

УДК 697.3.4

Дослідження опалювальних приладів на основі фазового переходу першого роду

Ю. О. Поденежко¹, М. А. Кириченко², Н. В. Чепурна³, В. В. Чепурний⁴

¹студ. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, format21@bigmir.net

²к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, kirichenko-m@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3651-3153

³к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, chepurnayanv@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8044-7563

⁴ст. викл. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, chepurnovvv@ukr.net

Анотація. Нові розробки, орієнтовані на економію витрат для обігріву будинку, все більше привертають до себе увагу. Розробка високоефективних радіаторів опалення, що задовольняють вимогам сучасних інженерних систем, а саме: економічності, ефективності, швидкому рівномірному нагріву всієї поверхні, зручності монтажу та експлуатації, невисоким затратам на виготовлення та довговічності – є основним напрямком у проектуванні опалювальних приладів. Останні роки в системах опалення міст України набувають поширення опалювальні прилади на основі фазового переходу першого роду. У літературі та Інтернет-ресурсах зустрічається інша назва опалювальних приладів на основі фазового переходу першого роду – вакуумні радіатори. З внутрішньої порожнини секційної конструкції повністю викачане повітря. Зроблено це для того, щоб знизити тиск і, відповідно, зменшити температуру випаровування вторинного теплоносія. Робота вакуумного радіатора побудована за принципом функціонування герметичного двофазного термосифона. Їх можна використовувати як для централізованих систем опалення, так і для автономних. З приводу доцільності використання вакуумних радіаторів існують суперечливі думки, тому їхнє підтвердження або спростування потребує ґрунтовних досліджень. У даній роботі представлені результати експериментальних досліджень опалювального приладу на основі фазового переходу першого рівня. Вторинним теплоносієм є рідина з низькою температурою кипіння. Досліджено роботу опалювального приладу, визначено теплову потужність при різній температурі теплоносія. Проведено порівняння з традиційними сталевими та алюмінієвими опалювальними приладами. Особливу увагу приділено дослідженням вакуумних радіаторів з точки зору теплообміну. Виявлено основні переваги та недоліки даного опалювального приладу. Визначені шляхи подальшого дослідження даних типів опалювальних приладів.

Ключові слова: опалення, опалювальний пристрій, вакуумний радіатор, теплова потужність, вторинний теплоносій.

Вступ. Економія витрат на обігрів будинку все більше привертає до себе увагу і є одним із найголовніших пріоритетів у енергетичній безпеці України.

Розробка високоефективних радіаторів опалення, що задовольняють вимогам сучасних інженерних систем, є одним із основних напрямків проектування опалювальних приладів. На даний час існує широкий спектр класичних нагрівальних пристроїв, що здатні забезпечити комфорт у різноманітних приміщеннях.

До класичних опалювальних приладів відносяться сталеві панельні радіатори, алюмінієві радіатори, біметалеві радіатори тощо. На ринку представлений широкий модельний ряд відомих виробників як вітчизняного виробництва, так і іноземного.

Перспективним напрямком проектування опалювальних приладів є розробка високоефективних радіаторів опалення, що будуть задовольняти вимогами сучасних інженерних систем, а саме:

- економічності;
- ефективності;

- швидкому (мала інерційність) і рівномірному нагріву всієї поверхні;
- зручності монтажу та експлуатації;
- невисоким затратам на виготовлення;
- довговічності.

Останні роки в системах опалення міст України набувають поширення опалювальні прилади на основі фазового переходу першого роду (вакуумні радіатори). Стосовно доцільності використання вакуумних радіаторів існують суперечливі думки.

Отже, постало питання ґрунтовних досліджень та перспективних розробок опалювального приладу на основі фазового переходу першого роду.

Актуальність дослідження. В умовах постійного зростання цін на енергоносії постає питання щодо розробки й удосконалення ефективності опалювальних приладів з метою скорочення витрат теплоенергоресурсів, підвищення економічності, ефективності, швидкого рівномірного нагріву всієї поверхні, зручності монтажу та експлуатації, зниження затрат на виготовлення та підвищення довговічності опалювальних пристроїв.

Останні дослідження та публікації. У наш час у централізованих і автономних системах опалення широко використовуються традиційні сталеві та алюмінієві опалювальні прилади. Результати досліджень та використання даних опалювальних приладів широко висвітлене в довідкових джерелах [1,2,8,13,14,15].

