

КОМПЛЕКСНАЯ СИСТЕМА УЧЕТА И КОНТРОЛЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМОВ АДМИНИСТРАТИВНЫХ ЗДАНИЙ С ПОМОЩЬЮ IP S&C СИСТЕМЫ И СЕТИ ETHERNET

Приводятся предварительные результаты анализа работы микроконтроллерного ip-S&C Ethernet-комплекса контроля температурных режимов и системы водяного отопления университета за период с апреля 2011 по апрель 2012 г.

Ключевые слова: микроконтроллеры, Ethernet-сеть, регистрация данных, обработка данных в Excel, температурный режим, система водяного отопления.

Наводяться попередні результати аналізу роботи мікроконтролерного ip-S&C Ethernet-комплексу контролю температурних режимів і системи водяного опалення університету за період з квітня 2011 до квітня 2012 р.

Ключові слова: мікроконтролери, Ethernet-мережа, реєстрація даних, обробка даних у Excel, температурний режим, система водяного опалення.

The preliminary results of the analysis of the microcontroller ipS & C Ethernet-set temperature control and water heating system of the University for the period from April 2011 to April 2012 are stated in article.

Key words: microcontrollers, Ethernet-network, data logging, data processing in Excel, temperature regime, water heating system.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Контроль температурных режимов в помещениях и корпусах крупной организации или учебного учреждения является необходимой составляющей повышения эффективности теплоснабжения и энергосбережения [1-5]. Одна из проблем дистанционного контроля обусловлена необходимостью организации физической среды передачи данных от измерительной точки до центра сбора информации, и соответствующими дополнительными затратами на организацию связи. В большинстве крупных учреждений и, прежде всего, в университетах уже имеется физическая среда передачи данных в виде локальной компьютерной сети Ethernet. Это позволяет свести к минимуму затраты на организацию связи между элементами системы используя существующую сеть.

ОПИСАНИЕ АППАРАТНОГО КОМПЛЕКСА

Для решения поставленной задачи был разработан и изготовлен микроконтроллерный Web-сервер **ipS&C** – **internet protocol-Sensors And Control**. Этот сервер легко интегрируется в любую Ethernet-сеть через стандартные средства сетевого доступа, (рис. 1.)

Web-сервер анализирует запросы и формирует стандартные ответы на удаленные запросы клиентов сети. Сервер позволяет осуществлять:

- контроль состояния и управление удаленными внешними устройствами с помощью средств сети ethernet (локальная компьютерная сеть предприятия или глобальная сеть internet);
- контроль состояния цифровых (максимум 18, типа 1-wire) и аналоговых (максимум 6, типа ntc) датчиков температуры (или иных датчиков с аналогичным интерфейсом);
- управление внешними устройствами (электронагревателем, электродвигателем, электромагнитным клапаном и т. п.) с помощью гальванически развязанных твердотельных реле. количество каналов управления – до 6;
- Удаленный контроль температурой и управление нагревательными или иными устройствами из глобальной сети Internet через внешние шлюзы. В том числе с помощью GSM-модемов мобильных телефонов, ноутбуков и т. п.

Работой системы управляют два сервера сбора данных (основной и резервный). Сервер сбора данных фигурирует в качестве клиента для Web-сервера и с заданной периодичностью (примерно раз в минуту) опрашивает все контролируемые точки. Результаты измерений фиксируются на жестком диске сервера сбора данных и далее могут быть обработаны и

преобразованы в графики в пакете Excel с помощью специально разработанных макросов [3].

Микропроцессорный Web-сервер позволяет не только регистрировать температуру, но и управлять

электрическим оборудованием (нагреватели, насосы, клапаны и др.) путем подключения на цифровые выходы процессора силовых ключей.

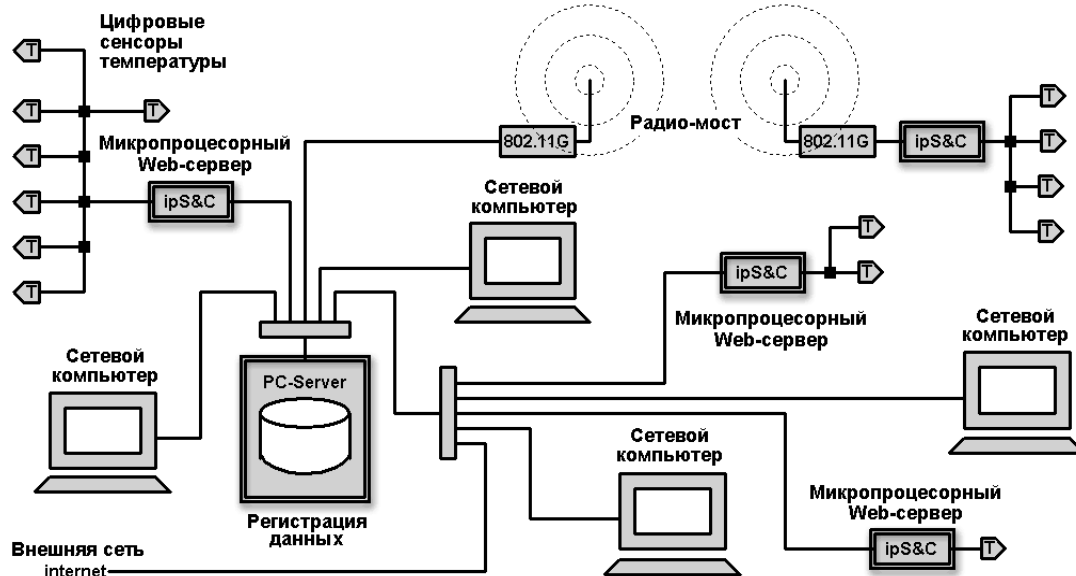


Рис. 1. Схема подключения микропроцессорных ipS&C Web-серверов к локальной компьютерной сети учебного заведения или учреждения.

Основным элементом системы является ipS&C Web-сервер на базе микропроцессорной платы МК-duino с микропроцессором ATmega8. Web-сервер

выполнен в небольшом корпусе размерами около 8см*5см*3см и легко размещается в любом удобном месте, (рис. 2.).

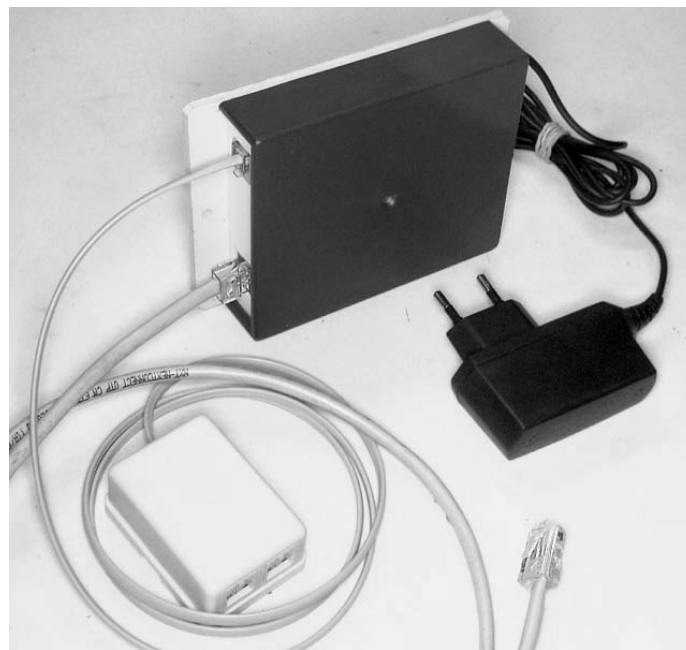


Рис. 2. Внешний вид ipS&C Web-сервера с блоком питания и датчиком температуры

Использование цифровых датчиков температуры типа DS1820 позволяет подключать практически неограниченное количество датчиков параллельно. В конкретной реализации ограничения на количество датчиков обусловлены ограничениями на максимальную длину информационных строк формируемых Web-сервером (сейчас 16 датчиков).

Для подключения цифровых датчиков температуры типа DS1820 с интерфейсом 1-Wire используется телефонное RJ-гнездо с 4-жильным телефонным кабелем.

Цифровые сенсоры DS1820 имеют очень маленькие размеры и могут быть разделаны в окончании кабеля, либо установлены в небольшой корпус. На рис. 2 показан сенсор, смонтированный в корпусе телефонной розетки.

Для обеспечения питания сервера используется малогабаритный блок питания (AC220V-DC5V) зарядного устройства мобильного телефона. При наличии развернутой сети свитчей и маршрутизаторов

с функцией PoE (Power over Ethernet) возможен отказ от использования отдельного блока питания и перевод сервера на питание от Ethernet-сети.

