

## ВПЛИВ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОКЛАДАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЇ ТРУБОПРОВОДІВ НА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ТЕПЛОВИХ МЕРЕЖ

Вінницький національний технічний університет

Системи теплопостачання широко експлуатуються в даний час для транспортування тепла до споживачів від джерел теплової енергії. При новому будівництві і реконструкції мереж найбільш поширеними до використання є попередньо ізольовані трубопроводи: сталеві або пластикові труби у пінополіуретановій ізоляції і поліетиленовій або сталевій оболонці. Такі труби переважно прокладаються безканально і, незважаючи на досить посилену теплову ізоляцію, все одно втрачають тепло теплоносія. Труби мають стандартну економічно обґрунтовану товщину теплоізоляційного шару тому пошуки шляхів зменшення теплових втрат потрібно шукати в сфері експлуатації та монтажу трубопроводів. В залежності від способу прокладання труб визначається величина теплових втрат. У статті розглянуто способи прокладання теплових мереж з попередньо ізольованих труб, досліджено методики розрахунку теплових втрат від оболонки труби до ґрунту, наведено результати розрахунків теплових втрат в залежності від глибини закладання трубопроводів, надано основні рекомендації з позиції енергоефективності щодо особливостей прокладання теплових мереж. За результатами аналізу літературних джерел виявлено, що основний вплив на величину теплових втрат теплових мереж має вологість піску і ґрунту, в якому знаходиться труба, також важливими є взаємний вплив трубопроводів один на одного, глибина закладання та товщина теплової ізоляції. Досліджено вплив взаємного розташування трубопроводів в траншеї на величину тепловтрат. В результаті дослідження виявлено, що прокладання труб у непрохідних каналах хоча і викликає певне збільшення вартості капітальних витрат, але дозволяє зменшити питомі тепловтрати трубопроводів на 8 Вт/м в подавальному і на 7 Вт/м у зворотному трубопроводах, що пропорційно зі зменшенням теплових втрат трубопроводів шляхом зменшення температури води, але що не завжди є технічно і економічно можливим. Прокладання теплопроводів СТ/ПЕ з високотемпературним теплоносієм в непрохідних каналах (лотках) з підвищеною гідроізоляцією і піщаною подушкою є раціональним рішенням не тільки з позиції енергозбереження, але і безпеки експлуатації.

**Ключові слова:** теплопостачання, безканальне прокладання, моделювання теплових втрат, попередньоізольовані труби, енергоефективність.

### Вступ

Останніми роками при модернізації і новому будівництві теплових мереж найчастіше використовуються труби попередньо ізольовані в заводських умовах. Така труба має високу монтажну готовність: дозволяє скоротити час на монтаж мережі, не потребує додаткової теплової ізоляції і може монтуватися безпосередньо у ґрунт на піщані подушки. Зазвичай безпосередньо труба є сталеві, вона покривається шаром пінополіуретанової ізоляції і захисною поліетиленовою оболонкою – СТ/ПЕ. Так як труби виготовляються у заводських умовах підвищити енергоефективність мереж шляхом зменшення теплових втрат можна лише використовуючи підходи, не пов'язані зі зміною товщини теплової ізоляції. Тому виникає необхідність дослідити вплив схем прокладання попередньо ізольованих трубопроводів на енергоефективність теплових мереж. Незважаючи на достатню кількість літературних джерел присвячених системам теплопостачання розглянута у статті проблема є актуальною і не висвітленою у літературі. Так автори Wenbo Jin, Feng Xiao, Baifan Zhang (2024) розглядають питання пошуку мереж теплопостачання у ґрунті, Chuanmin Tai, Guansan Tian, Wenjun Lei (2023) досліджували у своїй роботі новий тип системи теплопостачання, що базується на абсорбції. Робота авторів Fuqiang Liu, Chongfang Song, Wuxuan Pan, Guowei Wang, Huijie Zhang, Yonggang Lei (2024) присвячена питанням термічної втрати трубопроводів системи теплопостачання при частотному регулюванні. Роботи Ronghua Wu, Jiyu Lin, Hao Yu, Yuanyuan Sun, Long Xu, Xiaona Yu (2024), Fariha Niaz, Yusuf Bicer, Luai El-Sabek, Abdulkarem I. Amhamed (2024), Magdalena Barnetche, Luis F. González-Portillo, Javier Muñoz-Antón, Rubén Abbas, Mercedes Ibarra, Rubén Barbero, Antonio Rovira (2023) присвячені термодинамічним особливостям роботи підземних трубопроводних мереж і накопиченню енергії в них. У працях Saleh S. Meibodi, Simon Rees, Fleur Loveridge (2024), Yongli Wang, Huanran Dong, Kaiwei Ma, Hui Wang, Jihui Zhang (2024) розглянуто питання математичного моделювання роботи теплових мереж. Метою статті є дослідження впливу схем прокладання попередньо ізольованих трубопроводів на енергоефективність теплових мереж. Завдання роботи є дослідження теплових характеристик підземних трубопроводів систем теплопостачання в залежності від особливостей прокладання мереж, їх взаємного розташування, вологості ґрунту та виду прокладання. Науковою новизною роботи є подальший розвиток теорії і практики влаштування попередньоізольованих

