



# Использование технологии «интернета вещей» в отоплении зданий: упреждающее управление, распределённый мониторинг, интеллектуальная балансировка

Рецензия эксперта на статью получена 04.09.2018 [Expert review on the article was received on September 04, 2018].

Актуальными задачами энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве являются: обеспечение надёжной бесперебойной работы инженерных систем и сетей, оперативное реагирование и устранение аварийных ситуаций, автоматизированный диспетчерский контроль и автоматическое регулирование потребления энергоресурсов.

Эффективно решать на практике такие задачи позволяет программно-технический комплекс (ПТК) «ПолиТЭР» (см. интернет-ресурс [политер.рф](http://политер.рф)), разработанный НПП «Политех-Автоматика».

Данный комплекс активно применяется на объектах ЖКХ и промышленных предприятиях [1], включая инженерные сети тепло-, водо-, электро-, газо- и пароснабжения. При этом возможно объединение функций коммерческого учёта и диспетчерского управления потреблением энергоресурсов в режиме реального времени в рамках единой автоматизированной системы (АСДУ и АИИСКУЭ).

В ПТК «ПолиТЭР» поддерживаются все наиболее распространённые типы и марки приборов учёта и контроллеров, перечень которых постоянно расширяется. Использование единой системы для комплексного контроля над всеми потребляемыми энергоресурсами не только снижает капитальные затраты на внедре-

ние системы диспетчеризации, но также сокращает количество обслуживающего персонала и уменьшает стоимость эксплуатации системы.

Полученные решения отличаются доступными ценами и являются привлекательным, как для небольших организаций, например, ТСЖ или управляющих компаний сферы ЖКХ, так и для крупных предприятий. Такие системы легко масштабируются от нескольких узлов до масштабов целого города: необходимо лишь приобрести лицензии на требуемое количество точек. В масштабах города или района ПТК «ПолиТЭР» позволяет создавать ситуационные центры контроля потребления энергоресурсов и мониторинга энергетической эффективности объектов жилищно-коммунального хозяйства.

**Обеспечение надёжной бесперебойной работы инженерных систем и сетей, оперативное реагирование и устранение аварий, автоматизированный диспетчерский контроль и регулирование потребления энергоресурсов — вот задачи энергосбережения в жилищно-коммунальном хозяйстве**

УДК 681.5:697.1

**Использование технологии «интернета вещей» в отоплении зданий: упреждающее управление, распределённый мониторинг, интеллектуальная балансировка**

**В. В. Абдуллин**, к.т.н., старший преподаватель; **Д. А. Шнайдер**, д.т.н., доцент, профессор, кафедра автоматизации и управления ФГАОУ ВО «ЮрГУ (НИУ)»; **С. Ю. Курзанов**, к.т.н., доцент; **Ю. В. Яворовский**, к.т.н., доцент, завкафедрой, кафедра промышленных теплоэнергетических систем ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»

В статье представлен опыт применения технологии «интернета вещей» (Internet of Things, IoT) в системах отопления зданий. Предложено применение модельно-упреждающего управления для решения проблемы «перепадов» и снижения суточных колебаний температуры воздуха в помещениях. Рассмотрено использование беспроводных датчиков для сбора данных с распределённых объектов в реальном времени. Приведены примеры внедрения технологии «интернета вещей» в университетских городках ФГАОУ ВО «ЮрГУ (НИУ)» и ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

**Ключевые слова:** «интернет вещей», беспроводные датчики, отопление зданий, упреждающее управление, диспетчерское управление.

UDC 681.5:697.1

**IoT technology applications to building heating: predictive control, distributed monitoring, smart hydraulic balancing**

**V. V. Abdullin**, PhD, Senior lecturer; **D. A. Shnyder**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automatics and Control, South Ural State University (National Research University); **S. Yu. Kurzanov**, PhD, Associate Professor; **Yu. V. Yavorovsky**, PhD, Associate Professor, Head of the Department, the Department of Industrial Thermal Engineering Systems, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU MPEI)

The paper presents the experience of implementing IoT technology for building heating systems. Model predictive control can be implemented to solve the problem of excessive building heating, as well as to reduce daily oscillations of indoor temperature. Wireless sensors are proposed to be used as distributed object data sources in real-time. The proposed techniques and solutions are implemented in the campuses of two Russian universities: South Ural State University and Moscow Power Engineering Institute.

