

УДК 004.423.2:004.  
514:621.3.077.6

**ЗЛОТЕНКО Б. М., СТАЦЕНКО Д. В.**

Київський національний університет технологій та дизайну

**КОМП'ЮТЕРНА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНА СИСТЕМА  
КЕРУВАННЯ ОПАЛЕННЯМ ТА ГАРЯЧИМ  
ВОДОПОСТАЧАННЯМ БУДІВЕЛЬ**

**Мета.** Розробка і аналіз комп'ютерної дистанційної системи керування опаленням та гарячим водопостачанням приміщень.

**Методика.** У роботі використані методи порівняльного аналізу, моделювання, спостереження, вимірювання та дослідження електропривода.

**Результати.** Розглянута система підключення бойлера між двоконтурним котлом та користувачами гарячого водопостачання, а також дистанційна комп'ютерна система керування нею. Схематично показана конструкцію та принцип її дії. Представлено принцип дії програми керування системою на основі використання датчиків. Мікроконтролер Arduino отримує та оброблює інформацію з датчиків, на основі якої автоматично керує системою опалення та гарячого водопостачання. Також оброблена інформація, за допомогою передачі даних на WEB сервер, надходить на інтерактивні прилади користувача, який може дистанційно перевіряти стан система та за необхідністю керувати нею. Дистанційний моніторинг та керування високопотужним обладнанням є важливою складовою його експлуатації, що забезпечує підвищення безпеки користування. Проведені розрахунки та аналіз витрат на природний газ та електроенергію з використанням запропонованої системи та без неї у опалювальний період. Аналіз отриманих результатів даних показав, що запропонована система забезпечує енергоефективність системи опалення та гарячого водопостачання, а також дозволяє зменшити витрати природного газу та електроенергії.

**Наукова новизна.** Розглянута та проаналізована комп'ютерна дистанційна система керування опаленням та гарячим водопостачанням, яка дозволяє зменшити енерговитрати та вартість її обслуговування.

**Практична значимість.** Отримані результати дозволяють використовувати більш енергоефективну систему опалення та гарячого водопостачання будівель.

**Ключові слова:** мікроконтролер, Arduino, бойлер, котел, опалення, гаряче водопостачання, система керування.

**Вступ.** Власники приміщень без центрального опалення, загалом, стикаються з питанням організації системи опалення та гарячого водопостачання (ГВП). Для цього власники приміщень доволі часто використовують газові котли або газові колонки. В цій статті ми розглянемо систему ГВП з двоконтурним котлом. Така система виходить відносно дешевою і займає мало місця [1-3]. Однак, робота ГВП з двоконтурним котлом (колонкою) має свої недоліки. Проточний теплообмінник ГВП двоконтурного котла починає гріти воду в момент початку розбору води. Щоб отримати воду необхідної температури за малий проміжок часу конструкція проточного водонагрівача передбачає обмеження швидкості потоку води. Температура води на виході з проточного нагрівача дуже сильно залежить від витрати води. Загалом використання двоконтурного котла в системі ГВС призводить до необґрунтованого зростання споживання води і обсягу стоків каналізації, до збільшення витрат електроенергії та газу на нагрів, а також до недостатнього комфорту при користуванні гарячою водою в будинку.

Один з варіантів, який може частково поліпшити роботу такої ГВП та зменшити її недоліки, а також покращити комфортні умови користування водою – встановити між двоконтурним котлом і споживачами гарячої води електричний накопичувальний водонагрівач – бойлер[4-6].

**Постановка завдання.** Електричний бойлер, в даному випадку, використовують в якості буферної ємності між котлом і споживачами гарячої води. З контуру ГВП двоконтурного котла гаряча вода, перш ніж потрапити споживачеві, надходить в електричний бойлер. Гаряча вода в водорозбірні крани подається вже з бойлера. Таким чином, електричний бойлер служить для зберігання запасу гарячої води, нагрітої газовим котлом. Крім того, температура води в бойлері підтримується на заданому рівні за рахунок включення ТЕНа. Але недоліком такої системи є підвищене споживання електроенергії на підігрів води. Електроенергія витрачається для компенсації теплових втрат, для зберігання гарячої води в бойлері, а також на нагрів тієї частини води, яка надходить з котла в бойлер холодною.

