

**В.М. Синєглазов, д.т.н., проф.**  
**Є.В. Даскал, аспір.**  
Національний авіаційний університет

## ПОБУДОВА РЕГУЛЯТОРА ТЕМПЕРАТУРИ ВИСОКОЇ ФУНКЦІОНАЛЬНОСТІ

*Збільшення вартості енергоносіїв та відповідно тарифів на опалення приміщень змушує споживачів шукати шляхи зменшення витрат на опалення. Економія коштів може досягатися за рахунок зменшення кількості отриманого тепла, тому актуальним є використання спеціалізованих регуляторів температури.*

*Відомо, що у перехідні періоди, а саме на початку і в кінці опалювального сезону, через мінливість погодних умов споживач може отримувати надлишкове тепло. Метою даної роботи є побудова регулятора температури з достатньою функціональністю, яка покривала б велику частину можливих застосувань.*

*Для вирішення цієї проблеми запропоновано використовувати погодозалежний регулятор температури на основі мікроконтролерів, що має усі необхідні функції для ефективного використання в системах опалення для різних типів приміщень. Приведено структурну схему пристрою та опис основних алгоритмів його роботи.*

*При проектуванні був використаний принцип розподілення задач між двома мікроконтролерами, що спрощує написання програми та збільшує стабільність роботи регулятора.*

**Ключові слова:** система опалення; регулятор температури; погодозалежний; мікроконтролер.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Однією з основних сфер застосування регуляторів температури (РТ) є регулювання температури теплоносія в системах опалення приміщень. При такому застосуванні РТ вбудовується в систему опалення і являє собою автоматичний пристрій, що регулює температуру теплоносія залежно від заданих чи безпосередньо вимірних зовнішніх параметрів [1]. Використання РТ можливе абсолютно для всіх систем опалення, в тому числі для централізованих систем, які використовуються для опалення цілих житлових районів [2].

Витрати на опалення в наш час достатньо високі, тому має сенс використовувати спеціальні РТ для контролю кількості спожитої теплової енергії з одночасною підтримкою комфортної температури в приміщенні. Однак значення комфортної або температури для житлових, офісних чи промислових приміщень може бути різним. Якщо системи опалення різних видів приміщень мають спільну теплову мережу від однієї котельні або ТЕЦ, то постає проблема регулювання кількості спожитого тепла для кожного приміщення окремо.

Температура води, яка подається в теплову мережу з боку котельні або ТЕЦ регулюється відповідно до температурного графіка, що являє собою залежність температури води в тепломережі від температури атмосферного повітря [3]. При неавтоматичному регулюванні оператор один або в кращому випадку декілька разів на день встановлює потрібну температуру теплоносія виходячи з середньої температури атмосферного повітря по прогнозу.

При цьому в перехідні періоди (зима–осінь, осінь–зима), температура атмосферного повітря залежно від метеорологічних умов може різко змінюватися в широких межах для конкретного розташування. Тому може скластися ситуація, коли споживач отримує з системи опалення більше тепла ніж потрібно і споживач отримує тим більший надлишок тепла, чим вище температура зовнішнього повітря [4]. В результаті витрати на опалення в перехідні періоди є невиправдано великими.

Якщо піти іншим шляхом і підтримувати низьку температуру теплоносія згідно з температурним графіком та поточною температурою атмосферного повітря, то це є також не раціональним. Оскільки одні приміщення можуть потребувати більше тепла, ніж інші.

З метою економії варто врахувати, що комфортна температура в приміщенні не завжди повинна мати однакове значення. Наприклад, для виробничих приміщень в нічний час або в певні дні календаря, коли людей в приміщенні в принципі не може бути, раціонально буде зменшити споживання теплової енергії. Також оптимальна температура в системі опалення повинна залежати від інших джерел тепла в приміщенні (наприклад, кількості людей або працюючих комп'ютерів).

