Навчальний центр
кафедра
«Холодильне обладнання»

Звіт - розробка методики розрахунку тепловтрат циліндричного баку

в рамках виконання замовлення
по проведенню енергетичного аудиту
системи ГВП на базі теплового насосу.

Замовник: Побочий О.А.

Виконавець: Потапов С.Г.

РОЗРОБКА МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕПЛОВТРАТ У ВЕРТИКАЛЬНІЙ ЦИЛІНДРИЧНІЙ ЄМНОСТІ НА ОСНОВІ СУМАРНОГО ТЕРМІЧНОГО ОПОРУ ТЕПЛОВІДДАЧІ

Розглянуто питання енергетичної ефективності баків-акумуляторів теплової енергії. Дані апарати являються обовязковим елементом для забезпечення повноцінної роботи систем теплопостачання на базі теплових насосів типу грунт-вода, вода-вода, повітря-вода.

До систем на основі теплових насосів ставляться ряд вимог: автономність, максимальна автоматизація всіх процесів, якість, максимальна енергоефективність. При чому ефективність всієї системи залежить від ефективності кожного елемента, які входить до її складу. Характеристикою ефективності бака-акумілятора являється мінімальна величина втрат тепла і для її визначення розроблено модель дослідної установки, яка дала можливість встановити емпіричну залежність.

Проведено ряд досліджень для різних температурних умов навколишнього середовища та з ріними варіантами конструкції установки.

За отриманими даними визначено дійсні значення сумарних термічних опорів тепловіддачі та встановлено рівняння за яким їх можна визначити з мінімальною похибкою, залежно від зміни температури теплоносія, термічного опору огороджуючою конструкції ємності та температури оточуючого середовища. Граничні умови наступні: температура води в ємності змінюється від 80 до 40 °С; температура навколишнього середовища – від 10 до 30 °С; термічний опір теплопровідності огороджень – від 0 до 0,8 (м^{2}К)/Вт.

На основі даних отриманих з дослідної установки проведено порівняння результатів теоретичних розрахунків існуючих методик, результатів за запропонованою залежністю та дійсних даних.

Різниця в експериментальних та розрахованих за критеріальними рівняннями даних становить від 30 до 79 %. Це можна пояснити тим, що задача має нестаціонарний характер – температура води, її властивості та інші теплофізичні характеристики, змінюється дискретно.

Порівняння експериментальних та розрахованих за запропонованою залежністю даних дає похибку, що не перевищує 3,9 %.

Проведено верифікацію отриманої залежності на ємностях різних габаритів та місткості, при однакових умовах роботи.

Дані верифікації показали, що відносна похибка при розрахунках за прононованою залежністю коливається в межах 1…9,75%, а при розрахунках за критеріальними рівняннями – становить 23…54%.

На відміну від розрахунку за допомогою критеріальних рівнянь, запропонована залежність і метод розрахунку на її основі, дозволяє проводити розрахунки по оптимізації таких параметрів як товщина теплоізоляційного шару, тривалість охолодження ємності, кінцева температура води за заданий час охолодження з достатньою точністю для отримання відповіді про величину капітальних та експлуатаційних витрат та ін.

I. ВСТУП

Заощадження енергоресурсів, збереження навколишнього середовища, підвищення ефективності обладанння, зменшення капітальних затрат – це питання, які постійно постають перед користувачами енергетичного обладнання. З названих пунктів виділити самий важливий і вдосконалювати лише його неможливо по причині їхньої рівнозначності. Тому в практичній діяльності якимись питаннями доводиться нехтувати або шукати оптимальне рішення, враховуючи частину з них.

Ці питання актуальні як для промислових підприємств так і для рядового споживача. Коли мова йде про промислове обладнання, його недосконалість набагато помітніша ніж недосконалість побутових приладів. При цьому промислове і побутове обладнання має різну продуктивність, проте за кількістю і сумарною потужністю, побутове переважає.

Одним з прикладів такого обладнання, присутнього як у промисловості так і в побуті, є накопичувальний бойлер системи гарячого водопостачання (ГВП) та бак-акумулятор системи теплопостачання.

