

DOI: 10.20535/kpi-sn.2020.2.205113

УДК 533.6.08:532.527

В.Г. Демченко¹, А.В. Баранюк^{2*}¹Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна²КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, Україна

*corresponding author: AleksandrW@i.ua

CFD-МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ТЕПЛООБМІНУ І ГІДРОДИНАМІКИ В БАКУ-АКУМУЛЯТОРІ ТЕПЛОТИ

Проблематика. На сьогодні баки-акумулятори теплоти є невід'ємною частиною схем систем опалення. Однак сучасним конструкціям ємнісних баків-акумуляторів притаманні явище термоклинну та висока теплова інертність. Для мінімізації згаданих недоліків пропонується використати “теплове ядро”, для формування якого слід вибрати речовину з високим значенням теплоємності.

Мета дослідження. Метою роботи є моделювання процесу тепломасопереносу в ємнісному баку-акумуляторі з “тепловим ядром” у вигляді розміщеної по центральній осі бінарної труби, міжтрубний простір якої заповнений парафіном (суміш граничних вуглеводнів із температурою плавлення від 45 до 65 °С, щільністю 0,880–0,915 г/см³ за 15 °С).

Методика реалізації. Засобами програмного комплексу Fluent визначено розподіл температур у баку-акумуляторі теплоти в умовах вільної конвекції. Далі отримані дані конвертувались у розрахунковий модуль Transient Thermal програмного комплексу ANSYS, де проводились подальші розрахунки нестационарного розподілу температури “теплого ядра”.

Результати дослідження. Визначено, що бак-акумулятор теплоти ємністю 1400 літрів, який нагрівається 1 год теплоносієм із температурою 115 °С, охолоджується до 50 °С за 4 год. Проведений аналіз гідродинамічної структури потоку на основі розподілу траєкторій руху вільноконвективних потоків у товщі води бака-акумулятора свідчить про необхідність удосконалення конструкції бака. Визначено, що застосування “теплого ядра” незалежно від типу парафіну, який застосовується для його формування, сприяє зменшенню стратифікації температури по висоті бака. Тип парафіну, що використовується для формування “теплого ядра”, не має суттєвого впливу на час охолодження бака-акумулятора теплоти в цілому. Проте у випадку використання “церезину” як наповнювача “теплого ядра” середня температура бака в цілому приблизно на 0,5 °С вища, ніж для інших досліджених типів парафіну. Таким чином, як “теплове ядро” слід застосовувати саме “церезин”.

Висновки. Результат обчислення неоднорідного температурного поля всіх елементів бака-акумулятора теплоти використовувався для визначення часу його повного охолодження. Проведене дослідження дає можливість автоматизувати процес розрахунку баків-акумуляторів і здійснити їх модернізацію для підвищення ефективності використання.

Ключові слова: вільна конвекція; бак-акумулятор теплоти; стратифікація температури; теплове ядро; озокерит; петролатум; церезин.

Вступ

Постійний ріст цін на викопні енергоносії вимагає від сучасних систем опалення та гарячого водопостачання максимального використання альтернативних джерел теплоти. Оскільки піки вироблення і споживання теплоти в таких системах, як правило, не збігаються в часі, забезпечити ефективне використання альтернативних джерел без інтеграції в систему теплопостачання бака-акумулятора неможливо. Акумулятор теплоти – це зазвичай теплоізольована ємність, призначена для акумулювання теплоти та нагріву гарячої води. На сьогодні баки-акумулятори теплоти стали невід'ємною частиною

схем систем опалення. Вони використовуються в системах опалення сумісно із сонячними колекторами, тепловими насосами, твердопаливними котлами та електричними нагрівачами, що працюють за нічним тарифом [1–3].

В основі принципу роботи бака-акумулятора теплоти лежить збільшення об'єму системи теплопостачання та використання високої теплоємності води. Акумулюючі ємності використовуються у системах опалення зазвичай спільно з твердопаливними та електричними котлами, тепловими насосами й іншими джерелами теплоти. Баки-акумулятори дають змогу зняти напруження системи від перепадів температур, захищають від закипання, а також здатні підтри-

мувати температуру теплоносія певний час при виключенні джерела нагріву. Також буферна ємність дає можливість розширити діапазон керування температурою теплоносія. Акумуляючі ємності можуть бути обладнані змійовиком для нагріву гарячої води або для підтримання заданої робочої температури теплоносія. Це їх принципова відмінність від бойлерів непрямого нагріву. Однак водогрійним бакам-акумуляторам притаманні явище термоклинку та висока теплова інерційність.

