

ИМИТАЦИОННАЯ УСТАНОВКА ПОЛУНАТУРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ИНЖЕНЕРНЫХ СИСТЕМ ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНОГО НАЗНАЧЕНИЯ ЦКП ЮУрГУ*

Ю.Л. Бондарев, М.Ф. Гильметдинов, А.Л. Карташев, Е.В. Сафонов

Рассматривается описание имитационной установки полунатурного моделирования для моделирования теплогидравлических режимов инженерных систем объектов различного назначения. Установка позволяет решать следующие задачи:

1. Моделирование особенностей различных разводок тепловых сетей: отечественная однотрубная с нижней подводкой теплоносителя; европейская однотрубная с верхней подводкой теплоносителя с альтернативными отопительными приборами и термостатическими регуляторами; европейская двухтрубная с термостатическими регуляторами.

2. Проведение гидравлической балансировки тепловой сети.

3. Отработка штатных ситуаций: изменение параметров окружающей среды: суточное и сезонное изменение температуры воздуха; изменение солнечной освещенности; изменение направления и скорости ветровой нагрузки; воздействие потребителя: наличие внутренних источников тепла (количество людей в помещении, дополнительные обогревательные устройства, приборы приготовления пищи, работа систем освещения); принудительная вентиляция помещения при открытии окон и дверей; принудительное регулирование или отключение основных отопительных приборов; изменение условий теплоотдачи от отопительного прибора к воздуху помещения.

4. Отработка нештатных и аварийных ситуаций.

Ключевые слова: имитационная установка, моделирование, теплогидравлические режимы, инженерные системы.

Введение

В настоящее время применение индивидуальных тепловых пунктов становится все более востребованным, а следовательно возрастает потребность в квалифицированных специалистах, устанавливающих и обслуживающих подобные системы. В сложившейся обстановке таких специалистов можно только вырастить, воспитать или переучить. Для таких целей может послужить натурный имитационный стенд «ENBRA» (аудитория 101/2 ЮУрГУ). Общий вид стенда моделирования теплогидравлических режимов инженерных систем изображен на рис. 1. Стенд [1] собран с использованием современного оборудования различных мировых брендов: контроллеры, автоматические вентили –



Рис. 1. Общий вид стенда полунатурного моделирования теплогидравлических режимов инженерных систем

* Работа выполнена в рамках Государственного контракта № 16.552.11.7058 от 12.07.2012 г. Заказчик – Министерство образования и науки Российской Федерации.

«Johnson Controls» (Америка) [2], насосы «Grundfos» [3], балансировочные клапана «Oventrop» [4], модули ввода/вывода, конвертер RS-485/AiBus-2 – «Tedia» [5], термодатчики «Sensit» [6], расходомеры «Enbra» [7], электродкотлы «Protherm» [8], холодильные агрегаты «Ferrolti» [9], тепловой насос «Climat Master» [10] и т. д.

1. Область применения. Решаемые задачи. Состав

Стенд предназначен для натурного моделирования тепло-гидравлических режимов инженерных систем и позволяет решать следующие задачи:

1. Моделирование особенностей различных разводок тепловых сетей:

- отечественная однотрубная с нижней подводкой теплоносителя;
- европейская однотрубная с верхней подводкой теплоносителя с альтернативными отопительными приборами и термостатическими регуляторами;
- европейская двухтрубная с термостатическими регуляторами.

2. Проведение гидравлической балансировки тепловой сети.

3. Отработка штатных ситуаций:

1) изменение параметров окружающей среды:

- суточное и сезонное изменение температуры воздуха;
- изменение солнечной освещенности;
- изменение направления и скорости ветровой нагрузки;

2) воздействие потребителя:

- наличие внутренних источников тепла (количество людей в помещении, дополнительные обогревательные устройства, приборы приготовления пищи, работа систем освещения);
- принудительная вентиляция помещения при открытии окон и дверей;
- принудительное регулирование или отключение основных отопительных приборов;
- изменение условий теплоотдачи от отопительного прибора к воздуху помещения.

4. Отработка нештатных и аварийных ситуаций:

- отклонение параметров теплоносителя от нормативных значений на входе в ИТП;
- отказ датчиков и исполнительных механизмов;
- отключение тепловой системы здания;
- ввод в эксплуатацию тепловой системы в начале отопительного сезона;
- образование воздушных полостей в системе теплоснабжения;
- утечка теплоносителя из тепловой системы.