Мета даної роботи полягає в тому, щоб підвищити якість енергоефективності вищенаведеної системи ГВП шляхом використання системи дистанційного зв'язку та керування. Система керування через WEB інтерфейс значно дешевша, простіша у виконанні і не потребує дорогого обладнання для роботи. Керування може бути здійснено за допомогою телефону чи планшету без необхідності встановлювати додаткове програмне забезпечення.

**Результати та їх обговорення.** Удосконалення системи ГВП полягає у використанні системи керування на основі мікроконтролера Arduino, що працює з модулем Ethernet SHIELD [7, 8]. Загальна схема підключення до двоконтурного котла електричного бойлера показана на рис. 1.

Система керування ГВП спроектована таким чином, щоб з одного боку – бути автоматичною і керувати основними елементами без участі людини, з іншого боку користувач за допомоги зручного WEB інтерфейсу може зчитувати дані та вмикати та вимикати систему самостійно.

Розрахуємо та проаналізуємо витрати на природний газ та електроенергію з використанням запропонованої системи та без неї у опалювальний період. Для розрахунку будемо використовувати усереднені значення для приміщень, які знаходяться в Києві чи області. Використаємо формулу для розрахунку витрат газу:

$$V = Q / (q * \eta / 100) \quad (1)$$

де  $V$  – об'ємні витрати природного газу на годину,  $Q$  – величина тепловтрат і потужності опалювальної системи,  $q$  – нижча питома калорійність природного газу, в середньому  $9,2 \text{ кВт*год/м}^3$ ,  $\eta$  – коефіцієнт корисної дії газового котла або конвектора.

Тепловитрати  $Q$  розраховуються за наступною формулою:

$$Q = F(t_n - t_3)(1 + \sum \beta)n/R_0 \quad (2)$$

де  $t_z$  – температура зовнішнього середовища,  $t_n$  – температура у приміщенні,  $F$  – площа приміщення,  $n$  – коефіцієнт, що враховує положення стін між приміщенням та зовнішнім середовищем,  $\beta$  – тепловтрати додаткові від основних,  $R_0$  – опір теплопередачі.

Візьмемо приміщення площею  $80 \text{ м}^2$ . Для його обігріву, відповідно до розрахунків, в холодний період необхідно  $6,4 \text{ кВт}$ . Приймемо котел з ККД  $96\%$ , відповідно  $V - 0,67 \text{ м}^3/\text{г}$ . Споживання газу на добу буде становити  $21,84 \text{ м}^3$ .