**Keywords:** internet of things (IoT), wireless sensors, building heating, predictive control, supervisory control.

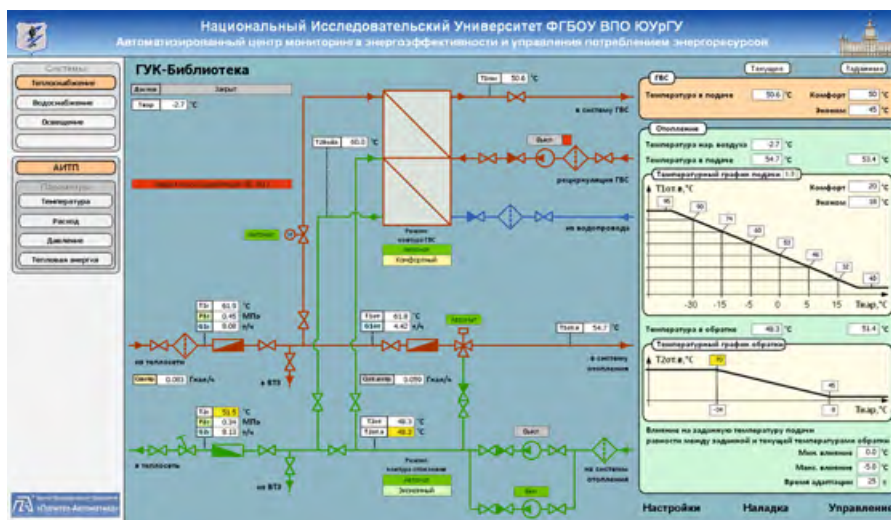


Рис. 1. Мнемосхема управления АИТП здания

Программное обеспечение АСДУ «ПолитЭР» построено по модульному принципу и включает ряд компонентов: службу опроса, базу данных, клиентское приложение, web-сервер, службу оповещения по SMS и Email. Пользователям системы предоставляется возможность самостоятельно создавать мнемосхемы любой сложности, просматривать графики изменения выбранных параметров, выводить отчёты произвольной формы на основе создаваемых пользователями шаблонов.

На рис. 1 показан пример мнемосхемы управления АИТП здания.

### Упреждающее управление тепловым режимом здания

Погодное регулирование отопления (по температурному графику в зависимости от температуры наружного воздуха) является хорошо известным, достаточно надёжным и получившим широкое распространение в России способом регулирования тепла у коммунальных потребителей. Однако данный способ не является оптимальным с точки зрения энергоэффективности: при его использовании неизбежны как статическая ошибка регулирования, связанная с неточностью составления температурного графика, так и динамические ошибки, связанные с влиянием на здание различных возмущающих факторов.

В результате, как правило, температурный график отопления задаётся несколько завышенным, что приводит к избытку тепла, подаваемого в систему отопления, и превышению нормы температуры воздуха в помещениях [2].

Эффективным решением проблемы «перетопов» и больших суточных колебаний температуры воздуха является применение методов модельно-упреждающего управления, позволяющий осуществлять регулирование отопления в здании на основе прогнозных оценок параметров процесса и его технико-экономиче-

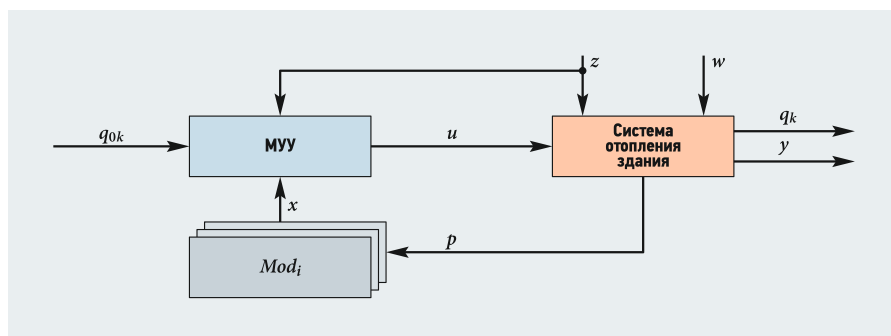


Рис. 2. Структура системы модельно-упреждающего управления ( $u$  — управляемые параметры;  $z$  — измеряемые неуправляемые параметры;  $w$  — неизмеряемые возмущающие факторы;  $q$  — показатель технико-экономической эффективности процесса;  $y$  — выходные измеряемые параметры процесса;  $x$  — вектор состояния процесса, на основе которого выполняется прогнозная оценка;  $p$  — измеряемые параметры процесса, используемые для оценки его вектора состояния;  $Mod_i$  — модельное представление процесса, обеспечивающее оценку значений его вектора состояния; МУУ — программа вычисления модельно-упреждающего управления)

ских показателей. Такими оценками для систем отопления могут быть: температура воздуха в помещении, температура наружного воздуха, тепловая мощность внешних и внутренних возмущений.

На рис. 2 показана обобщённая структурная схема системы модельно-упреждающего управления.