В состав стенда входят следующие компоненты:

- ИТП, имеющий в своем составе 2 электродкотла по 24 кВт каждый, которые используются для нагрева теплоносителя (рис. 2);



Рис. 2. ИТП

- охладитель – система, имитирующая изменение параметров окружающей среды (рис. 3);



Рис. 3. Система, имитирующая изменение параметров окружающей среды

- блок из 9 имитационных климатических камер. В каждой камере находится по 3 радиатора для разных видов разводки отопления, а также холодильный агрегат (рис. 4);



Рис. 4. Блок имитационных климатических камер

- распределительный шкаф;
- система управления установкой: нижний уровень – контроллеры JCFX15,16, верхний – SCADA система LabVIEW.

2. Гидравлическая схема

Упрощенная гидравлическая схема стенда представлена на рис. 5. Вода в первичной ветви нагревается двумя электродкотлами по 24 кВт каждый. Электродкотел состоит из трех ТЭНов, которые управляются ступенчато встроенным термостатическим регулятором, согласно выставленной на панели котла стенда. Нагретый теплоноситель поступает в пластинчатые теплообменники горячего водоснабжения и отопительной системы. Тепло посредством теплообменников передается из первичной ветви во вторичную ветвь системы отопления и ГВС. Циркуляция теплоносителя обеспечивается за счет работы циркуляционных насосов. Нагретый теплоноситель поступа-

ет в отопительные радиаторы климатических камер согласно включенной разводке. Переключение разводок отопления осуществляется на АРМ-оператора в программе Monitor System.

Регулирование температуры воды, подаваемой во вторичную ветвь системы отопления, осуществляется регулировочным клапаном RV3 с электроприводом. Поддержание температуры ГВС во вторичном контуре обеспечивается работой регулировочного клапана RV4.

Охлаждение стенда осуществляется с помощью охладителя, который обеспечивает подачу охлажденной воды (до 6 °С) в холодильные агрегаты климатических камер. Холодильные радиаторы состоят из радиатора и вентилятора с возможностью ступенчатого изменения скорости вращения двигателя (задается в программе Monitor System).