Лінійка вакуумних приладів [16] має виробити, створені для електричного опалення, вакуумні реєстри та панельні радіатори.

У моделях [6,12,16] вакуумних радіаторів горизонтально розташованим каналом проходить теплоносій (вода) від центральних, або автономних систем опалення. Вона нагріває вторинний теплоносій. Останній передає теплоту до повітря приміщення крізь зовнішні стінки опалювального приладу.

У моделях вакуумного електричного радіатора [16] замість горизонтально розташованого каналу з теплоносієм встановлено ТЕН патронного типу. Цей нагрівач передає теплоту заповнювачу – маслу або воді, – що є вторинним теплоносієм.

Формулювання цілей статті. Провести дослідження опалювальних приладів, що працюють на основі фазового переходу першого роду. Визначити основні параметри таких опалювальних приладів та порівняти їх з традиційними. Встановити переваги та недоліки опалювальних приладів нового зразка. На підставі проведених досліджень запропонувати лінійку опалювальних приладів на основі фазового переходу першого роду (вакуумні радіатори).

Дослідна установка. Експериментальні дослідження проводилися на кафедрі теплотехніки та енергозбереження Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» та у випробувальному центрі ДП Сертифікаційний випробувальний центр опалювального обладнання, кафедрі теплотехніки Київського національного університету будівництва і архітектури. Випробувальні стенди вакуумного радіатора наведені на рис. 1.

Радіатор опалення, що працює на принципі фазового переходу першого рівня (випаровування-конденсація), є металевою конструкцією, що складається з основних елементів, наведених на рис. 2. Сталевою трубою 1 подається нагрітий теплоносій від генератора теплоти (первинний теплоносій). Вторинний теплоносій знаходиться в нижній частині герметичної конструкції 2 у вигляді вертикальних секцій трубчастого або пластинчастого типу. Він має низьку температуру кипіння.



Рис. 1. Випробувальні стенди вакуумного радіатора: а) пластинчастого типу; б) трубчастого типу.

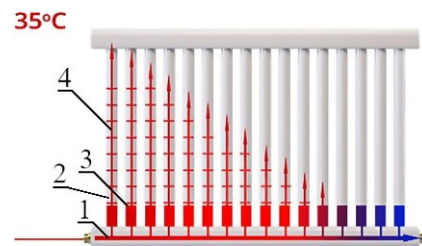


Рис. 2. Конструкція опалювального пристрою: 1 – сталевая труба для первинного теплоносія; 2 – герметична тепловіддавальна конструкція; 3 – вторинний теплоносій у рідкій фазі; 4 – пара вторинного теплоносія

У даних дослідах використовується дихлорметан (метиленхлорид, фреон – 30, CH_2Cl_2). Його температура кипіння за нормальних умов становить $38,1^\circ\text{C}$.

Принцип роботи опалювального приладу. Первинний теплоносій з заданою в системі опалення температурою надходить до опалювального приладу від генератора теплоти. При проходженні первинного теплоносія крізь опалювальний пристрій відбувається передача теплоти від первинного теплоносія вторинному. При цьому не відбувається їхнє перемішування. Вторинний теплоносій знаходиться у вакуумі, що знижує температуру його кипіння до 35°C . При кипінні вторинний теплоносій випаровується та підіймається у формі пари внутрішньою частиною герметичної конструкції. На внутрішні стінки конструкції відбувається конденсація пари вторинного теплоносія. Конденсат сті-

кає до нижньої частини опалювального пристрою, де процес повторюється знову.

Результати досліджень. Дослідження проводилися на двох моделях з трубчастими та пластинчастими вертикальними секціями.

Поверхня опалювального пристрою нагрівається одночасно та рівномірно. Рівномірне нагрівання поверхні відбувається навіть при низькій температурі первинного теплоносія, оскільки випаровування вторинного теплоносія починає відбуватися за температури 35 °С. При цьому швидкість нагрівання поверхні досліджуваного опалювального пристрою значно перевищує швидкість нагрівання поверхні класичних радіаторів опалення. Променева складова передачі теплоти є основною при роботі опалювального приладу на основі фазового переходу першого роду. Під час експериментальних досліджень проводилася тепловізійна зйомка поверхонь опалювальних приладів (рис.3).