Враховуючи це, постає необхідність використовувати автоматичні РТ для кожного приміщення (споживача) окремо з можливістю налаштування під специфічні для нього потреби. На ринку присутня велика кількість різноманітних РТ, але при цьому виробники часто випускають цілі лінійки своїх пристроїв, кожен з яких має свої функціональні відмінності від інших. Це, звичайно, здешевлює пристрій, але в деяких випадках також ускладнює вибір. Наприклад в одній моделі пристрою була б дуже

доречною певна функція, яка присутня в іншій. Тому актуальною є розробка повнофункціональних та універсальних РТ, які можна було б використовувати в системах опалення як житлових, так і виробничих приміщень. Такі пристрої повинні мати достатній набір функцій, який покривав би велику частину можливих застосувань і при цьому володів хорошими споживчими характеристиками: сучасною функціональністю та легкістю управління, малими розмірами та простотою монтажу, швидкістю і стабільністю роботи, привабливим співвідношенням ціна–якість та ін.

**Викладення основного матеріалу дослідження.** Найкраще вирішити описані вище завдання може автоматичний РТ з можливістю тонкої настройки та програмування. Пристрій має бути побудований на основі мікроконтролера, який міг би виконувати необхідні обчислення та інші операції, зокрема отримання цільової температури теплоносія, виходячи з показань датчиків та інших параметрів. Перевага мікроконтролерів в тому, що їх можна назвати практично самостійним обчислювальним пристроєм. Для роботи мікроконтролер не потребує додаткового обладнання, достатньо лише підключити живлення та кінцеві пристрої для введення і виведення інформації [5].

Для реалізації універсального та великого набору функцій можна піти двома шляхами. Перший полягає у використанні одного потужного мікроконтролера, який би виконував всі поставлені завдання. Недоліками такого підходу є висока вартість такого потужного мікроконтролера, складність проектування, програмування та низька стабільність роботи, оскільки через помилку в програмі може зупинитись весь процес регулювання. Другий підхід – розділити завдання між двома більш дешевими і простішими мікроконтролерами. Тоді для кожної групи завдань можна підібрати найбільш оптимальний мікроконтролер. Перевагами є більш просте написання програми, краща стабільність роботи, більші можливості для нарощування функціональності в майбутньому.

Виходячи з описаних вище вимог, був розроблений регулятор температури погодозалежний (РТП), який забезпечує:

- 1) Підтримання оптимальної температури в приміщенні шляхом регулювання температури теплоносія в контурі опалення. Оптимальна температура може бути фіксована і задана в налаштуваннях або може розраховуватися на основі температур ззовні та всередині приміщення, тобто реалізовується погодозалежне регулювання [6]. Відповідно до цього використовуються датчики температури повітря ззовні та всередині приміщення.
- 2) Автоматичну корекцію температури в приміщенні залежно від дати та часу. Отримане значення оптимальної температури множиться на деякий знаковий коефіцієнт, який залежить від поточної дати в календарі (вихідний чи робочий день) та часу доби (день чи ніч). Для цього РТ має функцію відліку часу і календар з можливістю ручного задання неробочих днів та добових графіків.
- 3) Вибір способу видачі керуючих сигналів на виконавчий пристрій (ВП), як такий виступає клапан, що встановлений в трубопроводі, по якому подається теплоносій в систему опалення (прямий трубопровід) [7]. Величина керуючих імпульсів «Більше» чи «Менше» може бути як фіксована і задана в налаштуваннях, так і розраховуватись за ПІД-законом. Тобто регулятор реалізовує дискретно-імпульсний (ДІ) та пропорційно-інтегрально-диференціальний (ПІД) закон керування.
- 4) Контроль системи опалення та обробку аварійних ситуацій. Показання з датчиків порівнюються з встановленими межами та при виході за ці межі РТ переходить в аварійний режим і вмикається сигналізація.
- 5) Наочну індикацію поточних параметрів роботи регулятора на дисплеї.
- 6) Періодичний запис параметрів роботи регулятора в енергонезалежну пам'ять. Це дає змогу визначити причину та час настання аварійної ситуації, а також аналізувати роботу всієї системи.
- 7) Ручний режим роботи, в якому можна проводити перевірку працездатності регулятора або виконавчого пристрою.
- 8) Можливість доступу до регулятора з ноутбука по USB або з центрального операторського комп'ютера по інтерфейсу RS-485, що дає змогу централізовано керувати всіма системами (в тому числі системами опалення) на заводах, цехах або великих підприємствах.

