

РОЗДІЛ «ТЕПЛОТЕХНІКА. ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА»

УДК 658.26

КЛІМОВ Р.О., к.т.н., доцент

Дніпродзержинський державний технічний університет

ПРОЦЕСИ ФОРМУВАННЯ ПАРОВОЇ ФАЗИ ПРИ ЗАКИПАННІ ЕМУЛЬСІЙ

Вступ. Вивчення динаміки росту парових порожнин експериментальним шляхом пов'язано з певними труднощами. У даних процесах мають справу з об'єктами, характерний розмір яких лежить в мікронному діапазоні виміру, а часовий масштаб зміни вимірюваних параметрів $1 \text{ нс} \div 10 \text{ мс}$. Експериментальні дослідження [1-5] ставили своєю метою визначення радіусу бульбашки, яка росте в об'ємі рідини, а також випромінюваних цією бульбашкою акустичних імпульсів. В експерименті [4] поява і подальше зростання парової бульбашки в рідині ініціювалися за допомогою лазерного випромінювання, сфокусованого в певну точку об'єму рідини. Випромінювані бульбашкою акустичні імпульси фіксувалися датчиком тиску – гідрофоном, який розташовувався на певній відстані від центру бульбашки.

Зростання сформованої парової фази на границі розділу взаємнезмішуваних рідин емульсійних середовищ є складними і невизначеними процесами в порівнянні з утворенням і існуванням одиночної парової бульбашки. Водночас в літературних джерелах їм приділено недостатньо уваги.

Постановка задачі. Визначити експериментальним шляхом параметри процесу закипання водомасляного середовища та порівняти отримані результати з розрахунковими даними за математичними моделями росту парового об'єму при закипанні взаємнезмішуваних рідин.

Результати роботи. З метою визначення параметрів, якими характеризується процес росту парової фази на границі розділу рідин емульсії, створена експериментальна установка, представлена на рис.1.

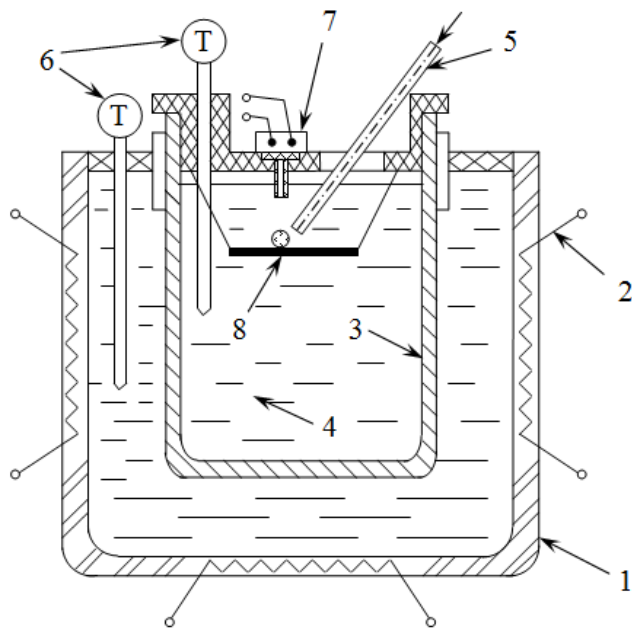


Рисунок 1 – Схема експериментальної установки для визначення імпульсів тиску, створюваних паровим об'ємом при закипанні емульсії (позначення в тексті)

на установка, представлена на рис.1.

Експериментальна установка (рис.1), включає масляний термостат 1, в якому нагрівачами 2 задається і підтримується необхідна температура. В термостат поміщена колба 3, заповнена маслом 4. Температурний режим в термостаті і колбі фіксується за допомогою термопар 6. Вода подається через капіляр 5 у вигляді краплі певного розміру на підставку 8. Для фіксації імпульсів тиску, що виникають при закипанні краплі води (появі парового прошарку на границі розділу компонентів), використовується малоінерційний датчик тиску 7 (гідрофон). Приймальний отвір датчика тиску 7 знаходиться на фіксованій відстані від поверхні підставки 8. Крапля води подається безпо-

середньо на вісь, утворену приймальним отвором датчика 7. Таким чином, відомою є відстань між поверхнею краплі води і приймальним отвором датчика, яка може бути знайдена як різниця між відомими відстанню від приймального отвору датчика 7 до поверхні підставки 8 і діаметром розглянутої краплі води. Зрозуміло, що для досить великих крапель води, можливо їх розтікання по поверхні підставки 8, в результаті чого істотно змінюється радіус кривизни досліджуваних крапель. Водночас краплі малого розміру можуть зберігати свою сферичну форму в результаті дії поверхневих сил.