Web-сервер собран на базе микропроцессорной платы МК-duino и Ethernet-адаптера, (рис. 30).

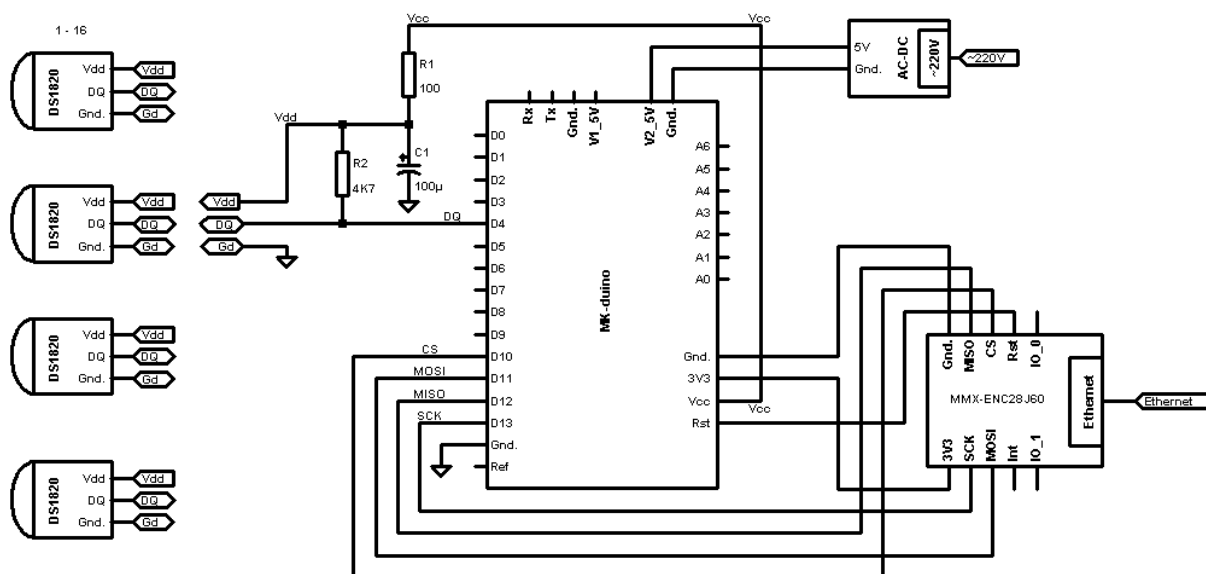


Рис. 3. Схема ipS&C Web-сервера на базе микроконтроллерной платы МК-duino.

На схеме показаны следующие узлы и элементы: Микропроцессорная плата МК-duino – разработка учебно-научного центра ЧДУ им. Петра Могилы. Адаптер сети Ethernet – MMX-ENC28J60 [7] – разработчик: фирма IntCom (г. Николаев). Цифровые сенсоры температуры типа DS18B20. Понижающий

блок питания 220V/5V. Ток потребления вторичной цепи до 200 мА.

Для управления нагрузкой подключаемой к сети переменного тока можно использовать твердотельное реле с гальванической развязкой от сети (рис. 4).

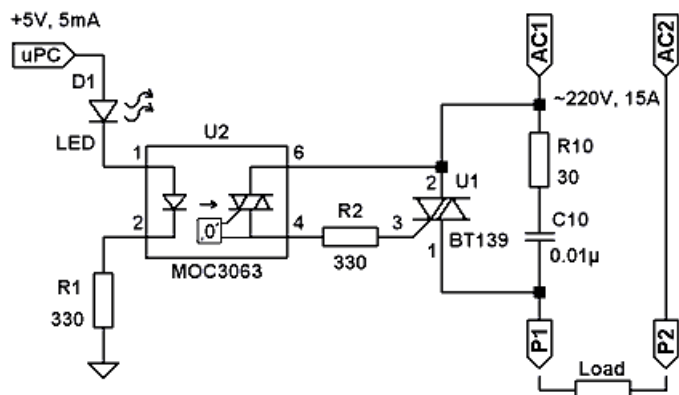


Рис. 4. Схема и внешний вид силового симисторного ключа с оптронной развязкой

Конструкция твердотельного реле для работы с платой МК-duino была разработана в учебно-научном центре ЧДУ им. Петра Могилы. Это реле позволяет коммутировать нагрузку со следующими параметрами: напряжение 220 V промышленной частоты, максимальный ток коммутации – до 8 А (мощность – 1.6 KW).

Схема состоит из силового симисторного ключа BT139 и схемы гальванической развязки MOC3063 на симисторном оптроне с контролем перехода фазы через 0. На схеме помечены гнезда подключения к силовой сети – AC1, AC2, гнезда подключения нагрузки – P1, P2 и гнездо подключения к цифровой линии микропроцессора – uPC.

На рис. 5 показана схема микроконтроллерной платы МК-duino [6]. Эта схема является модифицированным и доработанным вариантом платы Arduino [8].

На плате МК-duino расположен микропроцессор ATmega8/168/328, элементы обвязки процессора и гнезда для подключения периферийных устройств. Плата имеет 14 цифровых линий и 6 линий аналоговых входов (0-5V).

Диоды D1, D2 защищают плату от ошибок по полярности питания.

Для питания Ethernet-адаптера MMX-ENC28J60 на плате размещен интегральный стабилизатор напряжения 3.3V.

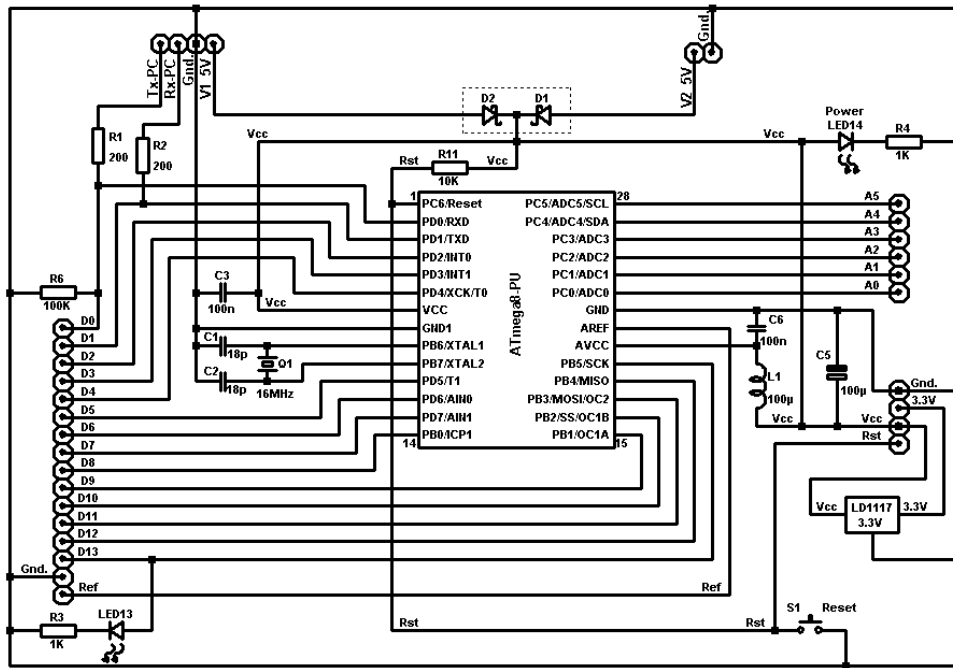


Рис. 5. Схема микропроцессорной платы МК-duino на микроконтроллере ATmega8

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММ РЕГИСТРАЦИИ ПЕРВИЧНЫХ ДАННЫХ

Для программирования Web-сервера используется открытая среда Arduino [8] с открытыми библиотеками исходных кодов на языке C и C++.

Программа Web-сервера состоит из следующих компонент:

- обслуживание цифровых датчиков температуры;
- обслуживание стандартных сетевых запросов;
- контроль текущей функциональности устройства и предотвращения «подвисаний» процессора.

Наиболее сложной и ресурсоемкой частью программы является обслуживание сетевых запросов. На начальном этапе разработки программы были использованы библиотеки сайта nuelectronics.com. В процессе разработки был найден ряд серьезных недостатков этой библиотеки. Так при частых сетевых запросах к микроконтроллеру его буфер переполнялся и вызывал «зависание». Была найдена альтернативная библиотека от сторонних разработчиков на сайте blog.thiseldo.co.uk. Эта библиотека скомпонована на базе двух других библиотек nuelectronics.com и tuxgraphics.org. Последняя библиотека написана под среду программирования AVR Studio. В альтернативной библиотеке упрощена процедура проверки правильности пакетов и реализована очистка буфера, что существенно уменьшает вероятность переполнения буфера и «подвисания» процессора.