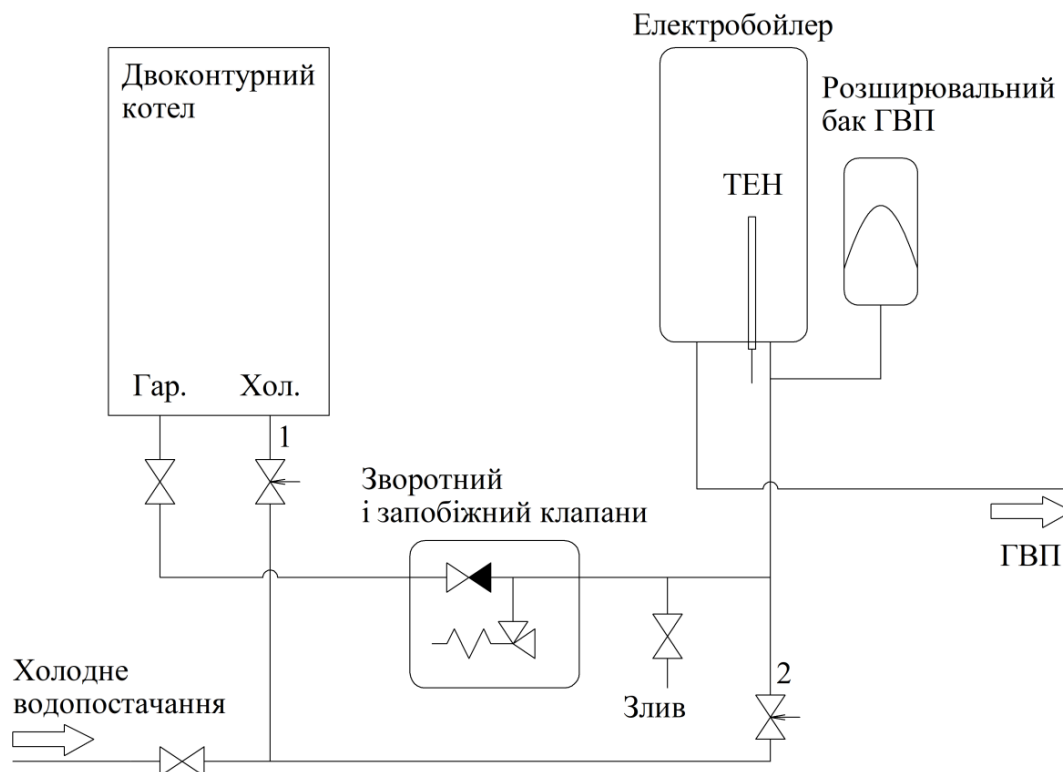


Рис. 1. Схема підключення бойлера до двоконтурного газового котла

З урахуванням вищенаведеного, та знаючи, що з 1 листопада 2018 року по 30 квітня 2019 року [9] ціна на природний газ для населення становила  $8,54892 \text{ грн}/\text{м}^3$  з ПДВ, отримаємо вартість споживаного газу, прийнявши кількість діб 151 за 5 місяців, яка для розглянутого випадку становить  $28192,97 \text{ грн}$ .

Спираючись на метеорологічні дані [10] за вищенаведений період можна визначити кількість діб коли середньодобова температура була вище  $0^\circ\text{C}$  і за допомогою запропонованої дистанційної системи керування обрахувати кількість діб необхідних для обігріву приміщення, яка становить 121, відповідно загальна вартість споживаного газу дорівнює  $22591,72 \text{ грн}$ . Загальна економія становить  $5601,25 \text{ грн}$ .

Розрахуємо витрати на природний газ для ГВП. Для цього використаємо наступну формулу:

$$Q = cm\Delta t \quad (3)$$

де  $c$  – теплоємність води,  $m$  – масові витрати води,  $\Delta t$  – різниця між початковою та кінцевою температурою.

Відповідно до формули, для нагріву 80 літрів води на добу,  $Q$  буде дорівнювати 4,6 кВт. Далі за формулою (1) об'єм споживаного природного газу на добу буде складати – 0,48 м<sup>3</sup>.

Розрахуємо споживання електроенергії для бойлера. Для цього використаємо спрощену формулу визначення часу, для нагріву води у водонагрівачі з постійним коефіцієнтом:

$$T = 0,00117 * V * (t_k - t_n) / W \quad (4)$$

де  $T$  – час нагріву води,  $V$  – об'єм баку бойлера,  $t_k$  – кінцева температура,  $t_n$  – початкова температура  $W$  – потужність нагрівача.

Приймемо, що використовується бойлер об'ємом 80 літрів, потужністю 1,2 кВт, а середня добова норма споживання води на 4 особи – 250 літрів. У випадку, коли бойлер підключено окремо,  $t_k = 60$  °С,  $t_n = 15$  °С, тоді час нагріву води буде складати  $T = 3,51$  год. Відповідно за добу витрати будуть складати  $250/80 * 3,51 * 1,2 = 13,61$  кВт\*год, за період опалення 2055,11 кВт\*год. Відповідно до тарифу електроенергії 1,68 грн за кВт\*год, що в середньому складає 3452,6 грн.

Якщо використовувати запропоновану систему тоді змінюється  $t_n$ , з урахуванням того, що температура води, яка надходить у бойлер буде близька до 60 °С, відповідно бойлер буде вмикатися з меншою частотою, але постійні витрати гарячої води все одно будуть зменшувати значення початкової температури. Виходячи з цього, приймемо середнє значення  $t_n = 38$  °С, тоді час нагріву води буде складати  $T = 1,716$  г. За добу 6,435 кВт\*год, за весь період 971,685 кВт\*год. Вартість чого буде складати 1632,43 грн. Виходячи з цього економія буде складати 1820.17 грн. Загальні дані наведені на діаграмі (рис. 2).