РТП, структурна схема якого зображена на рисунку 1, побудований на основі двох мікроконтролерів, кожен з яких відповідає за частину функцій.

Функції зі зчитування та обробки показань з датчиків та безпосередньо регулювання здійснюються мікроконтролером PIC16F887. Основною вимогою для вибору була наявність багатоканального АЦП для отримання інформації з датчиків та наявність широтно-імпульсного модулятора (ШИМ) для видачі сигналів на виконавчий пристрій. Для другої частини функцій – взаємодії з користувачем – обраний більш складний мікроконтролер PIC18F4550. Він має більше пам'яті, що дозволяє реалізувати зручніший інтерфейс користувача, вбудовану підтримку USB та більшу кількість портів для зв'язку з дисплеєм та кнопками управління. Використання мікроконтролерів PIC фірми Microchip обумовлене їх більшою надійністю в екстремальних умовах роботи [8, 9].

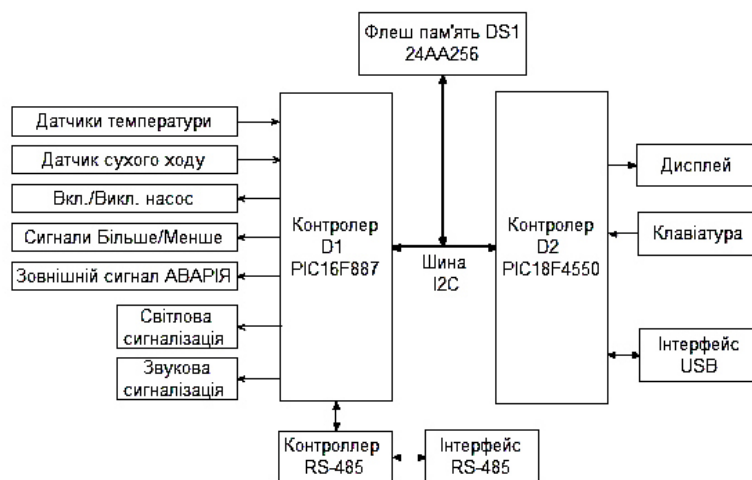


Рис. 1. Структурна схема РТП

Основним контролером, який відповідає за процес регулювання температури є контролер D1. Він приймає інформацію з чотирьох датчиків: температури води в прямому трубопроводі (Тпр), зворотному трубопроводі (Тзв), приміщенні (Тпм) і зовні приміщення (Тзп). Під час спрацювання датчика сухого ходу циркуляційного насоса виникає переривання, яке обробляється програмою контролера. Контролер D1, в свою чергу, може видавати керуючі сигнали на виконавчий пристрій (сигнали «Більше» чи «Менше») і сигнали включення або відключення циркуляційного насоса.

Також цим контролером передбачається можливість включення трьох видів аварійної сигналізації:

- дистанційна сигналізація видає сигнал для замикання спеціального зовнішнього реле, якщо його підключено до пристрою у відповідний роз'єм;
- світлова сигналізація являє собою світлодіод на передній панелі пристрою, який загоряється в разі виникнення аварійної ситуації;
- звукова сигналізація в разі аварії вмикає вбудований в пристрій високочастотний динамік.

Також контролер D1 разом з контролером RS-485 забезпечують дистанційний доступ до пристрою.

Контролер D2 розвантажує основний контролер і призначений для забезпечення взаємодії регулятора з користувачем, а також виконання другорядних операцій (наприклад, відлік часу або періодичний запис в журнал). Він обслуговує:

- дисплей, на якому відображається поточна інформація про роботу регулятора: показання температур всіх датчиків, цільова температура, причина аварійної ситуації, дата і час, меню налаштувань або інша інформація залежно від режиму роботи;
- кнопки управління, які забезпечують навігацію по меню, вибір режиму роботи та інші функції введення даних;
- порт USB для підключення до ноутбука і роботи з ним (за наявності відповідного програмного забезпечення). Підтримка USB вже вбудована в даний мікроконтролер, тому не потрібний зовнішній контролер USB.

