

## Експериментальні дослідження індивідуального теплового пункту з електричними котлами

*Борис Басок<sup>1</sup>, Оксана Лисенко<sup>2</sup>, Сергій Андрейчук<sup>3</sup>, Віктор Приємченко<sup>4</sup>*

Інститут технічної теплофізики НАН України, вул. Желябова, 2а, Київ, Україна, 03057

<sup>1</sup>basok@itff.kiev.ua, orcid.org/0000-0002-8935-4248

<sup>2</sup>lisenko\_oks@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3981-9796

<sup>3</sup>andreychuk\_sv@ukr.net, orcid.org/0000-0002-4740-4091

<sup>4</sup>priemchenko@ukr.net, orcid.org/0000-0003-4785-4815

**Анотація.** В Україні актуальними питаннями залишаються зменшення використання енергоресурсів, які доводиться постачати та закупувати з інших країн, збільшення енергоефективного будівництва, зменшення викидів вуглекислого газу та ефективного використання теплоти в існуючих будівлях, особливо старої забудови. Саме останній проблемі присвячена дана стаття. Одним зі шляхів її вирішення є впровадження автоматизованих індивідуальних теплових пунктів для ефективного регулювання теплоспоживанням будівлі. В статті досліджується теплоспоживання однієї з будівель Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України при використанні індивідуального теплового пункту, особливістю якого є наявність електричних котлів різної потужності, що дозволяє не тільки регулювати, але й незалежно від теплових розподільних мереж генерувати теплоту. Однією з найбільших переваг даної розробки є можливість використання в ній провальної нічної електроенергії за пільговими тарифами, що, на сьогодні, надзвичайно актуально для стійкого та якісного функціонування Об'єднаної енергетичної системи України. Для проведення експериментальних досліджень обрано режим експлуатації індивідуального теплового пункту без використання електричних котлів. Регулювання температури подавального теплоносія в систему опалення здійснювалось автоматично за допомогою електронного регулятора за заданим алгоритмом регулювання, а саме за температурою зовнішнього повітря та повітря в контрольній кімнаті, а також за добово-тижневим графіком, при якому відбувалось автоматичне переключення з



**Борис Басок**

завідувач відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій чл.-кор. НАН України  
д.т.н., професор



**Оксана Лисенко**

старший науковий співробітник відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій  
к.т.н.



**Сергій Андрейчук**

молодший науковий співробітник відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій



**Віктор Приємченко**

головний інженер комплексної установки відділу теплофізичних основ енергоощадних технологій

денного на нічний графік регулювання і навпаки в задані моменти часу доби. В результаті досліджень отримано ряд експериментальних даних, на основі яких були побудовані залежності основних параметрів та визначені особливості теплоспоживання в реальних кліматич-

них умовах. В подальшому планується проведення низки експериментальних досліджень роботи індивідуального теплового пункту при різних варіантах заданих алгоритмів регулювання теплоспоживанням будівлі, а також із використанням електричних котлів різної потужності.

**Ключові слова.** Індивідуальний тепловий пункт, теплоспоживання, система опалення, будівля, енергоефективність, енергозбереження.

## ВСТУП

Сьогодні все гостріше постають питання енергоефективного будівництва та ефективного використання енергоресурсів в існуючому житловому фонді та громадських будівлях. На жаль, в Україні майже не зводяться будівлі з близьким до нульового енергоспоживання, на відміну від країн ЄС, де вони вже давно і успішно експлуатуються [1-5]. Однак, проводяться заходи стосовно термомодернізації будівель та реконструкції систем опалення та теплових пунктів. Підвищенню енергоефективності в будівлях присвячено багато робіт як зарубіжних, так і вітчизняних авторів [6-10]. Також проводяться дослідження у сфері централізованого теплозабезпечення [11-14].

На сьогодні в Україні залишається ще значна частина будинків, де використовуються теплові пункти елеваторного типу. Як правило, це обладнання уже фізично і морально застаріле, що призводить до значних перевитрат теплоти. Тому виникає необхідність переходу до автоматизованих індивідуальних теплових пунктів (ІТП) для забезпечення ефективного використання теплоти в будівлях.

## МЕТА ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою даної роботи є експериментальні дослідження особливостей експлуатації експериментального ІТП з електричними котлами для ефективного регулювання теплоспоживанням адміністративної будівлі.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні задачі:

- розробити схему та здійснити впрова-

- дження ІТП з електричними котлами;

- провести експериментальні дослідження ІТП у режимі реальному часу із постійним моніторингом основних параметрів тепло споживання за заданим режимом регулювання.

## РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОЯСНЕННЯ

В Інституті технічної теплофізики (ІТТФ) НАН України був розроблений та впроваджений автоматизований ІТП з гідравлічною стрілкою, який уже більше п'яти років успішно експлуатується, забезпечуючи при цьому ефективне регулювання теплоспоживанням будівлі в залежності від температури зовнішнього повітря, що дозволяє в середньому за опалювальний сезон економити до 15...20% споживання теплоти у порівнянні з попередніми роками, коли будівля була оснащена елеваторним тепловим пунктом без погодозалежного регулювання [15-19].

В якості об'єкту для проведення експериментальних досліджень обрано адміністративний корпус №2 ІТТФ НАН України, який розташований у м. Києві по вул. Булаховського, 2. В даній будівлі до існуючої системи теплопостачання з нерегульованим елеваторним вузлом було змонтовано та паралельно під'єднано розроблений в Інституті ІТП, особливістю якого є наявність електричних котлів різної потужності, що дозволяє ІТП не тільки регулювати, але й незалежно від теплових розподільних мереж генерувати теплоту, особливо це актуально при виникненні аварійних ситуацій в тепломережах. Однією з найбільших переваг даної розробки є можливість використання в ній провальної нічної електроенергії за пільговими тарифами, що на сьогодні надзвичайно актуально для стійкого та якісного функціонування Об'єднаної енергетичної системи України [20]. До складу ІТП входить пластинчастий теплообмінник, що забезпечує приєднання системи опалення будівлі до зовнішньої теплової мережі за незалежною схемою. Також в ІТП встановлено: регулятор (прямої дії) перепаду тиску з клапаном в подавальному трубопроводі;

регулюючий двоходовий клапан з електроприводом; здвоєний циркуляційний насос; розширювальний бак ємністю 300 л та три електрододатки потужністю 6, 30 та 120 кВт. Для вимірювання основних параметрів теплоспоживання впроваджено систему контролю та архівування даних. В ІТП встановлено мідні та платинові термоперетворювачі опору та електронні датчики тиску. Виходи термоперетворювачів опору через кабель підключаються до пристрою УКТ38-Щ4, який призначений для контролю та реєстрації вимірюваних параметрів через адаптер інтерфейсу АС2 на комп'ютері. Датчики тиску підключаються до електронного блоку, який призначений для вимірювання та введення в систему інформації про значення фізичних величин аналогових датчиків. Для здійснення автоматичного регулювання температури теплоносія в систему опалення будівлі за погодними умовами в ІТП використовуються два електронні регулятори з картами з електронним чіпом, за допомогою якої програмується робота регулятора. Один регулятор контролює ІТП, а інший – ІТП з використанням електрододатків.

Для проведення експериментальних досліджень обрано режим експлуатації ІТП без використання електричних котлів. Регулювання температури подавального теплоносія в систему опалення здійснювалось автоматично за допомогою електронного регулятора, в пам'яті якого записаний заданий алгоритм. Регулювання проводилось за температурою зовнішнього повітря та повітря в контрольній кімнаті, а також за добово-тижневим графіком, при якому відбувалось автоматичне переключення з денного на нічний графік регулювання і навпаки. В електронному регуляторі температури індивідуально для кожного дня тижня встановлювались моменти часу (в годинах і хвиликах) автоматичного переключення для кожного з графіків регулювання. Вимірювання кількості спожитої теплової енергії проводилось за допомогою ультразвукового теплотічильника. За допомогою впровадженого вимірювального комплексу визначалися і фіксувалися в автоматичному

режимі в реальному часі з інтервалом в одну годину всі основні параметри теплоспоживання: температура теплоносія в подавальному та зворотному трубопроводах, температура повітря в контрольній кімнаті та навколишнього середовища, витрати теплоносія та теплової енергії.

