теплоносителя на

общий распределительный коллектор производится с помощью устройства погодозависимой регуляции и запрограммированными условиями эксплуатации (комфортный/экономичный режим). Режимы эксплуатации запрограммированы на контроллере CD 60/200 KW2.

Е. Отбор тепла для радиаторного отопления

Отбор тепла производится по сигналу погодного датчика температуры TE8, а также по сигналу датчика температуры внутри контрольного помещения TE7, контролируемого контроллером 050 НК1W, при включении насоса 14. Температура греющего контура регулируется контроллером. Температура в подающем трубопроводе контролируется датчиком температуры TE9, а управляющий сигнал поступает на 3-ходовый смесительный клапан с электроприводом 17 для погодозависимой регуляции и запрограммированными условиями эксплуатации (комфортный/экономичный режим).

Ж. Отбор тепла для напольного отопления

Отбор тепла производится по сигналу погодного датчика температуры TE8, а также по сигналу датчика температуры внутри контрольного помещения TE7/1, контролируемого контроллером 050 НК1W, при включении насоса 15. Температура греющего контура регулируется контроллером. Температура в подающем трубопроводе контролируется датчиком температуры в подающем трубопроводе TE10, а управляющий сигнал поступает на 3-ходовый смесительный клапан с электроприводом 16 для погодозависимой регуляции и запрограммированными условиями эксплуатации (комфортный/экономичный режим).

Е. Теплоснабжение бассейна

Отбор тепла для подогрева воды в бассейне производится из буфера-накопителя при включении насоса циркуляции теплоносителя через теплообменник бассейна. Регулирование отбором тепла для подогрева воды в бассейне производится системой автоматического регулирования оборудованием бассейна.

Таким образом, система автоматизации СТУ выполняет, в соответствии с программой, оптимизационную задачу максимального использования возобновляемых источников энергии для теплоснабжения усадьбы.

Экономическое обоснование применения комбинированной солнечно-теп-

Таблица. Технико-экономические показатели внедрения СТУ

Наименование показателей	Стоимость, \$	Величина
Стоимость оборудования СТУ и котла 40 кВт	52819,2	
Стоимость скважины	9720	
Материалы грунтового коллектора	9600	
Всего:	72139,2	
Стоимость дизельного топлива, л/грн.		3,50
Расход дизтоплива, л/ч		4,30
Потребление дизельного топлива, л, за 9 мес.	2902,50	
Потребление дизельного топлива, \$ за 9 мес.	2011,63	
Стоимость электроэнергии, грн.		0,156
Расход электроэнергии, кВт/ч		4,8
Кол-во часов использования ТНУ (лето/контд.)	3000,00	
Стоимость потребленной электроэнергии за 5 мес. (лето/контд.)	444,83	
Кол-во часов использования ТНУ	2400,00	
Стоимость потребленной электроэнергии за 4 мес.	355,87	
Стоимость потребленных энергоносителей за 9 мес.	2812,33	
Котел + чиллер		
Стоимость оборудования чиллера	19254,98	
Стоимость оборудования котла 80 кВт	10095,60	
Всего:	29350,60	
Стоимость дизтоплива, л/грн.		3,50
Расход дизтоплива в переходный период, л/ч		4,60
Расход дизтоплива летом, л/ч		6,40
Потребление дизтоплива, л за 4 мес.	7728,00	
Потребление дизтоплива, л за 5 мес.	13440,00	
Потребление дизтоплива, \$ за 9 мес.	14670,89	
Стоимость электроэнергии, грн.		0,156
Потребление электроэнергии чиллером, кВт		7,25
Кол-во часов использования чиллера, ч	1920,00	
Стоимость потребленной электроэнергии за 5 мес. (лето/контд.)	430,00	
Стоимость потребленных энергоносителей за 9 мес.	15100,90	12288,56
Срок окупаемости:	2,99 года	

лонасосной установки представлено в таблице.

Принятое решение со сроком окупаемости 2,99 года позволяет рассматривать объект как «энергоэффективную усадьбу».

Принятое решение круглогодичного обеспечения потребностей собственника отдельного дома в теплоснабжении с использованием возобновляемых источников энергии, с одной стороны, имеет единственный, частный характер для Украины, а с другой — свидетельствует о том, что оно может быть использовано серийно с учетом требований разных заказчиков: отдельных собственников, муниципальных структур и т.д.

Учитывая положительный опыт использования гелиосистем, следует считать целесообразным разработку механизма стимулирования привлечения инвестиций в муниципальный сектор со стороны государства через принятие национальных нормативных и законодательных актов. □

Литература

1. Газовое бытие и энергетические проблемы Украины / А. Еременко // Зеркало недели. — 2005. 30 июля — 5 авг. (№ 29). — С. 1.
2. Иван Плачков об электрофикации быта, «кнуте» и «прянике»... / А. Еременко // Там же. — С. 10.

3. Лантух Н.М., Онищук Г.І., Агсьва Г.М., Щербатий В.С. Позитивний досвід використання геліосистем в житловому фонді України // Реконструкція житла. — 2005. — Вип. 6. — С. 304-311.
4. ДБН В. 2.5 — Обладнання будинків житлового і громадського призначення системами сонячного теплопостачання. Проектування, монтаж, експлуатація (проект). Держбуд України, 2005. — XXX с.
5. Методичні рекомендації з обґрунтування техніко-економічної доцільності застосування альтернативних джерел енергії на об'єктах житлово-громадського будівництва, схвал. НТР Держбуду України, 10.02.2005 р.
6. Энергосбережение в зданиях // Центр энергосбережения КиевЗНИИЭП. — № 19. — 2003. — № 3.
7. Разработка и внедрения автоматизированной системы солнечного горячего водоснабжения на базе ЯУМЦЕ г. Ялта. Отчет о НДР // КиевЗНДІЕП. — Киев, 1992.
8. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения. — Г.: Стройиздат, 1990.
9. ТП технические решения и методические рекомендации по переоборудованию отопительных котельных в гелиотопливные установки для строительства в южных областях УССР (903-01-33.88; катал. л. № 060923).
10. ТП установки солнечного горячего водоснабжения сезонного действия производительностью 2,5;10; 30; 40; 50 м³/сут // Киев-ЗНИИЭП. — Киев, 2005.