Дані апарати являються обов'язковою умовою повноцінної роботи систем теплопостачання на базі теплових насосів типу грунт-вода, вода-вода, повітря-вода, які можуть використовуватись для створення комфортних умов в житлових будинках, офісних приміщеннях, навчально-освітніх закладах та ін.

До систем на основі теплових насосів ставляться ряд вимог: автономність, максимальна автоматизація всіх процесів, якість, максимальна енергоефективність. При чому ефективність всієї системи залежить від ефективності кожного елемента, які входить до її складу. Бойлер і бак-накопичувач не являються виключенням і мають значний вплив на рівень енергетичної ефективності установки.

Питання ефективності роботи баку можна сформувати так: щоб зменшити втрати теплоти через стінки, необхідно забезпечити оптимальну товщину теплоізоляції.

На практиці виникають додаткові запитання, які потребують відповіді:

- яка дійсна товщина теплоізоляційного шару;
- яка дійсна теплопровідність теплоізоляції;
- доцільність цілодобового підтримання заданої температури в баках системи ГВП;
- якими будуть втрати теплоти в періоди простоювання.

В звязку з цим постає питання як швидко, просто та з максимальною достовірністю визначити величину втрат теплоти накопичувальних ємностей. Процеси теплообміну на перший погляд прості – теплопровідність через циліндричну стінку, тепловіддача у великому об’ємі без примусового руху рідини і повітря, однак все ускладнюється нестаціонарними процесами теплообміну.

II. МЕТА І ЗАДАЧІ

Мета роботи – розробити метод точного і простого розрахунку втрат теплоти для вертикальних циліндричних ємностей, що слугують накопичувачами бойлера чи баками-акумуляторами систем опалення в побутових системах.

Задачами дослідження стали: розроблення та збирання дослідної установки, верифікація отриманих практичних даних та результатів теоретичного розрахунку, проведення експериментальних досліджень для різних

температурних режимів і різних конструкцій ємності. Очікуваний результат дослідження – отримання залежності для визначення термічного опору тепловіддачі, розроблення простого методу розрахунку втрат теплоти і проведення апробації отриманих результатів для існуючих побутових приладах.

II. ДОСЛІДНА УСТАНОВКА

Вихідні параметри для отримання кінцевого результату: температура води та її кількість, габаритні розміри та конструкція огородження ємності, температура навколишнього середовища, яка приймається постійною на весь час експерименту.

Для спрощення задачі розрахунку коефіцієнта теплопередачі було запропоновано встановити залежність, виведену емпіричним способом. Для цього розроблено та зібрано дослідну установку (рис. 1): вертикальна циліндрична ємність з міді, що має ізольовані кришки, з розміщеними всередині давачами температури 9 шт. (по 3 шт. за висотою). Система збору даних автоматизована – сигнали з давачів температури (термісторів Pt1000A), оброблюються АЦП Triton, після чого передаються на ПК і записуються програмою з дискретністю в 1 с.

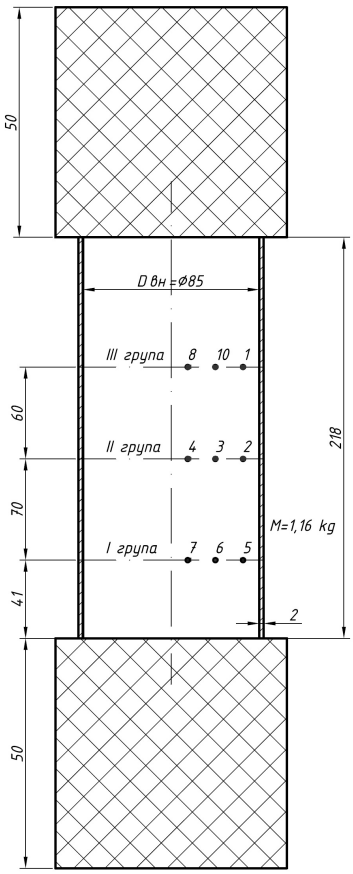

Рис. 1.– Дослідна установка: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 – давачі температури

В дослідній установці передбачалася можливість змінювати товщину теплоізоляції. Для проведення експерименту облаштовували теплоізоляцію трьох

різних товщин, термічний опір яких, R_λ, (м²К)/Вт, становив відповідно: $5{,}12 \cdot 10^{-6}$, 0,173 та 0,299.