З безлічі приладів, які використовують для проведення експериментів, найпоширенішим і важливим є електронний осцилограф. В останні роки поряд зі звичайними аналоговими осцилографами часто використовуються цифрові осцилографи, які допускають підключення до персонального комп'ютера (ПК) [3]. Становлять інтерес віртуальні осцилографи, виконані у вигляді приставок до ПК (тому їх називають також РС – осцилографи). Їх «віртуальність» проявляється лише в тому, що передня панель осцилографа створюється на екрані дисплея ПК відповідними програмними засобами. В даному експерименті використовувалася осцилографічна приставка PCS500. Приставка працює за допомогою встановленої на ПК програми PC-Lab 2000.

Для отримання достовірних відомостей про величину зміни тиску в рідкому середовищі на певній відстані від парової порожнини, яка утворюється або зростає, за допомогою малоінерційних датчиків тиску необхідно провести тарування даних датчиків шляхом встановлення функціональної залежності між значеннями напруги, які реєструє приставка PCS500, і реальними значеннями тиску. Тарування датчика тиску проводилось шляхом зіставлення одержаних значень напруги зі значеннями тиску, які показував еталонний лабораторний манометр. Для цього застосовувалася установка, показана на рис.2.

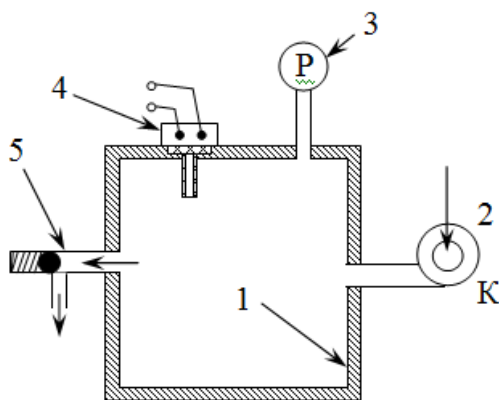


Рисунок 2 – Схема лабораторної установки для тарування датчика тиску (позначення в тексті)

Представлена на рис.2 установка складається з ємності 1, в яку компресором 2 подається повітря. Тиск повітря всередині ємності 1 фіксується манометром 3. Для зіставлення показань датчика тиску 4 і манометра 3 використовувалися різні значення тиску в ємності. Регулювання тиску проводилося шляхом застосування різних встановлень спрацьовування перепускового клапана 5.

Таким чином, створена експериментальна установка (рис.1) дозволяє визначити зміну тиску в часі на визначеній відстані від поверхні закипаючої краплі низькокиплячого компонента середовища (води) за допомогою малоінерційного датчика тиску, підключеного до віртуального осцилографу, і за допомогою

програми PC-Lab 2000 обробити отриману інформацію.

Метою експерименту, проведеного за допомогою установки, показаної на рис.1, є визначення характеру зміни амплітуди тиску в несучій рідині (маслі) на визначеній відстані від поверхні краплі води, яка занурена в неї, має певний розмір, в момент появи і подальшого зростання парового об'єму, а також отримання кількісних характеристик протікання процесу.

В експерименті розглядалася крапля води з початковим діаметром 1 мм, яка подавалася за допомогою капіляра в об'єм нагрітого масла. Одержуваний діаметр краплі води при витіканні з капіляра попередньо був виміряний за допомогою лабораторного мікроскопа, який надалі при проведенні дослідження участі не брав. Відстань між при-

ймальним отвором датчика 7 (рис.1) і поверхнею підставки 8 складала 5 мм. Не враховуючи явища змочуваності поверхні для малих крапель, у яких поверхневі сили, які прагнуть повернути форму краплі до кулястої, досить великі, можна приймати, що відстань між приймальним отвором датчика і поверхнею краплі води становить 4 мм. Таким чином, в експерименті початкове значення відстані, на якій вимірюється тиск в маслі, складало 4 мм.