Блок инициализации Ethernet-адаптера и инициализации 1-wire сети датчиков температуры скомпонован из команд подключения соответствующих библиотек. При активации сетевого адаптера ему задаются значения MAC-адреса и IP-адреса (имеется возможность задать порт для Web-страницы). Завершение инициализации обозначается определенной последовательностью «мигания» светодиодов адаптера сети.

Программа опроса датчиком температуры включает в себя следующую последовательность процедур:

1. Процедура получения запроса и ответа из локальной сети

В теле программы циклически повторяется цепочка операций ожидания запроса из сети. Запрос является собой обычный HTTP-запрос, который способен выполнить любой Web-браузер. После получения запроса и обработки данных с датчика, программа выполняет заполнение буфера данных, для ответа. Запись в буфер выполняется посимвольно, путем последовательного добавления символов в массив.

2. Процедура поиска датчика в сети 1-wire.

Каждый DS18B20 содержит уникальный 64-битовый код, сохраненный в его собственном ROM. Серийный код служит как для отслеживания места расположения датчика, так для того, чтобы контроллер мог считать данные конкретного датчика. Было рассмотрено два метода считывания из датчиков:

а) Динамическая таблица серийных номеров, которая дает возможность подключать и отключать датчики на ходу, не перепрограммируя микроконтроллер – так называемая система Plug-and-Play. Каждый новый датчик начинает автоматически опрашиваться микроконтроллером при подключении. Процедура поиска требует дополнительного времени и замедляет опрос датчиков.

б) Статическая таблица – все датчики, которые будут подключены к контроллеру, заранее прописываются в его память, и контроллер не пытается опрашивать другие датчики в сети. Этот вариант требует меньше времени на опрос всех датчиков за счет исключения процедур поиска датчиков.

Из двух вариантов привязки датчиков был избран динамический метод, как более простой, так как статический требует перепрограммирования контроллера при каждом добавлении нового датчика. Статический метод можно было бы реализовать путем дистанционного обновления таблицы номеров Flash-памяти контроллера, но это создавало бы

дополнительную нагрузку на контроллер и размер его программы.

3. Процедура получения серийного кода 1-wire датчика.

В данной процедуре контроллер посылает широковещательный запрос в сеть 1-wire и ожидает ответ от очередного датчика в виде его серийного номера. Последовательность получения номеров определяется битовой структурой серийного номера каждого датчика и может измениться при подключении нового датчика.

4. Процедура получения, обработки и конвертирования данных датчика температуры.

Считывание данных начинается после получения серийного номера датчика и реализована в виде циклической процедуры опроса по таблице серийных номеров. Каждый элемент цикла опроса состоит из команд получения данных из внутренней памяти датчика и преобразование старшего и младшего байта данных в температуру. Данные температуры отсылаются датчиком в единицах $1/16$ градуса шкалы Цельсия. Микроконтроллер преобразует эти данные в символьный вид десятичного числа со знаком и десятичной разделительной точкой. Процесс преобразования состоит из сдвига старшего байта влево на 8 бит и добавления младшего байта. Температура вычисляется по формуле $(6 \cdot x) + x/4$ без операций с плавающей точкой. После этого формируется ответа на запрос из сети.

5. Процедура сброса счетчика Watchdog.

Если по каким либо причинам выполнение программы не дойдет до этой точки в отведенный ограниченный отрезок времени – программа «подвиснет», то Watchdog сбросит процессор в исходное состояние, и программа начнет работу из исходного состояния.

Для стандартизации формата данных в системе был введен ряд требований к оформлению получаемых первичных данных. А именно, данные должны соответствовать требованиям для CSV таблиц Excel, и иметь штамп времени и даты.

Так как микроконтроллер не может сам отправлять данные, а только отвечает на запросы, был создан сервер сбора данных на персональном компьютере. Сервер работает под управлением операционной системы Linux. В ОС Linux запуск программы считывания инициируется программой планирования задач Cron. Планировщик задач производит опрос микроконтроллеров с постоянным периодом (от 1 до 5 минут). Опрос инициируется скриптом, который выполняет следующие операции:

- определение системной даты и времени;
- создания каталога с названием в виде системной даты и времени;
- скачивание данных и запись во временный файл;
- копирование данных в указанный каталог и файл;
- добавления системной даты и времени в файл с данными.

Для реализации возможностей получения и отображения данных с сервера обработки в удобном виде были установлены дополнительные программы:

- Samba для доступа к логам по сети в виде локальной папки;
- Apache, PHP сервера для отображения Web-страниц.

Web-страница, расположенная на Web-сервере, состоит из двух фреймов:

1. Таблица привязки, с указанием местоположения конкретного ipS&C-сервера, его IP-адреса, индикатора работоспособности, ссылки на записи данных за текущую дату, рис.6.

Проверка Web-серверов на базе МК-duino

№	Размещение	IP-адрес	Датчики	Ping	Логи за текущий день
01	Зюляев отладка софта	192.168.100.182	2	не работает	Лог датчика 1
02	4-303 Кафедра медицинских приборов	192.168.100.183	1	работает	Лог датчика 2
03	2-504 Global Logic	192.168.100.184	1	не работает	Лог датчика 3
04	Читальный зал библиотеки	192.168.100.185	1	работает	Лог датчика 4
05	3-202 Кафедра политических наук	192.168.100.186	1	работает	Лог датчика 5
06	Международный отдел	192.168.100.187	1	работает	Лог датчика 6
07	2-403а Вентиляционная и улица и 4 этаж	192.168.100.188	3	работает	Лог датчика 7
08	11-209 Институт филологии	192.168.100.189	1	работает	Лог датчика 8
09	10-305 Деканат социальной роботы	192.168.100.190	1	работает	Лог датчика 9
10	Котельная ЧДУ	192.168.100.191	6	работает	Лог датчика 10

Рис. 6. Пример Web-страницы состояния обмена с микроконтроллерами ipS&C-серверов.

2. Таблица температур за текущий день, которая формируется из данных файлов температуры, и имеет следующий примерный вид, рис. 7.

В первом столбце таблицы указано время в формате часы:минуты. Далее указаны значения температур по каждому из температурных датчиков. Датчики указаны

в порядке их серийных номеров. Этот порядок не изменяется, пока к устройству не будут подключены (отключены) сенсоры.

На рис. 7, в качестве примера, показана таблица для ipS&C-сервера установленного в помещении котельной (точка 9 на рис. 8). Самая высокая темпе-

ратура (3-столбец) соответствует трубе подачи теплоносителя, самая низкая (4-столбец) – температуре внешнего воздуха, в 5-столбце – температура на трубе подпитки (чаще всего это температура воздуха внутри

котельной, так как подпитка включается чрезвычайно редко, и труба прогревается до температуры помещения).

0:00	40.31	42.87	7.12	25.75	41.87	38.25
0:05	40.37	43.12	7.18	25.81	41.87	38.18
0:10	40.43	43.12	7.18	25.75	41.87	38.31
0:15	40.43	43.12	7.37	25.87	41.87	38.31
0:20	40.50	43.18	7.18	25.87	41.87	38.31
0:25	40.37	43.12	7.25	25.87	41.81	38.25
0:30	40.50	43.18	7.06	25.87	41.87	38.31
0:35	40.56	43.06	7.31	25.93	41.87	38.37
0:40	40.43	43.12	7.25	25.93	41.87	38.25
0:45	40.50	43.00	7.31	26.00	41.93	38.25
0:50	40.43	43.18	7.25	26.00	41.93	38.31
0:55	40.50	43.18	7.37	26.00	41.93	38.37
1:00	40.50	42.93	7.25	26.06	41.93	38.31
1:05	40.43	43.18	7.18	26.06	41.93	38.25
1:10	40.43	43.18	7.25	26.06	41.93	38.37
1:16	40.56	43.06	7.25	26.06	41.87	38.37
1:21	40.50	43.31	7.37	26.06	41.87	38.43
1:26	40.50	43.00	7.25	26.06	41.87	38.37

Рис. 7. Пример таблицы данных температуры по котельной.