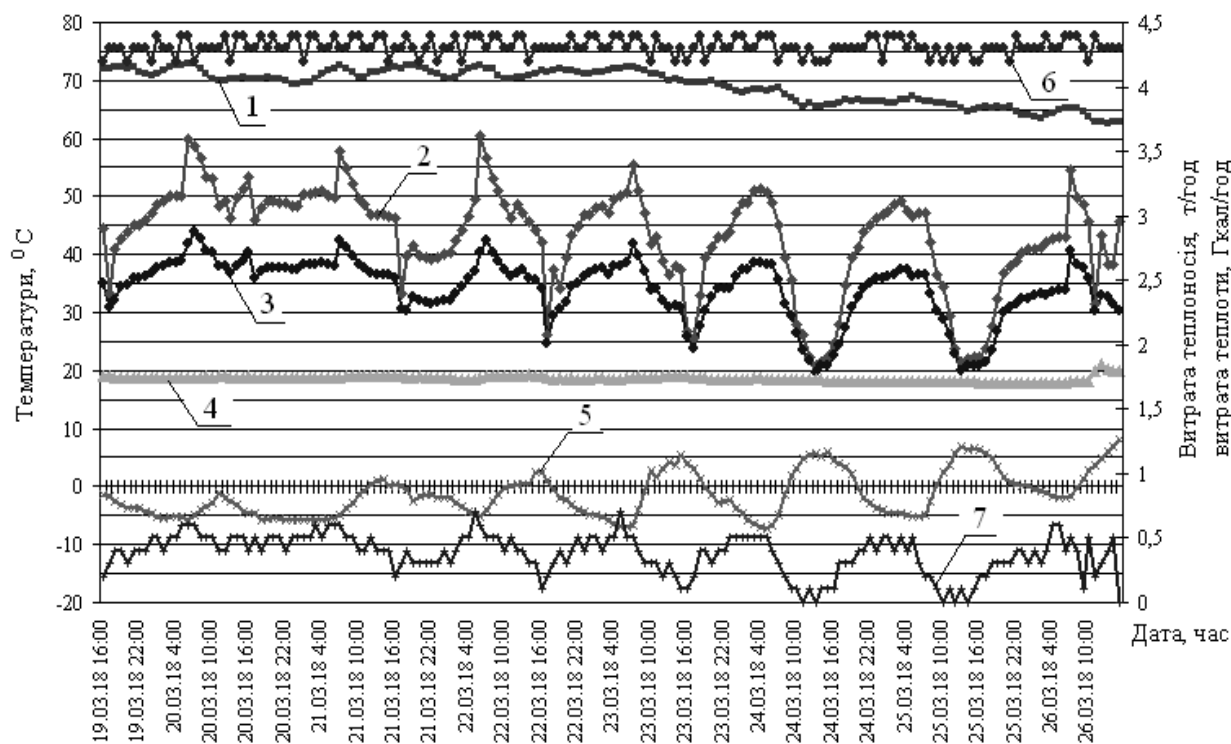
При експериментальних дослідженнях роботи ІТП обрано наступний алгоритм регулювання температури теплоносія: за температурою зовнішнього та внутрішнього повітря та за добово-тижневим графіком регулювання, при якому в будні дні з 6:00 год. до 16:30 год. – за денним графіком, а з 16:30 год. до 5:00 год. (в п'ятницю з 15:30 год.), а також у вихідні дні – за нічним графіком регулювання. Тривалість одного із типових режимів експериментальних досліджень становила сім діб - з 19 березня 2018 р. (16:00 год.) до 26 березня 2018 р. (15:00 год.). На основі отриманих експериментальних даних побудовані графічні залежності параметрів теплоспоживання будівлі в реальних кліматичних умовах, які представлено на рис. 1. В залежності від температури зовнішнього повітря та заданої температури в приміщенні, яка становить  $+18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  для денного графіка, відбувається регулювання температури теплоносія, який подається в систему опалення, за допомогою електронного регулятора температури. Як видно з рис. 1, температура зовнішнього повітря  $t_{\text{зовн.}}$  коливається від  $-7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+8,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При мінімальній температурі зовнішнього повітря ( $-7,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температура теплоносія, який поступає з зовнішньої тепломережі, становить  $50,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура теплоносія, який надходить в систему опалення, становить  $68,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ . При цьому температура теплоносія в зворотному трубопроводі дорівнює  $t_{\text{звор.}} = 38,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Як видно з рис. 1, середня витрата теплоносія дорівнює  $G = 4,3\text{ т/год.}$ , а максимальна витрата теплової енергії становить  $E = 0,07\text{ Гкал/год.}$  У вихідні дні (24 та 25 березня) та нічні години регулювання ІТП відбувалось за нічним графіком, при якому в електронному регуляторі задавалась температура в приміщенні  $16,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Відповідно, це призвело до значного зменшення витрат теплової

енергії, але несуттєвого пониження температури в приміщенні, що пояснюється акумуляційними властивостями зовнішніх огорожувальних конструкцій та предметів всередині. Як результат, в такому приміщенні температура повітря не була нижчою, ніж 17,8 °С. Різкі стрибки на рис. 1 відповідають переходам з денного графіка регулювання на нічний і навпаки.