Поява і зростання парової фази ініціювалися шляхом введення краплі води в нагріте до температури 140°C масло. Тим самим вода опинялася в середовищі, температура якого вища від температури насичення води при атмосферному тиску (тиск, при якому проводився експеримент). Як наслідок, відбувалося закипання води, яке супроводжувалося появою парових бульбашок на межі розділу фаз масло-вода, через те, що на даній границі розділу знижений міжфазний натяг, тому що масло по відношенню до води є поверхнево-активною речовиною.

Для виключення впливу матеріалу підставки на процес закипання води в якості підставки використовувалася пробкова пластина, коефіцієнт теплопередачі якої нижчий, ніж у використуваного масла. Наявність на поверхні самого коркового матеріалу газових порожнин, які можуть призвести до неточних результатів вимірів, так як будуть джерелами динамічних сил при їх прогріванні (джерелами газоутворення), виключалося шляхом їх прогрівання в маслі і, як наслідок, спливання на поверхню масла. В результаті масло займало ті пори коркової пластини, які були звільнені газом.

Результати проведеного експерименту представлені на рис.3. З даного рисунка видно, що поява нової фази (пари) ініціює різке зростання тиску в околиці закипаючої краплі води. При цьому на екрані віртуального осцилографа на початку утворення парової фази, тобто закипання, було відзначено кілька істотних піків зростання тиску (0÷0,1 мс), що вказує на утворення дуже великої кількості парових бульбашок, які зго-

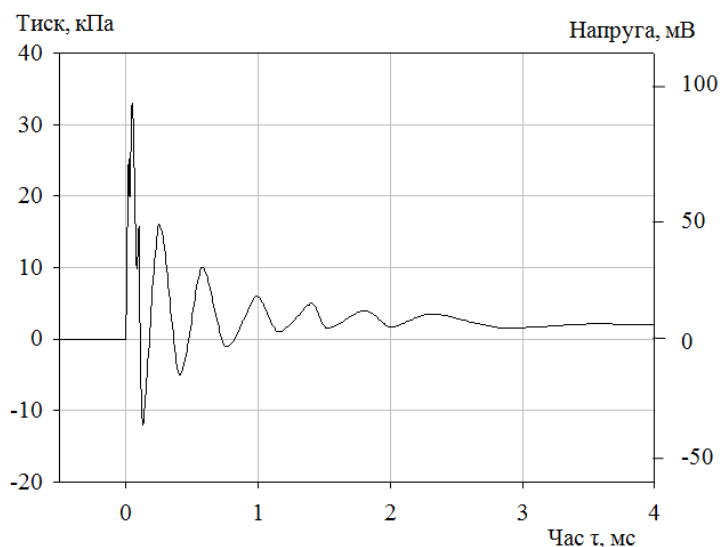


Рисунок 3 – Зміна тиску в маслі при початковій відстані від поверхні краплі води до точки вимірювання 4 мм при зростанні парової фази в результаті закипання води

дом зливаються одна з одною, що добре спостерігалось візуально при подальшому зростанні парової фази. Відмінність в значеннях тисків пояснюється тим, що ці центри пароутворення знаходяться в різних точках поверхні краплі води і, як наслідок, різна і відстань від даного центру утворення бульбашки до приймального отвору датчика. Це означає, що найбільше значення фіксованого тиску дає найближчий до датчика центр пароутворення.