Крім цього, були проведені експериментальні дослідження для визначення та порівняння теплових потоків різних типів опалювальних приладів (табл.1).

Для визначення фактичного теплового потоку який передається повітрю, використовувалася теплова камера з внутрішньою циркуляцією повітря і теплоізоляцією огорожувальних конструкцій. Проводилися заміри температури на поверхні огорожувальних конструкцій і температури повітря в камері. Для радіатора рис. 1. а), заввишки 575 мм, завдовжки 975 мм, з оребренням 495x40x20 (НхШхВ), кількості колонок 16 шт., були отримані наступні дані (табл. 2, рис. 4). За стандартною формулою розрахунку опалювальних приладів теплова потужність залежно від температурного напору $\Delta t_m, K$

$$Q \sim \Delta t_m^{1+n}, \quad (1)$$

де n – параметр степеня температурного напору. За результатами проведених експериментів за методом найменших квадратів отримано $n = 0,78$ (коефіцієнт пропорційності 1,279

при витраті теплоносія 144,5 кг/год). При цьому отримано практично ідеальний збіг експериментальних та апроксимаційних даних (рис. 4). Для визначення степеня при витраті теплоносія, кг/год, та інших параметрів необхідно виконати експерименти при різній витраті теплоносія.

Висновки. На основі проведених експериментів та отриманих даних можна зробити наступні висновки: проведені експериментальні дослідження дозволяють провести порівняльний аналіз відносно інших (традиційних) опалювальних приладів. Відповідно до отриманих даних провести обґрунтування використання даних типів радіаторів в системах опалення.

Опалювальний пристрій, що працює на основі принципу випаровування та конденсації вторинного теплоносія мають свої переваги і недоліки, порівняно з традиційними радіаторами опалення. До основних переваг можна віднести швидкий та рівномірний нагрів усієї поверхні, значна променева складова передачі теплоти, яка є основною, значно менша кількість теплоносія в системі опалення, низький гідравлічний опір опалювального приладу, відсутність повітряних пробок, простота встановлення, відсутність корозії та засмічування. До недоліків даних опалювальних пристроїв можна віднести складність конструкції, необхідність використання вторинного теплоносія, підвищені вимоги до обробки матеріалів, складність технологічного процесу виготовлення.

Перспективи подальших досліджень. Необхідно провести додаткові експериментальні дослідження в різних режимах роботи, науково обґрунтувати та описати процеси теплообміну.

На основі запропонованих конструкцій вакуумних радіаторів (трубчастого та пластинчастого типів) розробити лінійку типорозмірів для запровадження у виробництво для подальшого його використання в системах опалення.

Література

1. Богословский В. Н. Отопление: учебник для вузов / В. Н. Богословский, А. Н. Сканава. – Москва: Стройиздат, 1991. – 735 с.
2. Сканава А. Н. Отопление / А. Н. Сканава, Л. М. Махов. – Москва: МГСУ. – 2006.
3. Савельев И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев. – Москва: Наука, 1970. – 510 с.
4. Энергосбережение в системах теплоснабжения, вентиляции и кондиционирования воздуха: Справ. пособие / Л.Д. Богуславский, В.И. Ливчак, В.П. Титов и др.; под. ред. Л.Д. Богуславского, В.И. Ливчака. – Москва: Стройиздат, 1990. – 624 с.