Модуль упреждающего управления тепловым режимом здания «ПолитЭР-Энерго» в рамках ПТК «ПолитЭР» позволяет

учитывать не только температуру наружного воздуха, но и действие иных возмущающих факторов, влияющих на здание: ветра, солнечной радиации, теплопоступлений от внутренних источников (пребывание людей, работа электроприборов), а также теплоаккумулирующую способность ограждающих и внутренних конструкций (рис. 3) [3, 4]. В результате компенсируется влияние данных факторов, снижаются суточные колебания температуры воздуха в здании (рис. 4).

Также модуль упреждающего управления позволяет оперативно уточнить тем-

пературный график, а именно — скорректировать температуру подаваемого в систему теплоносителя с учётом естественного износа здания и системы отопления, проводимых энергосберегающих мероприятий и модернизации оборудования.

В результате удаётся полностью скомпенсировать статическую ошибку регулирования, то есть исключить негативное явление постоянных «перетопов» или недогревов (рис. 4).

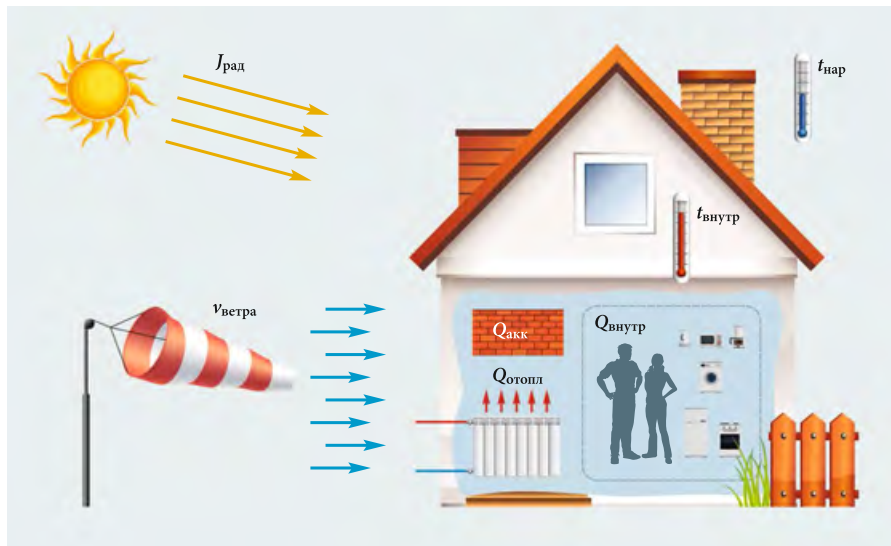


Рис. 3. Возмущающие факторы, влияющие на здание

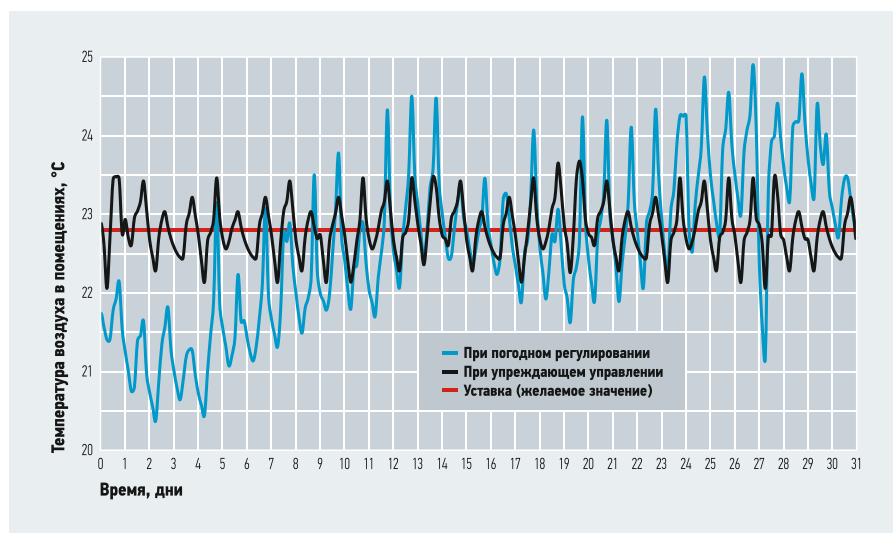


Рис. 4. Колебания температуры воздуха в помещениях здания

В основе разработанного модуля упреждающего управления лежит модель обратной динамики теплового режима здания. Основная проблема при учёте влияющих на систему отопления здания возмущений — инерционность тепло-гидравлических процессов: эффект от влияния возмущающего фактора наблюдается с некоторой задержкой во времени, а компенсировать его влияние требуется в момент действия возмущающего фактора. Модель обратной динамики компенсирует динамику объекта и позволяет в реальном времени прогнозировать изменение температуры в помещении под влиянием различных возмущений.