Подальша зміна тиску в часі на змінюваній відстані від утвореної поверхні розділу фаз масло-пар до датчика показує на його осциляційний характер. При цьому амплітуда виникаючих коливань зменшується, а період зростає, тобто коливання є затухаючими. Можливе також існування розрідження, максимальне значення якого досягає ≈ 12 кПа. Значення тиску встановлюється на певному рівні, який трохи вищий від тиску навколишнього середовища, проходячи характерні осциляції з великою амплітудою на початковій ста-

Подальша зміна тиску в часі на змінюваній відстані від утвореної поверхні розділу фаз масло-пар до датчика показує на його осциляційний характер. При цьому амплітуда виникаючих коливань зменшується, а період зростає, тобто коливання є затухаючими. Можливе також існування розрідження, максимальне значення якого досягає ≈ 12 кПа. Значення тиску встановлюється на певному рівні, який трохи вищий від тиску навколишнього середовища, проходячи характерні осциляції з великою амплітудою на початковій ста-

дії. Час встановлення цього рівноважного значення тиску становить ≈ 4 мс.

Таким чином, в результаті проведеного експерименту отримано якісну і кількісну картину зміни тиску на певній відстані від зростаючої парової порожнини. В ході проведення експерименту було встановлено, що поява і зростання парового об'єму відбуваються не одразу після занурення краплі води в масло, а після певного проміжку часу. Зрозуміло, що цей проміжок часу складається з періоду прогріву поверхні краплі води до температури насичення при даному тиску, а також періоду формування парових бульбашок. На осцилограмі рис.3 показані дані, які визначають ріст парового прошарку і лише проміжок часу, протягом якого тиск підвищується до пікового значення, в деякій мірі визначає частину періоду формування парових бульбашок.

Тиск біля парового об'єму можна визначити з рівняння [5]

$$p(r) = p_{\infty} + \left[p_1 - p_{\infty} + 0,5 \rho_M w_1^2 \left(1 - \frac{R_1^3}{r^3} \right) \right] \frac{R}{r}, \quad (1)$$

де p_{∞}, p_1 – тиск на нескінченно великій відстані від поверхні парової бульбашки та тиск на поверхні розділу пара-несуче середовище відповідно, Па; ρ_M – густина несучого середовища (масла), кг/м^3 ; w_1 – швидкість руху поверхні розділу пара-масло, м/с ; R_1 – радіус границі розділу пара-масло, м.

Проводячи розрахунки за рівняннями моделі зростання парової фази закипаючої краплі води у нескінченному об'ємі масла [6], спільно з рівнянням (1) для умов проведеного експерименту при певних значеннях радіуса отримаємо розподіл тиску у межах зростаючого парового об'єму. Результати розрахунків представлені на рис.4.

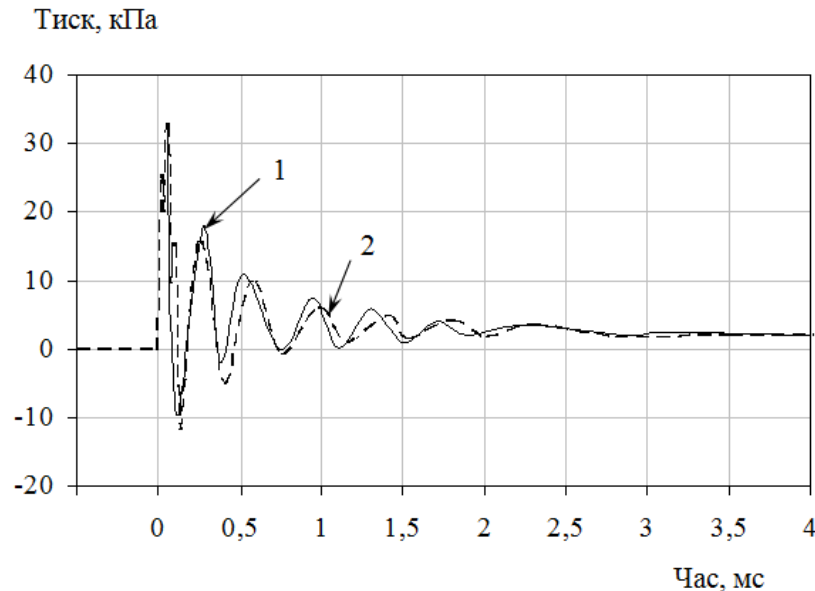


Рисунок 4 – Зіставлення розрахункових (крива 1) і експериментальних (крива 2) даних росту парової фази при закипанні краплі води в перегрітому маслі

том встановлено, що спочатку утворюються окремі бульбашки, які згодом зливаються одна з іншою; початковий тиск пари прийнятий рівним найбільшому замірному експериментально. Як наслідок, розрахунок не враховував певний період формування парової фази, протягом якого тиск зростав до початкового, прийнятого для розрахунку.

