

Висновок наукового керівника

Щодо роботи у процесі підготовки дисертації та виконання індивідуальних планів навчальної та наукової роботи здобувача

Наукового ступеня доктора філософії **Баранчука Кирила Олексійовича**

У процесі навчання та підготовки дисертації на тему: «Системи теплопостачання з енергоефективними двонаправленими тепловими пунктами» аспірант Баранчук К.О. продемонстрував наполегливість, працьовитість, високий творчий та інтелектуальний потенціал, а також здатність до самостійної роботи та критичного мислення.

Баранчук К.О. виконав індивідуальний навчальний план і план наукової роботи у повному обсязі. У процесі навчання здобувач набув глибоких знань, умінь та навичок, необхідних для вирішення наукових і практичних задач, а також комплексних проблем у галузі архітектури та будівництва за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Баранчук К.О. здобув компетентності, необхідні для продукування нових ідей, застосування методології наукової та педагогічної діяльності, а також проведення самостійного наукового дослідження із використанням сучасних технологій, результати якого мають наукову новизну, теоретичну та практичну цінність. Під час роботи над дисертацією Баранчук К.О. проявив себе як відповідальний і старанний дослідник, який систематично й ритмічно працював над створенням результатів роботи. Дисертант продемонстрував здатність самостійно формулювати наукову мету, визначати задачі та раціональні шляхи їх вирішення, проводити експериментальні дослідження, аналізувати їхні результати й робити обґрунтовані висновки. Баранчук К.О. активно брав участь у наукових конференціях і семінарах, де презентував проміжні результати своєї дисертаційної роботи.

Результати досліджень опубліковано у 3 публікаціях у збірниках, два з яких включені до переліку наукових фахових видань України категорій «Б», а одне включене до збірники закордонного видання.

Дисертаційне дослідження здобувача розширює знання щодо розвитку централізованого теплопостачання (ЦТ) в умовах інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та впровадження двонаправлених теплових пунктів (2Н-ІТП). Робота охоплює принципи гнучкого управління тепловими потоками між централізованою системою та локальними джерелами тепла, що забезпечують оптимізацію енергоспоживання та підвищення енергоефективності. Здобувачем було розроблено інноваційні схеми комбінованих теплових

пунктів, які дозволяють інтегрувати сонячні колектори, теплові насоси та скидне тепло від промислових процесів у загальну систему ЦТ, забезпечуючи повернення надлишкової енергії в мережу.

Особливу увагу приділено моделюванню теплових просьюмерів, що одночасно виступають як споживачі та генератори теплової енергії, активно взаємодіючи з мережею ЦТ. Розроблені математичні моделі та алгоритми управління забезпечують динамічну оптимізацію теплових потоків відповідно до попиту, доступності ВДЕ та економічних факторів.

Автор поставив перед собою завдання розробити методичні та практичні рекомендації для інтеграції 2Н-ІТП у існуючі та майбутні системи ЦТ, враховуючи регуляторні вимоги та перспективи розвитку ринку теплової енергії в Україні. Таким чином, дослідження має як наукове, так і практичне значення, сприяючи модернізації централізованого теплопостачання, зниженню вуглецевого сліду та підвищенню енергетичної безпеки. У дисертації одержані наступні наукові результати.

вперше:

- Вперше запропоновано схему двонаправленого теплового пункту, що дозволяє гнучко керувати потоками теплової енергії між централізованою системою теплопостачання та локальними джерелами (сонячними колекторами, тепловими насосами, скидним теплом від виробничих процесів). Візуалізація роботи такої системи через Danfoss Leanheat Monitor демонструє ефективність інтеграції локальних джерел у загальну тепломережу та можливість керування надлишковим теплом за допомогою регулювальних клапанів і циркуляційних насосів;
- Вперше розроблено та досліджено алгоритм оптимального керування тепловими потоками у 2Н-ІТП, що враховує зовнішні температурні умови, рівень локального виробництва тепла та змінний попит на теплову енергію в системі. Використання регуляторів ECL 310 (Danfoss) у поєднанні з системою дистанційного моніторингу дозволяє динамічно адаптувати робочі параметри, мінімізувати втрати енергії та підвищувати ефективність роботи тепломережі;
- Вперше проведено комплексний аналіз впливу двонаправленої циркуляції теплоносія на гідравлічні режими системи централізованого теплопостачання. Досліджено можливість повернення надлишкового тепла в мережу та його повторне використання для підвищення загальної ефективності ЦТ. Виконане моделювання підтверджує, що використання диференційного регулювання температури та тиску дозволяє уникати гідравлічних розбалансувань та стабілізувати роботу теплового пункту за різних навантажень;

- Вперше розроблено математичну модель просьюмера теплової енергії, що враховує одночасне споживання, накопичення та генерацію тепла з можливістю повернення надлишкової енергії в мережу ЦТ.