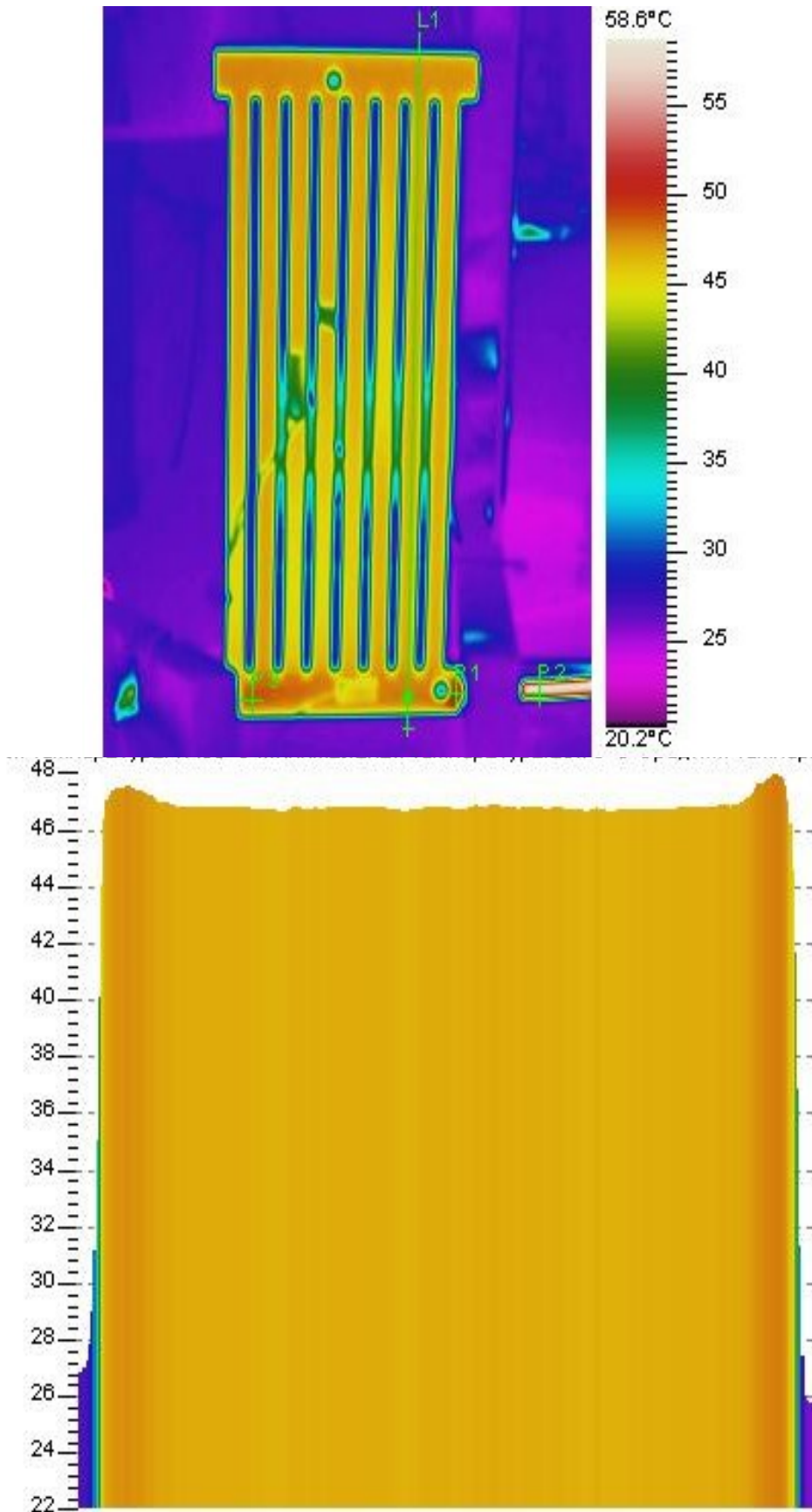


Рис.3. Термограми для опалювального приладу трубчастого типу: мінімальна температура 25,73 °С; середня температура 45,64 °С; максимальна температура 47,96 °С;