В мікроконтролер Arduino завантажено програму, яка спеціально спроектована для роботи з даною системою ГВП, а саме з обраними датчиками та електромеханічними елементами. Перевагою використання мікроконтролера слугує і те, що всі дані про стан приладу від нього подаються на Ethernet SHIELD який передає дані на WEB сервер, де користувач може переглядати і керувати приладом дистанційно з будь якого пристрою, який має доступ до мережі Інтернет і здатний працювати з WEB сторінками.

До мікроконтролера під'єднанні наступні датчики: температури зовнішнього повітря, температури повітря в приміщенні, вимірювання температури води, вологості, а також датчик руху. Також в систему входить реле для під'єднання приладу до електричної мережі живлення та керуванням КЕК.

Перший сценарій передбачає, що на довгий проміжок часу не планується проживання мешканців, але при цьому приміщення необхідно опалювати, щоб уникнути пошкоджень. Для цього мікроконтролер аналізує дані з датчиків температури зовнішнього повітря та температури повітря в приміщенні. Після цього він відправляє сигнал на котел, вмикає його та задає

необхідну температуру опалення. Датчик температури зовнішнього повітря надає інформацію про температуру зовнішнього середовища. Він відправляє на мікроконтролер дані, після аналізу яких, система керування змінює температуру опалення приміщення. В даному випадку при значних змінах температури навколишнього середовища, можливе економне споживання ресурсів, для підтримання постійної мінімально необхідної температури приміщення. Датчик вимірювання температури повітря в приміщенні надає інформацію про температуру. У разі її збільшення вище запрограмованого значення система реагує, як на пожежу в приміщенні. Вимикає систему нагрівального приладу й перекриває КЕК 1 на подачу води до приладу, чим забезпечує додатковий захист від ураження електричним струмом і поширення пожежі.

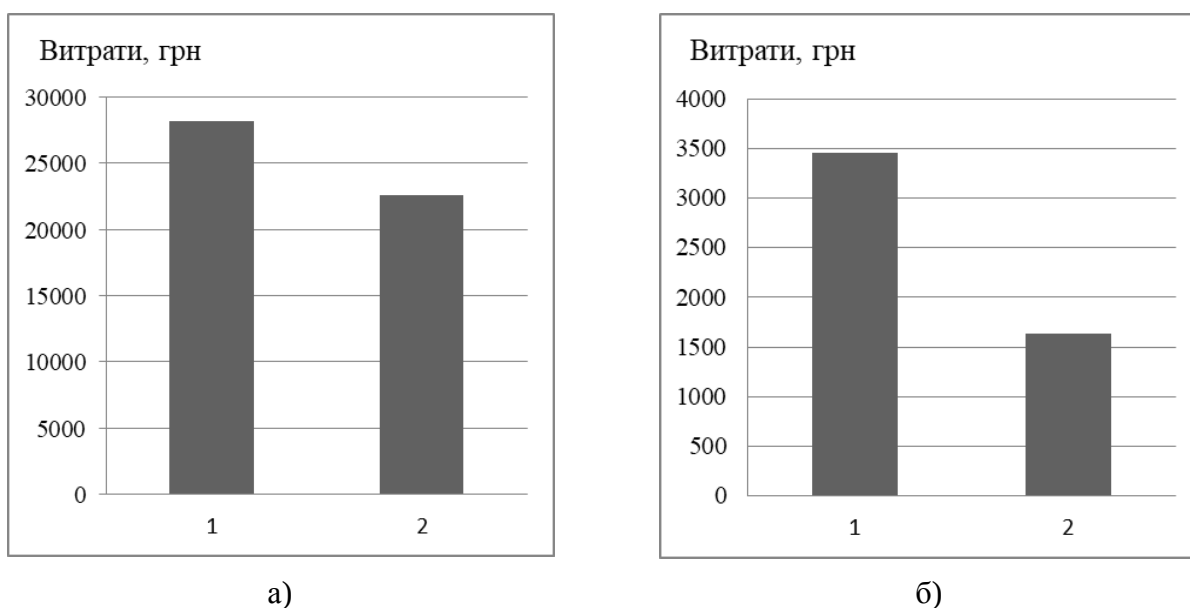


Рис. 2. Діаграми аналізу грошових витрат: А) Аналіз результатів даних для котла (1 – без запропонованої системи керування; 2 – з використанням системи); Б) Аналіз результатів даних для бойлеру (1 – без запропонованої системи керування; 2 – з використанням системи)

