

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СТЕНДА МОДЕЛИРОВАНИЯ СИСТЕМ ГИБРИДНОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ЦЕНТРА КОЛЛЕКТИВНОГО ПОЛЬЗОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ И ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИИ ЮУрГУ ДЛЯ КОМБИНАЦИЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ТРАДИЦИОННЫХ И АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ\*

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

Рассматривается описание имитационной установки моделирования гибридных систем теплоснабжения Центра коллективного пользования ЮУрГУ, служащего для подготовки специалистов в области альтернативной энергетики и энергосбережения. В качестве альтернативных источников в установке присутствуют источники солнечной энергии и низкопотенциальной энергии окружающего воздуха, кроме того присутствует рекуперативная система, утилизирующая энергию отводящегося воздуха из помещения. В качестве имитации традиционных источников тепловой энергии используются два электродогревателя. Установка позволяет имитировать различные комбинации традиционных и альтернативных источников в рамках имеющихся теплогенераторов на возобновляемой энергии; определять энергетический вклад каждого из альтернативных источников в покрытие той или иной тепловой нагрузки, включающие в себя отопление и горячее водоснабжение; исследовать работу альтернативных источников в климатических условиях Южного Урала, а также определить возможности и целесообразности широкого внедрения таких систем в российских условиях.

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

### **Введение**

В настоящее время на фоне повышения стоимости энергоносителей наблюдается устойчивая тенденция растущего интереса к альтернативным источникам энергии. Однако для использования возобновляемой энергии в необходимых объемах требуется изменить представление о соответствующих источниках, создать в обществе предпосылки к широкому внедрению соответствующих устройств и подготовить специалистов, которые могли бы не только разрабатывать такие устройства, но и правильно эксплуатировать их.

Именно для решения таких задач служит стенд моделирования гибридных систем теплоснабжения Центра коллективного пользования в энергетике и энергосбережении (аудитория № 101/2 ЮУрГУ).

### **1. Общее описание стенда моделирования гибридных систем теплоснабжения**

Общий вид стенда моделирования гибридных систем теплоснабжения изображен на рис. 1. Натурная установка состоит из имитационной установки полунатурного моделирования теплогидравлических режимов инженерных систем объектов различного назначения [1] и стенда альтернативных источников энергии. Стенд альтернативных источников энергии, гидравлическая схема которого представлена на рис. 2, включает следующие компоненты:

- гелиосистему из трех солнечных плоских коллекторов ENBRA Solar 300 [2];
- тепловой насос типа «воздух-вода» Rotex HPSU Hitemp [3];
- накопительный водонагреватель с двумя змеевиками контура ГВС Regulus R2BC 300 [4];

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

- аккумуляторную ёмкость контура отопления Regulus RSWF 300 [5];
- рекуперативную вентиляционную установку ELEKTRODESIGN CADS-DC 16 EH BP D [6, 7];
- запорную и предохранительную арматуру;
- средства подключения к автоматизированной установке полунатурного моделирования теплогидравлических режимов инженерных систем.

Стенд позволяет смоделировать работу следующих комбинаций систем теплоснабжения на альтернативных и традиционных источниках энергии.



**Рис. 1. Общий вид стенда моделирования гибридных систем теплоснабжения**

## **2. Высокотемпературный тепловой насос ROTEX HPSU HiTemp**

Одним из альтернативных источников тепловой энергии в установке является высокотемпературный тепловой насос ROTEX HPSU HiTemp мощностью 16 кВт (рис. 3). Как видно из рис. 2, тепловой насос состоит из внутреннего блока поз. 8 и внешнего блока ROTEX RRRQ мощностью 15,87 кВт поз. 9. Оба блока соединены трубопроводами контурами «подачи» и «обратки», а также коммуникационным кабелем. Тепловой насос подключён к системе через аккумуляторную ёмкость отопительной воды Regulus PSWF поз. 11, объёмом 300 литров. На разводке между тепловым насосом и аккумуляторной ёмкостью установлен счётчик тепла поз. 10. На разводке между аккумуляторной ёмкостью и подключением к существующей системе полунатурной установки моделирования теплогидравлических режимов инженерных систем установлены циркуляционный насос и двухходовой клапан с электроприводом.