теплових мереж та способів підвищення їх енергоефективності.

### Огляд літератури

Дослідження у напрямку підвищення енергоефективності теплових мереж ведуться як вітчизняними так і іноземними вченими. У джерелах [9-11] наводяться загальні питання розвитку теплових мереж в Україні. Автори [12] розглядають загальні питання комунальної теплоенергетики включно з питаннями енергоефективності. У роботах [13-15] досліджуються питання теплових втрат тепловими мережами, але питання, впливу ґрунту, взаємного розташування трубопроводів не розглядається. Такі ж самі загальні питання теплопостачання розглянуто у працях [16,17]. Автори [18] пропонують для зменшення теплових втрат використовувати тритрубну мережу, що має сенс, але в Україні тритрубне прокладання не набуло поширення. Експериментальні дослідження чотирьохтрубної теплової мережі розглянуто у роботі [19], аналогічно з попереднім, чотирьохтрубні мережі у нас не поширені. У роботі [20] досліджено величину зменшення вуглецевого сліду при переведенні кампуса університету на централізоване теплопостачання. Впровадження альтернативних джерел теплопостачання – теплових насосів розглянуто у роботі [21]. Потенціал розвитку теплових мереж у перспективних районах забудови досліджено у роботі [22]. Вчені Han Xu, Lu Zhang та інші у роботі [23] дослідили математичну модель оптимізації діаметрів трубопроводів теплових мереж. Автори роботи [24] розглянули питання витоків теплоносія на теплових мережах і дослідили процеси моделювання цього явища. У роботі [25] досліджено питання прогнозування термінів і способів обслуговування теплових мереж. Але незважаючи на велику кількість праць, питання, що висвітлюються в даній статті є недостатньо розглянутими.

### Матеріали і методи

При написанні роботи використано досвід автора у проектуванні теплових мереж, інформацію з нормативної і наукової літератури. Результати статті отримано аналітичним шляхом, експериментальні дослідження плануються у майбутньому. Розглянуто два основних типи безканального прокладання, аналітично розраховано величини термічного опору труб і ґрунту при різних способах прокладання. Промодельовано і графічно відображено залежність значення термічних опорів ґрунту та умовного термічного опору взаємного впливу трубопроводів для труби  $d/D=100/200$  при заглиблені на 1 м залежно від теплопровідності (вологості) піску. Аналітично виявлено значення термічного опору взаємного впливу трубопроводів в залежності від відстані між осями трубопроводів при двотрубному прокладанні. Також визначено значення питомих теплових втрат трубопроводами в мокрому піску і в лотку з сухим піском і мокрому ґрунті.