Для обеспечения надежности функционирования системы был применен ряд специальных механизмов и методов повышения надежности и методов улучшения контроля за системой. В частности, добавлены следующие программные и аппаратные функции:

- Watchdog-сторожевой таймер, аппаратный таймер, который периодически сбрасывается из работающей программы. Если очередной сброс не состоялся на протяжении некоторого заданного интервала времени, происходит принудительная перезагрузка системы. В некоторых случаях может посылать системе сигнал на перезагрузку («мягкая» перезагрузка), в других – «жесткая» перезагрузка происходит аппаратно (замыкание сигнального RST-вывода процессора).

- Softreset представляет собой переход на нулевой адрес контролера, который инициирует «мягкий» перезапуск системы. В отличие от перезапуска по Watchdog, перезапуск контролируется программой, и для его активации не нужны изменения в настройках микроконтроллера.

- Отключение Bootloader-загрузчика программ. Bootloader – это система которая предельно упрощает процесс загрузки обновленного программного обеспечения на этапе отладки программ. В частности, система автоматически переходит в режим загрузки нового программного обеспечения после подачи сигнала сброса или при подаче питания. При последующей эксплуатации оказалась, что Bootloader, автоматически запускаясь при каждом отключении питания, создает угрозу непреднамеренного

разрушения программы в памяти микроконтроллера, особенно при частых аварийных отключениях электропитания. Это проявилось в массовом отказе функционирования микроконтроллеров в период частых отключений электропитания в феврале 2012 года. Для исключения самопроизвольного перепрограммирования система Bootloader была отключена. Это несколько усложнило отладку, так как теперь для перепрограммирования контроллера нужен специальный отдельный программатор.

- Блок питания сервера сбора данных на ПК был модифицирован для возможности само восстановления работы при сбое по напряжению электропитания.

Показатели температуры считываются сервером сбора и архивации со всех датчиков с заданным интервалом времени, и записываются в текстовые файлы на этом сервере. Для каждого суток выделяется отдельный каталог. Для каждого контроллера температуры выделяется отдельный файл, последний может содержать показатели температуры от одного либо от нескольких датчиков.

Файл имеет следующий формат. Каждое измерение записывается в отдельной строке. Каждая строка состоит из следующих полей, разделенных точкой с запятой: серийный номер датчика, температура в градусах Цельсия (в случаях, когда контроллер имеет несколько датчиков, эта пара полей повторяется для каждого из них), дата, время. В случае, когда контроллер был недоступен в сети, поля серийный

номер и температура отсутствуют. То есть, возникает ситуация, когда строки могут содержать разное количество полей

ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУР АВТОМАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ В EXCEL

Для обработки температурных данных был выбран пакет Microsoft Excel. Он позволяет представить полученные данные как в табличной, так и в графической формах. Кроме того, имеется возможность автоматизации процесса обработки при помощи написания специальных программ – макросов, которые могут быть откорректированы без необходимости перекомпиляции. Еще одним аргументом в пользу Excel выступает его наличие на большинстве офисных компьютеров.

При выполнении ручной обработки данных необходимо выполнить следующую последовательность операций:

1. Вручную отредактировать файл записи:
 - найти и удалить строки, которые не содержат данных от датчиков.
2. Запустить Excel.
3. Открыть нужный файл в Excel. При открытии файла указать:
 - формат исходных данных – с разделителями,
 - символ-разделитель «;»,
 - для полей, содержащих температуру установить общий формат, разделитель целой и дробной части символ «.»,
 - для полей даты и времени установить текстовый формат.
4. Добавить столбец для числового отображения даты и времени, и ввести в каждую его ячейку формулу «=ДАТАЗНАЧ([дата])+ВРЕМЗНАЧ([время])»
5. Добавить лист диаграммы:
 - вручную указать ряд данных для каждого из сенсоров и указать имя ряда.
 - для оси категорий использовать столбец дата-время, созданный в п. 4.
6. Отформатировать диаграмму:
 - установить минимальное и максимальное значения по осям графика.

На выполнение перечисленных выше операций, в зависимости квалификации оператора и размера файла, необходимо время – от 5 до 30 минут работы на одни сутки данных с одного ipS&C Web-сервера. При этом в формулу для перерасчета даты и времени может потребоваться внести изменения, учитывающие языковую версию Excel и соответствующие настройки региональных стандартов представления даты (может меняться в зависимости от версии Windows). Все это усложняет процедуру ручной обработки и делает ее чрезвычайно трудоемкой. На обработку данных со всех сенсоров только за один месяц необходимо затратить несколько дней работы.

Для автоматизированной обработки данных был создан алгоритм оформленный в виде книги Excel, содержащей тестовые данные конфигурации системы, шаблон графика и макрос для их обработки. Описания конфигурации серверов, включая назначения сенсоров температуры, указываются на отдельном листе книги Excel. В первом столбце находится номер сервера, во втором – количество датчиков, в третьем и последующем – назначение датчиков. Таким образом, программа может строить различное количество температурных кривых в зависимости от конфигурации конкретного контролера.

Проблемы, связанные с региональными стандартами системы, в макросе решены путем использования функций VBA DateSerial и TimeSerial, которые не зависят от локализации. Поскольку в VBA стандартным десятичным разделителем является точка и в файле журнале используется этот разделитель, нет необходимости предпринимать дополнительные действия по выбору десятичного разделителя.

Для автоматической обработки файла достаточно его указать при открытии книги – все необходимые преобразования и построения графиков будут выполнены автоматически.

Процедура автоматической обработки выполняется следующим образом:

1. Файл журнала температуры считывается полностью.
2. Для каждой строки определяется количество температурных значений по формуле $N_p = \frac{N_s - 2}{2}$, где N_p – количество температурных значений, N_s – количество разделителей (символов «;») в строке.
3. Если количество значений не совпадает с заданным шаблоном, то это значит, что в процессе регистрации произошла ошибка и данная строка не обрабатывается.
4. Выполняется преобразование даты и времени во внутренний формат Excel.
5. Температурные данные и время измерения выделяются из строки и заносятся на рабочий лист.
6. По достижении конца файла журнала строится график температуры за сутки.

Для объединения графиков температуры за несколько суток необходимо к журналу за первые сутки дописать журналы за ряд последующих суток, после чего запустить программу для объединенного файла. После этого можно отформатировать диаграмму, указав удобные значения диапазонов.

ОБЩЕЕ ОПИСАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Схема размещения сенсоров температуры и микроконтроллерных Web-серверов в сооружениях комплекса университета приведена на рис. 8.

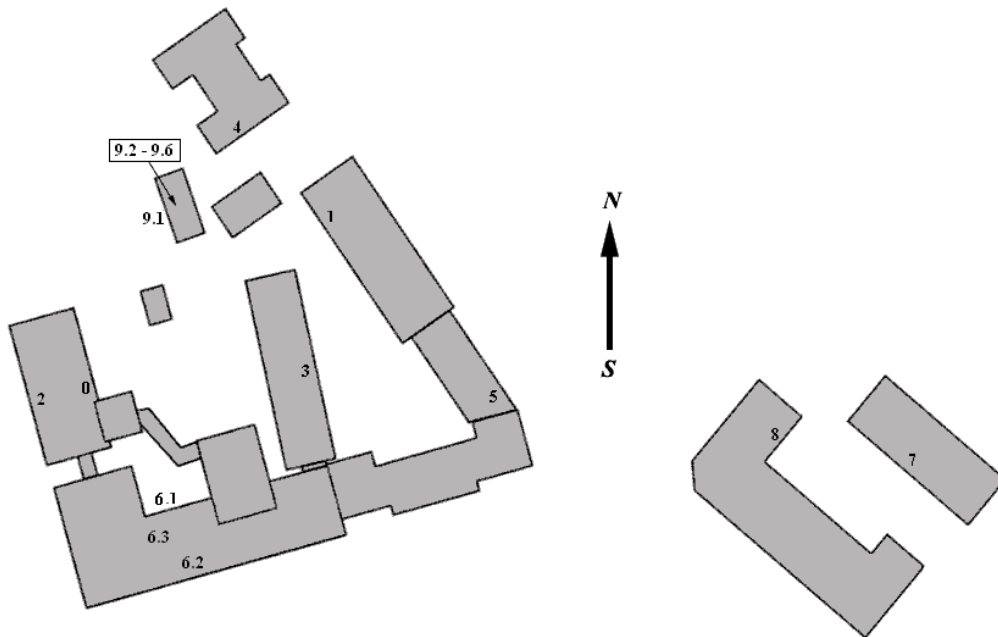


Рис. 8. Схема размещения сенсоров температуры и микроконтроллерных Web-серверов.