III. ВСТАНОВЛЕННЯ ГРАНИЧНИХ УМОВ ТА РОЗРАХУНКОВОЇ ЗАЛЕЖНОСТІ

Через складність вимірювання температури поверхні стінки ємності (мала товщина стінок порівняно з габаритними розмірами використаних здавачів температури), було прийняте рішення визначити сумарний термічний опір тепловіддачі і для нього встановити залежність, яка б враховувала габаритні розміри ємності, термічний опір теплопровідності конструкції огородження і температуру навколишнього середовища в процесі теплообміну.

Прийняті граничні умови для виведення залежності такі: температура води в ємності змінюється від 80 до 40 °С; температура навколишнього середовища від 10 до 30 °С; термічний опір теплопровідності огороджень від 0 до 0,8 (м²К)/Вт. Дослідження проводились у встановлених граничних межах.

Отримана залежність для визначення сумарного термічного опору тепловіддачі має вигляд:

$$\sum R_\alpha = a\Delta t_w^{\,c} + b$$

де Δt_w – різниця температур між водою та оточуючим середовищем, °С; a – коефіцієнт який враховує вплив температури оточуючого середовища на величину сумарного термічного опору тепловіддачі; b – коефіцієнт, який враховує вплив термічного опору теплопровідності на величину сумарного термічного опору тепловіддачі; c – коефіцієнт, який задає характер термічного опору тепловіддачі, постійна величина (для умов проведення експерименту прийнято c = 1,35).

Коефіцієнт a визначається залежно від значення температури навколишнього середовища:

$$a = -0{,}89 \cdot 10^{-5} \cdot t_{air}^{\,4} + 3{,}9$$

де t_{air} – температура навколишнього повітря, °С

Коефіцієнт b визначається залежно від значення термічного опору теплопровідності:

$$b = -0{,}0561 \cdot R_\lambda^{\,2} + 0{,}0502 \cdot R_\lambda + 0{,}105$$

де R_λ – коефіцієнт термічного опору теплопровідності огороджувальної конструкції, (м²К)/Вт.

IV. АНАЛІЗ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Порівняння експериментальних та розрахованих за запропонованою та відомими критеріальними залежностями для температури навколишнього середовища 20°С наведено на рис. 2.