Відмінністю представленої конструкції від відомих є наявність так званого “теплого ядра” в центрі теплоізолюваного бака, заповненого водою. Застосування “теплого ядра” спрямоване насамперед запобігти температурній стратифікації по висоті бака-акумулятора теплоти. Як теплоакуючий матеріал “теплого ядра” використовується парафін, теплоакуючі властивості якого не гірші, ніж у води.

Постановка задачі

Стаття присвячена аналізу нестационарного поля температур бака-акумулятора теплоти з метою визначення теплофізичної ефективності парафіну, що має бути використаний при формуванні “теплого ядра”. Застосування методів CFD-моделювання в умовах вільної конвекції води в обмеженому просторі дасть можливість визначитися з вибором типу парафіну, що буде використовуватись для формування “теплого ядра” в баку-акумуляторі теплоти. Як тип парафіну, використаного для формування “теплого ядра”, вибрані наявні в Україні “озокерит”, “петролатум” і “церезин”, які мають близькі теплофізичні властивості. Для досягнення поставленої мети необхідно визначити час охолодження бака-акумулятора, що нагрівався 1 год водою з температурою 115 °С, яка рухалася з витратою 2,2 м³/год уздовж поверхні теплообміну, конструктивно виготовленої у вигляді змійовика.

Обґрунтування доцільності використання “теплого ядра” в баку-акумуляторі теплоти

Кількість теплоти, яка витрачається на підвищення температури речовини з урахуванням теплоти фазового переходу, визначається за допомогою загальновідомої залежності

$$Q = mc_p \Delta T + mL_{\text{melt}}, \quad (1)$$

де c_p – ізобарна теплоємність речовини, кДж/(кг·К); m – маса речовини, кг; $L_{\text{melt}} = f(T)$ – кількість теплоти, що необхідна для перетворення одиниці маси твердої кристалічної речовини в рідкий стан.

Використовуючи залежність (1), можна визначити загальну кількість теплоти, що може бути витрачена на нагрівання і плавлення 1 кг парафіну від 30 до 65 °С з урахуванням фазового переходу. У випадку нагрівання 100 кг парафіну це значення в указаному діапазоні зміни температур становить 31,3 МДж.

Розрахункова залежність для визначення кількості теплоти, необхідної для нагрівання води в указаному інтервалі температур, має вигляд

$$Q = mc_p \Delta T. \quad (2)$$

Відповідно до розмірів бака-акумулятора маса води в ньому становить 1400 кг, і для її нагрівання потрібно затратити 380 МДж.

Проведений розрахунок загальної кількості теплоти свідчить, що загальна кількість теплоти, яка може бути акумульована в баку, становить 411,3 МДж. Кількість теплоти, що може акумулювати парафін з урахуванням теплоємнісного акумулювання і фазового переходу (31,3 МДж), становить 7,6 %.

Кількість теплоти, яка може бути акумульована внаслідок фазового переходу в парафін (17 МДж), становить 4,1% від загальної кількості теплоти, яку може акумулювати бак-акумулятор теплоти.

На перший погляд ці цифри не є значущими, проте основною задачею парафінової вставки є запобігання стратифікації температури по висоті бака-акумулятора.

Методика моделювання процесів теплообміну

Розроблена CFD-модель охоплює як твердотільні об'єми (змійовик і металеві конструкції, що з них виготовлений корпус бака-акумулятора теплоти), в яких процес передачі теплоти відбувається за рахунок теплопровідності, так і рідинні об'єми (охолоджуюча вода в змійовику, прошарок води ззовні нього і парафін як “теплове ядро”), у яких спостерігаються явища вільної конвекції в обмеженому просторі. Для рідинних об'ємів і для твердотільних у моделі передбачені окремі математичні моделі.

CFD-модель бака-акумулятора теплоти наведена на рис. 1. Модель містить “теплове ядро” у формі контейнера з парафіном 1, що оточене об’ємом води 2. Нагрівання або охолодження цієї системи здійснюється за допомогою змійовика 3, який розміщений по периферії бака-акумулятора. Модель містить також конструктивні елементи бака-акумулятора, на нагрівання яких також витрачається теплота. Представлена модель дає можливість дослідити процеси теплообміну і гідродинаміки, що спостерігаються як у товщі води, яка омиває “теплове ядро”, так і у воді, що рухається вздовж змійовика. Потік у змійовику спрямований зверху вниз, як вказують стрілки (рис. 1).