Все Web-серверы регистрации температуры связаны в общую Ethernet-сеть. Точки 1-3, 5-6 связаны кабелем. Точки 4, 7, 8 в отдельно стоящих зданиях связаны с общей сетью оптоволоком. Точка 9 в котельной связана с общей сетью по Wi-Fi-радиоканалу.

Как показал последующий анализ, на температурный портрет конкретного помещения влияет как его размещение, так и ориентация его окон. Ниже приводится уточняющая информация по размещению сенсоров температуры, существенная для интерпретации полученных данных:

0. Компьютерный класс, 2-этаж 5-этажного здания, окна на северо-восток. Этот сервер предназначен, прежде всего, для отработки программного обеспечения, и в регулярных измерениях не участвует.

1. Кафедра, 3-этаж 3-этажного здания, окна на юго-запад.

2. Компьютерный класс, 5-этаж 5-этажного здания, окна на юго-запад.

3. Читальный зал, 1-этаж 1-этажного здания, окна на юго-восток.

4. Кафедра, 2-этаж 2-этажного здания, окна на юго-восток.

5. Отдел, 1-этаж 1-этажного здания, окна на северо-восток.

6. Вентиляционное помещение, 4-этаж 4-этажного здания. 3 сенсора: улица – северо-западная сторона здания; коридор – окна на юго-восток; вентиляционная – окна на северо-запад.

7. Деканат, 2-этаж 3-этажного здания, окна на юго-запад.

8. Кафедра, 3-этаж 3-этажного здания, окна на юго-восток.

9. Котельная, одноэтажное здание. 6 сенсоров: улица – юго-западная стена (в тени от рядом стоящего здания); труба подачи теплоносителя в корпуса; труба возврата теплоносителя в котельную – 3 сенсора; труба подпитки холодной воды.

Регистрация данных температуры в составе комплекса была начата в апреле 2011 года – устройства 1-4. По мере изготовления и настройки новых устройств постепенно вводились в эксплуатацию новые точки регистрации. К концу лета 2011 были активированы все точки, кроме котельной. К началу отопительного сезона, в октябре 2011, была активирован измерительный пост в котельной.

ХАРАКТЕРНЫЕ ПРИМЕРЫ РЕЗУЛЬТАТОВ РЕГИСТРАЦИИ

Примеры результатов суточной регистрации данных температуры в помещениях университета и на улице приведены на рис. 9-15.

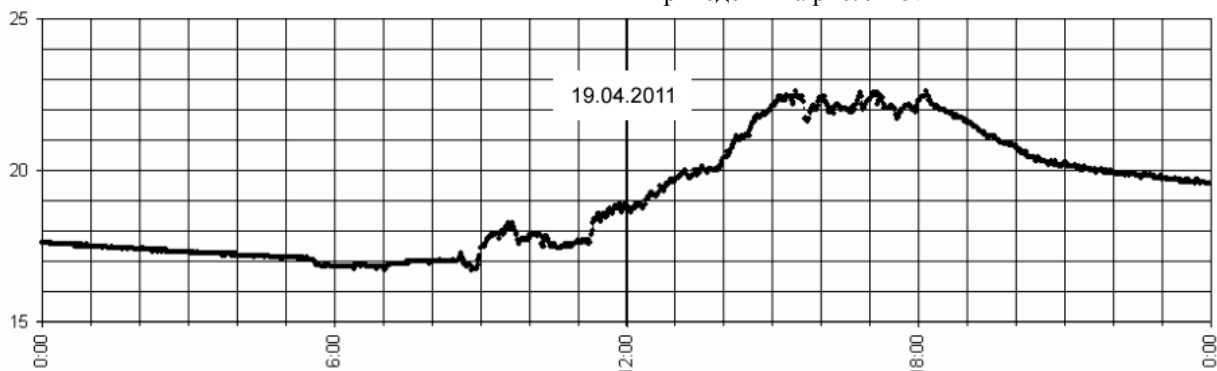


Рис. 9. Пример суточного хода температуры в помещении с окнами на юго-запад.

Пример рис. 9 соответствует помещению, обозначенному на схеме точкой 1. На графике можно отметить некоторые интересные особенности. С 8:30 до 9:00 можно заметить небольшой провал температуры. Этот провал обусловлен проветриванием помещения. Максимум температуры в помещении наблюдается с 14 до 20 часов. В это время помещение максимально освещено солнцем.

Аналогичное явление было обнаружено при сопоставлении суточных вариаций температуры в различных помещениях университета (рис. 11). В суточном ходе отмечаются максимумы температуры соответствующие времени максимальной освещенности помещения. В разных помещениях эти максимумы наблюдаются в разное время, в соответствии с ориентацией окон помещения.

Следствием этого является то, что в помещениях освещенных солнцем температура избыточно высока, и для ее уменьшения открывают окна, а помещениях неосвещенных солнцем температура ниже комфортной и сотрудники вынужденно прибегают к допол-

нительным средствам обогрева. Все это приводит к нерациональному использованию системы отопления. Эту ситуацию могла бы исправить возможность перекачки избыточного тепла из помещений с повышенной температурой в помещения с пониженной температурой, с помощью системы естественной или принудительной вентиляции.

Неожиданным проявлением влияния солнечного освещения на температуру явились результаты, полученные с датчиком температуры внешнего воздуха. Датчик температуры был размещен на северной стороне главного здания. Предполагалось, что расположенный с северной стороны здания, в окружении выступов соседних зданий, датчик будет постоянно находиться в тени. Но результаты регистрации опровергли это предположение.

Соответствующий пример на рис.10 демонстрирует влияние прямого солнечного освещения на изменение температуры сенсора размещенного в точке 6.1 на 4-этаже северо-западной стены главного здания университета.

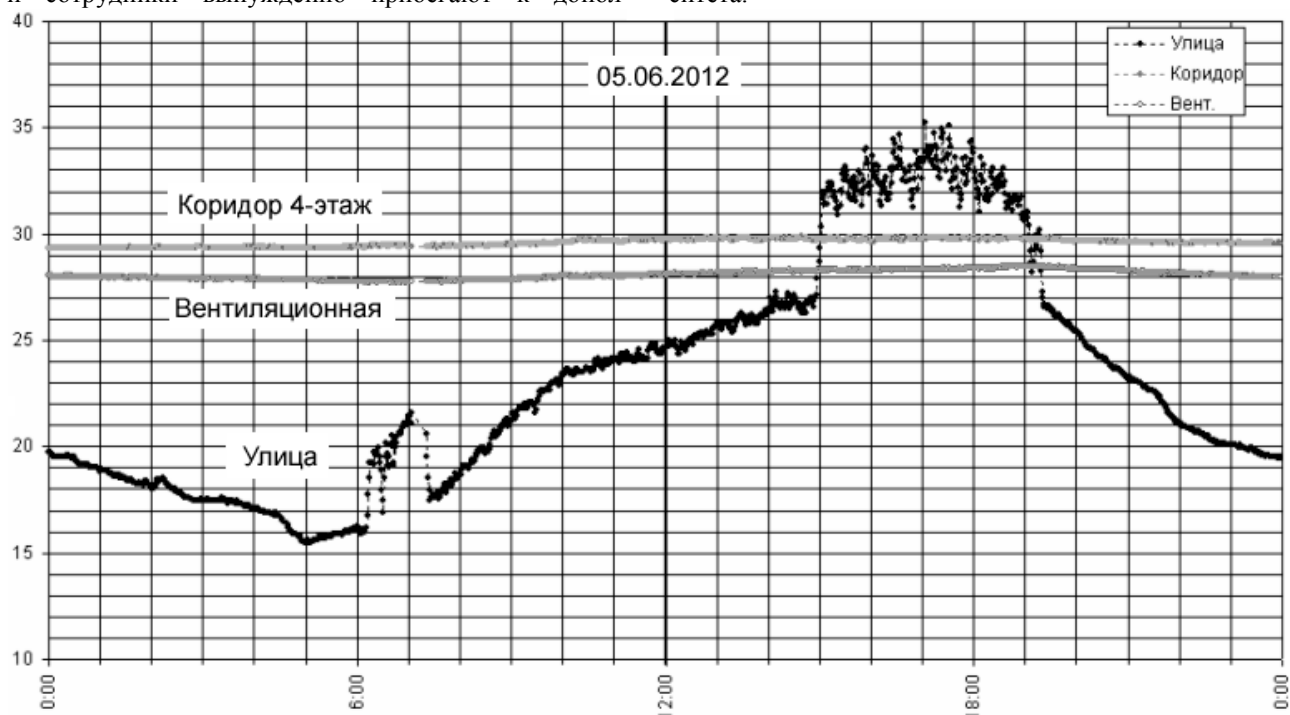


Рис. 10. Пример влияния солнечного освещения на температуру сенсора

Как позже выяснилось, летом, в ранние утренние часы (6:00 – 7:30) и во второй половине дня (15:00 – 19:30) сенсор освещается солнцем, находящемся в это время в северной части небосвода. При этом температура сенсора скачком возрастает на 4-5 градуса.