Трубопроводные разводы отопительной воды изготовлены из медных труб, соединённые прессовочными фитингами SANHA-Press.

Высокотемпературный тепловой насос «воздух-вода» HPSU HiTemp, благодаря инверторной технологии, с двумя компрессорами в серии, достигает температуры воды на выходе до 80 °С без электрического подогрева при температуре наружного воздуха от минус 20 °С. По показателям энергопотребления тепловой насос обладает лучшим уровнем COP в своём классе (до 2,86). Технические характеристики внутреннего блока Rotex HPSU приведены в табл. 1 [3, 9].

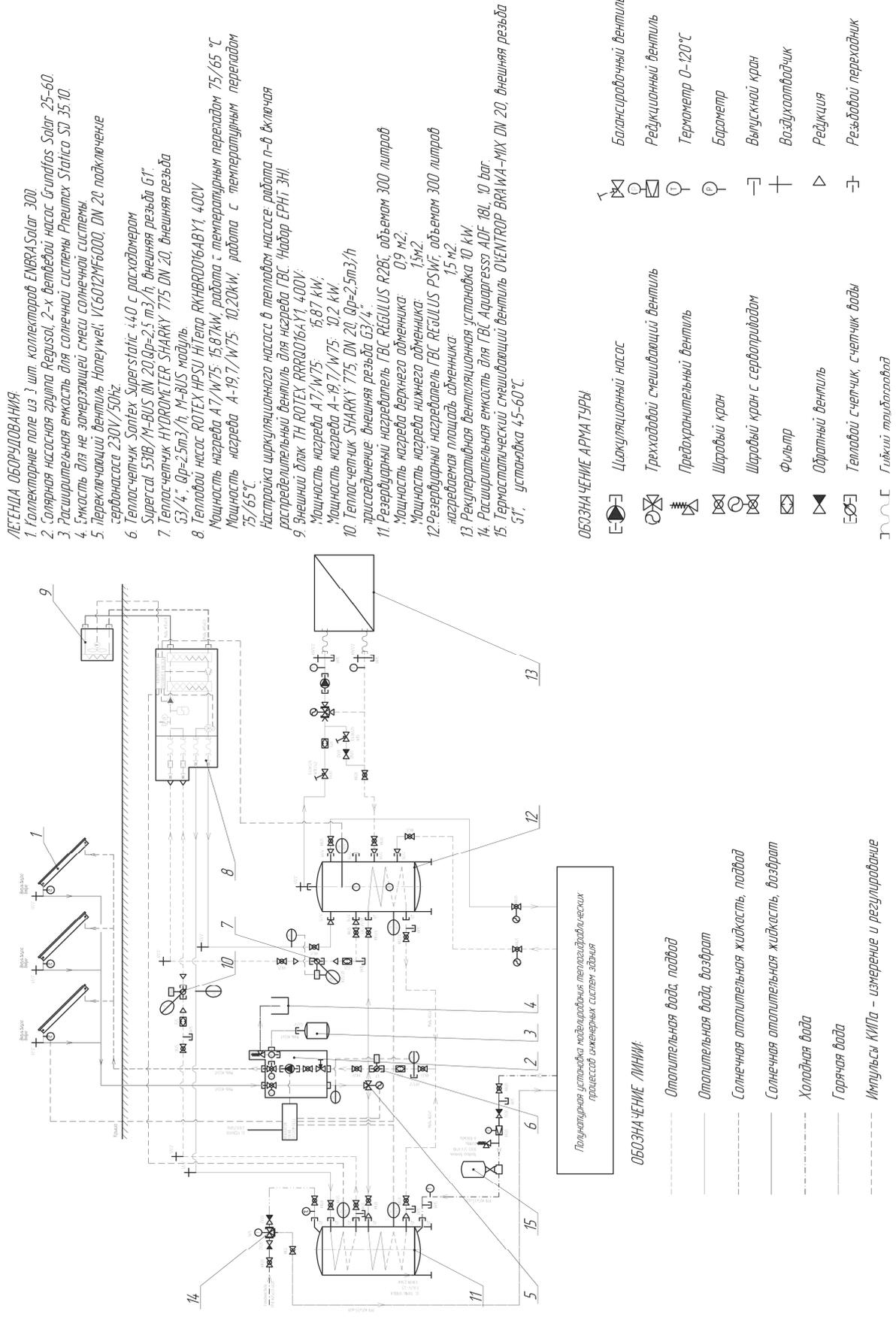


Рис. 2. Гидравлическая схема стэнда моделирования гибридных систем теплоснабжения



Рис. 3. Общий вид внутреннего блока теплового насоса  
 ROTEX HPSU HiTemp

Таблица 1

Технические характеристики внутреннего блока теплового насоса Rotex HPSU

COP (A2/W45)*	2,63
Мощность (A2/W45), Вт	13,37
Потребление (A2/W45), Вт	5,09
COP (A7/W65)**	2,84
Габаритные размеры внутреннего блока (В×Ш×Г), мм	705×600×695
Вес внутреннего блока, кг	147
Уровень звукового давления, дБ***	55
Количество фаз питания	3
Частота питающего тока, Гц	50
Напряжение питания внутреннего блока, В	400
Рабочий ток внутреннего блока, А	12
Мощность внутреннего блока, кВт	16

Примечания: \* – температура наружного воздуха 2 °С, температура на выходе 45 °С;  
 \*\* – температура наружного воздуха 7 °С, температура на выходе 65 °С;  
 \*\*\* – уровень звукового давления на расстоянии 1 м.

### 3. Солнечные панели «ENBRA» Solar 300

Второй альтернативный источник тепла состоит из 3 солнечных тепловых коллекторов «ENBRA» Solar 300 поз. 1, общей площадью апертуры 5,22 м<sup>2</sup>. Гелиоконтур солнечных коллекторов присоединен к теплообменникам аккумулирующей ёмкости контура ГВС «Regulus» R2BC поз. 12 (см. рис. 2), объемом 300 литров, а также к аккумулирующей ёмкости контура отопления «Regulus» PSWF поз. 11, объемом 300 литров. Гелиоконтур между аккумулирующими ёмкостями и коллекторами – это две линии