Як видно з експериментальних досліджень, використання ІТП забезпечує ефективно регулювання теплоспоживанням в будівлі в залежності від температури зовнішнього повітря та заданої температури всередині приміщення, що чітко можна спостерігати з представленого графіка (рис.1).

## ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

В ІТТФ НАН України була розроблена та впроваджена схема індивідуального теплового пункту з електричними котлами різної потужності, що дозволяє ІТП не тільки регулювати, але й незалежно від теплових розподільних мереж генерувати теплоту. Були проведені експериментальні дослідження теплоспоживання адміністративної будівлі за допомогою ІТП без використання електродіодів. На основі отриманих експериментальних даних побудовані графічні залежності витрати теплоносія, теплової енергії і температури теплоносія в залежності від температури зовнішнього повітря.



**Рис.1.** Основні характеристики системи теплоспоживання корпусу №2 ІТТФ НАН України.

Умовні позначення: 1 – температура подавального теплоносія із зовнішньої тепломережі; 2 – температура теплоносія, який подається в систему опалення; 3 – температура теплоносія в зворотному трубопроводі; 4 – температура внутрішнього повітря; 5 – температура зовнішнього повітря; 6 – витрата теплоносія; 7 – витрата теплової енергії (масштаб 10:1).

**Fig.1.** The main characteristics of the heat consumption system of the building №2 Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Symbols: 1 - the temperature of the heat transfer agent from the external heating network; 2 - the temperature of the heat transfer agent, which is fed into the heating system; 3 - heat transfer agent temperature in the return pipeline; 4 - the temperature of the internal air; 5 - the temperature of the outside air; 6 - heat transfer agent flow rate; 7 - consumption of thermal energy (scale 10:1).

З графіка видно ефективну роботу ІТП в залежності від заданого алгоритму регулювання. Оскільки досліджуваний ІТП в опалювальному сезоні 2017-2018 рр. експлуатувався лише декілька останніх місяців, то в подальшому планується проведення низки експериментальних досліджень, в тому числі із використанням електричних котлів різної потужності. Впровадження ІТП є одним із шляхів підвищення енергоефективності при новому будівництві та модернізації існуючих будівель, що дозволяє підвищити якість та ефективність теплоспоживання із забезпеченням комфортних умов для споживача.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. **Mahdavi A., Doppelbauer E.-M.** A performance comparison of passive and lowenergy buildings. *Energy and Buildings*. 2010. 42 (8). P. 1314–1319.
2. **Hauge A.L., Thomsen J., Berker T.** User evaluations of energy efficient buildings: literature review and further research. *Advances in Building Energy Research*. 2011. 5 (1). P. 109–127.
3. **Mirela Mihai, Vladimir Tanasiev, Cristian Dinca, Adrian Badea, Ruxandra Vidu.** Passive house analysis in terms of energy performance. *Energy and Buildings*. 2017. 144. P. 74–86.
4. **Patrik Rohdin, Andreas Molin, Bahram Moshfegh.** Experiences from nine passive houses in Sweden – Indoor thermal environment and energy use. *Building and Environment*. 2014. 71. P. 176–185.
5. **Mlecnik E., Schütze T., Jansen S.J.T., G.de Vries, Visscher H.J., A.van Hal.** End-user experiences in nearly zero-energy houses. *Energy and Buildings*. 2012. 49. P. 471–478.
6. **Ковалко О.М., Новосельцев О.В., Євтухова Т.О.** Вертикально-інтегровані структури управління ефективністю функціонування систем комунальної теплоенергетики / *монографія*. К. : Інститут технічної теплофізики НАН України, 2017. 258 с.
7. **Parasonis J., Keizikas A., Endriukaityte A., Kalibatiene D.** Architectural Solutions to Increase the Energy Efficiency of Buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*. 2012. 18 (1). P. 71–80.
8. **Zurigat Y.H, Al-Hinai H, Jubran B.A, Al-Masoudi Y.S.** Energy efficient building strategies for school buildings in Oman. *International Journal of Energy Research*. 2003. 27(3). P. 241–253.
9. **Diakaki C., Grigoroudis E., Kolokotsa D.** Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*. 2008. 40 (9). P. 1747–1754.
10. **Filippin C. Larsen S.F.** Energy efficiency in buildings. *Energy Efficiency, Recovery and Storage*. 2007. 11. P. 223–245.
11. **Gareth D., Woods P.** The Potential and Costs of District Heating Networks. *Oxford: Poyry Energy*. 2009. 152 p.
12. **Lund H., Möller B., Mathiesen B.V., Dyrelund A.** The role of district heating in future renewable energy systems. *Energy*. 2010. 35(3). P. 1381–1390.
13. **Hongwei Li, Svend Svendsen.** Energy and exergy analysis of low temperature district heating network. *Energy*, 2012. 45(1). P. 237–246
14. **Lianzhong Li, M. Zaheeruddin.** A control strategy for energy optimal operation of a direct district heating system. *International journal of Energy Research*. 2004. 28(7). P. 597–612.
15. **Лисенко О.М.** Індивідуальний тепловий пункт з гідравлічною стрілкою. *Пром. теплотехніка*. 2011. Т. 33, № 8. С. 135–139.
16. **Басок Б.І., Лисенко О.М., Приємченко В.П., Андрейчук С.В.** Особливості теплозабезпечення адміністративної будівлі на основі індивідуального теплового пункту. *Будівельні конструкції*. 2013. Вип. 77. С. 184–187.
17. **Давиденко Б.В., Андрейчук С.В., Приємченко В.П., Лисенко О.М.** Дослідження параметрів експериментального індивідуального теплового пункту при різних режимах його експлуатації. *Промышленная теплотехника*. 2013. Т. 35, № 7. С. 240–245.
18. **Лисенко О.М., Кужель Л.М., Божко І.К.** Управління теплопостачанням будівлі на основі використання індивідуального теплового пункту оригінальної конструкції. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2015. Т. 1, N 8(73). С. 61–67.
19. **Басок Б.І., Новіков В.Г., Лисенко О.М., Приємченко В.П., Ряснова О.В.** Експери-