### Результати та обговорення

Основним способом прокладання труб типу СТ/ПЕ є безканальне прокладання на піщану подушку товщиною не менше 100 мм з усіх боків трубопроводу. Такий підхід використовується для вирівнювання сил тертя між оболонкою і ґрунтом. На території окремих підприємств, як то школи, ліцеї, дитячі дошкільні заклади, лікарні трубопроводи теплових мереж повинні прокладатися в герметичних бетонних лотках для унеможливлення витоків теплоносія. Такий спосіб прокладання, окрім того, що убезпечує дітей або пацієнтів вищеназваних закладів від контакту з теплоносієм у випадку аварії, ще і дозволяє значно скоротити теплові втрати мереж, так як піщана подушка, що розташована у лотку не намокає від атмосферної вологи, а відповідно, має високі теплоізолюючі властивості (рис 1). В усіх інших випадках допускається безпосереднє розміщення трубопроводів у ґрунті, що значно прискорює процес монтажу і полегшує ремонтні роботи. Незважаючи на те, що труби виготовляються в заводських умовах і є вже попередньо ізольованими тепловтрати від них до ґрунту все одно наявні і варіюються в широких межах в залежності від глибини закладання, взаємного впливу труб, вологості піску, стану теплової ізоляції і поліетиленової оболонки.

Для підвищення енергоефективності теплових мереж у напрямку зменшення тепловтрат у ґрунт нами пропонується дослідити основні складові цих теплових втрат і проаналізувати їх вплив на загальний результат. Термічний опір теплоізоляційної оболонки труб визначається за формулою (1) з врахуванням всіх шарів, окрім самої сталевих труби, термічним опором якої можна знехтувати [26].

$$R_{iz} = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda_{iz}} \ln \frac{d_2}{d_1} \quad (1)$$

де:  $\lambda_{iz}$  – теплопровідність шару ізоляції, Вт/(м×С);  $d_2/d_1$  – внутрішній і зовнішній діаметри шару теплової ізоляції, м. В теплових розрахунках приймають теплопровідність поліетилену високої густини  $\lambda_{пв}=0,43$  Вт/(м×С); теплопровідність спіненого пінополіуретану  $\lambda_{пу}=0,035$  Вт/(м×С).

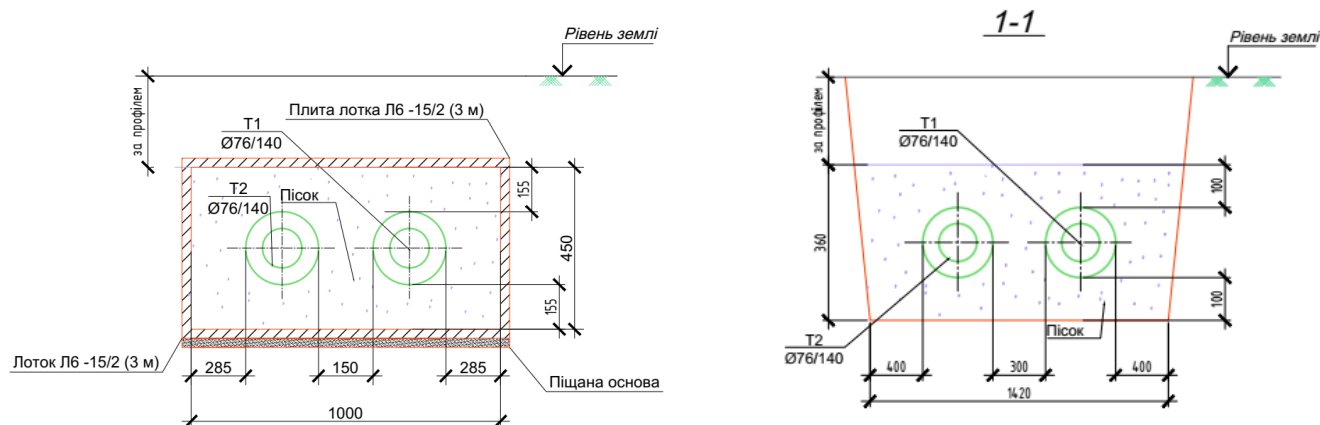


Рисунок 1 – Поперечні розрізи теплових мереж при різних способах прокладання: у лотку та у піщаній подушці, безканально у піщаній подушці

Значний вплив на енергоефективність теплових мереж має термічний опір ґрунту, який, в свою чергу, залежить від вологості. Для піску рівень вологості прийнято варіювати в межах від 0% - абсолютно сухий пісок до 30% - вологий пісок. Термічний опір ґрунту визначається за формулою (2) [26]:

$$R_{gr} = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda_{gr}} \ln \left[ \frac{2h_0}{D_{pe}} + \sqrt{\frac{4h_0^2}{D_{pe}^2} - 1} \right]$$