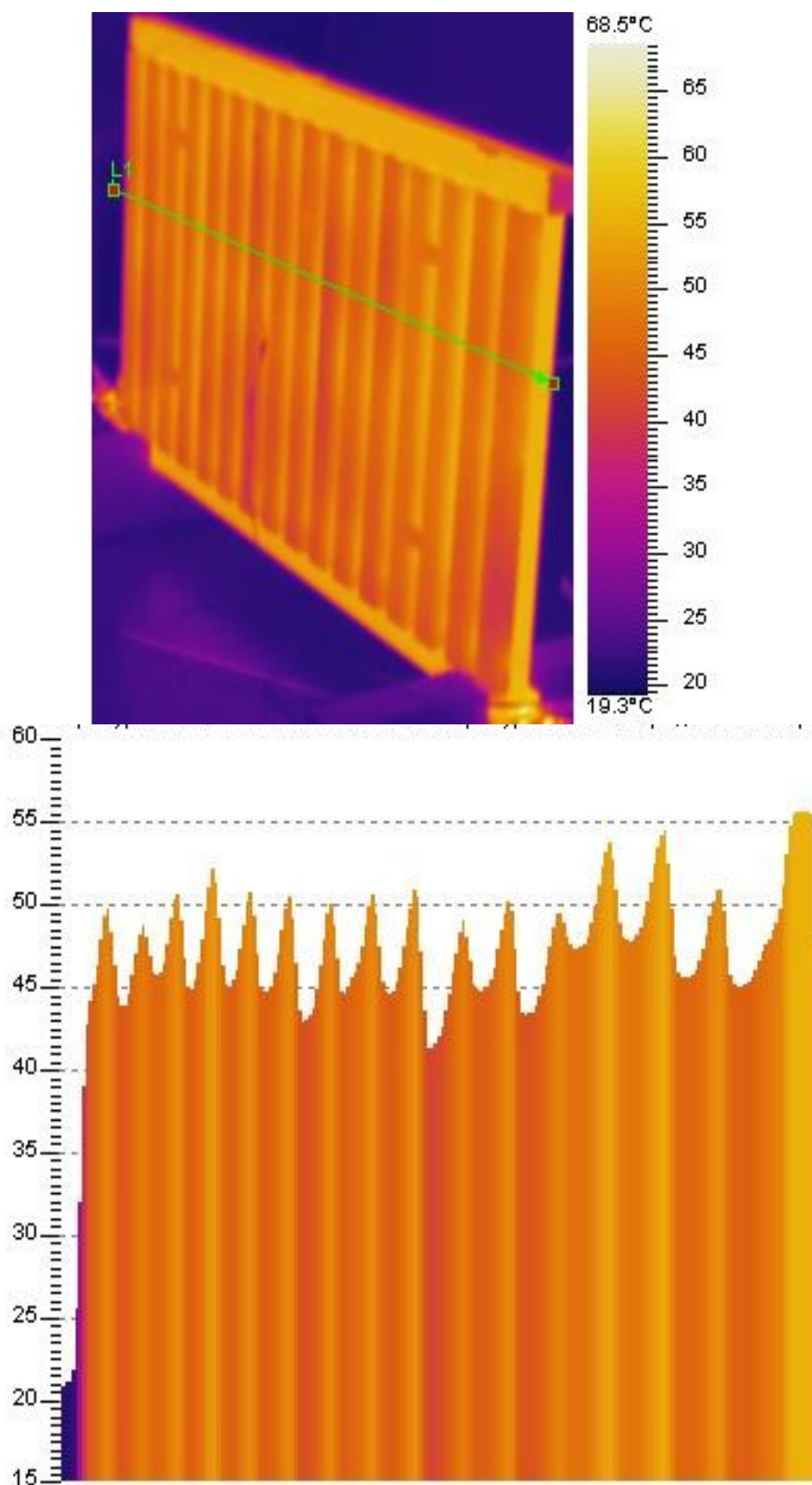


Рис.4. Термограми для опалювального приладу пластинчастого типу: мінімальна температура 20,72 °С; середня температура 46,72 °С; максимальна температура 55,59 °С;

Порівняння теплових потоків різних типів опалювальних приладів

№	Найменування	Площа секції, м ²	Температурний напір між первинним теплоносієм і повітрям			
			30 °С		40 °С	
			Тепловий потік однієї секції, Вт	Тепловий потік з квадратного метра поверхні нагріву, Вт	Тепловий потік однієї секції, Вт	Тепловий потік з квадратного метра поверхні нагріву, Вт
1	Вакуумний радіатор	всієї 0,33	75	227,8	130	410
2	Алюміній 85 Summer/Еkvator	0,3044	90	308,8	120	384,4
3	Біметал 96 MIRADO (алюміній)	0,4008	110	292	135	349,3
4	Біметал 76 Summer/Еkvator, Bitherm	0,3114	78	266,5	95	321,1
5	36 MIRADO, біметал	0,3980	105	268,8	125	324,1
6	«Bitherm» алюмінієвий	0,297	60	202,0	80	269,4
7	«Bitherm» біметалічний	0,2818	60	202,9	79	280,3