Відомо, що явища вільної конвекції в рідинах загалом описуються досить складною нелінійною системою рівнянь у частинних похідних. Ця система містить рівняння збереження енергії, імпульсу і маси та рівняння стану. В числовому моделюванні широко застосовуються різноманітні наближені підходи, найбільш поширеним є підхід Буссінеска. При використанні цього підходу вважають, що фізичні параметри середовища сталі, густина залежить тільки від температури і цю залежність необхідно враховувати тільки у виразі для сили тяжіння. Тому

математична модель для рідинних об’ємів містить [4]:

рівняння нерозривності потоку:

$$\operatorname{div} \vec{v} = 0 ; \quad (3)$$

рівняння Нав’є–Стокса для ламінарного режиму течії:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + (\vec{v} \cdot \nabla) \vec{v} = -\frac{1}{\rho_0} \nabla p + \nu \nabla^2 \vec{v} + \beta g \vec{g} ; \quad (4)$$

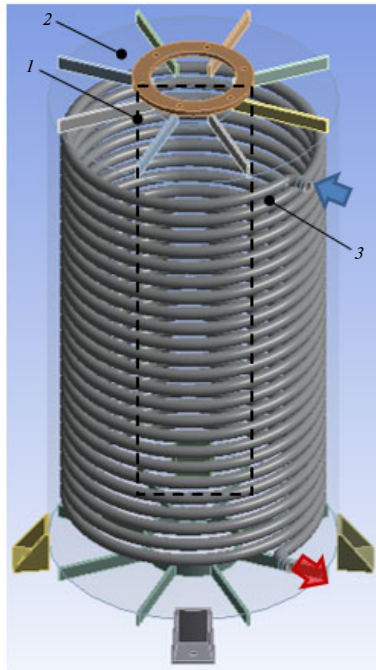
рівняння Фур’є–Кірхгофа:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \vec{v} \cdot \nabla T = a \nabla^2 T , \quad (5)$$

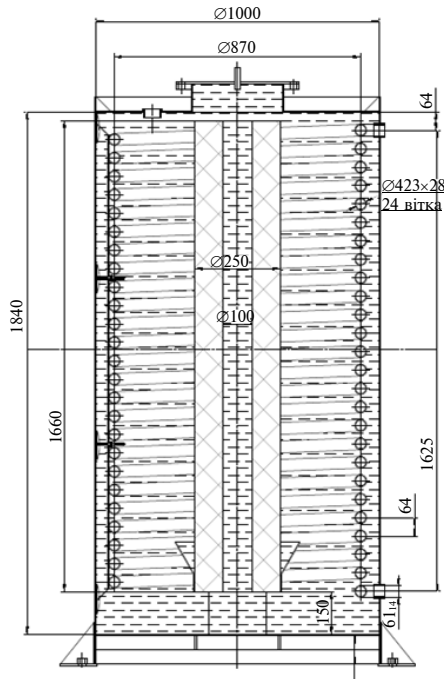
де ρ_0 – середнє значення густини середовища за температури T_0 , β – коефіцієнт об’ємного розширення води, що може бути обчислений за допомогою залежності

$$\beta = -\frac{1}{\rho_0} \left(\frac{\partial \rho}{\partial T} \right)_T . \quad (6)$$

У цю систему, яка визначає невідомі функції \vec{v} , p , T , входять такі параметри: коефіцієнт температуропровідності a , коефіцієнт кінема-



а



б

Рис. 1. Комп’ютерна модель (а) і кресленик реальної конструкції бака-акумулятора теплоти (б)

тичної в'язкості ν , прискорення вільного падіння g і коефіцієнт об'ємного розширення води β . Усі перелічені вище коефіцієнти в моделі описуються за допомогою поліноміальних залежностей від температури.

Процеси, що спостерігаються у зазначених вище твердотільних об'ємах – це процеси теплопровідності, змінної в часі [5, 6]. Тому математична модель для твердотільних об'ємів базується на рівнянні теплопровідності:

$$c_m \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} = \lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right), \quad (7)$$

де c_m – середня питома теплоємність матеріалу (у випадку розробленої CFD-моделі – нержавка сталь), Дж/(кг·К); ρ – густина, кг/м³; T – температура, К; τ – час, с; λ – теплопровідність, Вт/(м·К); x, y, z – декартові координати, м.