де  $\lambda_{gr}$  – теплопровідність ґрунту при даній вологості, Вт/(м×С);  $h_0$  – величина заглиблення від поверхні землі до поверхні теплової ізоляції трубопроводу, м;  $D_{pe}$  – зовнішній діаметр трубопроводу з тепловою ізоляцією. На рисунку 2 наведено графічні залежності термічних опорів ґрунту і опору взаємного впливу в залежності від значення коефіцієнту теплопровідності ґрунту, який в свою чергу залежить від його вологості. Як видно з рис. 2 найвищого значення набувають термічні опори для абсолютно сухого піску, теплопровідність якого дорівнює 0,15 Вт/(м×С). Розрахунки виконано для трубопроводу СТ/ПЕ діаметром 100/200 мм для величини заглиблення 1 м. Найбільше значення опору складає близько 2,7 м×С/Вт, найменше 0,15 – різниця у зв'язку з намоканням піску у 18 раз.

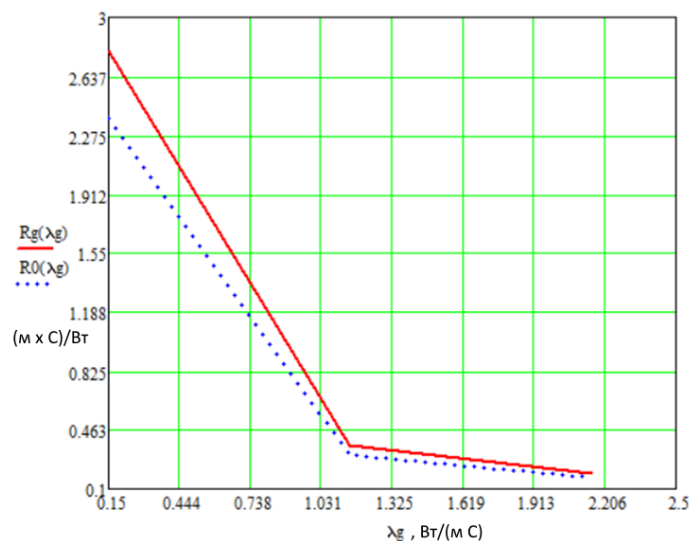


Рисунок 2 – Значення термічних опорів ґрунту та умовного термічного опору взаємного впливу трубопроводів для труби  $d/D=100/200$  при заглибленні на 1 м залежно від

Важливим аспектом енергоефективності теплових мереж при підземному прокладанні є взаємний тепловий вплив трубопроводів один на одного, що відображається у вигляді додаткового умовного опору  $R_0$ , який визначається за формулою (3) [26].

$$R_0 = \frac{1}{2 \times \pi \times \lambda_{gr}} \ln \sqrt{1 + \left( \frac{2 \times h_0}{A} \right)^2} \quad (3)$$

де  $A$  – відстань між осями трубопроводів при двотрубному прокладанні, м.

Зазвичай відстань  $A$  варіюється (в залежності від діаметра трубопроводу) у межах  $A=0,175 \dots 1,0$  м, але в окремих випадках може бути більшою. Для труб СТ/ПЕ взаємний вплив температурних полів виражений у вигляді додаткового умовного термічного опору  $R_0$  в діапазоні варіювання відстані  $A$  від 0,2 до 1,2 м наведено на рисунку 3. Як видно з рис 3, взаємний вплив труб є лінійно залежним від відстані між трубами і складає при мінімально допустимому значенні  $A=0,2$  м  $R_0 = 0,28$  м $\times$ С/Вт, при відстані  $A=1,18$  м -  $R_0 = 0,08$  м $\times$ С/Вт. Таким чином, нехтувати взаємним впливом трубопроводів не можна і потрібно їх розташовувати на максимально нормативно допустимій близькій відстані один від одного. У даному випадку у більш «виграшній» позиції є труби малих діаметрів, так як вони можуть максимально близько розташовуватися один біля одного. Зі зростанням діаметрів міжосьова відстань росте навіть при дотриманні мінімальної допустимої відстані між стінками трубопроводів у 200 мм.