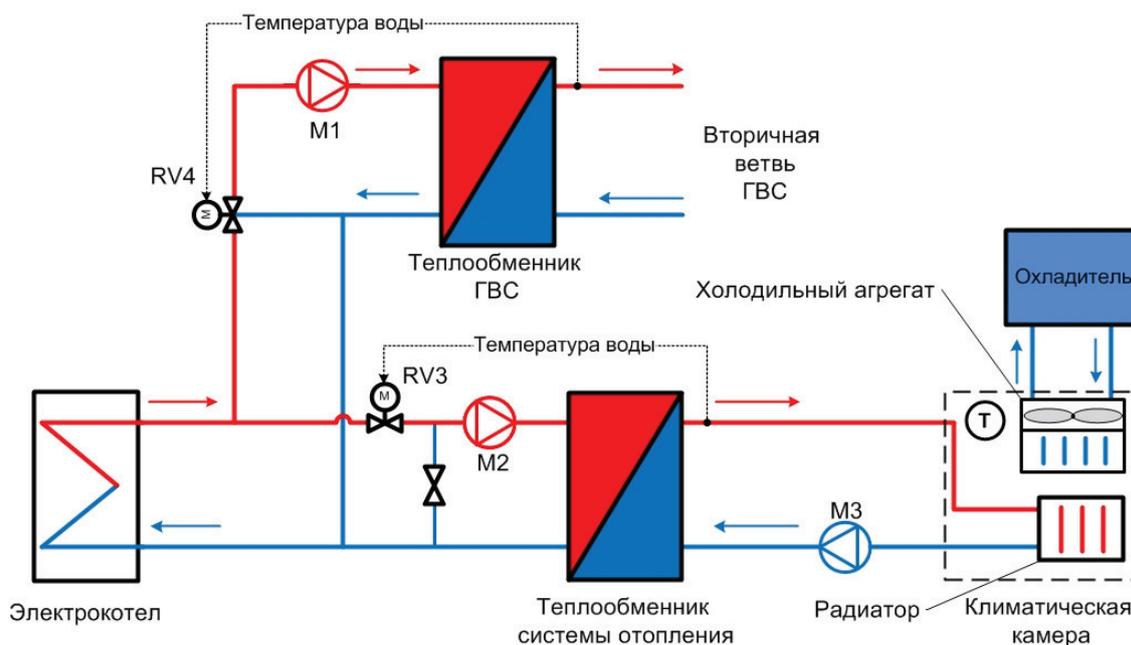


Рис. 5. Гидравлическая схема разводки отопительной системы

Установка в своем составе имеет тройное исполнение разводок системы отопления включающая следующие схемы:

- отечественную однотрубную с нижней подводкой теплоносителя;
- европейскую однотрубную с верхней подводкой теплоносителя с альтернативными отопительными приборами и термостатическими регуляторами;
- европейскую двухтрубную с термостатическими регуляторами.

Разводки системы отопления работают независимо, в активном режиме одновременно может быть только одна разводка. Такое обилие разводок позволяет наглядно демонстрировать преимущества и недостатки того или иного варианта. Кроме того, в случае с европейскими разводками, на радиаторах установлены термостатические регуляторы, которые в автоматическом режиме поддерживают выбранную температуру в камере благодаря жидкостному чувствительному элементу. На данной установке используются термостатические регуляторы Oventrop UniLN и UniXH.

3. Контуры управления

В стенде установлены котлы, имитирующие внешнюю теплоцентраль. Котлы подключены независимо, каскадный режим не используется. Контроллер в автоматическом режиме работы котлов (выбирается переключателями на панели шкафа) при включении обеспечивает постепенное подключение тэнов 2 и 3 последовательно для каждого котла. То есть изначально при подаче питания включены первые тэны обоих котлов, далее контроллер включает тэн 2 и 3 первого котла, а затем второго. Работой тэнов управляет термостатический регулятор согласно выставленной с помощью потенциометра стенда. Схема управления котлом представлена на рис. 6, где Тз и Тв – температура заданная потенциометром и температура воды на выходе котла соответственно.

Максимальная температура, выдаваемая котлом, составляет $80\text{ }^{\circ}\text{C}$. При достижении $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ сработает аварийный термостат и котел выключится. Кроме того, на стенде реализован дублирующий аварийный контур, с пороговыми датчиками T54.02 и T54.01. Датчики установлены на выходе каждого котла, уставка $90\text{ }^{\circ}\text{C}$.

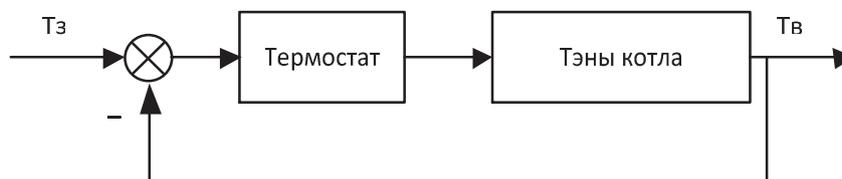


Рис. 6. Контур управления котлом

Контур ГВС

Вода для нужд ГВС нагревается в пластинчатом теплообменнике. На выходном трубопроводе за теплообменником расположен датчик температуры, сигнал с которого подается на аналоговый вход контроллера, управляющего регулировочным вентилем RV4, обеспечивающим подачу отопительной воды в теплообменник (рис. 7). Привод вентиля имеет аварийную функцию, которая срабатывает при потере напряжения, поднятием штока вентиля в ускоренном режиме. Вентиль трехходовый, при поднятом штоке замыкается малый контур, через который в рабочем режиме происходит подмес воды, выходящей из теплообменника.

О превышении максимальной температуры ГВС ($+65\text{ }^{\circ}\text{C}$) сигнализирует аварийный датчик температуры T54.03, который расположен рядом с основным. При срабатывании аварийного датчика управляющая система закрывает регулирующий вентиль RV4 и включает аварийную сигнализацию.