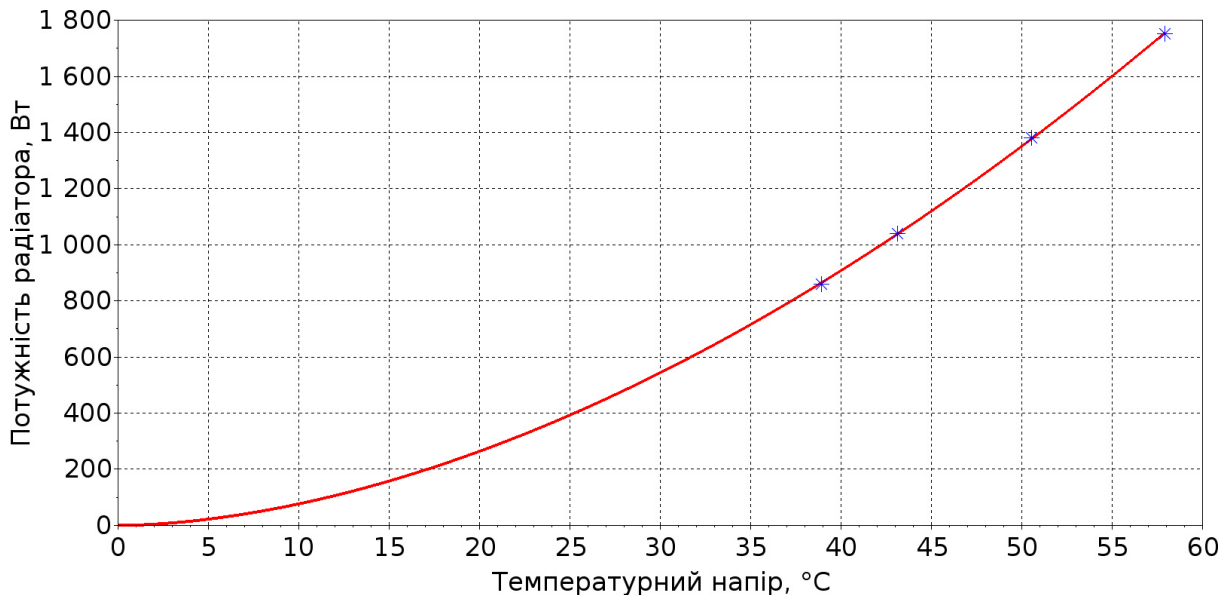


Рис. 4. Експериментальна теплова характеристика вакуумного радіатора при витраті теплоносія 144,5 кг/год: зірки – дослідні дані; суцільна лінія – апроксимація при параметрі $n = 0,78$

5. Внутренние санитарно-технические устройства. Ч. 1. Отопление / В. Н. Богословский, Б. А. Крупнов, А. Н. Сканава и др.; Под ред. И. Г. Старовойра и Ю. И. Шиллера. – Москва: Стройиздат, 1990. – 344 с.
6. Поденежко Ю. Опалювальний пристрій на основі фазового переходу першого рівня / Ю. Поденежко // Conference proceedings international scientific-practical conference of young scientists "BUILD-MASTER-CLASS-2018", November 2018, Kyiv, Ukraine. – с. 298-299.
7. Власенко А. С. Интенсификация теплообменных процессов в аппаратах теплоэнергетики / А. С. Власенко, Э. Д. Сергиевский // Тезисы докладов 5-й научной школы-конференции «Актуальные вопросы теплофизики и физической гидрогазодинамики». Алушта. Украина. 2007.
8. Зайцев О. Н. Проектирование систем водяного отопления / О. Н. Зайцев., А. П. Любарец. – Вена-Киев-Одесса, 2008.
9. Пухкал В. А. Исследование инерционности отопительных приборов / В. А. Пухкал // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15191>
10. Пирков В. В. Особливості проектування сучасних систем водяного опалення / В. В. Пирков. – Київ: Такі справи, 2003. – 176 с.
11. Пирков В. В. Danfoss: Одно- і двотрубні системи водяного опалення – гідравлічні і економічні відмінності / В. В. Пирков // Ринок інсталяційний. – 2004. – №3. – С. 46-47.