ментальні дослідження ефективного управління теплопостачанням адміністративної будівлі бюджетної організації. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*. 2015. Вип. 7. С. 17-21.

20. **Веремійчук Ю.А., Гончаренко І.С., Лисенко О.М., Черкашина Г.І.** Управління електроспоживанням як інструмент підвищення енергоефективності процесів в об'єднаній електроенергетичній системі України. *Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку-2016. Збірник наукових праць III Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції*. Київ, НТУУ «КПІ», 2016. С. 14.

## REFERENCES

1. **Mahdavi A., Doppelbauer E.-M. (2010).** A performance comparison of passive and low-energy buildings. *Energy and Buildings*, 42 (8), 1314–1319.
2. **Hauge A.L., Thomsen J., Berker T. (2011).** User evaluations of energy efficient buildings: literature review and further research. *Advances in Building Energy Research*, 5(1), 109–127.
3. **Mirela Mihai, Vladimir Tanasiev, Cristian Dinca, Adrian Badea, Ruxandra Vidu (2017).** Passive house analysis in terms of energy performance. *Energy and Buildings*, 144, 74–86.
4. **Patrik Rohdin, Andreas Molin, Bahram Moshfegh. (2014).** Experiences from nine passive houses in Sweden – Indoor thermal environment and energy use. *Building and Environment*, 71, 176–185.
5. **Mlecnik E., Schütze T., Jansen S.J.T., G.de Vries, Visscher H.J., A.van Hal. (2012).** End-user experiences in nearly zero-energy houses. *Energy and Buildings*, 49, 471–478.
6. **Kovalko O.M., Novoseltsev O.V., Yevtukhova T.O. (2017).** Vertykalno-intehrovani struktury upravlinnya efektyvnisty funktsionuvannya system komunalnoyi teploenerhetyky / *monohrafiya* Instytut tekhnichnoyi teplofizyky NAN Ukrayiny, 258 (In Ukrainian).
7. **Parasonis J., Keizikas A., Endriukaityte A., Kalibatiene D. (2012).** Architectural Solutions to Increase the Energy Efficiency of Buildings. *Journal of Civil Engineering and Management*, 18(1), 71–80.
8. **Zurigat Y.H, Al-Hinai H, Jubran B.A, Al-Masoudi Y.S. (2003).** Energy efficient building strategies for school buildings in Oman. *International Journal of Energy Research*, 27(3), 241–253.
9. **Diakaki C., Grigoroudis E., Kolokotsa D. (2008).** Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings. *Energy and Buildings*, 40(9), 1747–1754.
10. **Filippin C. Larsen S.F. (2007).** Energy efficiency in buildings. *Energy Efficiency, Recovery and Storage*, 11, 223–245.
11. **Gareth D., Woods P. (2009).** The Potential and Costs of District Heating Networks. *Oxford: Poyry Energy*, 152.
12. **Lund H., Möller B., Mathiesen B.V., Dyrelund A. (2010).** The role of district heating in future renewable energy systems. *Energy*, 35(3), 1381–1390.
13. **Hongwei Li, Svend Svendsen (2012).** Energy and exergy analysis of low temperature district heating network. *Energy*, 45(1), 237–246.
14. **Lianzhong Li, Zaheeruddin M. (2004).** A control strategy for energy optimal operation of a direct district heating system. *International journal of Energy Research*, 28(7), 597–612.
15. **Lysenko O.M. (2011).** Indyvidualnyy teplovyy punkt z hidravlichnoyu strilkoyu. *Prom. Teplotekhnika*, 33(8), 135–139 (In Ukrainian).
16. **Basok B.I., Lysenko O.M., Pryyemchenko V.P., Andreychuk S.V. (2013).** Osoblyvosti teplozabezpechennya administratyvnoi budivli na osnovi indyvidualnoho teplovoho punktu. *Budivelni konstruktsiyi*, 77, 184–187 (In Ukrainian).
17. **Davydenko B.V., Andreychuk S.V., Pryyemchenko V.P., Lysenko O.M. (2013).** Doslidzhennya parametriv eksperymentalnoho indyvidualnoho teplovoho punktu pry riznykh rezhymakh yoho ekspluatatsiyi. *Promyshlennaya teplotekhnika*, 35(7), 240–245 (In Ukrainian).
18. **Lysenko O.M., Kuzhel L.M., Bozhko I.K. (2015).** Upravlinnya teplopостачанням budivli na osnovi vykorystannya indyvidualnoho teplovoho punktu oryhinalnoyi konstruktsiyi. *Skhidno-Yevropeyskyy zhurnal peredovykh tekhnolohiy*, 8(73), 61–67 (In Ukrainian).
19. **Basok B.I., Novikov V.H., Lysenko O.M., Pryyechenko V.P., Rysanova O.V. (2015).**