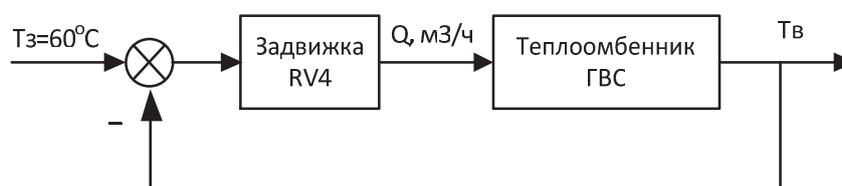


Рис. 7. Контур регулирования ГВС

Контур системы отопления

Отопительная вода системы отопления (СО) нагревается в пластинчатом теплообменнике. На выходном трубопроводе за теплообменником расположен датчик температуры, сигнал с которого поступает на аналоговый вход контроллера, управляющего регулировочным вентилем RV3, обеспечивающим подачу отопительной воды в теплообменник (рис. 8).

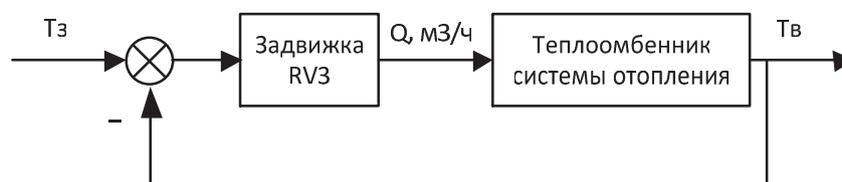


Рис. 8. Контур управления системой отопления

О превышении максимальной температуры СО ($80\text{ }^{\circ}\text{C}$) сигнализирует аварийный датчик температуры T54.04, который расположен рядом с основным. При срабатывании аварийного датчика управляющая система закрывает регулирующие вентили и включает аварийную сигнализацию. Кроме того, на данный контур влияет имитационный сигнал наружной температуры T20, который выставляется в программе «Monitor System» на вкладке ИТП. По умолчанию он равен $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, при этом задвижка RV3 полностью открыта. Регулирование температуры подачи воды в систему отопления осуществляется по температурному графику (рис. 9). В случае дос-

таточно высокого значения T_{20} , задвижка RV3 закрывается и отключаются циркуляционные насосы M2, M3(M4).

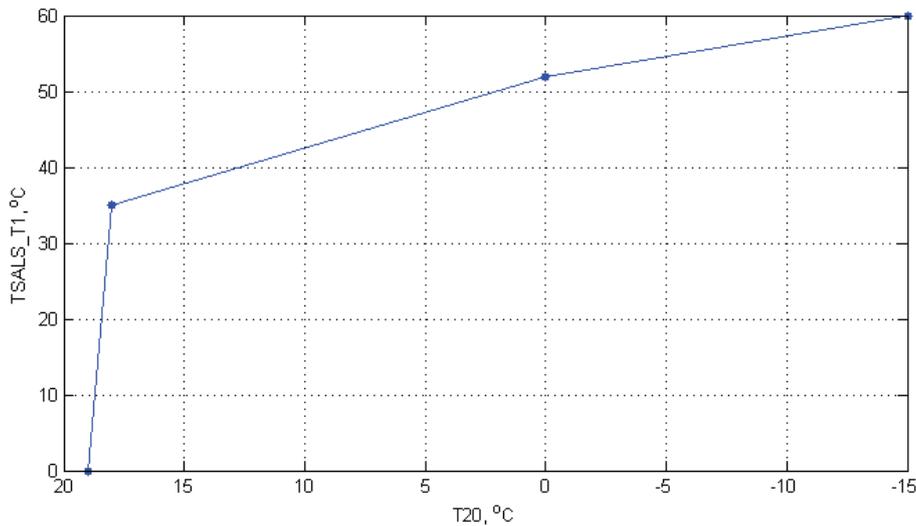


Рис. 9. Температурный график

Контур поддержания давления в ИТП

Дополнение воды в первичный контур системы проходит через вихревой фильтр FF06-1AA и систему водоподготовки AZFK1Z с часовым реле. В первичном контуре ИТП расположен датчик давления, данные с которого поступают в управляющую систему. При снижении давления воды происходит открытие шарового крана DN15 с приводом KV1.1. На рис. 10 представлен контур поддержания давления в ИТП, где P_z – заданное давление и P – давление в первичном контуре ИТП.

Если давление упадет до минимального значения, то аварийный датчик пошлёт импульс в управляющую систему, и этим включит аварийную сигнализацию. Эта функция обеспечивается дифференциальным датчиком давления P53.01 с настройкой (1/0,4 бар).