Преимущества алгоритма упреждающего управления «ПолиТЭР-Энерго», делающие его лёгким и доступным в эксплуатации, включают в себя:

- не требует модернизации системы отопления, так как реализуется в рамках стандартного автоматизированного индивидуального теплового пункта (АИТП) здания;
- использует в работе минимальный набор данных, доступных в любом АИТП, дополнительно устанавливаются только датчики температуры в нескольких контрольных помещениях;
- не требует специальных знаний, конфигурируется в несколько простых шагов в течение нескольких минут, далее запускается процесс автоматической настройки;
- даже в случае неправильного конфигурирования нет угрозы «разморозки» системы, так как базовое регулирование осуществляется по температурному графику, а допустимые пределы коррекции определяются пользователем.

Таким образом, алгоритм упреждающего управления тепловым режимом

здания позволяет при минимуме затрат получить дополнительную экономию тепловой энергии на имеющемся оборудовании теплового пункта.

#### Распределённый мониторинг микроклимата и параметров системы отопления

Одной из ключевых проблем при реализации регулирования по температуре воздуха в здании является выбор представительного помещения для установки датчика температуры внутреннего воздуха. Кроме внешних климатических факторов, существенное влияние оказывает человеческий фактор: помещения одного здания различаются режимом использования, вносятся погрешность от открывания окон, работы электрооборудования, присутствия человека. В результате установка одного и даже двух датчиков не позволяет объективно оценить микроклимат здания в целом [5].

Увеличение количества датчиков сопряжено с необходимостью прокладки большого количества проводов и, как

**Одной из ключевых проблем при реализации регулирования по температуре воздуха в здании является выбор представительного помещения для установки датчика температуры внутреннего воздуха. Кроме того, существенное влияние оказывает человеческий фактор: помещения одного здания различаются режимом использования, вносятся погрешность от открывания окон, работы электрооборудования, присутствия человека**

правило, не предусмотрено в типовых решениях для управления отоплением. Другой важной задачей является правильная балансировка системы, для чего требуется контроль температуры обратной воды на отдельных стояках и ветвях системы отопления. Кроме того, контроль температуры обратной воды совместно с контролем температуры воздуха в помещениях позволяет выявлять неэффективное расходование тепловой энергии [6].

В современных условиях эти задачи решаются путём развёртывания на объекте распределённой системы беспроводного сбора данных с применением технологии «интернета вещей», например, на базе ПТК «ПолиТЭР», разработанного НПП «Политех-Автоматика». Комплекс включает беспроводные датчики и измерительные преобразователи серии «БИП» для контроля различных технологических параметров (температуры воздуха и влажности в помещениях, температуры теплоносителя и наружного воздуха), а также датчики затопления и модули для подключения приборов индивидуально-го учёта.

Все устройства работают от автономных элементов питания в течение 5–10 лет и обладают высокой энергоэффективностью, что позволяет обеспечить передачу измерений с периодичностью не реже одного раза в час. Для сбора данных с беспроводных устройств применяются контроллеры беспроводной сети (базовые станции) серии «БИП-К» [7].

Предлагаемое решение позволяет в рамках существующей системы диспетчерского контроля на базе ПТК «ПолиТЭР» решать задачи мониторинга микроклимата здания, контроля качества отопления, выявления протечек и затопления, а также осуществлять интеллектуальную балансировку системы отопления в режиме реального времени, что особенно актуально в зданиях с индивидуальным «порядиаторным» регулированием тепло-снабжения.

Системы распределённого мониторинга на базе ПТК «ПолиТЭР» могут решать необходимые задачи на самых разных объектах, будь то промышленное предприятие, административное здание, многоквартирный дом или индивидуальный коттедж.

На сегодняшний день беспроводные устройства серии «БИП» с модулем «ПолиТЭР» внедряются на ряде объектов, в том числе в университетах и на крупных промышленных предприятиях.

В качестве примера рассмотрим применение ПТК «ПолиТЭР» в двух российских университетах.