На рис. 11 приведены примеры вариаций температуры в помещениях университета и на улице в один из дней октября 2012 года до начала отопления.

В верхней части графика рис. представлены вариации температуры в различных помещениях университета. Наиболее низкая температура (ночью) в помещении читального зала библиотеки – это помещение имеет самые большие окна. Самые высокие температуры в помещении, оборудованном кондиционерами с режимом теплового насоса. Отдельные пики

соответствуют циклам работы этого кондиционера. Провалы на графиках в утренние часы (с 6 до 9 часов) соответствуют времени уборки и проветривания помещения. Разница температур между самыми теплыми и самыми холодными помещениями достигает 5 – 7 градусов.

В нижней части графика представлены вариации температуры сенсоров размещенных вне помещения. Более низкие значения температуры соответствуют сенсору, размещенному на северной стороне здания (точка 6.1) и вынесенному от стены здания на расстояние около метра. Более высокие значения, с меньшими вариациями, соответствуют сенсору на внешней стене котельной (точка 9.1) возле окна.

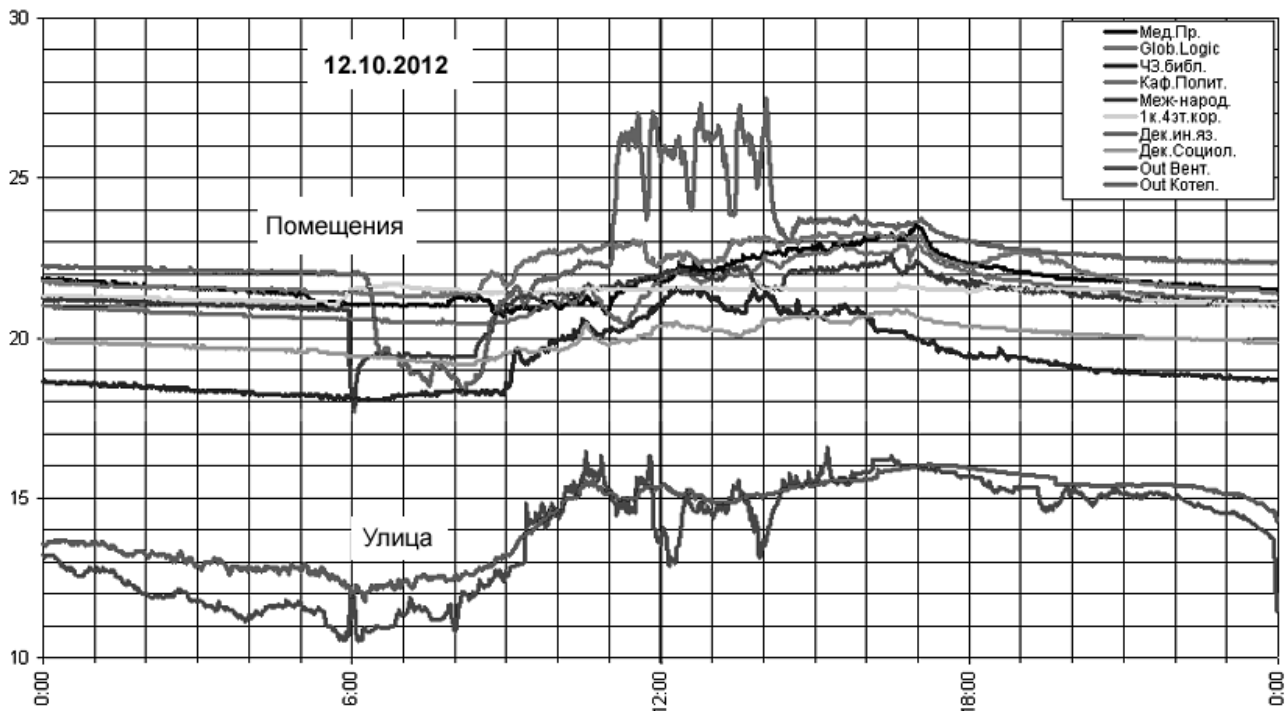


Рис. 11. Пример суточных вариаций температуры в помещениях университета и на улице.

На рис. 12 показаны вариации температур на трубах котельной при одном из пробных включений отопительного котла.

Приведены результаты регистрации температуры на поверхности труб подачи и возврата теплоносителя (3 сенсора – по количеству обратных веток) системы отопления. Здесь же показана температура на трубе подпитки (холодная вода). Датчики температуры на

трубах были размещены в стальных гильзах и прижаты хомутами к поверхностям соответствующих труб. Нижняя кривая соответствует температуре внешнего воздуха – сенсора размещенного с внешней стороны оконного проема котельной. Для сравнения на графике показана температура в коридоре 4-этажа главного корпуса (точка 6.2).

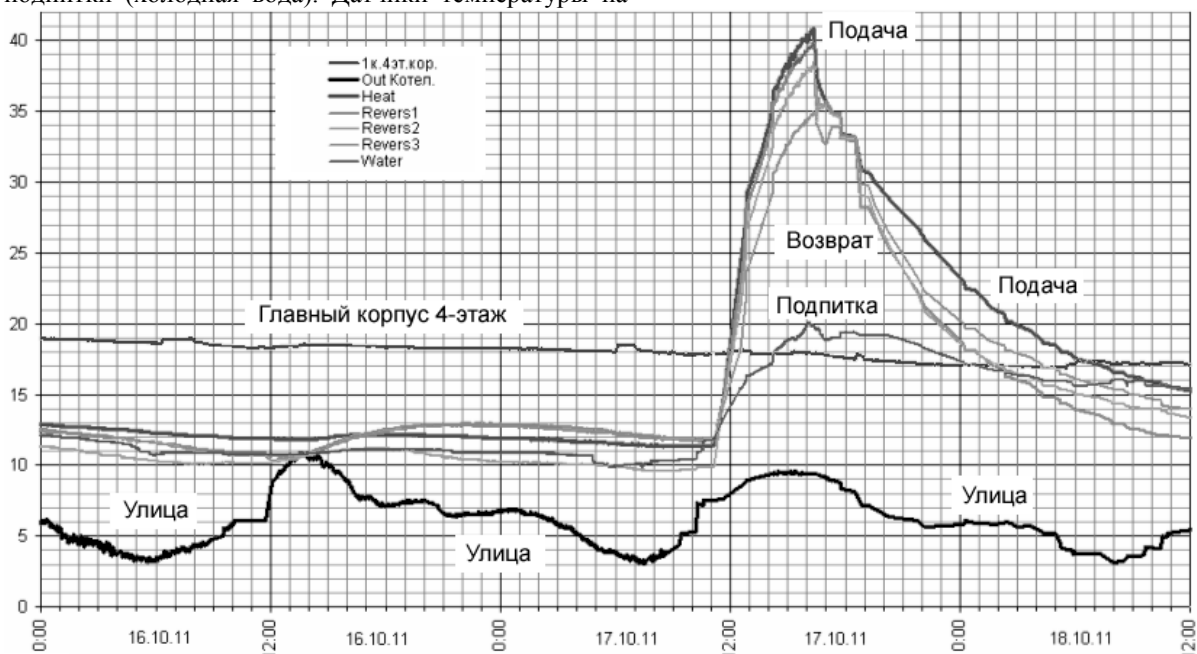


Рис. 12. Изменения температуры при пробном включении отопления.

По графикам рис. 12 видно, что изменения температуры во времени описывается классическим уравнением инерционного звена, но с разными значениями постоянной времени для состояний включенного и отключенного нагрева:

при включении

$$T(t) = T_0 + \Delta T_{\max} \cdot \left(1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau_{on}}\right) \right)$$

при выключении отопления.

$$T(t) = T_0 + \Delta T \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau_{off}}\right)$$

В этих уравнениях: T – температура; t – время; T_0 – фоновая температура (температура внешней среды); ΔT_{\max} – предельное превышение температуры над фоном при бесконечно долгой работе котла; $\tau_{\text{оп}}$ – постоянная времени нагрева; ΔT – превышение температуры над фоном; τ_{off} – постоянная времени остывания.