медных соединительных трубопроводов, наполненных соляным теплоносителем «Thesol». Солнечная система оборудована насосным блоком поз. 2, обеспечивающим циркуляцию теплоносителя, и расширительным баком, объемом 35 литров. Обратный трубопровод оснащён счётчиком тепла «SONTEX» SUPERCAL 440. В разводке гелиоконтура

установлен трёхходовой распределительный клапан, который управляет распределением теплоносителя между аккумулирующими емкостями контура ГВС и контура отопления.

Система управления гелиосистемой определяет разницу температур в аккумулирующей ёмкости контура ГВС и в солнечных коллекторах. При достижении установленной разницы температур 12 °С, регулятор солнечной системы [10] включает циркуляционный насос насосной группы поз. 2. Теплоноситель нагревается в коллекторах и это тепло он передаёт контуру ГВС через теплообменник, расположенный в аккумулирующей ёмкости контура ГВС. Циркуляционный насос гелиоконтура работает до тех пор, пока разница температур не снизится ниже установленного значения (8 °С), или температура на датчике в аккумулирующей ёмкости не достигнет максимального значения (например 85 °С).

Основная нагрузка гелиосистемы – это нагрев аккумулирующей емкости контура ГВС, но, в случае достаточного потока солнечной радиации, часть тепла из гелиосистемы уходит на поддержку (нагрева) контура отопления.

Описание коллектора: плоский коллектор с фланцевыми выводами или с выводами из медной трубки Ø18, предназначенный для вертикального монтажа в солнечных системах с циркуляционным насосом. Состоит из компактной пресованной коробки, в которой с помощью остеклённой рамы из антикоррозийного алюминиевого профиля фиксируется защитное соляное стекло. Абсорбер из сформированного алюминиево-магниевого листа с высокоселективным покрытием облегает меандр из медной трубки. Фланцевые выводы присоединяются к гидравлическому контуру быстроразъёмными муфтами Ø26. Коллекторы соединяются параллельно в максимальном количестве 10 штук в одном ряду.