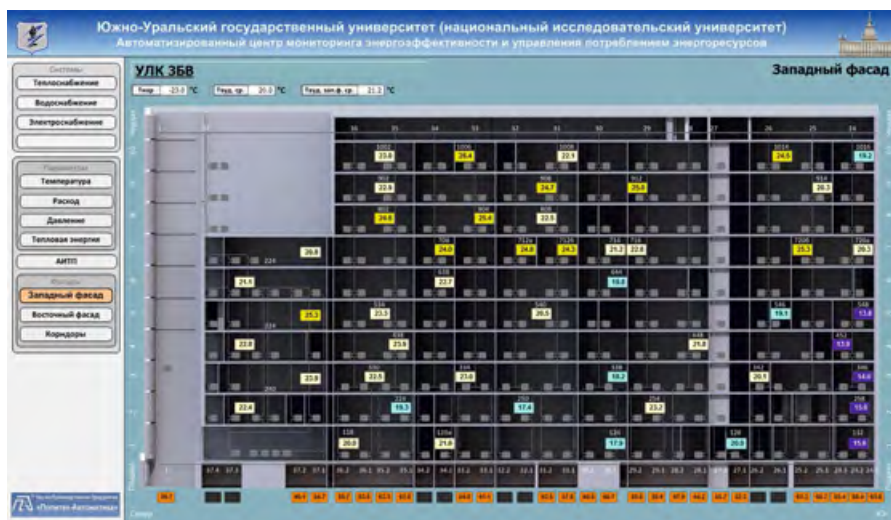


Рис. 5. Мнемосхема контроля температур воздуха в помещениях

### ПТК «ПолиТЭР-Энерго» в ЮУрГУ

Система распределённого мониторинга на базе ПТК «ПолиТЭР» внедрена в эксплуатацию и успешно функционирует в комплексе зданий Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ). С использованием беспроводных устройств «БИП-Т» осуществляется мониторинг температуры воздуха в помещениях ряда корпусов университета, а также контроль температуры «обратной» воды на стояках корпуса №3БВ ЮУрГУ (рис. 5).

В результате работы системы были подтверждены проблемы системного характера (разбалансировка и засорение системы отопления), локализован ряд проблем, связанных с неэффективностью отдельных помещений, существенно уменьшен разброс значений температур воздуха между «холодными» и «жаркими» помещениями [8]. Это также способствовало определению планов по энергосберегающим мероприятиям.

### ПТК «ПолиТЭР-Энерго» в МЭИ

ПТК «ПолиТЭР-Энерго» также используется для мониторинга температуры воздуха в помещениях корпусов М и Научно-технической библиотеки (НТБ) Национального исследовательского университета «МЭИ». На сегодняшний день установлены беспроводные датчики температуры воздуха в помещениях, полученные данные используются при планировании энергосберегающих мероприятий, а также в научных работах аспирантов и докторантов университета [9].

Данная система внедряется поэтапно и в перспективе предполагает комплексный анализ и управление микроклиматом и энергоресурсами указанных зданий.

На первом этапе внедрения были установлены беспроводные температурные датчики, приборы учёта тепловой энергии, организован сбор данных на сервере АСДУ здания. Полученная информация представляет самостоятельную ценность,

анализ которой позволяет понять проблемы системы энергоснабжения здания. Так, в летний период только в течение одной недели температура в исследуемых помещениях колебалась в диапазоне от 18 до 29 °C, что является некомфортным для сотрудников и студентов МЭИ, которые находятся в этих помещениях в течение всего рабочего дня.

Предполагается дальнейшее развитие данной системы и её использование в исследовательских целях в течение учебного года и отопительного сезона 2018–2019 годов. В последующем при реконструкции ЦТП корпуса М планируется вывести ПТК «ПолиТЭР» в режим управления тепловым состоянием здания [10].

В дальнейшем возможно его расширение до комплексной системы управления энергоснабжением здания.

### Оперативный анализ эффективности потребления тепловой энергии

Для контроля функционирования систем теплоснабжения зданий в ПТК «ПолиТЭР» реализован модуль оперативного анализа эффективности потребления

тепловой энергии (рис. 6) [11]. Особенностью разработанного модуля является применение для расчёта экономии и нормативов потребления энергоресурсов принципов «Международного протокола измерения и верификации эффективности» (IPMVP, см. интернет-ресурс [evo-world.org](http://evo-world.org)) — признанного во всём мире и успешно применяемого инструмента верификации данных по экономии энергоресурсов.

Для контроля и анализа потребления тепловой энергии в ПТК «ПолиТЭР» используется статистическая модель энергопотребления здания, которая ежедневно актуализируется на основании новых данных эксплуатации, получаемых с использованием приборов учёта. При этом применение статистической модели в соответствии с предлагаемым в IPMVP подходом позволяет корректно оценивать экономию и оперативно рассчитывать норму потребления энергоресурсов с учётом изменения температуры наружного воздуха.

В модуле оперативного анализа также реализованы различные функции анализа качества теплоснабжения. В частности, наиболее востребованными в программно-техническом комплексе «ПолиТЭР» являются следующие функции:

- контроль технологических параметров (давления в трубопроводах, температуры и расход теплоносителя) по задаваемым пользователем уставкам и допускам;
- контроль соблюдения температурных графиков, задаваемых пользователем, в зависимости от температуры наружного воздуха;
- контроль разности расходов теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах в открытых системах теплоснабжения.