сантехніка, опалення, кондиціонування



№ 12 20

www.c-o-k.com

Щомісячний спеціалізований журнал



Насосное оборудование для любых задач

WILO

Pumpen Intelligenz.



20

*Травы кроют крыши
черных островов
городского тепла*



22

*Корпоративная культура
как конкурентное
преимущество*

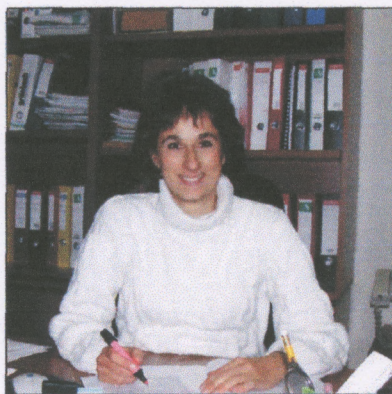


36

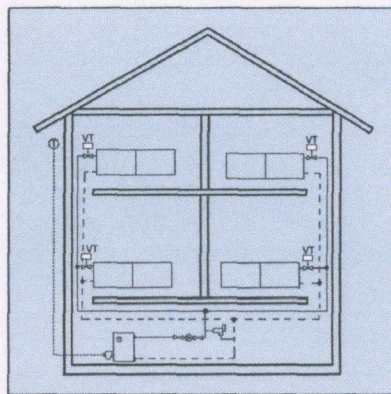
*Комбинированная
солнечно-тепловая
установка*



Итоги IKK-2005 16



WILO Pumpen Intelligenz... 30



Эффективность системы отопления 42



Сто пятьдесят... Норма или перебор? 48



Классификация систем мини VRF 60

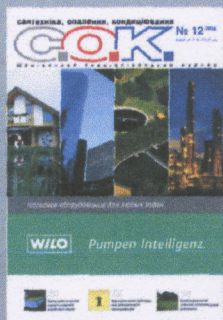
Не забудьте подписаться или продлить подписку на 2006 год!

Подписной индекс в Каталоге изданий Украины

91825

(Государственное предприятие по распространению периодических изданий «Пресса»)

НОВОСТИ. СОБЫТИЯ. ФАКТЫ	3	ОТОПЛЕНИЕ	36
Крымский рынок: в ногу со временем	4	Комбинированная солнечно-теплонасосная установка как вариант технического решения теплоснабжения «энергоэффективной усадьбы»	36
Итальянская арматура FAR. Оптимальное соотношение цена-качество	8	Эффективность системы отопления: как вычислить общий коэффициент	42
СИСТЕМЫ гарантированного электроснабжения и прецизионного кондиционирования	14	Сто пятьдесят... норма или перебор? (Размышления о параметрах теплоносителя)	48
Семинар «Эффективные инструменты промышленного маркетинга»	15	КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ	54
Итоги IKK-2005	16	Автоматизация систем вентиляции и кондиционирования воздуха	54
Травы кроют крыши чёрных островов городского тепла	20	Классификация систем мини VRF	60
ПРОФЕССИОНАЛ	22	Третье поколение системы VRV от Daikin. VRV III: новые особенности – новые возможности!	63
Корпоративная культура как конкурентное преимущество предприятия	22	ВЕНТИЛЯЦИЯ	64
САНТЕХНИКА	28	Общие требования к системам противодымной защиты	64
...Вода и медные трубы	28	КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ЖУРНАЛА «С.О.К.» в 2005 году	71
WILO – Pumpen Intelligenz...	30		
Шариковые тахометрические расходомеры и счетчики количества жидкости	32		



«С.О.К.» № 12, 2005 год

«Сантехника. Отопление. Кондиционирование.»
Ежемесячный специализированный журнал
Учредитель и издатель
ООО «Медиа Технолоджи»

Журнал зарегистрирован в Государственном комитете телевидения и радиовещания Украины.
Свидетельство о государственной регистрации печатного средства массовой информации КВ № 8488 от 01 марта 2004 г.

Адрес редакции:
03190, г. Киев, ул. М. Кирпюноса, д. 10/8
тел: (044)537-3583, факс: (044) 537-3583
E-mail: media@c-o-k.com.ua

Главный редактор
Надежда Цояма
Реклама
Анна Матвеева, Леся Дедова
Распространение и подписка
Татьяна Боровкова, Дмитрий Поправка
Подбор и подготовка материала
Юлия Захаренко-Березянская
Дизайн и верстка
Марина Севериненко

Перепечатка фотоматериалов и статей допускается только с письменного разрешения редакции и с обязательной ссылкой на журнал (в т. ч. в электронных СМИ). Редакция может не разделять точку зрения (убеждений) авторов, но поддерживает принцип свободы слова. Материал подается языком оригинала без исправлений редакцией. Ответственность за достоверность сведений, изложенных в рекламных материалах, несет заказчик.

Электронная версия журнала

www.c-o-k.com.ua