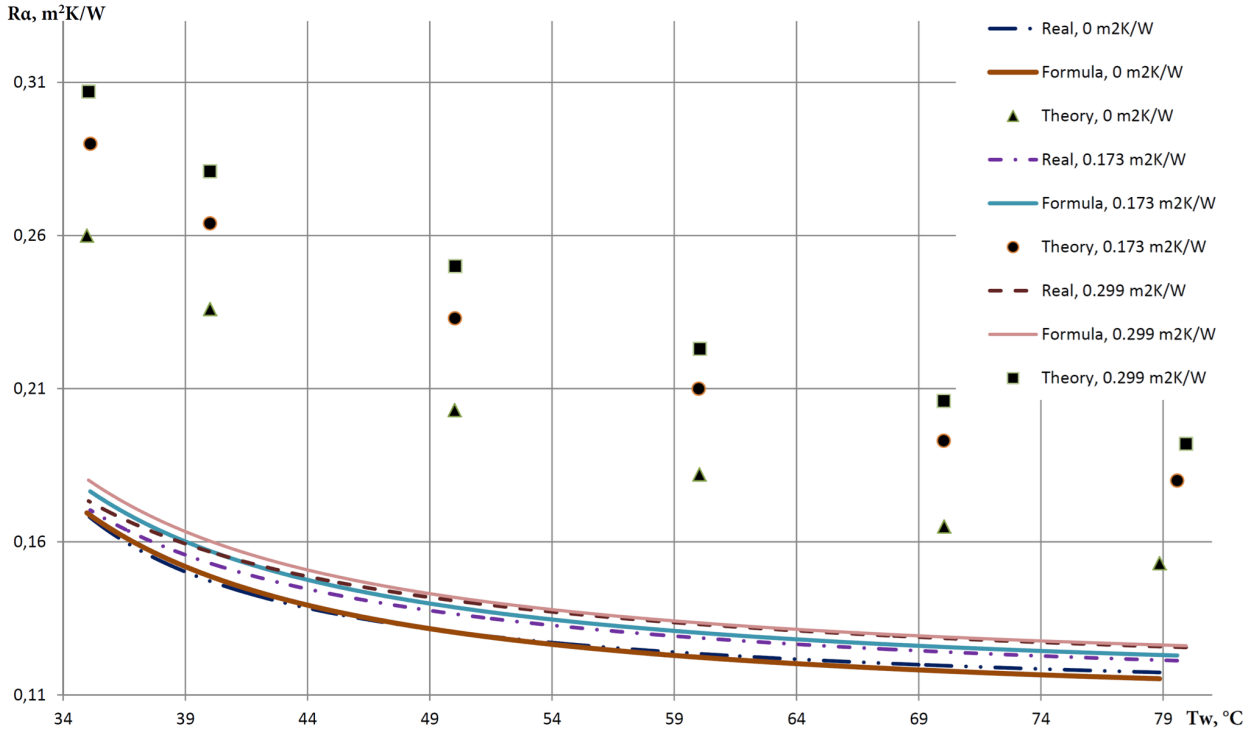

Рис. 2. Сумарний термічний опір тепловіддачі: дійсний (real); розрахований за пропонованою залежністю (formula); розрахований за критеріальними рівняннями (theor)

Як видно з рис. 2 дослідні та розрахункові дані різняться. Різниця в експериментальних та розрахованих за критеріальними рівняннями даних становить від 30 до 79 %. Це можна пояснити тим, що задача має нестаціонарний характер – температура води, її властивості та інші теплофізичні характеристики, змінюється дискретно. При цьому даний метод потребує знань і вмінь користування спеціальним програмним забезпеченням. Враховувати вплив габаритних розмірів ємності на сумарний термічний опір тепловіддачі потрібно за допомогою поправочного коефіцієнта, який був виведений на основі теоретичних відомостей [1, 3]:

$$\varphi = 1{,}4735 \cdot H^{0{,}2486}$$

За визначальний розмір вертикальних циліндричних ємностей прийнято висоту.

Порівняння експериментальних та розрахованих за запропонованою залежністю даних дає похибку, що не перевищує 3,9 %.

Наступним кроком було перенесення отриманих результатів за встановленою залежністю на посудини іншої ємності. Такими посудинами виступали баки для нагрівання води місткістю 40, 80 і 150 л. Температура навколишнього середовища при цьому лишалася такою ж – 20 °С. Досліди з баками повторювались не менше пяти разів. Діапазон температур нагрівання/ охолодження становив від 74 до 40 °С. Для врахування втрат через кришки бака, відповідно до рекомендацій літератури [2, 4]. Було прийнято, що сумарний термічний опір тепловіддачі через нижню кришку на 25 % більший ніж для циліндричної поверхні, а для верхньої кришки – на 25 % менший.

Контрольною величиною для порівняння результатів приймалася тривалість охолодження ємностей. Результати верифікації відображені на рис. 3 та рис. 4.