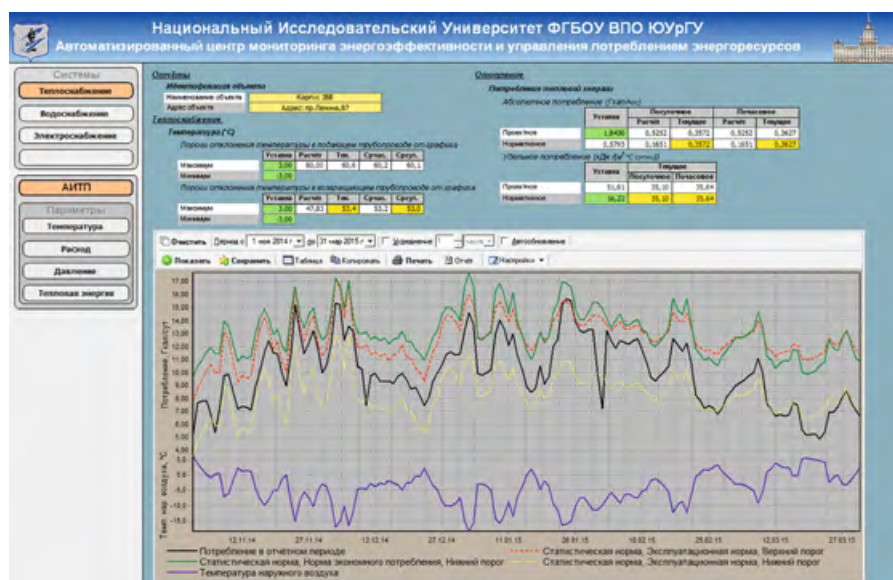


Рис. 6. Экранная форма модуля оперативного анализа энергоэффективности

Результаты анализа, производимого модулем оперативного анализа программно-технического комплекса «ПолиТЭР» в соответствии с протоколом IPMVP, представлены в разных формах:

□ в виде мнемосхем оперативного контроля, отображающих текущие фактические значения в сравнении с текущими расчётными нормативными и статистическими значениями основных параметров потребления тепловой энергии (при этом нарушение расчётных норм количественных и качественных показателей теплоснабжения может сопровождаться цветовой и звуковой сигнализацией);

**Результаты анализа, производимого модулем оперативного анализа ПТК «ПолиТЭР» в соответствии с протоколом IPMVP, представлены: в виде мнемосхем оперативного контроля, отображающих текущие фактические значения; в виде графиков для ретроспективного анализа энергопотребления; в виде пользовательских отчётов о качестве теплоснабжения и количестве потреблённой и сэкономленной тепловой энергии**

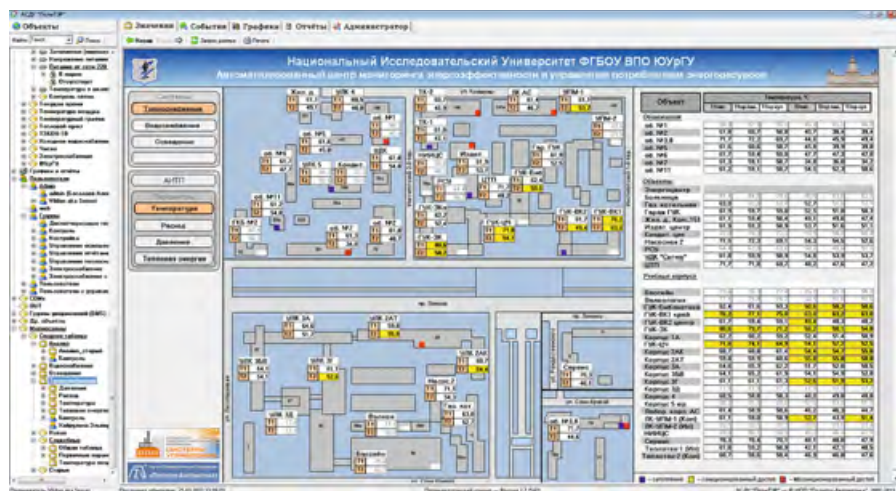


Рис. 7. Экранная форма автоматизированной системы диспетчеризации и управления (АСДУ) комплекса зданий ЮУрГУ на базе ПТК «ПолиТЭР»

□ в виде графиков для ретроспективного анализа энергопотребления, которые позволяют оценить динамику изменения основных параметров потребления тепловой энергии в абсолютных и удельных величинах;

□ в виде пользовательских отчётов о качестве теплоснабжения и количестве потреблённой и сэкономленной тепловой энергии в формате электронных таблиц MS Excel.

## Внедрение и экономия

На базе ПТК «ПолиТЭР» реализовано множество автоматизированных систем учёта и управления. Одним из примеров является Автоматизированный центр мониторинга энергоэффективности и управления потреблением энергоресурсов Национального исследовательского университета ЮУрГУ (город Челябинск).