Але величина термічного опору  $R_0$  є значимою для розрахунків за умов «звичайної» експлуатації, тобто у вологому ґрунті. За таких умов термічний опір ґрунту буде знаходитися в діапазоні від 0,1 до 0,5 м $\times$ С/Вт, що співрозмірно за величиною зі значеннями умовного термічного опору взаємного впливу трубопроводів.

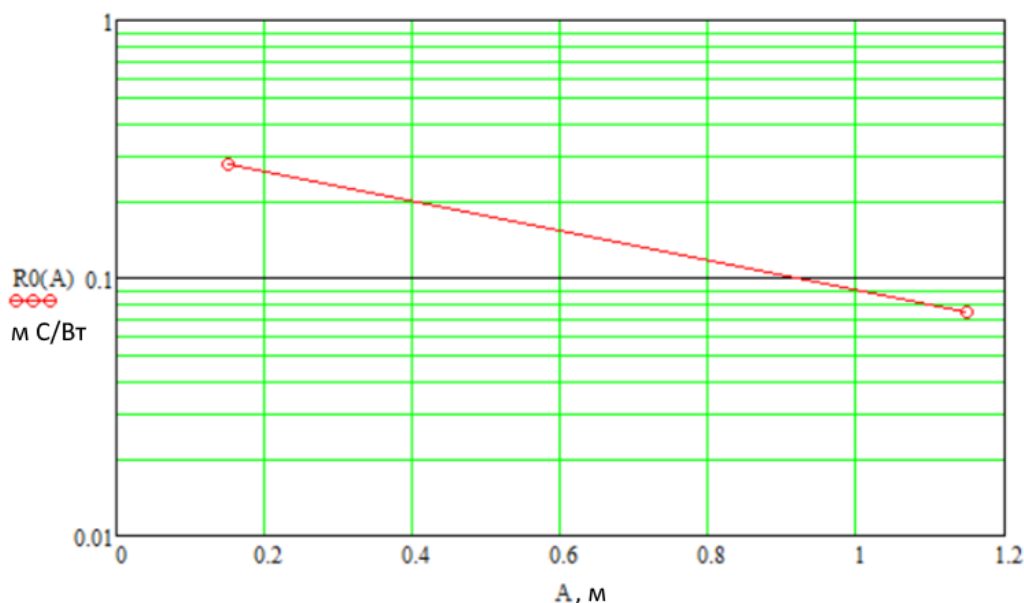


Рисунок 3 – Значення термічного опору взаємного впливу трубопроводів в залежності від відстані  $A$  між осями трубопроводів при двотрубному прокладанні

Величина питомих теплових втрат СТ/ПЕ залежить від термічного опору ґрунту, опору взаємного впливу і термічного опору теплової ізоляції, а також від температур подачі і зворотної води. Здійснивши розрахунок питомих теплових втрат для труби СТ/ПЕ 100/200, яка розташована на глибині 1 м до верху теплоізоляції в мокрому піску ) і в лотку з сухим піском і мокрому ґрунті, визначимо, що графічно залежність теплових втрат від температури подачі може бути зображена наступним чином (рис. 3). При цьому температуру зворотної води приймаємо сталою і рівною 70 °С.