По графикам можно оценить параметры тепловых уравнений: предельное превышение температуры примерно соответствует температуре кипения воды ($100^\circ\text{C} - T_0$); постоянная времени нарастания температуры определяется скоростью подвода энергии и составляет около 3 часов; постоянная времени

убывания температуры определяется скоростью отдачи энергии во внешнюю среду и составляет около 20 часов.

Результаты регистрации динамики изменения температур могут быть полезны при разработке количественной модели системы отопления. Такая модель может найти применение при планировании временного расписания работы отопительной системы обеспечивающего оптимальный температурный режим в рабочие часы.

Отопительный сезон 2011-2012 года характерен сдвигом минимальных температур на вторую половину зимы начало весны (рис.13).

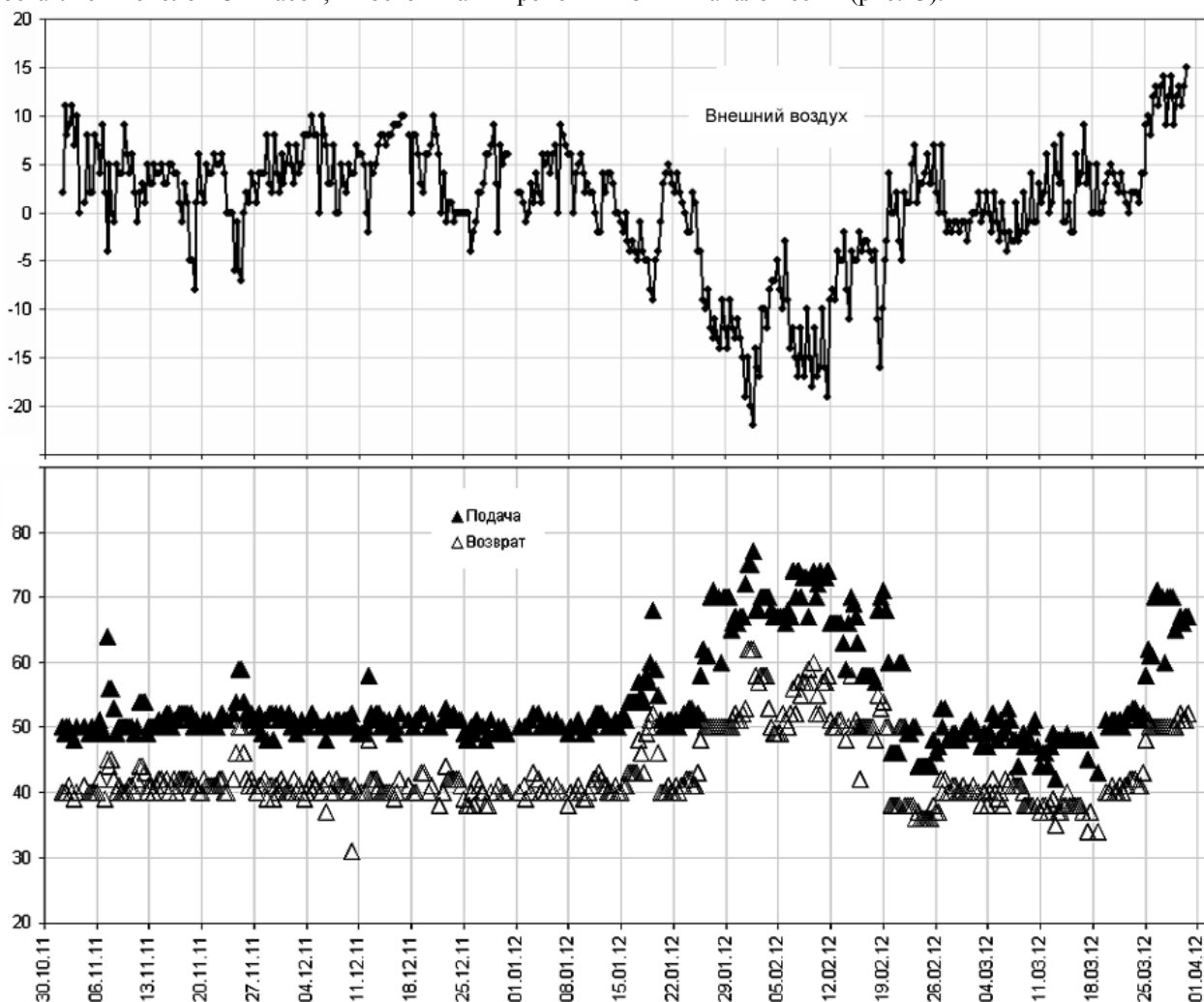


Рис. 13. Данные температуры по журналу регистрации в отопительном сезоне 2011-2012г.г

Этот сдвиг проявился в температурном режиме котельной осуществляющей нагрев теплоносителя (воды) по корпусам университета (рис.13).

На рис. 13 показаны значения температур внешнего воздуха и температуры теплоносителя в трубе подачи в корпуса университета и возврата теплоносителя в котельную по данным журнала регистрации работы котельной. Данные в журнал заносились три раза в сутки – в 8, 16 и 24 часа. Температура внешнего воздуха определялась спиртовым термометром, расположенным на внешней стороне окна, с северо-восточной стороны котельной. Температура теплоносителя определялась ртутными термометрами во врезанных в трубу стаканах.

Температура в трубе подачи в основном была около 50°C , но в наиболее холодные дни поднималась до 80°C . Более интенсивный нагрев осуществлялся со второй половины января по конец февраля, и в конце марта – начале апреля 2012 года.

Данные автоматической цифровой регистрации фиксировались с темпом 2-5 минут, т.е. около 300 измерений за сутки по одному сенсору температуры. Естественно эти данные более детальные и информативны, чем данные ручной регистрации.

На рис. 14 приведен пример результатов регистрации температуры на поверхности трубы подачи теплоносителя в корпуса университета из котельной за январь месяц 2012 года.

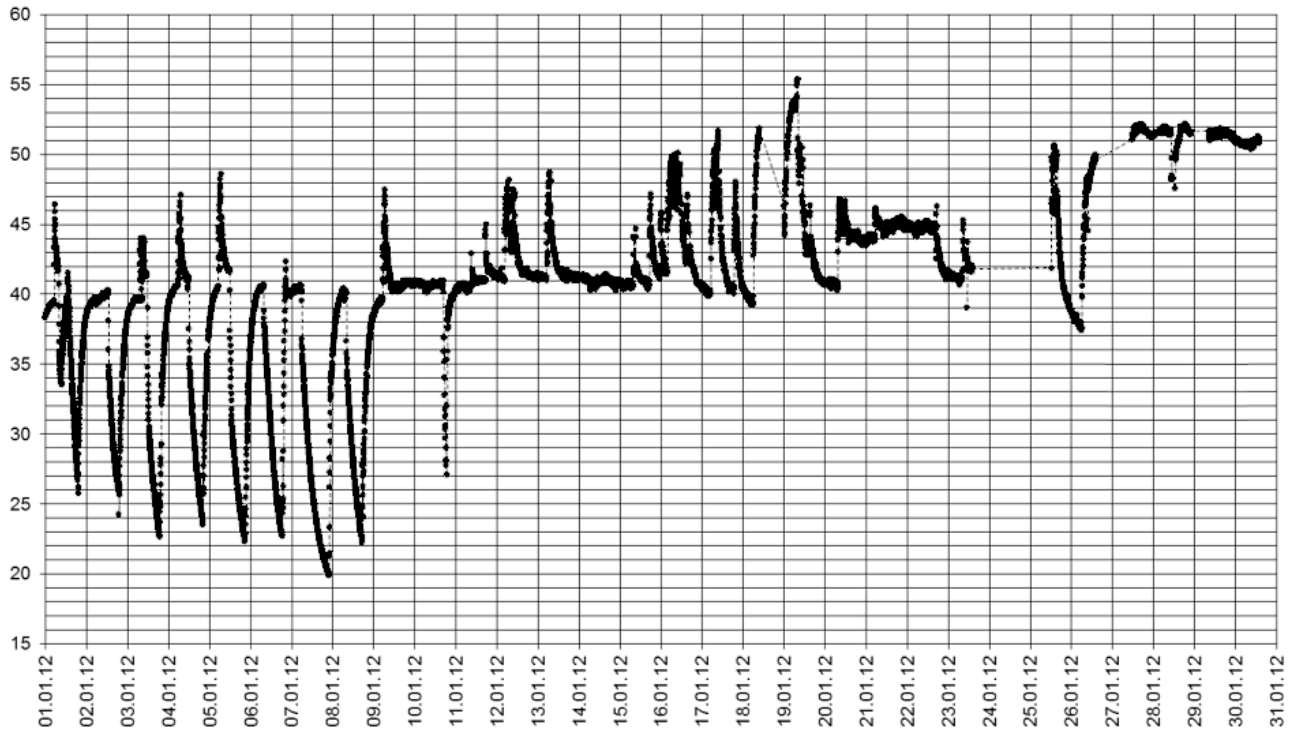


Рис. 14. Температура трубы подачи теплоносителя в корпуса из котельной. Январь 2012.