Технические характеристики солнечного коллектора «ENBRA» Solar 300: технические данные взяты из испытательного протокола КТВ Nr. 2003-17-a Fraunhofer Institut für Solare Energie systeme [8] согласно EN 12975-1,2 и приведены в табл. 2.

Таблица 2

Технические характеристики солнечного коллектора «ENBRA» Solar 300

Горизонтальная площадь	2,03 м <sup>2</sup>
Абсорбционная площадь	1,78 м <sup>2</sup>
Габаритный размер	1040 × 2040 мм
Покровное стекло	Защитное, соляное, толщина 4 мм
Присоединённые выводы	Фланцевые Ø26 мм или медная трубка Ø18 мм
Коробка коллектора	Пресованное изделие из антикоррозийного Al-Mg листа
Гильза датчика	Для датчика Ø6 мм
Теплоизоляция	Минеральная вата
Общий объём жидкости	1,57 л
Общий вес	37 кг
Конверсионное покрытие	ALOX
Коэффициент поглощения	Мин. 0,95
Коэффициент теплового излучения	Макс. 0,16
Оптический КПД	81 %
Рабочая температура	Под 100 °С
Температура торможения при солнечной радиации 1000 Вт/м <sup>2</sup> и температуре окружающей среды 30 °С	170 °С
Максимальное рабочее давление теплоносителя	600 МПа
Рекомендуемый расход теплоносителя	30–100 л/ч на один коллектор

#### 4. Рекуперативная вентиляционная установка

Для вентиляции помещения установлена вентиляционная установка с обратным извлечением тепла, так называемой рекуперацией. Догрев вентиляционного воздуха происходит через теплообменник, расположенный в рекуперативной установке ELEKTRODESIGN CADS-DC 16 EH BP D

поз. 13. Теплообменник подключен к контуру отопления, составной частью блока будет регулирующий смешивающий узел для возможности управлять температурой выходного воздуха.

Подвод и отведение вентиляционного воздуха происходит по вентиляционным трубопроводам с диффузорами, разведёнными по помещению.

#### **Заключение**

Данный стенд позволяет:

- моделировать различные комбинации гибридных систем теплоснабжения на основе альтернативных и традиционных источников;
- наглядно показать долю энергозатрат того или иного вида теплогенератора на возобновляемой энергии;
- оценить работу и полезное действие альтернативных источников энергии в российских условиях;
- определить оптимальное сочетание источников комбинированной схемы, выявить оптимальные режимы работы этих источников;
- оценить экономическую составляющую применения альтернативных источников энергии.

#### **Литература**

1. Паспорт ENBRA «Учебная автоматизированная имитационная установка полунатурного моделирования теплогидравлических режимов инженерных систем» / ENBRA, Чешская Республика.
2. Солнечный коллектор «ENBRA» Solar 300. – <http://www.enbra.cz/cs/produkty/solarni-systemy>.
3. Насосная группа соляной системы «Grundfos» Solar 25-60. – <http://ru.grundfos.com/documentation/catalogues.html>.
4. Тепловой насос «Rotex HPSU Hitemp». – <http://www.rotex-heating.com/products/heat-pump.html>.
5. Бак-аккумулятор косвенного нагрева «Regulus» R2BC 300. – <http://www.regulus.eu/ru/r2bc-300-storage-water-heater-300-litres-2-heating-coils>.
6. Бак-аккумулятор «Regulus» RSWF 300. – <http://www.regulus.eu/ru/nbc-300-300-l-stainless-steel-storage-water-heater-with-1-heating-coil>.
7. Установка рекуперации «ELEKTRODESIGN» CADS-DC 16 EH BP D. – <http://www.elektrodesign.cz/web/en/product/cads-dc-16-v-bp-heat-recovery-unit>.
8. Паспорт «Honeywell» VC6012MF6000. – <http://honeywell.com/Pages/Home.aspx>.
9. Тепловой насос, блок наружный «ROTEX» RRRQ016AY1. – <http://www.rotex-heating.com/products/heat-pump.html>.
10. Регулятор соляной системы «Regulator DC22». – [http://www.ekotrend.sk/download\\_subory/dc12\\_dc22.pdf](http://www.ekotrend.sk/download_subory/dc12_dc22.pdf).