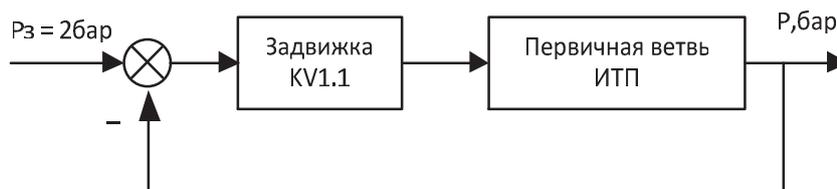


Рис. 10. Контур поддержания давления в ИТП

Контур поддержания давления в СО

Дополнение воды во вторичный контур системы отопления (рис. 11) проходит через вихревой фильтр FF06-1AA и систему водоподготовки AZFK1Z с часовым реле. В обратной ветви отопительной системы со стороны теплообменника расположен датчик давления, который передает данные в управляющую систему. При снижении давления воды происходит открытие шарового крана DN15 с приводом KV1.2.

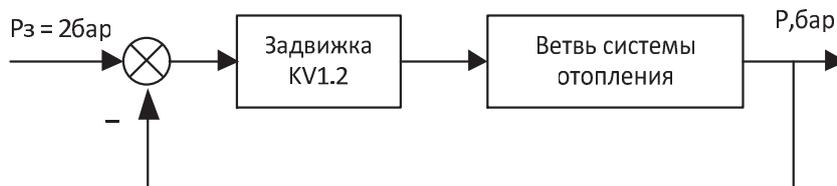


Рис. 11. Контур поддержания давления в СО

Если давление упадёт до минимального значения, то аварийный дифференциальный датчик давления (1/0,2 бар) пошлёт импульс в управляющую систему и этим включит аварийную сигнализацию.

Аварийные контуры и система предупреждения о затоплении помещения

На расстоянии 5 см над полом в ИТП расположен поплавковый датчик, который при затоплении водой закрывается, и подаёт сигнал в управляющую систему ИТП, которая остановит работу ИТП, перекроет подачу воды в ИТП и включит аварийную сигнализацию.

Перегрев помещения ИТП

На стене, на высоте 1,7–2,0 м от пола расположен комнатный термостат, который при превышении температуры в помещении выше +35 °С, пошлёт сигнал в управляющую систему ИТП, которая остановит работу ИТП, и включит аварийную сигнализацию.

Заключение

Имитационная установка полунатурного моделирования теплогидравлических режимов позволяет:

- обрабатывать различные методики управления теплоснабжением;
- проводить наглядное сравнение применяемых разводок отопления;
- демонстрировать преимущества использования термостатических регуляторов;
- проводить гидравлическую балансировку тепловой сети;
- обрабатывать штатные ситуации, в том числе изменение параметров окружающей среды, воздействие потребителя;
- обрабатывать аварийные ситуации;
- диагностировать отказы датчиков и исполнительных механизмов;
- проводить исследования в области энергосбережения.

Литература

1. Паспорт ENBRA «Учебная автоматизированная имитационная установка полунатурного моделирования теплогидравлических режимов инженерных систем» / ENBRA, Чешская Республика.
2. Контроллер «Johnson Controls». – http://www.johnsoncontrols.ru/content/ru/ru/products/building_efficiency/product-information/refrigeration-products/refrigeration-components/field-controllers.html.
3. Насосная группа солярной системы «Grundfos» Solar 25-60. – <http://ru.grundfos.com/documentation/catalogues.html>.
4. Балансировочный клапан «Oventrop». – <http://oventrop1.ru/>.
5. Модули ввода/вывода, конвертер RS-485/AiBus-2 – «Tedia». – <http://tedia.aiserver.us/msds.aspx>.
6. Термодатчик «Sensit». – <http://www.sensit.com/>.
7. Расходомер «Enbra». – <http://www.enbra.cz/>.
8. Электрокотел «Protherm». – <http://www.protherm.ru/produkcya/nastennye-elektricheskiye-kotly/-1/>.
9. Холодильный агрегат «Ferrolі». – <http://www.ferrolі.ru/>.
10. Тепловой насос «Climat Master». – <http://www.climatmaster.com/geothermal-dealer/geothermal-product-literature/>.