В начале января внешняя температура (рис.15) была достаточно высокой и нагрев теплоносителя выключался во второй половине дня – провалы в графике температуры. Более интенсивный нагрев осуществлялся в первой половине дня – всплески на графике температуры. Во второй половине месяца внешняя температура упала и нагрев теплоносителя осуществлялся круглосуточно с периодической интенсификацией нагрева при резких уменьшениях внешней температуры.

Внешняя температура (рис. 15) измерялась датчиком, вынесенным на расстояние около метра от северной стороны 4-этажа главного корпуса. На графике

температуры, наряду с долговременными вариациями, прослеживаются короткопериодические – суточные вариации температуры с амплитудой около 5 градусов.

Сравнивая данные ручной и автоматической регистрации температуры теплоносителя можно отметить, что по данным ручной регистрации температура теплоносителя систематически выше (на 5-15 градусов), чем по данным автоматической регистрации. Это связано с тем, что при ручной регистрации температура определяется по термометру во врезанном в трубу стакане (ближе к фактической температуре), а при автоматической – в стакане укрепленном на внешней поверхности трубы.



Рис. 15. Температура внешнего воздуха. Январь 2012.

Естественно, что температура внешней поверхности трубы ниже чем температура теплоносителя внутри трубы. Температура внешней поверхности трубы зависит от температуры теплоносителя и температуры внешнего воздуха.

Предполагая линейный характер теплообмена с внешней средой можно предложить следующую корректирующую функцию для температуры теплоносителя

$$T_H = T_S + (T_S - T_E) \cdot K_H$$

здесь T_S – температура на поверхности трубы; T_E – температура внешней среды (воздуха в помещении котельной); T_H – температура теплоносителя; K_H – эмпирический коэффициент учитывающий тепловое сопротивление на поверхности трубы. По результатам выборочных одновременных замеров температур теплоносителя и на поверхности трубы $K_H \sim 0.3$. Это значение можно использовать для грубых оценок температуры теплоносителя. Для более точных оценок величина K нуждается в уточнении.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ И ДАЛЬНЕЙШЕМУ РАЗВИТИЮ КОМПЛЕКСА:

1. В Черноморском государственном университете им.Петра Могила развернут и проходит опытную эксплуатацию экспериментальный вариант системы мониторинга температурных режимов.

2. Разработанная система, на базе микроконтроллера ipS&C Web-сервера, позволяет дистанционно получать данные о пространственном и временном распределении температур в помещениях и отдельно стоящих сооружениях с помощью сети Ethernet.

3. Система на базе ipS&C Web-серверов, при оснащении соответствующими силовыми ключами, позволяет дистанционно управлять разнообразным электрическим оборудованием. В т. ч., электроприводом и электронагревателями.

4. В процессе опытной эксплуатации системы были выявлены случаи самопроизвольного искажения (ошибочной перезаписи) программного обеспечения при частых повторных включениях и отключениях электропитания. Программное обеспечение и аппаратная конфигурация микроконтроллеров были доработаны так, чтобы исключить подобные искажения.

5. Разработано программное обеспечение для сбора и архивации данных на системе из основного и резервного сервера на базе персональных компьютеров под управлением операционной системы Linux.

6. Для автоматизированной обработки данных был создан алгоритм для Excel, содержащий шаблон заголовков, шаблон графика и набор макросов. Применение этого алгоритма позволило уменьшить затраты времени на обработку экспериментальных данных.

7. Отрабатываются вопросы обработки и более удобного представления данных специальным программным обеспечением для персональных компьютеров. В частности, интеграции результатов измерения в базу данных с возможностью прямого доступа к результатам в удобной табличной или графической форме.

8. Получены предварительные данные по вариациям температуры в корпусах университета, на годовом интервале наблюдений, начиная с апреля 2011 года.

9. Выявлено существенное влияние солнечного теплового излучения на температуру в контролируемых точках. Разница температур между сенсорами расположенными на солнце и в тени может достигать 4 - 5 градусов. Это следует учитывать при выборе места для размещения датчика внешней температуры.

10. Температура в помещениях университета, в значительной степени, модулируется тепловым солнечным излучением. Помещения, освещенные солнцем, как правило, получают избыточное количество тепла, а затененные помещения недополучают достаточного тепла для обеспечения комфортного температурного режима. Это приводит к нерациональному использованию системы централизованного отопления.

11. Для внедрения более дружественной к пользователю системы, необходим более функциональный сервер сбора данных и управления. Сервер должен выполнять записи данных в таблицы и базы данных; вести записи работоспособности отдельных контроллеров, фиксируя моменты их включения и выключения, и все аномалии в получаемых данных. Такой сервер должен вести автоматическое формирование графиков температур по запросу пользователя из сети и выполнять ежесуточное резервное копирование данных на случай сбоя сервера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дмитренко Д. В., Зюляев Д. Д., Кубов В. И., Мусиенко М. П. Распределенная микропроцессорная система мониторинга температуры в корпусах университета с использованием сети Ethernet. // Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів. Кременчук: КДУ, 2011, с.6-7.
2. Зюляев Д.Д., Кубов В.И., Щесюк Л.В. Диспетчеризація температурних показників у приміщеннях навчального закладу із використанням локальної комп'ютерної мережі (на прикладі ЧДУ ім.Петра Могили). // Наукові праці. Т.163, Вип. 151. Техногенна безпека. Миколаїв: ЧДУ ім. П.Могили. 2011,с.103-109.
3. Дмитренко Д.В. Обработка температурных данных в системе «Энергоэффективный университет». // Наукові праці. т.169, вип.157. Техногенна безпека Миколаїв: ЧДУ ім. П.Могили. 2011.
4. Кубов В.И. Оценка возможности построения автономного регистратора на базе AVR Butterfly для целей мониторинга. // Наукові праці. т.49, вип.36. Техногенна безпека. Миколаїв: МДГУ ім. П.Могили. 2006, с.45-51.
5. Кубов В.И. Связь энергопотребления бытового кондиционера с температурой и работой центрального отопления в период 2008-2009 годы (по результатам цифровой регистрации). // Наукові праці. т.137, вип.124. Техногенна безпека. Миколаїв: ЧДУ ім. П.Могили. 2010, с.83-95.
6. MK-duino. // <http://mk-duino.narod.ru>
7. MMX-ENC28J60 // IntCom, 2010. <http://www.intcom.ua>.
8. Arduino. // <http://www.arduino.cc>

Рецензенти: **Кутковецький В. Я.**, д.т.н., професор;
Сирота О. А., к.т.н., доцент.

© Андреев В. И., Дмитренко Н. В., Зюляев Д. Д., Кубов В. И.,
Черемисина В. В., Чухлебков А. В., 2012

Дата надходження статті до редколегії: 01.05.2012 р.

АНДРСЄВ Вячеслав Іванович – к.т.н., Чорноморського державного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: композиційні матеріали, енергозбереження, альтернативна енергетика.

ДМИТРЕНКО Микола Володимирович – аспірант кафедри інформаційних технологій, Чорноморського державного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: обчислювальна техніка, мікропроцесори, програмування.

ЗЮЛЯЕВ Данило Дмитрович – студент кафедри медичних приладів та систем, Чорноморського державного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: обчислювальна техніка, мікропроцесори, комп'ютерні мережі, програмування.

КУБОВ Володимир Ілліч – к.ф.-м.н., доцент кафедри медичних приладів та систем, Чорноморського державного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: електронні прилади для контролю середовища та біофізичних параметрів.

ЧЕРЕМИСИНА Вікторія Владіславівна – студент кафедри медичних приладів та систем, Чорноморського державного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: обчислювальна техніка, мікропроцесори, комп'ютерні мережі, програмування.

ЧУХЛЄБОВ Олександр Вікторович – аспірант Чорноморського державного університету імені Петра Могили, м. Миколаїв.

Коло наукових інтересів: відновлювальні джерела енергії, енергозбереження.