Початковими умовами рівняння (7) є значення температури $T(x, y, z)$ рідини, отримані після розв'язання математичної моделі (1)–(6) у баку-акумуляторі при $\tau = 0$. Граничні умови для твердотільних об'ємів – це граничні умови першого роду. Як такі граничні умови використовується визначена за допомогою Fluent (попередньо) температура стінки на внутрішній поверхні тіла змійовика площею S , що обчислюється як

$$T = T(S, \tau). \quad (8)$$

Один зі способів розв'язання крайових задач теплопровідності – мінімізація відповідного функціоналу на множині функцій, які відповідають умовам задання граничних умов [6]. З варіаційної точки зору, розв'язок рівняння (7) з необхідними граничними умовами (8) еквівалентний знаходженню мінімуму функціоналу:

$$E = \frac{1}{2} \int \lambda \left(\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial z} \right)^2 \right) + \left(c_m \rho \frac{\partial T}{\partial \tau} \right) T dv + \int_{S_a} \alpha \left(\frac{T}{2} - T_\infty \right) T dS. \quad (9)$$

Застосований для створення CFD-моделі програмний продукт Ansys для мінімізації функціоналу (9) використовує матричні методи [6]. Перехід від математичної моделі вільної конвекції в рідинному об'ємі до математичної моделі теплопровідності стінок змійовика і металевих конструкцій, з яких виготовлений корпус бака-акумулятора теплоти, здійснюється автоматично.

У розробленій CFD-моделі для моделювання процесів теплообміну і гідродинаміки в рідинах використовувалась нерівномірна, зі згущенням до стінок, тетраедрична сітка (рис. 2). При цьому в місцях, де рідина омиває твердотільну поверхню, моделювалась область приме-

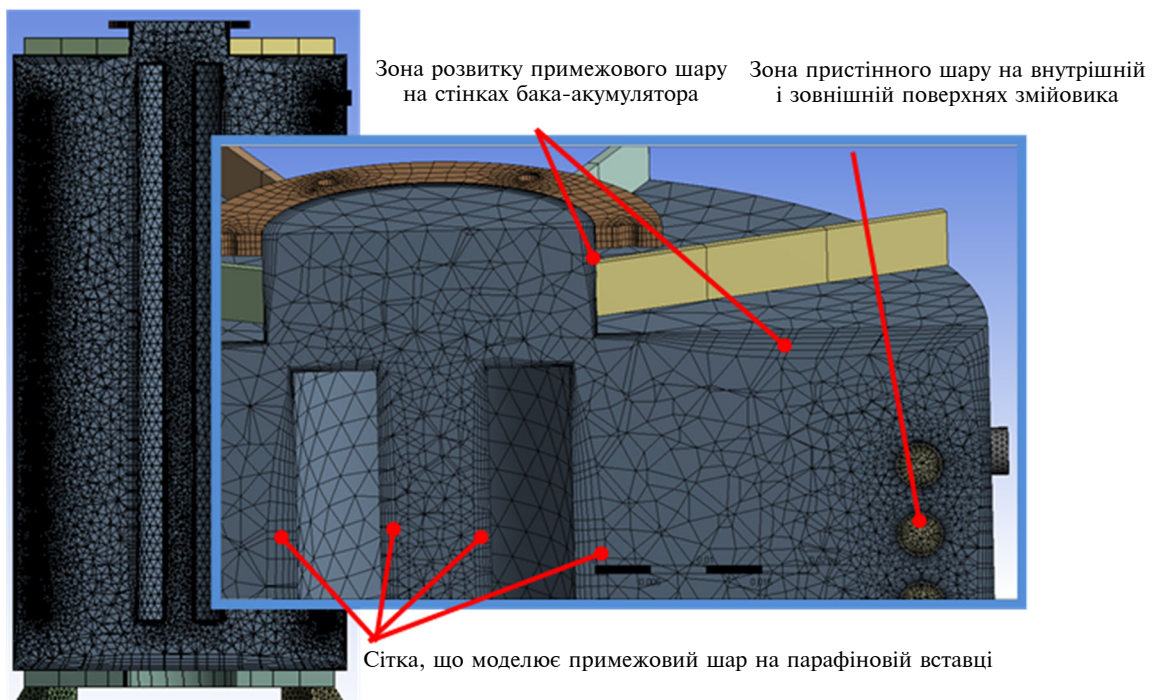


Рис. 2. Скінченноелементна сітка

жового шару за допомогою функції Inflation (ця функція дає змогу створювати дрібну сітку, густина якої збільшується в напрямку твердотільної поверхні; використовується переважно для дослідження примезових шарів потоку). Форма скінченного елемента, що моделює примезовий шар – паралелепіпед. Мінімальний та максимальний кроки при цьому становили $1 \cdot 10^{-6}$ і $1 \cdot 10^{-3}$ м. Кількість чарунк у примезовому шарі не перевищувала 10 од.