12. Пат. 108855 Україна МПК(2016.01) B21D 53/02, H05B 1/00, B60H 1/06 Опалювальний пристрій, що працює за рахунок фазового переходу першого рівня випаровування/конденсації / Вознюк В. Т., Бабенко К. С., Поденежко Ю. О. – № у 2016 05952; заявл. 01.06.2016; опубл. 25.07.2016 бюл. №14. – 5 с.
13. СТО НП «АВОК» 4.2.2–2006. Радиаторы и конвекторы отопительные. Общие технические условия. – Москва: АВОК–ПРЕСС, 2006.
14. Отопительные приборы Kermi // truba.ua URL: <http://www.truba.ua/>
15. Украинский рынок радиаторов. Обзор 31.07.2006. Юлия Захаренко-Березянская <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/463/>.
16. Вакуумные радиаторы отопления: обзор видов, правила выбора + технология монтажа [Электронный ресурс]. – URL: <https://soviet-ingenera.com/otoplenie/radiator-obogrev/vakuumnye-radiatory-otopleniya.html>. – Дата доступа: 29.11.2019

References

1. Bogoslovsky B., Skanavi A. Otoplenie. Stroiizdat, 1991.
2. Skanavi A., Makhov L. Otoplenie. MGSU, 2006.
3. Saveliev I. Kurs obshchei fiziki. Nauka, 1970.
4. Boguslavsky L., Livchak V., Titov V. Energoberezhenie v sistemakh teplosnabzheniia. ventilatsii i konditsionirovaniia vozdukh. Stroyizdat, 1990.
5. Bogoslovsky B., B. Krupnov, Skanavi A., etc .Vnutrenniye sanitarno-tehnicheskiye ustroystva. Ch. 1. Otoplenie. Stroyizdat, 1990.
6. Podenezhko Yu. “Opaliuvalni prystrii na osnovi fazovoho perekhodu pershoho rivnia.” Conference proceedings international scientific-practical conference of young scientists "BUILD-MASTER-CLASS-2018", November 2018, Kyiv, Ukraine. P. 298-299.
7. Vlasenko A., Sergievskii E. “Intensifikatsiia teploobmennykh protsessov v apparatakh teploenergetiki.” Tezisy dokladov 5-i nauchnoi shkoly-konferentsii «Aktualnye voprosy teplofiziki i fizicheskoi gidrogazodinamiki». Alushta. Ukraina. 2007
8. Zaitsev O., Liubarets A. Proektirovanie sistem vodianogo otopleniia. Vienna-Kiev-Odessa, 2008.
9. Pukhkal B. “Issledovanie inertsionnosti otopitelnykh priborov.” Sovremennye problemy nauki i obrazovaniia, 2014. no 5. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=15191>
10. Pyrkov V. Osoblyvosti proektuvannia suchasnykh system vodianoho opalennia. Taki spravy, 2003. 176 p.
11. Pyrkov V. “Danfoss: Odno- i dvotrubni systemy vodianoho opalennia – hidravlichni i ekonomichni vidminnosti.” Rynok instaliatsiinyi. 2004. no 3. P. 46-47.
12. Vozniuk V. T., Babenko K. S., Podenezhko Yu. O. “Opaliuvalni prystrii, shcho pratsiuie za rakhunok fazovoho perekhodu pershoho rivnia vyparovuvannia/kondensatsii.” Patent of Ukraine 108855. 25 June 2016.
13. Radiatory i konvektory otopitelnye. Obshchie tehnicheskie usloviia. STO NP «АВОК» 4.2.2–2006, АВОК–PRESS. 2006..
14. Otopitelnye pribory. truba.ua URL: <http://www.truba.ua/>
15. Ukrainskiy rynok radiatorov. Obzor 31.07.2006. Yuliya Zakharenko-Berezlanskala. <http://www.c-o-k.com.ua/content/view/463/>.
16. Vakuumnyie radiatory otopleniia: obzor vidov, pravila vybora + tekhnologiiia montazha. <https://soviet-ingenera.com/otoplenie/radiator-obogrev/vakuumnye-radiatory-otopleniya.html>

УДК 697.3.4

Исследование отопительных устройств на основе фазового перехода первого уровня

Ю. А. Поденежко¹, М. А. Кириченко², Н. В. Чепурная³, В. В. Чепурной⁴

¹студ. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, format21@bigmir.net

²к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, kirichenko-m@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3651-3153

³к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, CherpurnayaNV@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8044-7563