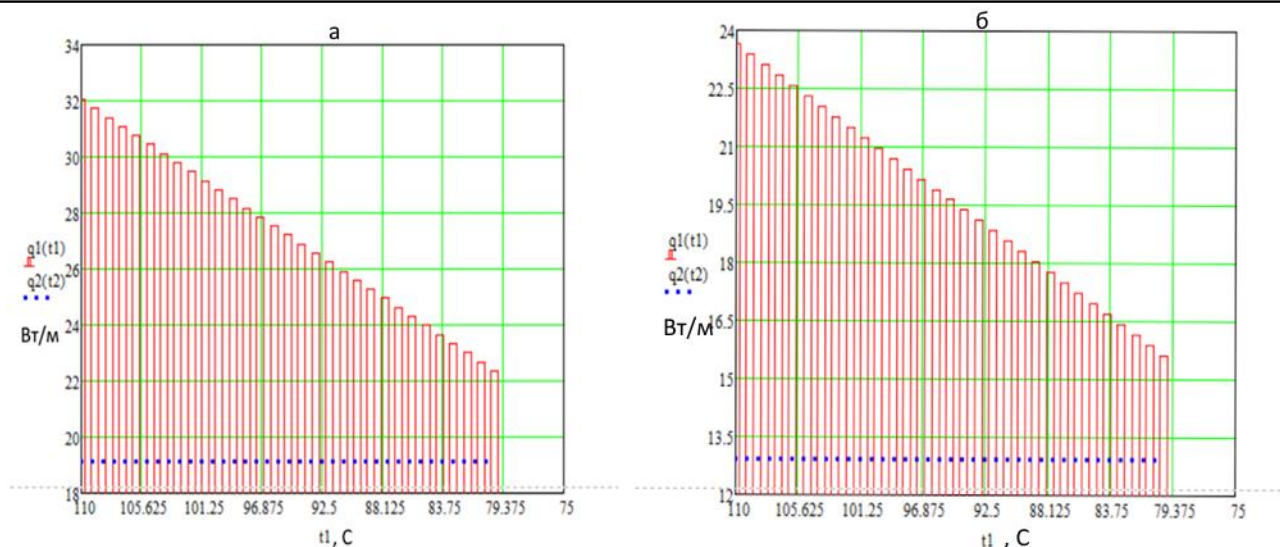


Рисунок 4 – Значення питомих теплових втрат трубопроводами СТ/ПЕ 100/200 при відстані  $A=0,2$  м в мокрому піску (а) і в лотку з сухим піском і мокрому ґрунті (б) при величині  $h_0=1,0$  м в залежності від температури подачі

Стовпчиками зображено графічну залежність зменшення питомих тепловтрат при зниженні температури подачі від  $110\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Як видно зменшення температури води на  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  зменшує питомі тепловтрати для подаючого теплопроводу на  $10\text{ Вт/м}$ , при цьому питомі тепловтрати у зворотному теплопроводі є сталими і дорівнюють  $19,5\text{ Вт/м}$  в мокрому піску і  $12,8\text{ Вт/м}$  в сухому лотку. Зменшення тепловтрат при прокладанні трубопроводів у гідроізованих лотках складає для даного випадку близько  $15\text{ Вт/м}$  для обох труб.

Таким чином з позиції енергоефективності найсуттєвішими чинниками зменшення питомих тепловтрат з поверхні теплоізованих труб при безканальному прокладанні є вологість ґрунту і піску навколо труб, їх взаємне розташування і температура подачі.

### Висновки

У статті розглянуто шляхи підвищення енергоефективності теплових мереж з позиції зменшення питомих тепловтрат трубопроводів при безканальному прокладанні попередньо ізованих труб. Виявлено, що одним з суттєвих чинників теплових втрат є вологість піску навколо труб, запропоновано з метою підвищення термічного опору ґрунту використовувати спосіб прокладання труб СТ/ПЕ в непрохідних каналах (лотках) з підвищеною гідроізоляцією не тільки в місцевостях, де це нормативно необхідно, але і при звичайному прокладанні. Певне збільшення вартості капітальних витрат на бетонні лотки і гідроізоляцію дозволяє зменшити питомі тепловтрати трубопроводів на  $8\text{ Вт/м}$  в подавальному і на  $7\text{ Вт/м}$  у зворотному трубопроводах, що є співставним зі зменшенням теплових втрат шляхом зменшення температури води, але що не завжди є технічно і економічно доцільним. Прокладання теплопроводів СТ/ПЕ з високотемпературним теплоносієм (вище  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) в непрохідних каналах (лотках) з підвищеною гідроізоляцією і піщаною подушкою є раціональним рішенням не тільки з позиції енергозбереження, але і безпеки експлуатації.