В рамках данного центра осуществляется диспетчерский контроль и управление всеми инженерными системами и потребителями энергоресурсов комплекса зданий кампуса университета (рис. 7), организован автоматизированный учёт энергоресурсов, в режиме реального вре-

мени производится анализ энергоэффективности потребителей.

Кроме того, пользователями системы ПТК «ПолиТЭР» являются многие управляющие компании сферы ЖКХ.

ПТК «ПолиТЭР» эксплуатируется и в промышленности, в частности, на таких предприятиях, как ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (ММК) и ПАО «Челябинский трубопрокатный завод» (ЧТПЗ). В числе других крупных объектов, реализованных на базе ПТК «ПолиТЭР», системы городского уличного освещения Челябинска, Копейска, Магнитогорска, Оренбурга и других городов Российской Федерации, насчитывающие около 1000 автоматизированных пунктов питания и более 50 тыс. светоточек.

## Заключение

Применение инновационных технологий, связанных с упреждающим управлением теплоснабжением здания и с беспроводным сбором данных, позволяет достичь реальных показателей экономии.

Так, в результате внедрения модельно-упреждающего управления системы отопления учебно-лабораторного корпуса

№3БВ Южно-Уральского государственного университета (ЮУрГУ) удалось снизить потребление тепловой энергии на 9,6 % (по результатам трёх отопительных периодов с 2014 по 2017 годы), вместе с тем сохранив комфортность здания и уменьшив суточные колебания температуры воздуха в помещении.

Установка в корпусе Южно-Уральского государственном университете большего количества датчиков температуры в помещениях и на стояках в 2017 году позволила сбалансировать систему отопления, существенно уменьшив разницу между условно «жаркими» и «холодными» помещениями. ●

1. Barbasova T.A., Kolesnikova O.V., Filimonova A.A. Automated system for equipment energy efficiency monitoring in heat energy facility. Energy Procedia. 2015. Vol. 83. Pp. 69–78.
2. Shnayder D.A., Abdullin V.V., Basalae A.A. Building heating feed-forward control based on indoor air temperature inverse dynamics model: Lecture Notes in Engineering and Computer Science. Proc. of the World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS 2014). Vol. II. October 22–24, 2014. San Francisco, USA. Pp. 886–892.
3. Abdullin V.V., Shnayder D.A. Implementation of an advanced heating control system at the university academic building. The 21st International Conference on Automation and Computing (ICAC 2015). September 11–12, 2015. Glasgow, U.K.
4. Abdullin V.V., Shnayder D.A., Kazarinov L.S. Model predictive control of building heating process using exponential filtration in harmonic basis. Proc. of the 21st World-Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics. Vol. II. July 8–11, 2017. Orlando, USA. Pp. 152–157.
5. Шнайдер Д.А., Абдуллин В.В., Басалаев А.А. «Умные» технологии в действии: упреждающее управление отоплением здания с использованием ПТК «ПолиТЭР» / Мат. XXXVI Межд. науч.-практ. конф. «Коммерческий учёт энергоносителей». 29 апреля 2016. — СПб., 2016. С. 187–200.
6. Filimonova A.A., Barbasova T.A., Shnayder D.A., Basalae A.A. Heat Supply Modes Optimization Based on Macromodeling Technology. Energy Procedia. 2017. Vol. 111. Pp. 710–719.
7. Shnayder D.A., Abdullin V.V. et al. A WSN-based system for heat allocating in multi-flat buildings. Proc. of the 36th International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP 2013). July 2–4, 2013. Rome, Italy. Pp. 181–185.
8. Basalae A.A., Barbasova T.A., Shnayder D.A. Simulation Study on Supply Temperature Optimization of University Campus Heating System. Procedia Engineering. 2015. Vol. 129. Pp. 587–594.
9. Yavorovsky Yu.V., Romanov D.O., Sennikov V.V., Sultanguzin I.A., Malenkov A.S., Zhigulina E.V., Lulaev A.V. Application of thermohydraulic dispatcher in low temperature district heating systems for decreasing heat carrier transportation energy cost and increasing reliability of heat supply. The International Conference “Problems of Thermal Physics and Power Engineering” (PTPPE 2017). November, 2017. Journal of Physics Conf. Series. 891(1):012167.
10. Sultanguzin I.A., Toepfer H., Kalyakin I.D., Govorin A.V., Zhigulina E.V., Kurzanov S.Yu., Yavorovsky Yu.V. Mathematical modeling and control system of nearly zero energy building. Proc. of the XIX International Symposium on Theoretical Electrical Engineering. Technische Universität Ilmenau. July 16–19, 2017. Ilmenau, Germany. 4 p.
11. Шнайдер Д.А., Абдуллин В.В., Басалаев А.А. Подход к оперативному анализу эффективности теплоснабжения зданий // Вестник ЮУрГУ. Серия: Компьютерные технологии, управление и радиоэлектроника, 2011. Вып. 13. №2. С. 70–73.