Обидва мікроконтролери обмінюються необхідною інформацією та командами по шині I2C. На цій шині також знаходиться мікросхема енергонезалежної флеш-пам'яті DS1, в якій зберігаються записи журналу, календар та налаштування.

В цілому такий поділ функцій забезпечує стабільну роботу регулятора, зміну налаштувань без зупинки роботи, своєчасну реакцію в разі аварійних ситуацій.

Крім свого основного алгоритму роботи – регулювання температури, – РТП реалізовує ще й багато інших допоміжних алгоритмів, які разом забезпечують весь функціонал пристрою (рис. 2).



Рис. 2. Розподіл задач, що реалізуються в РТП

Регулятор має 3 режими роботи: «Робота», «Аварія», «Налаштування».

Режим «Робота» є основним і забезпечує регулювання температури. Користувач може обрати один з трьох підрежимів: погодозалежне, незалежне або ручне регулювання. Алгоритм роботи регулятора у цьому режимі зображений на рисунку 4.

Для реалізації погодозалежного регулювання контролер обчислює, яка температура теплоносія відповідає температурі зовнішнього повітря, і з урахуванням температури в приміщенні підтримує оптимальну температуру в контурі опалення, видаючи відповідні сигнали на виконавчий пристрій. Це називають погодною компенсацією або погодозалежним регулюванням [10].

Залежність, за якою визначається цільова температура теплоносія, виражають в температурному графіку (або крива опалення). У вказаному регуляторі крива задається трьома точками (рис. 3). При регулюванні також важливо використовувати показання температурного датчика в приміщенні. Якщо, наприклад, температура в приміщенні підвищилася, то контролер виявить це підвищення, і щоб його компенсувати, опустить графік вниз або навпаки.

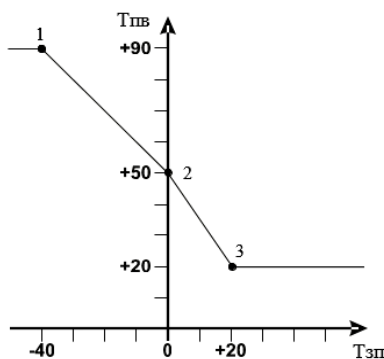


Рис. 3. Температурний графік, який задається в налаштуваннях регулятора

При погодозалежному регулюванні на основі показань датчика температури зовнішнього повітря і, використовуючи температурний графік (рис. 3), визначається цільова температура теплоносія. Далі проводиться перерахунок цієї температури з урахуванням поточного часу і дати. Це робиться за допомогою добових графіків окремо для робочих і вихідних днів. У цих графіках доба ділиться на 8 періодів, кожному з яких відповідає свій коригуючий коефіцієнт в діапазоні від -50 до +50 %.

Для визначення, чи поточний день вихідний або навпаки, у пристрої реалізована функція календаря, яка працює наступним чином. В енергонезалежній пам'яті для кожного дня в році відводиться одна комірка пам'яті (1 байт). В цьому байті в трьох молодших бітах зберігається номер дня в тижні (від 1 до 7), наступний біт зберігає інформацію про те, що робочий чи неробочий це день, і ще один наступний біт вказує на те, що, якщо це неробочий день, то постійний (кожного року це число є неробочим днем) чи тимчасовий (наступного року не обов'язково це число буде неробочим днем). Такий календар розрахований лише на один поточний рік. При настанні нового року, або при першому включенні регулятора (з зазначенням поточної дати та дня тижня) відбувається автоматичний перерахунок календаря. Всі суботи та неділі помічаються як неробочі дні, а всі інші неробочі дні стають робочими, окрім тих, для яких встановлена відмітка «постійний». У будь-який час користувач може зайти в налаштування календаря та обрати довільну дату, вказати для неї відповідні позначки, тим самим наперед налаштувати роботу регулятора.

