Інститут газу НАНУ
Відділ термохімічних процесів і нанотехнологій

«Розробка наукових засад виробництва і використання нанорідин для підвищення безпеки та ефективності енергетичного обладнання, зокрема ядерних реакторів»

Основні відповідальні виконавці:

к.х.н. Морару В.Н., к.т.н. Сидоренко С.В., к.т.н. Комиш Д.В., Сидоренко М.А., Гудков М.М., к.т.н. Стратівнов Є.В.

❖Запропоновано і вперше в Україні створено стабільні та стійкі до багатократних циклів кипіння/охолодження композитні НР, які забезпечують одержання найбільших критичних теплових потоків (КТП) серед відомих на сьогодні НР.

❖Поставлена і вперше вирішена задача створення НР на основі українських алюмосилікатів й вуглецевих наноматіріалів для використання в якості теплоносіїв при їх кипінні.

.

❖Досліджено вплив різних чинників (природи і концентрації твердої фази, форми і анізометрії частинок, добавок диспергенту, ПАР і електролітів, стану поверхні нагрівання) на значення критичного теплового потоку при кипінні НР.

❖Встановлено, що величини КТП і максимально досяжного питомого теплового потоку при кипінні НР тим вище, чим більше коефіцієнт анізометрії наночастинок. Це пояснюється тим, що в результаті відкладення НЧ при кипінні НР з сильно анізометричними частинками, поверхня нагрівача набуває більш пористий і шорсткий характер, а шорсткість та пористість різко підвищують площу поверхні теплообміну і кількість центрів пароутворення.

- Встановлено, що добавки іонних диспергентів до алюмосилікатних нанорідин, підвищуючи їх агрегативну і седиментаційну стійкість, як правило, погіршують теплові параметри при кипінні, викликаючи раптовий передкризовий перепал нагрівача в установці, що живиться постійним струмом.

- Розкрито механізм явища. Показано, що добавки диспергентів і поверхнево-активних речовин до вуглецьмістячих нанорідин з високою теплопровідністю, покращуючи їх стійкість, в той же час підвищують коефіцієнт тепловіддачі при кипінні, а також викликають докризовий перепал нагрівача в разі нагрівання постійним струмом.

- Проаналізовано вплив диспергентів на кризові явища при кипінні води і нанорідин, і з'ясовано причини раптового докризового перепалу нагрівача.

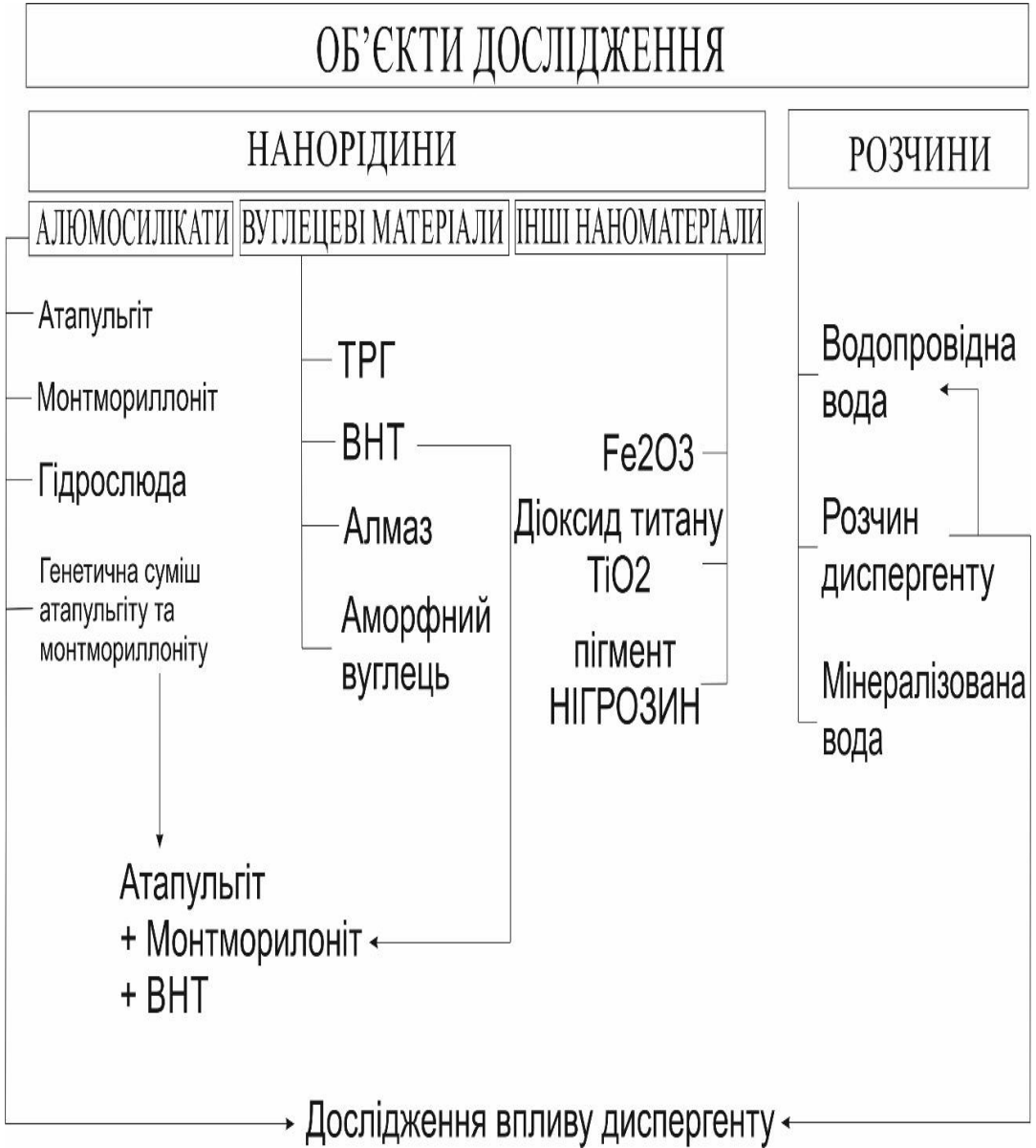
- Успішне охолодження ніхромових дротин від 600°С до 170°С, здійснене в умовах вільної конвекції, відкрило нову сторінку перспективного застосування нанорідин (НР) при аварійних критичних ситуаціях в ядерній енергетиці.