Бондарев Юрий Леонидович, аспирант кафедры летательных аппаратов и автоматических установок, директор Центра коллективного пользования в энергетике и энергосбережении, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); yu_bondarev@mail.ru.

Гильметдинов Максим Фанисович, мл. науч. сотрудник Управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); maksim-gilmetdinov@gambler.ru.

Карташев Александр Леонидович, д-р техн. наук, профессор кафедры летательных аппаратов и автоматических установок, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); al_kartashev@mail.ru.

Сафонов Евгений Владимирович, канд. техн. наук, доцент кафедры двигателей летательных аппаратов, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); e-safonov@yandex.ru.

SIMULATION SETUP SEMINATURAL SIMULATION THERMAL-HYDRAULIC CONDITIONS ENGINEERING SYSTEMS VARIOUS FACILITIES CCU SUSU

Yu.L. Bondarev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
yu_bondarev@mail.ru,

M.F. Gilmetdinov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
maksim-gilmetdinov@rambler.ru,

A.L. Kartashev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
al_kartashev@mail.ru,

E.V. Safonov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation,
e-safonov@yandex.ru

The article deals with the description of the simulation setup for scaled-down imitation, which is located in audience of SUSU number 101/2. The setup allows you to simulate thermal-hydraulic conditions of engineering systems for different objects and has the following functions:

1. Modeling of peculiar properties of different distribution conduits: domestic single pipe system with the bottom admission of heat transfer agent; European single pipe system with an overhead admission of heat transfer agent with alternative heating devices and thermostatic controls, European double-pipe system with thermostatic controls.

2. Carrying out the hydraulic balancing of the heat network.

3. Testing of all standard situations: changes in environmental parameters (daily and seasonal changes of temperature, changes in solar illumination, changes in direction and speed of wind load); the impact of the consumer (the presence of internal heat sources (the number of people in the room, application of additional heating devices, cooking appliances, work of lighting systems), forced ventilation of the room through opening the windows and doors; compulsory regulation or disable of the main heating devices, changes in the conditions of heat transfer from the heating devices to the air space).

4. Testing of emergency and accidental situations.

Keywords: simulation setting, modeling, thermal-hydraulic conditions, engineering systems.

References

1. *Pasport ENBRA "Uchebnaya avtomatizirovannaya imitatsionnaya ustanovka polunaturnogo modelirovaniya teplogidravlicheskih rezhimov inzhenernykh sistem"* [Passport ENBRA "Automated Installation of HIL Simulation of Thermal-hydraulic Modes of Engineering Systems"]. ENBRA, CR.

2. *Kontroller "Johnson Controls"* [Controller "Johnson Controls"]. Available at: www.johnsoncontrols.com.

3. *Nasosnaya gruppy solyarnoy sistemy "Grundfos" Solar 25-60* [Pump Group Solar System "Grundfos" Solar 25-60]. Available at: <http://ru.grundfos.com/documentation/catalogues.html>.

4. *Balansirovochnyy klapav "Oventrop"* [Balancing Valve "Oventrop"]. Available at: <http://oventrop1.ru/>.

5. *Moduli vvoda/vyvoda, konverter RS-485/AiBus-2 – "Tedia"* [The I/O Converter RS-485/AiBus-2 – "Tedia"]. Available at: <http://tedia.aiserver.us/msds.aspx>.

6. *Termodatchik "Sensit"* [The Temperature Sensor "Sensit"]. Available at: <http://www.sensit.com/>.

7. *Raskhodomer "Enbra"* [The Flowmeter "Enbra"]. Available at: <http://www.enbra.cz/>.

8. *Elektrokotel "Protherm"* [Elektrokotel "Protherm"]. Available at: <http://www.protherm.ru/produkcya/nastennye-elektricheskiye-kotly/-1/>.

9. *Kholodil'nyyagregat "Ferrol"* [The Cooling Unit "Ferrol"]. Available at: <http://www.ferrol.ru/>.

10. *Teplovoy nasos "Climat Master"* [Heat Pump "ClimatMaster"]. Available at: <http://www.climatmaster.com/geothermal-dealer/geothermal-product-literature/>.

Поступила в редакцию 30 августа 2013 г.