Порівнюючи отриманий розрахунком розподіл у часі тиску з експериментальними даними, видно їх узгодженість за частотою зміни тиску. Спостережувана незгодженість в зміні амплітуди значення зміни тиску пояснюється тим, що в розрахунок розглянута крапля має форму кулі, але навіть при умові малості явища змочуваності поверхні реальна крапля не має ідеальної форми кулі.

У розрахунку приймався вже існуючим певний розмір парового прошарку (1 $\mu\text{м}$), в той час як експериментом

Але, як впливає з рис.4, появу кожної окремої бульбашки на межі розділу компонентів можна ототожнити з формуванням парового прошарку певного розміру.

Висновки. Отримані в результаті проведення експерименту дані дозволяють детально розглянути процес закипання водної фази емульсії, а також доводять, що формування парового прошарку відбуватиметься на границі двох незмішуваних рідин шляхом коагуляції утворених на даній границі розділу окремих парових бульбашок. Застосування віртуальних осцилографів спільно з комп'ютерним забезпеченням дозволяє скоротити трудомісткість проведення експерименту і, незважаючи на достатню складність його проведення, пов'язану з малими розмірами досліджуваних часток і часовими проміжками виміру, отримати якісну і кількісну характеристики осциляції імпульсів тиску на певній відстані від їх джерела.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гаврилов П.М. Динамика фазового перехода при вскипании сильно перегретой жидкости / Гаврилов П.М. // Теплофизика высоких температур. – 1999. – Т.37. – №4. – С.602-605.
2. Домбровский Л.А. Динамика парового пузыря при тепловом взаимодействии горячей сферической частицы с окружающей водой / Л.А.Домбровский, Л.И.Зайчик // Теплофизика высоких температур. – 2000. – Т.38. – №6. – С.975-984.
3. Рудаков П.О. Обработка сигналов и изображений MathLab 5.X / П.О.Рудаков, И.В.Сафонов. – М.: Диалог – МИФИ, 2000. – 416с.
4. Shima A. Temperature effects on single bubble collapse and induced impulsive pressure / A.Shima, Y.Tomita, T.Ohno // J.Fluid Eng. – 1988. – Vol.110, №2. – P.194-199.
5. Долинский А.А. Теоретическое обоснование принципа ДИВЭ. 2. Исследование поведения ансамбля паровых пузырьков / А.А.Долинский, Г.К.Иваницкий // Промышленная теплотехника. – 1996. – Т.18. – №1. – С.3-20.
6. Климов Р.А. Влияние внутреннего подвода теплоты на процессы вскипания эмульсионных сред / Климов Р.А. // Сборник научных трудов Днепродзержинского государственного технического университета. – Днепродзержинск: ДГТУ. – 2013. – Выпуск 3(23). – С.109-113.

Надійшла до редколегії 08.12.2014.

УДК 539.377

ЧЕРНЫЙ О.А., к.т.н., доцент

Днепродзержинский государственный технический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОНАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПЛИТЫ ПРИ СКОРОСТНОМ НАГРЕВЕ

Введение. Технические условия многих отраслей производства нуждаются в интенсификации соответствующих теплотехнологических режимов. Однако, необоснованное повышение рабочих температур и сокращение сроков тепловой обработки объектов могут привести к росту температурных перепадов, что обусловит появление опасных температурных напряжений и других негативных последствий. Именно этим объясняется все возрастающая необходимость оптимального решения противоречий во взаимосвязи энергозатрат с временем нагрева, качеством продукции и ее термостойкостью.

Как известно, поиск температурных режимов скоростного нагрева массивных слитков при разных ограничениях относится к задачам управления системами с рас-