Модель описує динамічну взаємодію між споживачем, локальними джерелами тепла (сонячні колектори, теплові насоси, скидне тепло) та централізованою тепломережею, визначаючи оптимальні режими роботи 2Н-ІТП залежно від змінних факторів, таких як:

- температура навколишнього середовища;
- навантаження на тепломережу;
- доступність локальної генерації тепла;
- економічні параметри (тарифікація теплової енергії, гнучке ціноутворення).

Запропонована модель дозволяє оцінити енергетичну та економічну ефективність інтеграції теплових просьюмерів у централізовану систему, а також визначити оптимальні умови для розподілу надлишкової енергії між споживачами та тепловими мережами.

удосконалено :

- Розрахункову модель теплового пункту з урахуванням різних способів та методів регулювання теплових потоків, включаючи температурне, кількісне та комбіноване регулювання. Модель враховує динамічні зміни зовнішніх факторів (температура зовнішнього повітря, навантаження на систему) та дозволяє оптимізувати роботу теплового пункту в умовах змінного попиту;
- Схему 2Н-ІТП на основі експериментальних досліджень, що підтвердили ефективність роботи в різних режимах (моновалентний, бівалентний, двонаправлений). Внесені зміни включають оптимізацію гідравлічної схеми, впровадження комбінованих клапанів та адаптивного управління циркуляційними насосами, що підвищує ефективність передачі надлишкової енергії в мережу ЦТ;
- Рекомендації щодо підбору обладнання для комбінованих та 2Н-ІТП, зокрема регулюючих клапанів, теплообмінників, акумуляторів теплової енергії та системи моніторингу. Розроблено рекомендації щодо змін у моделі ринку теплової енергії, що передбачають включення теплових просьюмерів як активних учасників ринку, з можливістю купівлі, генерації та продажу теплової енергії;

набули подальшого розвитку

- Наукове обґрунтування використання 2Н-ІТП як ефективних систем управління тепловими потоками в умовах інтеграції локальних джерел енергії (сонячні колектори, теплові насоси, скидне тепло) з ЦТ. Обґрунтовано можливість повернення надлишкової енергії в мережу

ЦТ, що забезпечує гнучке балансування попиту та пропозиції теплової енергії;

- Конструкції комбінованих та 2Н-ІТП для інтеграції локальних ВДЕ та акумулювання теплової енергії, що дозволяє оптимізувати режими роботи в умовах змінного попиту. Вдосконалено схеми підключення 2Н-ІТП до системи ЦТ, що забезпечують зниження температури зворотного трубопроводу та підвищення ефективності роботи теплових насосів;
- Експериментально досліджено динамічну поведінку теплових просьюмерів у складі 2Н-ІТП, що дозволяє балансувати локальні потоки теплової енергії між генерацією, споживанням та передачею надлишкової енергії в мережу ЦТ. Розроблено математичну модель енергетичного балансу, яка описує взаємодію теплового просьюмера з ЦТ:

$$Q_{\text{ген}} + Q_{\text{акум}} - Q_{\text{спожив}} - Q_{\text{перед}} = 0;$$

де рівняння можна викласти як:

$$Q_{\text{ген}}(t) + \frac{d}{dt}(C_{\text{акум}} \cdot T_{\text{акум}}(t)) - Q_{\text{спожив}}(t) - Q_{\text{перед}}(t) = 0;$$

де:

$C_{\text{акум}}$ - теплоємність акумулятора;

$T_{\text{акум}}(t)$ - температура акумулятора в момент часу t ;

$Q_{\text{ген}}(t) = \eta_{\text{ген}} \cdot P_{\text{ген}}(t)$, де $\eta_{\text{ген}}$ - ККД локального теплогенератора,

$P_{\text{ген}}(t)$ - потужність локального теплогенератора в момент часу t ;

$Q_{\text{спожив}}(t) = U \cdot A \cdot (T_{\text{вн}}(t) - T_{\text{зовн}}(t))$, де:

U - коефіцієнт теплопередачі будівлі;

A - зовнішня площа огорожувальних конструкцій;

$T_{\text{вн}}(t), T_{\text{зовн}}(t)$ - температура всередині та зовні будівлі в момент часу t .

$Q_{\text{перед}}(t) = k \cdot (T_{\text{акум}}(t) - T_{\text{ЦТ}}(t))$, де:

k - коефіцієнт теплопередачі між акумулятором та системою ЦТ;

$T_{\text{акум}}(t)$ - температура в тепловому акумуляторі (накопичувачі) в момент часу t ;

$T_{\text{ЦТ}}(t)$ - температура в подавальній лінії системи ЦТ в момент часу t .