Другий сценарій починає працювати, коли приміщення не потребує опалення, але в ньому мешкають люди і відбувається споживання ГВП. Даний режим вмикається, як і перший за допомогою WEB інтерфейсу, а також має можливість вмикатися автоматично за рахунок датчика руху. Програма мікроконтролера налаштована таким чином, щоб при відсутності сигналу з датчиків руху протягом вказаного проміжку часу система буде вимкнена автоматично. Датчик вимірювання температури води працює по алгоритму, аналогічному датчику вимірювання температури приміщення. Обидва датчики виводять свої покази на інтерфейс користувача, що дає змогу оцінити стан роботи приладу. Датчик води, за наявності води в корпусі приладу, автоматично відключає живлення і перекриває кульковий кран. Якщо показники датчиків не відповідають запрограмованим, контролер не дасть змогу увімкнути прилад до усунення несправності або до тих пір, поки показники не прийдуть в норму.

Третій сценарій передбачає одночасне керування бойлером та котлом. Найбільш ефективно використання даної системи ГВП досягається лише при умові, якщо в приміщенні знаходяться мешканці та необхідне опалення приміщення. Користувач може самостійно встановлювати температуру ГВП за допомогою смартфона чи планшета. Мікроконтролер на основі аналізу результатів, отриманих з датчиків температури води у бойлері, за необхідністю буде відправляти сигнал на включення ТЕНа. В результаті цього, котел буде менше перезапускатися, що сповільнить скорочення ресурсу його роботи. ККД водонагрівача збільшиться і зменшиться витрата газу. Гаряча вода буде з'являється без затримки. Частина води не буде марно йти в каналізацію.

**Висновки.** Розглянута та проаналізована система керування ГВП двоконтурного котла та бойлера на основі використання мікроконтролера Arduino з дистанційним зв'язком та керуванням через мережу інтернет. Аналіз отриманих результатів даних підтвердив, що запропонована система забезпечує енергоефективність системи опалення та ГВП, а також дозволяє зекономити 5601,25 грн. для оплати газу та 1820.17 грн. для оплати електроенергії. Відповідно, що дистанційний моніторинг та керування високопотужним обладнанням є важливою складовою його експлуатації, що несе практичну економію енергії й підвищення безпеки користування.

#### Література

1. Барало О. В. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування: Навчальний посібник / О.В. Барало, П.Г. Самойленко, С.Є. Гранат, В.О. Ковальов – К.: Аграрна освіта, 2010. – 557 с.
2. Любарець О. П. Проектування Систем водяного опалення: посібник для проектувальників, інженерів і студентів технічних ВНЗ / О. П. Любарець, О. М. Зайцев, В. О. Любарець – Відень - Київ – Сімферополь, 2010. – 200 с.
3. Дзядикевич Ю.В. Енергетичний менеджмент. Підручник / Ю.В. Дзядикевич, Р.Б. Гевко, М.В. Буряк, Р.І. Розум. – Тернопіль: Підручники і посібники. – 2014. – 336 с.
4. Усольцев А. А. Общая электротехника: Учебное пособие. / А. А. Усольцев – СПб: СПбГУИТМО, 2009. – 301 с.
5. Біла Т. Я. Электробытовая техника. Навчальний посібник / упор.: Т. Я. Біла, М. Й. Бондаренко, О. П. Бурмістенков, Б. М. Злотенко, І. В. Петко. – К.: КНУТД, 2014. – 96 с.
6. Пырков В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и