Перераховане значення цільової температури порівнюється з температурою води в прямому трубопроводі і, якщо різниця між ними більша за встановлену величину зони нечуттєвості, то регулятор усуває це неузгодження шляхом подачі відповідних сигналів «Більше» або «Менше» на виконавчий

пристрій. Усунення неузгодження може відбуватися за допомогою дискретно-імпульсного (ДІ) регулювання або за ПІД-законом. Всі коефіцієнти тривалості імпульсів і паузи між імпульсами задаються в налаштуваннях.

Незалежне регулювання аналогічно погодозалежному за винятком того, що цільова температура визначається не за температурним графіком, а береться фіксованою з налаштувань. Ручне управління дозволяє за допомогою кнопок управління вручну керувати подачею сигналів на виконавчий пристрій.

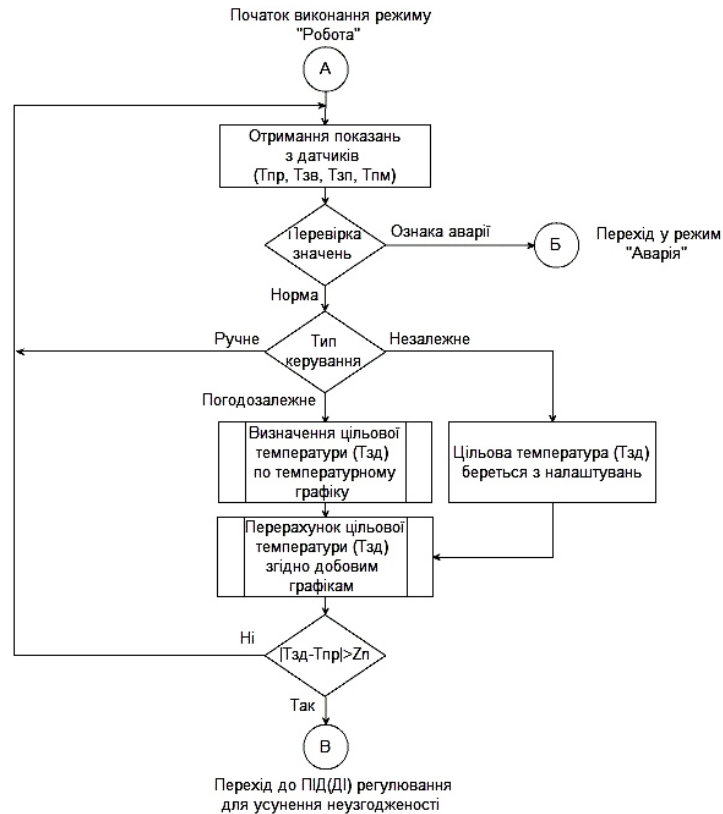


Рис. 4. Алгоритм регулювання температури в режимі «Робота» (фрагмент)

У режим «Аварія» регулятор переходить, якщо показання будь-якого датчика вийшли за встановлені в налаштуваннях межі. Це може бути занадто високе або навпаки надто низьке значення температури, ознака короткого замикання чи обриву датчика, а також сигнал про сухий хід насоса. В цьому режимі робиться негайний запис параметрів системи опалення в журнал, вмикаються всі три сигналізації, зупиняється регулювання температури і видається команда зупинки насоса (у випадку сухого ходу). Регулятор продовжує знаходитися в цьому режимі й оновлювати показання з датчиків доти, поки всі аварійні параметри не повернуться до нормального стану. При цьому на дисплеї підсвічується параметр, що викликав аварійну ситуацію, а світлова та дистанційна сигналізації вимикаються лише вручну оператором.

Режим «Налаштування», як випливає з назви, дозволяє налаштувати всі параметри роботи регулятора під потреби користувача. Цей режим реалізований у вигляді деревоподібного меню, де параметри зручно згруповані і знаходяться в підпунктах головного меню. Особливостями реалізації цього режиму є можливість встановлення паролю на вхід до налаштувань, повне скидання всіх установок у заводські, можливість відміни всіх змін за поточний сеанс роботи з налаштуваннями. Оскільки цей режим реалізується на контролері D2 (рис. 2), то можна змінювати налаштування, не зупиняючи при цьому роботу регулятора. У будь-якому режимі, окрім режиму «Налаштування», на дисплеї відображаються поточні значення вимірюваних температур (якщо є аварійне значення, то воно підсвічується), розрахована цільова температура, поточний коригувальний коефіцієнт, закон та тип регулювання, а також дата і час. Також відображаються спеціальні позначки: 1) активний режим «Аварія» (символ «А»); 2) видача сигналу «Більше» (стрілка вгору); 3) видача сигналу «Менше» (стрілка вниз); 4) насос ввімкнений (символ «О»); 5) насос вимкнений (символ «Х»).