Дисертація містить наукові положення, нові науково обґрунтовані теоретичні результати проведених досліджень, які мають істотне значення для галузі знань 19 – Архітектура та будівництво.

Практична цінність роботи полягає в розробці інженерного розрахунку для побудови двонаправлених індивідуальних теплових пунктів.

В роботі одержані практично важливі результати:

- Теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено енергоефективність 2Н-ІТП для інтеграції локальних ВДЕ та оптимізації роботи ЦТ. Встановлено, що використання 2Н-ІТП дозволяє знизити загальний рівень температури, збільшити використання локальної генерації тепла та зменшити теплові втрати в мережі ЦТ;
- Розроблено математичні моделі енергетичного балансу теплового просьюмера, які описують динаміку теплових потоків між генерацією, споживанням та передачею надлишкової енергії в ЦТ. Моделі враховують змінний попит на тепло, доступність ВДЕ та коливання цін на енергоносії;
- Експериментально отримано критеріальні залежності для процесу передачі тепла в умовах двонаправленої циркуляції теплоносія у 2Н-ІТП. Виявлено, що ефективність теплопередачі залежить від температурного режиму, швидкості потоку та типу локального генератора тепла;
- Розроблено методику експериментального дослідження динамічної поведінки теплового просьюмера, яка дозволяє визначити оптимальні режими роботи 2Н-ІТП при різних умовах навантаження, генерації та передачі тепла в мережу ЦТ;
- Розроблено методику експериментального дослідження ефективності інтеграції локальних джерел тепла (сонячних колекторів, теплових насосів) у систему ЦТ за допомогою 2Н-ІТП, яка може бути використана для оптимізації роботи теплових просьюмерів та зменшення навантажень на централізовану генерацію тепла;
- Запропоновано техніко-економічні моделі оптимального управління двонаправленими потоками тепла в системі 2Н-ІТП, які враховують динамічну поведінку теплових просьюмерів та дозволяють мінімізувати вартість теплової енергії шляхом оптимального використання локальної генерації та акумулювання тепла;
- Побудовано експериментальну модель двонаправленого теплового пункту, що забезпечує ефективну взаємодію локальних джерел тепла та ЦТ з можливістю передачі надлишкової енергії в мережу. Модель продемонструвала ефективність роботи в режимах моновалентного, бівалентного та двонаправленого тепlopостачання;
- Удосконалено та набули подальшого розвитку рекомендації з проектування 2Н-ІТП для інтеграції в системи ЦТ четвертого (4G) та п'ятого (5G) поколінь, що передбачають використання низькотемпературних джерел тепла та роботу з тепловими просьюмерами;
- Виявлено вплив зовнішніх факторів (температура повітря, навантаження, ціни на енергоносії) на динамічну поведінку теплових просьюмерів та ефективність управління 2Н-ІТП. Встановлено, що оптимальні режими роботи досягаються за умови гнучкого керування тепловими потоками в залежності від зміни попиту та генерації;

- Визначено частку теплової енергії, що може бути повернута в мережу ЦТ, для балансування теплового навантаження та підвищення гнучкості роботи системи ЦТ, що забезпечує ефективну роботу теплових просьюмерів в умовах ринкового ціноутворення на теплову енергію.

Одержані наукові та практичні результати, викладені в дисертаційній роботі, є самостійною науковою працею, у якій висвітлено оригінальні ідеї та розробки автора, що дозволили розв'язати поставлені задачі у сфері розвитку 2Н-ІТП та інтеграції теплових просьюмерів у систему ЦТ.

Робота містить теоретичні та практичні положення, які сприяють розвитку методів балансування теплових потоків між локальними джерелами енергії, тепловими акумуляторами та системою ЦТ. Сукупність отриманих результатів дозволяє кваліфікувати дослідження як значний внесок у розробку та впровадження нових схем інтеграції теплових просьюмерів, що забезпечують підвищення енергоефективності, оптимізацію роботи теплових мереж та розвиток майбутньої моделі ринку теплової енергії..

З урахуванням всього вищезазначеного вважаю, що дисертаційна робота на тему: «Системи теплопостачання з енергоефективними двонаправленими тепловими пунктами» є завершеним науковим дослідженням, відповідає вимогам, що висуваються до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» та вимогам «Порядку присудження ступеня доктора філософії...», затвердженого постановою КМУ №44 від 12.01.2022р. та рекомендована до захисту за встановленою процедурою у спеціалізованій вченій раді, а її автор Баранчук Кирило Олексійович заслуговує присвоєння ступеня доктора філософії за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія».

Науковий керівник

[Signature]
/ *[Signature]*

/ Приймак О.В.

/ *[Signature]*

Засвідчується
ЗАСВІДЧУЄ

Секретар Вченої ради

Classified as Business

КНЧБА

[Signature]



Микола КЛИМЕНКО