#### References

1. Baralo O. V., Samoilenko P. H., Hranat S.Ye., Kovalov V.O. (2010) Avtomatyzatsiia tekhnolohichnykh protsesiv i systemy avtomatichnoho keruvannia [Automation of technological processes and systems of automatic processing] K.: Ahrarna osvita [in Ukrainian]
2. Liubarets O. P., Zaitsev O. M., Liubarets V. O. (2010) Proektuvannia System vodianoho opalennia [Designing of water heating systems] Vienna - Kiev – Simferopol [in Ukrainian]
3. Dziadykevych Yu.V., Nevko R.B., Buriak M.V., Rozum R.I. (2014) Enerhetychnyi menedzhment [Energy management] Ternopil: Pidruchnyky i posibnyky. [in Ukrainian]
4. Usol'tsev A. A. (2009) Obshchaya elektrotekhnika [General electrical engineering] SPb: SPbGUITMO [in Russian]
5. Bila T. Ya., Bondarenko M. Y., Burmistenkov O. P., Zlotenko B. M., Petko I.V. (2014) Elektropobutova tekhnika [Household appliances] K.: KNUITD [in Ukrainian]
6. Pyrkov V. V. (2005) Gidravlicheskie regulirovanie sistem otopeniya i okhlazhdeniya [Hydraulic regulation of heating and cooling

практика. / В.В. Пырков // К.: Таки справи, 2005, с.302.

7. Злотенко Б. М. Вдосконалення енергоефективної системи керування освітленням і температурою приміщень / Б. М. Злотенко, Д. В. Стаценко // Вісник Хмельницького національного університету. Серія : Технічні науки. – 2017. – № 5 (253). – С. 240-243.

8. Авдієнко Є. О. Розробка системи керування побутового електробойлера [Електронний ресурс] / Є. О. Авдієнко, Б. М. Злотенко, Т. І. Кулік // Технології та дизайн. - 2018. - № 2 (27). - Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2018\\_2\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2018_2_13).

9. Сайт КИЇВГАЗ. Ціни на природний газ для населення [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://energy.kyivgaz.ua/ofitsijna-informatsiya/tsini-ta-tarifi-na-gaz>

10. Сайт Meteoblue. Метеорологический архив Киев [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://www.meteoblue.com/ru/%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0/historyclimate/weatherarchive/%d0%9a%d0%b8%d0%b5%d0%b2\\_%d0%a3%d0%ba%d1%80%d0%b0%d0%b8%d0%bd%d0%b0\\_703448](https://www.meteoblue.com/ru/%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0/historyclimate/weatherarchive/%d0%9a%d0%b8%d0%b5%d0%b2_%d0%a3%d0%ba%d1%80%d0%b0%d0%b8%d0%bd%d0%b0_703448)

systems] К.: Таки справи [in Russian]

7. Zlotenko B. M., Statsenko D. V. (2017) Vdoskonalennia enerhoefektyvnoi systemy keruvannia osvittleniam i temperaturoiu prymishchen [Improvement of the energy efficient lighting and temperature control system for premises] Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu № 5 (253) 240-243p. [in Ukrainian]

8. Avdiienko Ye. O., Zlotenko B. M., Kulik T. I. (2018) Rozrobka systemy keruvannia pobutovoho elektroboilera [Development of a control system for household electric boilers] K: Tekhnolohii ta dyzain Retrieved from: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/td\\_2018\\_2\\_13](http://nbuv.gov.ua/UJRN/td_2018_2_13) [in Ukrainian]

9. KYIVGAS Website. Natural gas prices for the population. Retrieved from: <https://energy.kyivgaz.ua/ofitsijna-informatsiya/tsini-ta-tarifi-na-gaz> [in Ukrainian]

10. Meteoblue website. Meteorological archive Kiev. Retrieved from: [https://www.meteoblue.com/ru/%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0/historyclimate/weatherarchive/%d0%9a%d0%b8%d0%b5%d0%b2\\_%d0%a3%d0%ba%d1%80%d0%b0%d0%b8%d0%bd%d0%b0\\_703448](https://www.meteoblue.com/ru/%D0%BF%D0%BE%D0%B3%D0%BE%D0%B4%D0%B0/historyclimate/weatherarchive/%d0%9a%d0%b8%d0%b5%d0%b2_%d0%a3%d0%ba%d1%80%d0%b0%d0%b8%d0%bd%d0%b0_703448) [in Russian]