Усі інші деталі бака-акумулятора (змійовик і металеві конструкції, з яких виготовлений корпус бака-акумулятора теплоти) моделюються за допомогою структурованої розрахункової сітки, форма скінченного елемента в цьому випадку – призма.

Результат моделювання фізичних процесів при нагріванні бака-акумулятора теплоти

Результат моделювання (рис. 3) свідчить, що потік води в змійовику з температурою 115°C здатен нагріти воду в баку-акумуляторі принаймні до 98°C . Температура парафіну менша, ніж температура води, що його оточує, оскільки теплопровідність його втричі нижча.

Значення температури поверхні змійовика, вказані на рис. 3, необхідні для подальшого визначення, через розв'язання нестационарної задачі теплопровідності, типу парафіну, що слід застосовувати як “теплове ядро”. Для всіх досліджених випадків зміни типу парафіну з різними теплофізичними властивостями час нагрів-

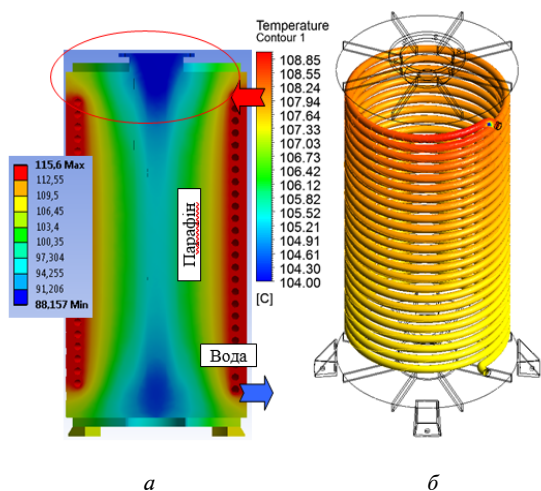


Рис. 3. Розподіл температур у двовимірному перерізі бака-акумулятора теплоти (а) і температурне поле стінки змійовика (б) при нагріванні

вання об'єму бака вибирався сталим і становив 1 год. Переваги того чи іншого типу парафіну мала визначати середня температура бака.

Слід зазначити, що поля температур для всіх досліджених випадків зі зміною властивостей “теплого ядра” неоднорідні, але подібні одне до одного. Неоднорідність може бути пов'язана як із нерівномірністю підводу теплоти, так і з впливом вільноконвективних потоків, що виникають у товщі води бака-акумулятора внаслідок різниці густини води. Нерівномірність підводу теплоти виникає внаслідок того, що “теплове ядро” займає не всю довжину бака. Внаслідок цього створюються зони, в яких об'єм води більший, тому потребує більшої кількості теплоти на нагрівання. З другого боку, існує вплив вільноконвективних потоків, які прискорюються у більш нагрітих поверхнях теплообміну і створюють умови інтенсифікації теплообміну у цих поверхнях. З цим, можливо, пов'язана отримана на рис. 3 неоднорідність поля температур – центральна область бака-акумулятора прогривається швидше, ніж застійні зони над і під “тепловим ядром”.

Картина розподілу вільноконвективних потоків як у поздовжньому, так і в поперечному перерізі бака-акумулятора зображена на рис. 4.