**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](mailto:yu_bondarev@mail.ru).

**Гильметдинов Максим Фанисович**, мл. науч. сотрудник Управления научной и инновационной деятельности, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); [maksim-gilmetdinov@rambler.ru](mailto:maksim-gilmetdinov@rambler.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](mailto: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](mailto:e-safonov@yandex.ru).

## USING THE SIMULATION OF A HYBRID STAND HEAT CENTER FOR COLLECTIVE USE IN ENERGY AND ENERGY SAVING SUSU MODES FOR COMBINATION OF TRADITIONAL AND ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

*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 concerns the description of the simulation setup for imitation of hybrid heating systems which belongs to SUSU Center of collective use. The setup is used for training of specialist in the field of alternative energy and energy saving. As an alternative sources of energy the setup is apply the solar energy, low potential energy of ambient air, and also it has the regenerative system , which recycles energy of deferented air from the room . As an imitation of the traditional sources of thermal energy the setup uses two electric boilers . The setup allows you to imitate different combinations of traditional and alternative sources within existing heat generators worked on renewable energy; determine the contribution of each source of alternative energy in sustaining of heat stress, including heat and hot water ; explore the work of alternative sources of energy in the climatic conditions of the South Urals , and determine the feasibility and advisability of widespread implementation of such systems in Russian conditions.

*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. *Solnechnyy kollektor "ENBRA" Solar 300* [Solar Collector "ENBRA" Solar 300.], available at: <http://www.enbra.cz/cs/produkty/solarni-systemy>.
3. *Nasosnaya gruppа solyarnoy sistemy "Grundfos" Solar 25-60* [Pump Group Solar System "Grundfos" Solar 25-60], available at: <http://ru.grundfos.com/documentation/catalogues.html>.
4. *Teplovoy nasos "Rotex HPSU Hitemp"* [Heat Pump "Rotex HPSU Hitemp"], available at: <http://www.rotex-heating.com/products/heat-pump.html>.
5. *Bak-akkumulyator kosvennogo nagreva "Regulus" R2BC 300* [Storage Tank Indirect Heating "Regulus" R2BC 300], available at: <http://www.regulus.eu/ru/r2bc-300-storage-water-heater-300-litres-2-heating-coils>.
6. *Bak-akkumulyator "Regulus" RSWF 300* [Storage Tank "Regulus" RSWF 300], available at: <http://www.regulus.eu/ru/nbc-300-300-l-stainless-steel-storage-water-heater-with-1-heating-coil>.

7. *Ustanovka rekuperatsii "ELEKTRODESIGN" CADS-DC 16 EH BP D* [Recovery System "ELEKTRODESIGN" CADS-DC 16 EH BP D], available at: <http://www.elektrodesign.cz/web/en/product/cads-dc-16-v-bp-heat-recovery-unit>.

8. *Pasport "Honeywell" VC6012MF6000* [Passport "Honeywell" VC6012MF6000], available at: <http://honeywell.com/Pages/Home.aspx>.

9. *Teplovoy nasos, blok naruzhnyy "ROTEX" RRRQ016AY1* [The Heat Pump Unit Outdoors "ROTEX" RRRQ016AY1], available at: <http://www.rotex-heating.com/products/heat-pump.html>.

10. *Regulyator solyarnoy sistemy «Regulator DC22»* [Regulator Solar System «Regulator DC22»], available at: [http://www.ekotrend.sk/download\\_subory/dc12\\_dc22.pdf](http://www.ekotrend.sk/download_subory/dc12_dc22.pdf).

*Поступила в редакцию 30 августа 2013 г.*