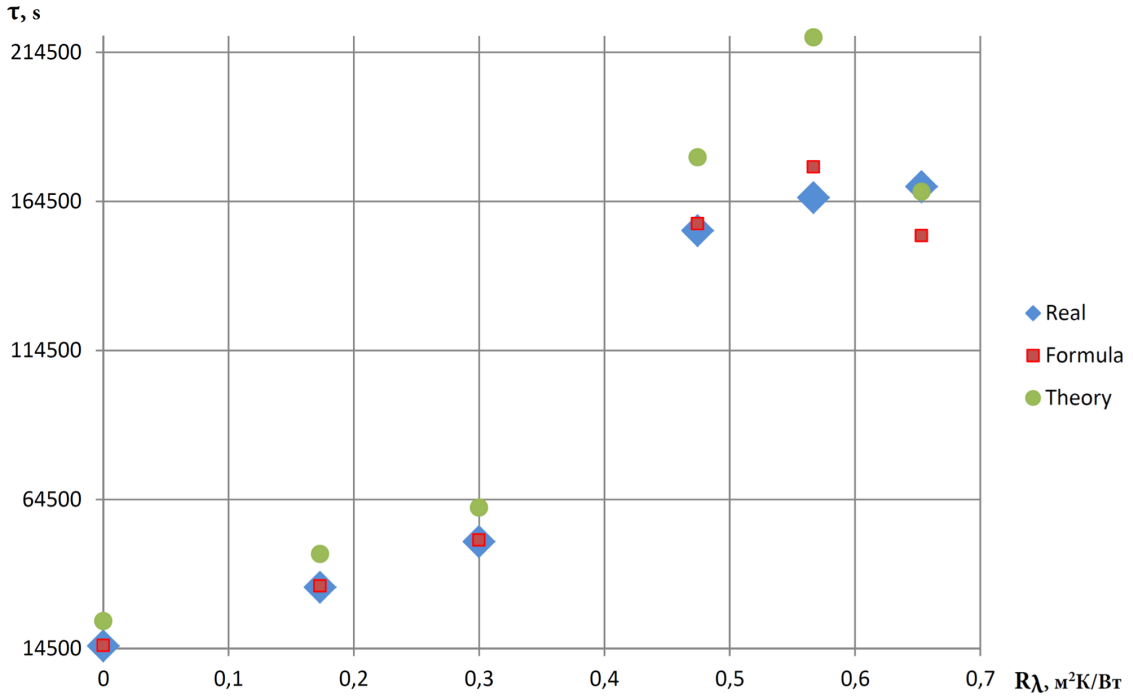

Рис. 3. Залежність тривалості охолодження від термічного опору теплопровідності: практичні дані (real), визначені за встановленою залежністю (formula), визначені за критеріальними рівняннями (theory)

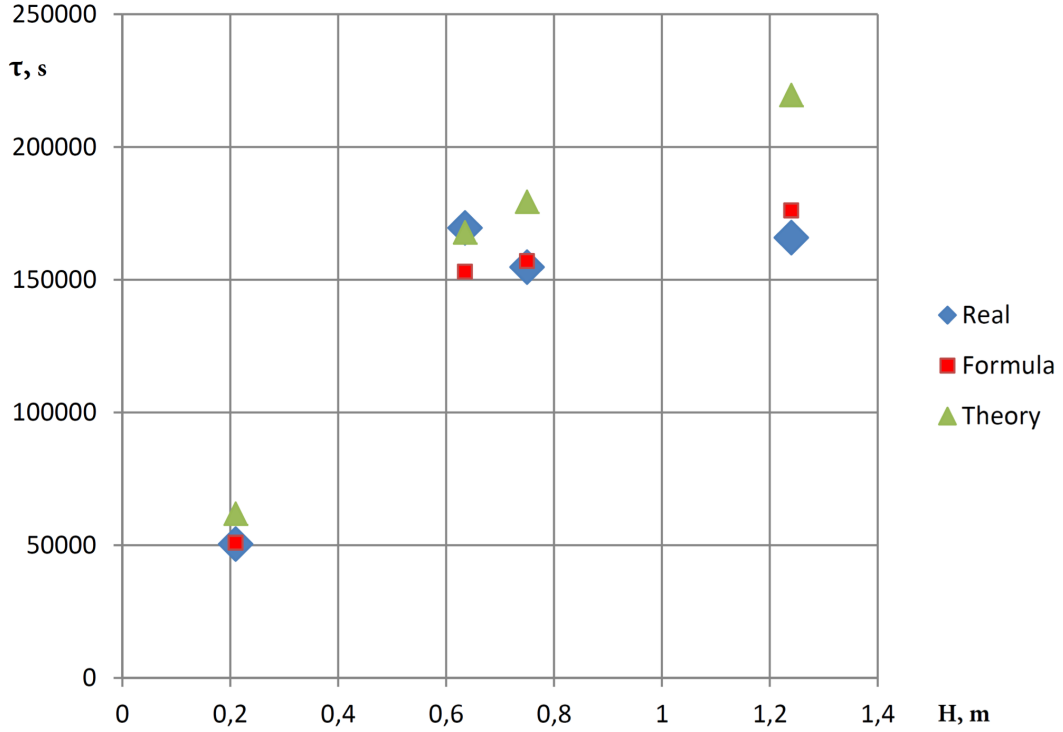

Рис. 4. Залежність тривалості охолодження від висоти ємності; практичні дані (real), визначені за встановленою залежністю (formula), визначені за теоретичними рекомендаціями (theory)

Дані верифікації показали, що відносна похибка при розрахунках за прононованою залежністю коливається в межах 1…9,75%, а при розрахунках за критеріальними рівняннями – становить 23…54%.