### REFERENCES

1. Wenbo Jin, Feng Xiao, Baifan Zhang (2024) *Heat supply pipeline detection based on temperature gradient data of shallow ground*, Journal of Applied Geophysics, Volume 220.
2. Chuanmin Tai, Guansan Tian, Wenjun Lei (2023) *A novel district heating system based on absorption heat exchange and water-heat combined supply*, Case Studies in Thermal Engineering, Volume 51
3. Fuqiang Liu, Chongfang Song, Wuxuan Pan, Guowei Wang, Huijie Zhang, Yonggang Lei (2024) *Thermal fatigue analysis of district heating pipeline under variable frequency regulation of circulating water pump*, Applied Thermal Engineering, Volume 242
4. Ronghua Wu, Jiyu Lin, Hao Yu, Yuanyuan Sun, Long Xu, Xiaona Yu (2024) *Clean energy pipeline energy storage system and its economy*, Case Studies in Thermal Engineering, Volume 59.
5. Fariha Niaz, Yusuf Bicer, Luai El-Sabek, Abdulkarem I. Amhamed (2024) *Thermodynamic analysis of pavement roads underground heat harvesting through water pipelines for effective management of urban heat island effect integrated to space cooling applications*, Case Studies in Thermal Engineering, Volume 58.
6. Magdalena Barnette, Luis F. González-Portillo, Javier Muñoz-Antón, Rubén Abbas, Mercedes Ibarra, Rubén Barbero, Antonio Rovira (2023) *Analysis of the thermal inertia of pipelines in SHIP*,
7. Results in Engineering, Volume 17.

8. 7. Saleh S. Meibodi, Simon Rees, Fleur Loveridge (2024) *Modeling district heating pipelines using a hybrid dynamic thermal network approach*, Energy, Volume 290
9. 8. Yongli Wang, Huanran Dong, Kaiwei Ma, Hui Wang, Jihui Zhang (2024) *Multi frequency stability optimization of integrated energy systems considering virtual energy storage characteristics of heating networks*, Applied Thermal Engineering, Volume 257, Part A.
10. 9. Karp I.M. and others (2022). The state and ways of development of centralized heat supply systems in Ukraine. K.: Scientific opinion.
11. 10. Kyzima M. O., Kotlyarova E. I. (2021) (Eds) *Heat supply of large cities of Ukraine: current state and directions of modernization*: col. monograph Kharkiv: FOP Liburkina.
12. Babak V.P., Kovtun S.I., Dekusha L.V. Ed. (2022) *Metrology of heat flux measurements* Institute of Engineering Thermophysics of the NAS of Ukraine. Kyiv: Akademperiodyka.
13. Kovalko O.M., Kovalko N.M., Yevtukhova T.O., Novoseltsev O.V. (2023) *Communal heat engineering: energy efficiency, structure of management, energy services* Kyiv.: NAS of Ukraine, Institute of General Energy.
14. Capone M, Guelpa E, Verda V (2019) *Optimal operation of district heating networks through demand response*. Int J Thermodyn 22(1).
15. Hall R., O'Brien K.R., S. Kenway, F.A. Memon, (2024) *Heat loss from non-circulating domestic hot water pipes increases water consumption and energy demand*. Resources, Conservation and Recycling, Volume 206.
16. Braas, H., Jordan, U., Best, I., Orozalieva, J., Vajen, K., (2020). *District heating load profiles for domestic hot water preparation with realistic simultaneity using DHWcalc and TRNSYS*. Energy 201
17. Xingli Chen, Ling Ren, Qiang Zheng, Gang Yang, Nevzat Akkurt, Lin Liu, Zhiwei Liu, Yujie Qiang, Huachao Yang, Qian Xu, Yulong Ding *Heat loss optimization and economic evaluation of a new fourth generation district heating triple pipe system* Applied Thermal Engineering Volume 233
18. Mengke Jing, Shujie Zhang, Lisong Fu, Guoquan Cao, Rui Wang (2023), *Reducing heat losses from aging district heating pipes by using cured-in-place pipe liners*, Energy Volume 273.
19. Qian Xu, Kang Wang, Zhenwei Zou, Liqiong Zhong, Nevzat Akkurt, Junxiao Feng, Yaxuan Xiong, Jingxiao Han, Jiulong Wang, Yanping Du (2021) *A new type of two-supply, one-return, triple pipe-structured heat loss model based on a low temperature district heating system* Energy, Volume 218.
20. Mohammad Jafari (2024) *An innovative tetramorous heat blade device for double pipe heat exchangers: An experimental study*, Applied Thermal Engineering, Volume 257
21. Pauli Hiltunen, Anna Volkova, Eduard Latõšov, Kertu Lepiksaar, Sanna Syri, *Transition towards (2022) university campus carbon neutrality by connecting to city district heating network*, Energy Reports, Volume 8.
22. Eftim Popovski, Ali Aydemir, Tobias Fleiter, Daniel Bellstädt, Richard Büchele, Jan Steinbach (2019) *The role and costs of large-scale heat pumps in decarbonising existing district heating networks – A case study for the city of Herten in Germany*, Energy, Volume 180
23. Paige Wenbin Tien, Yuan Feng, Mark Worall, Serik Tokbolat, Rabah Boukhanouf, John Calautit, Jo Darkwa (2024), *Potential use of district heating networks and the prospects for the advancements within urban areas of Nottingham as a case study*, Energy Reports, Volume 12
24. Han Xu, Lu Zhang, Xuanbo Wang, Baocheng Han, Zhengyuan Luo, Bofeng Bai (2024) *Improved genetic algorithm for pipe diameter optimization of an existing large-scale district heating network*, Energy, Volume 304
25. Guang Yang, Dinghuang Xing, Hai Wang (2024) *Leak localization in District Heating Networks integrating physical model-based and data driven-based methods: Impact of dataset construction on model performance*, Energy, Volume 308
26. Amir Rafati, Hamid Reza Shaker (2024) *Predictive maintenance of district heating networks: A comprehensive review of methods and challenges* Thermal Science and Engineering Progress, Volume 53
27. DSTU-N B V.2.5-35:2007 *Heat networks and hot networks water supply with use pre-insulated pipelines design guidelines installation, acceptance and operation*. (2008), Ministry of regional construction of Ukraine.