**STATSENKO DMYTRO**  
ResearcherID: C-3644-2017  
ORCID: [orcid.org/0000-0002-3064-3109](https://orcid.org/0000-0002-3064-3109)  
Kyiv National University of Technologies & Design

**ZLOTENKO BORYS**  
zlotenco@ukr.net  
ORCID: [orcid.org/0000-0002-0870-8535](https://orcid.org/0000-0002-0870-8535)  
Kyiv National University of Technologies & Design

## КОМПЬЮТЕРНАЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ОТОПЛЕНИЕМ И ГОРЯЧИМ ВОДОСНАБЖЕНИЕМ ЗДАНИЙ ЗЛОТЕНКО Б. Н., СТАЦЕНКО Д. В.

Киевский национальный университет технологий и дизайна

**Цель.** Разработка и анализ компьютерной дистанционной системы управления отоплением и горячим водоснабжением помещений.

**Методика.** В работе использованы методы сравнительного анализа, моделирования, наблюдения, измерения и исследования электропривода.

**Результаты.** Рассмотрена система подключения бойлера между двухконтурным котлом и пользователями горячего водоснабжения, а также дистанционная компьютерная система управления ею. Схематически показано конструкцию и принцип ее действия. Представлены принцип действия программы управления системой на основе использования датчиков. Микроконтроллер Arduino

получает и обрабатывает информацию с датчиков, на основе которой автоматически управляет системой отопления и горячего водоснабжения. Также обработанная информация, посредством передачи данных на WEB сервер, поступает на интерактивные приборы пользователя, который может дистанционно проверять состояние система и при необходимости управлять ею. Дистанционный мониторинг и управление высокомоощным оборудованием является важной составляющей его эксплуатации, который обеспечивает повышение безопасности пользования. Приведены расчеты и анализ затрат на природный газ и электроэнергию с использованием предложенной системы и без нее в отопительный период. Анализ полученных результатов данных показал, что предложенная система обеспечивает энергоэффективность системы отопления и горячего водоснабжения, а также позволяет уменьшить расход природного газа и электроэнергии.

**Научная новизна.** Рассмотрена и проанализирована компьютерная дистанционная система управления отоплением и горячим водоснабжением, которая позволяет уменьшить энергозатраты и стоимость ее обслуживания.

**Практическая значимость.** Полученные результаты позволяют использовать более энергоэффективную систему отопления и горячего водоснабжения зданий.

**Ключевые слова:** микроконтроллер, Arduino, бойлер, котел, отопление, горячее водоснабжение, система управления.

## COMPUTER ENERGY EFFICIENT SYSTEM OF BUILDINGS HEATING AND HOT WATER SUPPLY

ZLOTENKO B., STATSENKO D.

Kyiv National University of Technologies and Design

**Purpose.** Development and analysis of a computer remote control system for heating and hot water supply of premises.

**Methodology.** The methods of comparative analysis, modeling, observation, measurement and research of the electric drive were used in the work.

**Findings.** A system for connecting a boiler between a dual-circuit cauldron and users for hot water supply, as well as a remote computer control system for it, was considered. The design and principle of its action were shown schematically. The principle of the system management program based on the use of sensors was presented. The Arduino microcontroller receives and processes information from sensors, based on which it automatically controls the heating system and hot water supply. In addition, the processed information, by transmitting data to the WEB server, is transmitted to the user's interactive devices, which can remotely check the status of the system and, if necessary, manage it. Remote monitoring and control of high-power equipment is an important component of its operation, which ensures increased safety of use. Calculations and analysis of costs for natural gas and electricity using the proposed system and without it during the heating period were presented. An analysis of the data results showed that the proposed system provides energy efficiency of the heating system and hot water supply, and allows reducing the consumption of natural gas and electricity.

**Originality.** The computer remote control system for heating and hot water supply, which allows to reduce energy consumption and the cost of its maintenance, is considered and analyzed.

**Practical value.** The obtained results make it possible to use a more energy-efficient heating and hot water supply system in buildings.

**Keywords:** microcontroller, Arduino, boiler, cauldron, heating, hot water, control system.