ВИСНОВКИ

Можна відзначити, що використання критеріальних рівнянь для розрахунку коефіцієнта теплопередачі, і як наслідок втрат теплоти в ємності – не дає достовірного результату, похибка отриманих даних достатньо велика, до 80%. При цьому розрахунок громіздкий, трудоємкий і потребує знань та вмінь використання спеціалізованою обчислювальної технікою та прикладних програмам. При цьому характер зміни величин термічного опору тепловіддачі, і як результат характер зміни коефіцієнта теплопередачі, в процесі теплообміну, близький до дійсності.

Запропопонована залежність розрахунку коефіцієнта сумарного термічного опору тепловіддачі дає результати з достатньо високою точністю, похибка не перевищує 10 %. При цьому значно спрощується процес розрахунку. Граничні умови, для яких запропонована залежність, знаходяться в межах роботи реального обладнання.

На рис. 5 (як приклад) наведено величину втрат при простоюванні накопичувача місткістю 150 л, з гарячою водою (65 °С) протягом 11,5 год, для різних товщин теплоізоляції виконаної з ППУ (від 5 до 30 мм).

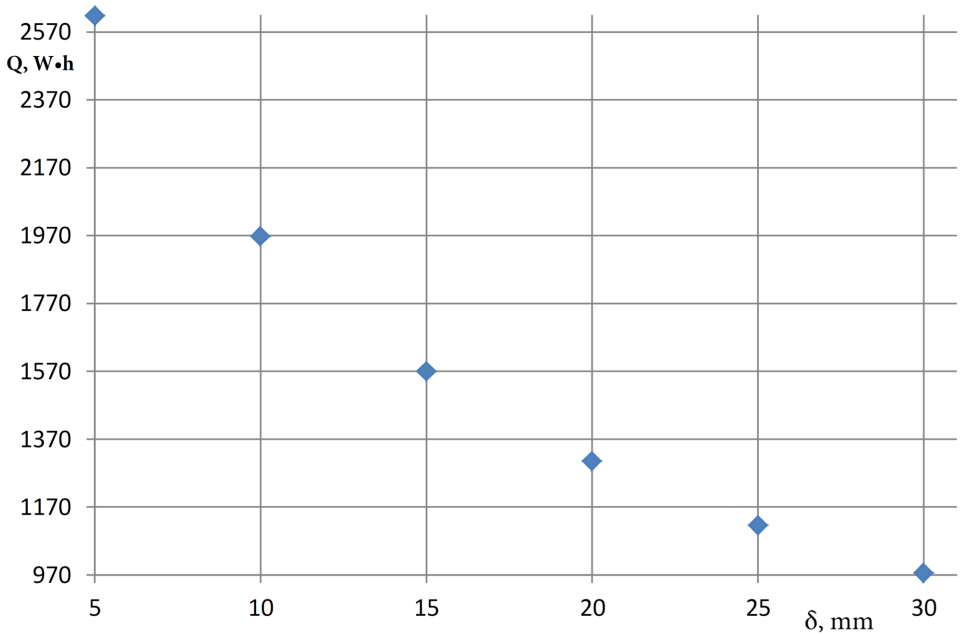

Рис. 5. Величина втрат тепла при різній товщині ізоляці, за однаковий інтервал простоювання обладнання.

На відміну від розрахунку за допомогою критеріальних рівнянь, запропонована залежність і метод розрахунку на її основі, дозволяє проводити розрахунки по оптимізації таких параметрів як товщина теплоізоляційного шару, тривалість охолодження ємності, кінцева температура води за заданий час охолодження з достатньою точністю для отримання відповіді про величину капітальних та експлуатаційних витрат та ін.