Після подачі живлення контролер D1 переходить в свій основний режим «Робота», а контролер D2 – в режим очікування сеансу обміну з D1. Сеанс обміну може бути викликаний як з боку D1, так і з боку D2, наприклад, коли була натиснута кнопка або коли спрацював внутрішній таймер (наприклад, коли необхідно оновити інформацію на дисплеї).

При виникненні аварійної ситуації контролер D1 переходить в режим «Аварія». Про перехід з одного режиму в інший відразу оповіщається контролер D2. Залежно від режиму роботи, контролер D2 передає D1 відповідну інформацію про натискання кнопок. І навпаки, контролеру D2 регулярно повідомляються поточні показання датчиків та інші необхідні параметри. По завершенні режиму «Налаштування» контролеру D1 повідомляється, що налаштування були змінені і він може оновити їх у своїй пам'яті, звернувшись до DS1.

Поточні час, дата і день тижня зберігаються в ОЗП контролера D2. Їх значення з певною регулярністю передаються контролеру D1 для використання їх в алгоритмах корекції температури за добовими графіками.

**Висновки з даного дослідження.** Розроблений пристрій – регулятор температури погодозалежний відрізняється універсальним набором функцій, які необхідні в тій чи іншій ситуації, та можливістю тонкого налаштування під потреби споживача. Найбільш характерні можливості, такі як функції дистанційного доступу, налаштування роботи регулятора за добовими графіками, відповідно до календаря зберігання журналу станів системи опалення, кілька видів аварійної сигналізації роблять цей пристрій придатним для використання як в житлових, так і у виробничих приміщеннях з централізованою або індивідуальною системою опалення. Використання двох мікроконтролерів для виконання кожним певної частини завдань дозволяє здешевіти вартість пристрою і підвищити стабільність роботи, а також збільшити кількість корисних функцій. Крім того, поділ функцій між мікроконтролерами дозволяє також розділити завдання з написання програмного забезпечення, що може зменшити час розробки.

Регулятор температури погодозалежний може бути широко застосовним на великих виробництвах, оскільки він підтримує протокол RS-485, що дозволяє об'єднати всі системи опалення заводу і централізовано контролювати їх.

#### Список використаної літератури:

1. Удобство и экономия: электрические терморегуляторы отопления [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://gidotopleniya.ru/montazh-otopleniya/reguljator-temperatury-otoplenija-udobstvo-i-jekonomija-696>
2. Чи потрібне централізоване опалення? [Електронний ресурс]. – Режим доступа : <http://eircenter.com/ua-analiitika/chi-potribne-czentralizovane-opalennya/>
3. Курс молодого бойца фирмы Семпал. Часть 2. Регулирование температуры. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.sempal.com/fileadmin/Documents/UserHelp/OSNOVY2.pdf>
4. Регулирование температуры внутри жилых и общественных помещений - перспективный и эффективный метод энергосбережения / А.П. Баскаков, А.П. Мартюшев, Г.Я. Захарченко, А.Н. Ведерников. – НПФ "Энтальпия" [Электронный ресурс]. – Режим доступа : [http://www.journal.esco.co.ua/2011\\_3/art167.htm](http://www.journal.esco.co.ua/2011_3/art167.htm)
5. Гассельберг В.С. Применение микроконтроллеров в устройствах с повышенной надежностью / В.С. Гассельберг, А.В. Синельников // Вестник АГТУ / Управление, вычислительная техника и информатика. – 2011. – № 1(31). – С. 108–113.
6. Ливчак В.И. Автоматическое регулирование систем отопления с применением регулятора Т-48 / В.И. Ливчак // Энергосбережение. – 2008. – № 3(20). – С. 22–29.
7. Пырков В.В. Гидравлическое регулирование систем отопления и охлаждения. Теория и практика / В.В. Пырков. – К. : П ДП «Такі справи», 2005. – 304 с.
8. Кречетов Д.А. Разработка систем на базе микроконтроллеров. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2006 [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/mg/2006/krechetov.pdf>
9. Таверне К. PIC-микроконтроллеры. Практика применения : пер. с франц. / К.Таверне. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 272 с.
10. Бумагин А. Принципы построения эффективной системы автономного отопления / А.Бумагин. – Аква-Терм, 2010. – № 6(58). – С. 16–19.