References — see p. 95.

**IoT technology applications to building heating: predictive control, distributed monitoring, smart hydraulic balancing. Pp. 54–58.**

**V. V. Abdullin**, PhD, Senior Lecturer; **D. A. Shnayder**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Automatics and Control, South Ural State University (National Research University); **S. Yu. Kurzanov**, PhD, Associate Professor; **Yu. V. Yavorovsky**, PhD, Associate Professor, Head of the Department, the Department of Industrial Thermal Engineering Systems, National Research University "Moscow Power Engineering Institute" (NRU MPEI)

1. Barbasova T.A., Kolesnikova O.V., Filimonova A.A. Automated system for equipment energy efficiency monitoring in heat energy facility. *Energy Procedia*. 2015. Vol. 83. Pp. 69–78.
2. Shnayder D.A., Abdullin V.V., Basalaev A.A. Building heating feed-forward control based on indoor air temperature inverse dynamics model: Lecture Notes in Engineering and Computer Science. *Proc. of the World Congress on Engineering and Computer Science (WCECS 2014)*. Vol. II. October 22–24, 2014. San Francisco, USA. Pp. 886–892.
3. Abdullin V.V., Shnayder D.A. Implementation of an advanced heating control system at the university academic building. *The 21<sup>st</sup> International Conference on Automation and Computing (ICAC 2015)*. September 11–12, 2015. Glasgow, U.K.
4. Abdullin V.V., Shnayder D.A., Kazarinov L.S. Model predictive control of building heating process using exponential filtration in harmonic basis. *Proc. of the 21<sup>st</sup> World-Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics*. Vol. II. July 8–11, 2017. Orlando, USA. Pp. 152–157.
5. Shnayder D.A., Abdullin V.V., Basalaev A.A. *Umnnye tehnologii v dejstvii: uprezhdajushhee upravlenie otopeniem zdaniya s ispol'zovaniem PTK "PolyTeR"* [Smart technologies in action: proactive management of building heating using the "PolyTeR" software and hardware complex]. *Mat. XXXVI Mezhd. nauch.-prakt. konf. "Kommercheskij uchët jenergonositelej"* [Proc. of the 36<sup>th</sup> International Scientific and Practical Conference "Commercial accounting of energy carriers"]. April 26–19, 2016. St. Petersburg. 2016. Pp. 187–200.
6. Filimonova A.A., Barbasova T.A., Shnayder D.A., Basalaev A.A. Heat Supply Modes Optimization Based on Macromodeling Technology. *Energy Procedia*. 2017. Vol. 111. Pp. 710–719.
7. Shnayder D.A., Abdullin V.V. et al. A WSN-based system for heat allocating in multi-flat buildings. *Proc. of the 36<sup>th</sup> International Conference on Telecommunications and Signal Processing (TSP 2013)*. July 2–4, 2013. Rome, Italy. Pp. 181–185.
8. Basalaev A.A., Barbasova T.A., Shnayder D.A. Simulation Study on Supply Temperature Optimization of University Campus Heating System. *Procedia Engineering*. 2015. Vol. 129. Pp. 587–594.
9. Yavorovsky Yu.V., Romanov D.O., Sennikov V.V., Sultanguzin I.A., Malenkov A.S., Zhigulina E.V., Lulaev A.V. Application of thermohydraulic dispatcher in low temperature district heating systems for decreasing heat carrier transportation energy cost and increasing reliability of heat supply. *The International Conference "Problems of Thermal Physics and Power Engineering" (PTPPE 2017)*. November, 2017. Journal of Physics Conf. Series. 891(1):012167.
10. Sultanguzin I.A., Toepfer H., Kalyakin I.D., Govorin A.V., Zhigulina E.V., Kurzanov S.Yu., Yavorovsky Yu.V. Mathematical modeling and control system of nearly zero energy building. *Proc. of the 19<sup>th</sup> International Symposium on Theoretical Electrical Engineering*. Technische Universitat Ilmenau. July 16–19, 2017. Ilmenau, Germany. 4 p.
11. Shnayder D.A., Abdullin V.V., Basalaev A.A. *Podhod k operativnomu analizu jeffektivnosti teplosnabzheniya zdaniy* [Approach to the operational analysis of the heat supply of buildings]. *Vestnik Juzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Komp'yuternye tehnologii, upravlenie i radioelektronika* [Bulletin of the South Ural State University. Series: Computer technologies, management and radio electronics]. 2011. Issue 13. No. 2. Pp. 70–73.