Як видно з рис. 4, в об'ємі, що заповнений водою, спостерігається формування складного тривимірного вихору, що зумовлений виникненням рушійної сили внаслідок зміни густини води в баку. Причому обертальний рух у товщі води 1 починається за годинниковою стрілкою

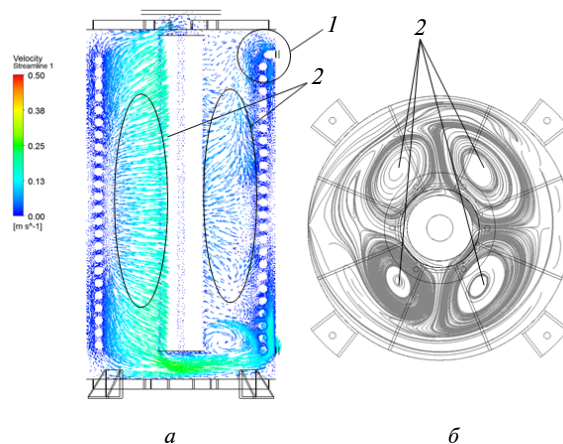


Рис. 4. Розподіл векторів швидкості потоку в двовимірному поздовжньому перерізі (а) і траєкторії руху рідких частинок у поперечному перерізі (б) бака-акумулятора теплоти: 1 – вода, 2 – вихори

в поперечному напрямку біля найбільш нагрітої стінки змійовика. Це приводить до виникнення потужних вихорів 2 у поперечному напрямку (рис. 4, б), про що свідчить візуалізація траєкторій руху частинок рідини, зроблена по центру бака-акумулятора. Причому слід зазначити, що напрямок руху вихорів відбувається “знизу-вверх”, тобто проти сили тяжіння. В згаданому тривимірному вихорі збільшення швидкості потоку спостерігається біля нагрітої стінки змійовика, проте слід також відзначити той факт, що шари з меншою густиною прагнуть переміститися вгору по потоку. Обертальний рух у вихорах відбувається у взаємопротилежних напрямках так, щоб вихори “підживлювали” один одного. При цьому в центральній зоні над і під “тепловим ядром” створюються умови формування застійної зони між вихорами, де відсутнє інтенсивне перемішування потоку, внаслідок чого формується зона з пониженою температурою, як свідчить рис. 3.

Результат моделювання фізичних процесів при охолодженні бака-акумулятора теплоти

Як і у випадку нагрівання бака-акумулятора, результати розрахунку температурного поля при його охолодженні подібні (рис. 5).

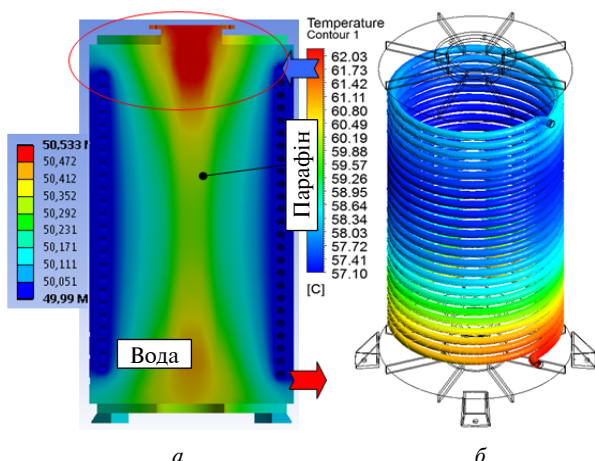


Рис. 5. Розподіл температур у двовимірному перерізі бака-акумулятора теплоти (а) і температурне поле стінки змійовика (б) при охолодженні

Як і для випадку нагрівання, при охолодженні існує суттєвий вплив гідродинамічної структури потоку; також потрібно враховувати той факт, що на момент початку охолодження температурне поле бака-акумулятора теплоти було неоднорідним. У ньому були зони з різ-

ними температурами. Тому при охолодженні в кожній точці розрахункової області була своя початкова температура. Отже, ми можемо зробити висновок – процес нагрівання бака суттєво впливає на закономірності його охолодження.

Аналіз гідродинамічної структури потоку можна виконати на основі розподілу траєкторій руху вільноконвективних потоків у товщі води бака-акумулятора. При охолодженні, як і в задачі нагрівання, в товщі води виникає система вихорів, які розміщені у взаємно перпендикулярних площинах. Так, у верхній і нижній частинах бака (рис. 6) над і під “тепловим ядром” виникають вихори, що обертаються в поздовжньому напрямку, а між змійовиком і бічною площиною “теплового ядра” – вихори, що обертаються в поперечному напрямку (рис. 6, а). Таким чином, у центральній частині бака-акумулятора створюються умови більш інтенсивного охолодження потоку, а на периферії, над і під “тепловим ядром” виникають застійні зони. Тому теплообмін у цих зонах погіршений.