Експериментальні дослідження ефективного управління теплостачанням адміністративної будівлі бюджетної організації. *Енергоефективність в будівництві та архітектурі*, 7, 17–21 (In Ukrainian).

20. Veremiychuk YU.A., Honcharenko I.S., Lysenko O.M., Cherkashyna H.I. (2016). Управління електроспоживанням як інструмент підвищення енергоефективності процесів в об'єднаній електроенергетичній системі України. *Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку-2016. Збірник наукових праць III Міжнародної науково-технічної та навчально-методичної конференції* Київ, NTUU «KPI», 14. (In Ukrainian).

### Experimental research of an individual heat point with electric boilers

*Boris Basok, Oksana Lysenko,  
Sergiy Andreychuk, Viktor Pryemchenko*

**Summary.** In Ukraine, pressing issues are the reduction of the use of energy resources, which have to be supplied and procured from other countries, increased energy-efficient construction, reduction of carbon dioxide emissions and efficient use of heat in existing buildings, especially old-fashioned buildings. The last question is devoted to this article. One of the ways of its solution is the introduction of automated individual heat points for efficient regulation of heat consumption of the building. The article studies the heat consumption of one of the buildings of the Institute of Engineering Thermophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine with the use of an individual heat point, the features of which are the availability of electric boilers of different capacities, which allows not only to regulate, but also regardless of heat distribution networks generate of heat energy. One of the biggest advantages of this design is the possibility of using defective night electricity at reduced tariffs, which today is extremely important for the sustainable and high-quality functioning of the Unified Energy System of Ukraine. For experimental research the mode of operation of an individual heat point without the use of electric boilers was chosen. The regulation of the temperature of the supply coolant to the heating system was carried out automatically with the help of an electronic regulator in accordance with the given control algo-

rithm, namely: the temperature of the outside air and air in the control room, as well as the daily weekly schedule, during which the automatic transition from day to night adjustment schedule and on the contrary in the given moments of time of day. As a result of the research, a series of experimental data was obtained, on the basis of which the dependencies of the main parameters were constructed and the specific features of heat consumption in the real climatic conditions were determined. In the future, it is planned to carry out a series of experimental studies of the work of an individual heat point under various options of the given algorithms for controlling the heat consumption of the building, as well with using electric boilers of different capacities.

**Key words.** Individual heat point, heat consumption, heating system, building, energy efficiency, energy saving.