**Джеджула В'ячеслав Васильович** — доктор економічних наук, професор, енергоаудитор, сертифікований інженер проєктувальник, кафедра Будівництва, міського господарства та архітектури Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, email: [djedjulavv@gmail.com](mailto:djedjulavv@gmail.com), ORCID 0000-0002-2740-0771

**V. Dzhezdzhula**

## INFLUENCE OF PIPELINE INSTALLATION AND OPERATION FEATURES ON THE ENERGY EFFICIENCY OF HEATING NETWORKS

Vinnitsia national technical university

Heating supply systems are currently widely used to transport heat from sources to consumers. In new construction and network reconstruction, pre-insulated pipelines—either steel or plastic pipes in polyurethane foam insulation and polyethylene or steel casing—are the most common. These pipes are generally installed in a trenchless manner and, despite reinforced thermal insulation, still lose some heat from the heat carrier. Since these pipes have a standard economically justified thickness of thermal insulation, efforts to reduce heat losses need to focus on the areas of pipeline installation and operation. The amount of heat loss depends on the installation method of the pipes. This paper examines methods of installing heating networks using pre-insulated pipes, studies methodologies for calculating heat loss from the pipe casing to the ground, presents calculation results of heat loss depending on pipeline burial depth, and provides key energy-efficiency recommendations regarding specific features of heating network installation. An analysis of literature sources reveals that key



*factors affecting heat loss in heating networks include the moisture content of the sand and soil around the pipe, the mutual influence of adjacent pipelines, burial depth, and insulation thickness. The study examines the impact of pipe layout in a trench on heat loss. It was found that installation in non-accessible channels, while increasing capital costs, reduces specific heat loss by 8 W/m in the supply pipe and 7 W/m in the return pipe. This reduction is comparable to the heat loss decrease achieved by lowering water temperature, though not always technically or economically feasible. The trench installation of steel/polyethylene pipelines with high-temperature heat carriers in non-accessible channels with enhanced waterproofing and sand padding is a rational solution for energy savings as well as operational safety.*

**Keywords:** heating supply, trenchless installation, heat loss modeling, pre-insulated pipes, energy efficiency

**Dzhedzhula Viacheslav** – Doctor of Economics, Professor, Energy Auditor, Certified Design Engineer, Department of Construction, Urban Economy, and Architecture Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, email: djedjulavv@gmail.com, ORCID 0000-0002-2740-0771