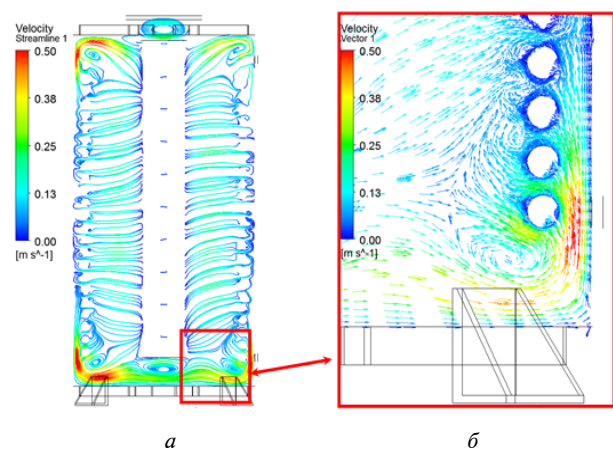


Рис. 6. Траєкторії вільноконвективних потоків у поздовжньому перерізі бака-акумулятора (а) і вектори швидкості потоків у збільшеному масштабі (б)

У роботі виконано дослідження трьох варіантів CFD-моделей, що різнилися типом парафіну для формування “теплового ядра”. Результати виявилися досить однотипними: максимальна відмінність між середніми температурами бака була менше 0,5 °C. У роботі зроблений акцент на відображенні результатів моделювання найбільш перспективного парафіну – “церезину”, оскільки в моделі з його використанням візуально спостерігається більш широка зона нагрітого центрального осердя і середня температура бака в цілому приблизно на 0,5 °C вища, ніж для інших досліджених типів парафіну.

Можна констатувати, що тип парафіну, який використовується для формування “теплого ядра”, не має суттєвого впливу на час охолодження бака-акумулятора, проте, з урахуванням зроблених вище висновків, як “теплове ядро” доцільно застосовувати саме “церезин”.

Висновки

За допомогою методів CFD-моделювання визначено, що завдяки конструктивним особливостям дослідженого бака-акумулятора теплоти на периферії, над і під “тепловим ядром” виникають застійні зони, що, з одного боку, призводить до створення умов погіршеного теплообміну, а з другого, протидіє стратифікації температури по висоті бака-акумулятора.

References

- [1] *Hydrotherm Engineering* [Online]. Available: <http://www.gidro-term.com.ua/142-stati/376-bak-akkumulyator-tepla-teploakkumulyator-ustrojstvo-montazh-normy>
- [2] *Boiler-houses*, DBN V.2.5-77, 2014.
- [3] *Thermal Networks*, DBN V.2.5-39, 2009.
- [4] O.G. Martinenko and Yu.A. Sokovishin, *Free Convective Heat Transfer*. Moscow, SU: Science and Technology, 1982, 400 p.
- [5] D.V. Ivanov and A.V. Dol, *Introduction to Ansys Workbench*. Saratov, Russia: Amirit, 2016, 56 p.
- [6] V.I. Myachenkov *et al.*, *Calculations of Engineering Structures using the Finite Element Method*. Moscow, SU: Mechanical Engineering, 1989, 520 p.

В.Г. Демченко, А.В. Баранюк

CFD-МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА И ГИДРОДИНАМИКИ В БАКЕ-АККУМУЛЯТОРЕ ТЕПЛОТЫ

Проблематика. На сегодня баки-аккумуляторы теплоты являются неотъемлемой частью схем систем отопления. Однако современным конструкциям емкостных баков-аккумуляторов присущи явление термоклина и высокая тепловая инертность. Для минимизации указанных недостатков предлагается использовать “тепловое ядро”, для формирования которого следует выбрать вещество с высоким значением теплоемкости.

Цель исследования. Целью работы является моделирование процесса теплопереноса в емкостном баке-аккумуляторе с “тепловым ядром” в виде расположенной по центральной оси бинарной трубы, межтрубное пространство которой заполнено парафином (смесь предельных углеводородов с температурой плавления от 45 до 65 °С, плотностью 0,880–0,915 г/см³ при 15 °С).

Методика реализации. Средствами программного комплекса Fluent определено распределение температур в баке-аккумуляторе теплоты в условиях свободной конвекции. Далее полученные данные конвертировались в расчетный модуль Transient Thermal программного комплекса ANSYS, где проводились дальнейшие расчеты нестационарного распределения температуры “теплого ядра”.