#### References

1. Gid otopleniya, "Udobstvo i ekonomiya: elektricheskie termoregulyatory otopleniya", available at: <http://gidotopleniya.ru/montazh-otopleniya/reguljator-temperatury-otoplenija-udobstvo-i-jekonomija-696>, (accessed at 18.04.2016).
2. Malyshevs'kyj, T. (2015), "Chy potribne centralizovane opalennja?", available at: <http://eircenter.com/ua-analiitika/chi-potribne-czentralizovane-opalennya/>, (accessed at 05.05.2016).

3. Kurs molodogo boitsa firmy Sempal (2012), "Regulirovanie temperatury", Vol. 2, available at: [www.sempal.com/fileadmin/Documents/UserHelp/OSNOVY2.pdf](http://www.sempal.com/fileadmin/Documents/UserHelp/OSNOVY2.pdf), (accessed at 18.04.2016).
4. Baskakov, A.P., Martyushev, A.P., Zakharchenko, G.Ya. and Vedernikov, A.N. (2011), "Regulirovanie temperatury vnutri zhilykh i obshchestvennykh pomeshchenii - perspektivnyi i effektivnyi metod energosberezheniya. Ekologicheskies sistemy", available at: [www.journal.esco.co.ua/2011\\_3/art167.htm](http://www.journal.esco.co.ua/2011_3/art167.htm), (accessed at 19.04.2016).
5. Gassel'berg, V.S. and Sinel'shchikov, A.V. (2011), "Primenenie mikrokontrollerov v ustroystvakh s povyshennoi nadezhnost'yu", *Vestnik AGTU. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika*, No. 1 (31), pp. 108–113.
6. Livchak, V.I. (2008), "Avtomaticheskoe regulirovanie sistem otopleniya s primeneniem regulyatora T-48", *Energosberezhenie*, No. 3 (20), pp. 22–29.
7. Pyrkov, V.V. (2005), *Gidravlichesкое regulirovanie sistem otopleniya i okhlazhdeniya. Teoriya i praktika*, II DP "Taki spravy", Kyiv, 304 p.
8. Krechetov, D.A. (2006), "Razrabotka sistem na baze mikrokontrollerov", available at: <http://www.tstu.ru/book/elib/pdf/mg/2006/krechetov.pdf>, (accessed at 15.04.2016).
9. Tavernier, C. (2002), *PIC-mikrokontrollery. Praktika primeneniya* [Les Microcontrolleurs PIC. Applications], DMK Press, Moscow, 272 p.
10. Bumagin, A. (2010), "Printsipy postroeniya effektivnoi sistemy avtonomnogo otopleniya", *Akva-Term*, No. 6 (58), pp. 16–19.

СИНЕГЛАЗОВ Віктор Михайлович – доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- аеронавігація;
- керування повітряним рухом;
- ідентифікація складних систем;
- вітроенергетичні установки.

Тел.: (044)225–22–50.

E-mail: [svm@nau.edu.ua](mailto:svm@nau.edu.ua)

ДАСКАЛ Євген Вікторович – аспірант кафедри авіаційних комп'ютерно-інтегрованих комплексів Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

- програмування;
- системи і процеси керування;
- системи автоматизованого проектування.

Тел.: (098)607–90–49.

E-mail: [evg.daskal@gmail.com](mailto:evg.daskal@gmail.com)

Стаття надійшла до редакції 12.05.2016