⁴ст. преп. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, м. Киев, Украина, Cherpurnoyvv@ukr.net

Аннотация. Новые разработки, ориентированные на экономию затрат для обогрева дома, все больше привлекают к себе внимание. Разработка высокоэффективных радиаторов отопления, удовлетворяющих требованиям современных инженерных систем, а именно: экономичности, эффективности, быстрому равномерному нагреву всей поверхности, удобства монтажа и эксплуатации, невысоким затратам на изготовление и долговечности,

является основным направлением в проектировании отопительных устройств. Последние годы в системах отопления городов Украины получают распространение использования отопительных устройств на основе фазового перехода первого уровня. В литературе и интернет ресурсе встречается другое название отопительных устройств на основе фазового перехода первого уровня, а именно – вакуумные радиаторы, и назвали их потому, что из внутренней полости секционной конструкции полностью выкачан воздух. Сделано это для того, чтобы снизить давление и соответственно снизить температуру испарения вторичного теплоносителя. Это обычные отопительные приборы внешне, но совершенно другие по принципу действия. По сути, работа вакуумного радиатора построена по принципу функционирования герметичного двухфазного термосифона. В качестве основного преимущества подобного решения можно отметить уникальную систему циркуляции теплоносителя. Их можно использовать как для централизованных систем отопления, так и для автономных. По поводу целесообразности использования вакуумных радиаторов существуют противоречивые мнения, поэтому их подтверждения или опровержения требует глубоких исследований. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований отопительного устройства на основе фазового перехода первого уровня. В качестве вторичного теплоносителя используется жидкость с низкой температурой кипения. Исследовано принципы работы отопительного устройства, определены тепловые мощности при различных температурах теплоносителя. Проведено сравнение с традиционными стальными и алюминиевыми отопительными приборами. Особое внимание было уделено исследованию вакуумных радиаторов с точки зрения теплообмена и отмечены их необычные свойства. Выявлены основные преимущества и недостатки данного отопительного устройства. Обозначены пути дальнейшего исследования данных типов отопительных приборов.

Ключевые слова: отопление, отопительное устройство, вакуумный радиатор, тепловая мощность, вторичный теплоноситель.

UDC 697.3.4

Study of Heating Devices Based on a First-Order Phase Transition

Y. Podenezhko¹, M. Kirichenko², N. Chepurna³ V. Chepurnyi⁴

¹Student, Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine

²PhD, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, kirichenko-m@ukr.net, ORCID: 0000-0002-3651-3153

³Ph.D, associate professor. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, ChepurnayaNV@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8044-7563

⁴ Assistant. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, Chepurnoyv@ukr.net

Annotation. New developments aimed at saving costs for heating a house are attracting more and more attention. The development of highly efficient heating radiators that meet the requirements of modern engineering systems, namely: cost-effectiveness, efficiency, rapid uniform heating of the entire surface, ease of installation and operation, low manufacturing costs and durability is the main direction in the design of heating devices. In recent years, the use of heating radiators based on first-order phase transition has been gaining ground in heating systems in Ukrainian cities. In the literature and on the Internet resources, there is another name for such kind of the radiators – vacuum radiators. They were named because air was completely pumped out of the internal cavity of the sectional structure. This is done in order to reduce the pressure and, accordingly, reduce the evaporation temperature of the secondary coolant. These are ordinary heating appliances externally, but completely different in principle of operation. In fact, the operation of the vacuum radiator is built on the principle of functioning of a sealed two-phase thermosiphon. The main advantage of such solution is the unique coolant circulation system. They can be used both for heating systems and for autonomous ones. There are conflicting opinions about the advisability of using vacuum radiators, so their confirmation or refutation requires in-depth research. This paper presents the results of experimental studies of a heating radiator based on first-order phase transition. As a secondary coolant, a liquid with a low boiling point is used. The principles of operation of the heating device are investigated, thermal capacities are determined at various temperatures of the coolant. A comparison is made with traditional steel and aluminum radiators. Particular attention was paid to the study of vacuum radiators from the point of view of heat exchange, and their unusual properties were noted. The main advantages and disadvantages of this heating device are revealed. The ways of further research of these types of heating radiators are indicated.

Key words: heating, heating device, vacuum radiator, heat output, secondary heat carrier.

Надійшла до редакції / Received 15.10.2019