Результаты исследования. Определено, что бак-аккумулятор теплоты емкостью 1400 литров, который нагревается 1 ч теплоносителем с температурой 115 °С, охлаждается до 50 °С за 4 ч. Проведенный анализ гидродинамической структуры потока на основе распределения траекторий движения свободноконвективных потоков в толще воды бака-аккумулятора свидетельствует о необходимости совершенствования конструкции бака. Определено, что применение “теплого ядра” независимо от типа парафина, который применяется для его формирования, способствует уменьшению стратификации температуры по высоте бака. Тип парафина, который используется для формирования “теплого ядра”, не имеет существенного влияния на время охлаждения бака-аккумулятора теплоты в целом. Однако в случае использования “церезина” в качестве наполнителя “теплого ядра” средняя температура бака в целом примерно на 0,5 °С выше, чем для других исследованных типов парафина. Таким образом, в качестве “теплого ядра” следует применять именно “церезин”.

Выводы. Результат вычисления неоднородного температурного поля всех элементов бака-аккумулятора теплоты использовался для определения времени его полного охлаждения. Проведенное исследование позволяет автоматизировать процесс расчета баков-аккумуляторов и осуществить их модернизацию для повышения эффективности использования.

Ключевые слова: свободная конвекция; бак-аккумулятор теплоты; стратификация температуры; тепловое ядро; озокерит; петролатум; церезин.

Показано, що в товщі води бака-акумулятора формується неоднорідне поле температур. На нашу думку, ця неоднорідність може бути пов'язана як із нерівномірністю підводу теплоти, так і з впливом вільноконвективних потоків, що виникають у товщі води бака-акумулятора внаслідок різниці густини води.

Визначено, що час повного охолодження бака-акумулятора теплоти ємністю 1400 л становить 4 год. Зазначено, що з усіх досліджених типів парафіну як “теплове ядро” доцільно застосовувати “церезин”.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на модернізацію конструкції бака-акумулятора теплоти з метою визначення умов створення рівномірного поля температур бака і подовження часу його охолодження.

V.G. Demchenko, A.V. Baranyuk

CFD MODELING OF HEAT TRANSFER AND HYDRODYNAMICS PROCESSES IN A HEAT STORAGE TANK

Background. Today, heat storage tanks are an integral part of heating systems. However, modern designs of capacitive storage tanks are characterized by the phenomenon of thermocline and high thermal inertia. To minimize the aforementioned disadvantages, it is proposed to use a “thermal core”, for the formation of which it is necessary to select a substance with a high value of heat capacity.

Objective. The purpose of the presented study is to simulate the process of heat and mass transfer in a storage tank with a “thermal core”, in the form of the binary tube located on the central axis, the inter tube space of which is filled with paraffin (a mixture of saturated hydrocarbons with melting point – from 45 °C to 65 °C; dense – 0.880–0.915 g/cm³ at 15 °C).

Methods. Fluent software determines the temperature distribution in the heat storage tank under free convection conditions. The resulting data were then converted into a calculation module of the Transient Thermal software complex ANSYS, where further calculations of the non-stationary temperature distribution of the “thermal core” were carried out.

Results. It is determined that the heat storage tank with a capacity of 1400 liters, heated for one hour by a heat transfer agent with a temperature of 115 °C, is cooled to 50 °C in 4 hours. The analysis of the hydrodynamic structure of the flow based on the distribution of the trajectories of movement of free-convective flows in the water column of the storage tank indicates the need to improve the design of the tank. It is determined that the use of the “thermal core”, regardless of the type of paraffin used for its formation, helps to reduce the stratification of temperature by tank height. The type of paraffin used to form the “heat core” has no significant effect on the cooling time of the heat storage tank as a whole. However, when using “ceresin” as a filler for the “heat core”, the average tank temperature is generally about 0.5 °C higher than for other paraffin types studied. Thus, it is “ceresin” that should be used as a “thermal core”.

Conclusions. The result of the calculation of the inhomogeneous temperature field of all elements of the heat storage tank was used to determine the time of its complete cooling. The conducted research allows automating the process of calculation of the storage tanks as well as carrying out their modernization to increase the efficiency of use.

Keywords: free convection; heat storage tank; temperature stratification; thermal core; ozokerite; petrolatum; ceresin.

Рекомендована Радою
теплоенергетичного факультету
КПІ ім. Ігоря Сікорського

Надійшла до редакції
10 березня 2020 року

Прийнята до публікації
05 червня 2020 року