- В дослідженнях проводились експерименти з застосуванням дротяного ніхрому (l/d=14/0.3мм), далі фехралю (d= 1 мм), намотаному в вигляді щільної спіралі на кварцеву трубку зовнішнім діаметром 8 мм. Температура цих нарівачів досягала 800 С, мало місце плівкове кипіння дистильованої води.

- CFD моделювання процесів кипіння при різних умовах у порівнянні з експериментом та літературними даними показало цілком задовільне збігання не тільки у статиці, а й у динаміці утворення, взаємному групуванню і в решті відриву та підійманню бульбашок пари. Було розроблено розрахункову модель в коді ANSYS Fluent для симуляції перехідних процесів кипіння дистильованої води та нанофлюїдів з метою використання її для аварійного охолодження корпусу ядерного реактора.
- Було проведено попереднє розрахункове обґрунтування можливості використання новітніх нанорідин при зовнішньому охолодженні корпусу ядерного реактора ВВЕР-1000 для запобігання його розплавлення під час важкої аварії за допомогою спеціалізованого коду MELCOR. Допрацьовано модель енергоблоку АЕС в коді MELCOR відносно змін теплових і теплофізичних властивостей середовища, що охолоджує корпус реактора, при додаванні наночастинок.

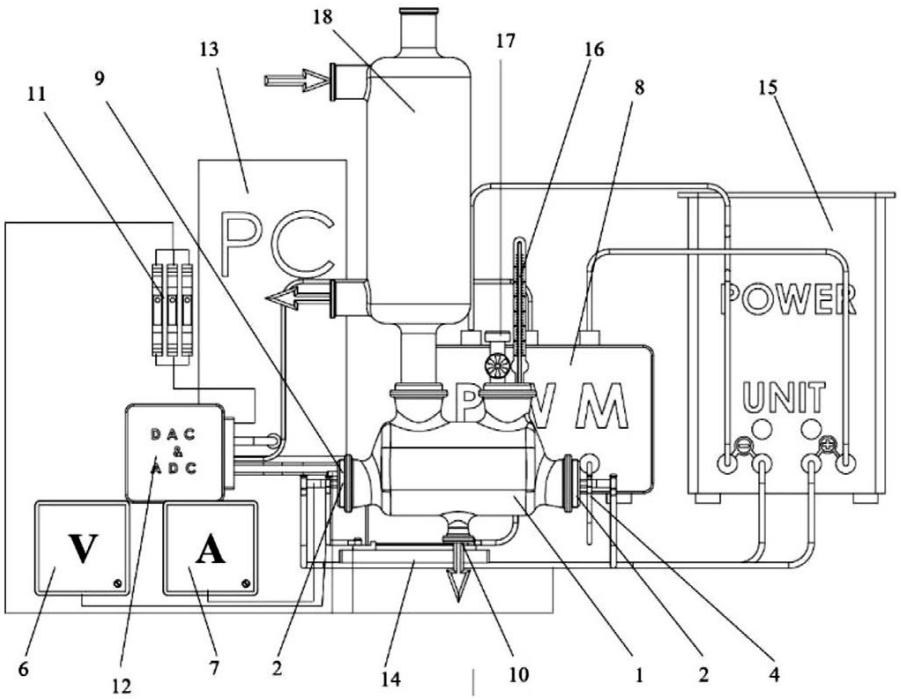
Склад нанорідин

Нанорідина – дисперсія твердих частин у базовій рідині. В якості базової рідини зазвичай використовуються традиційні теплонсії. В Інституті газу створено широкий спектр водних нанорідин з різними теплофізичними та фізико-хімічними властивостями

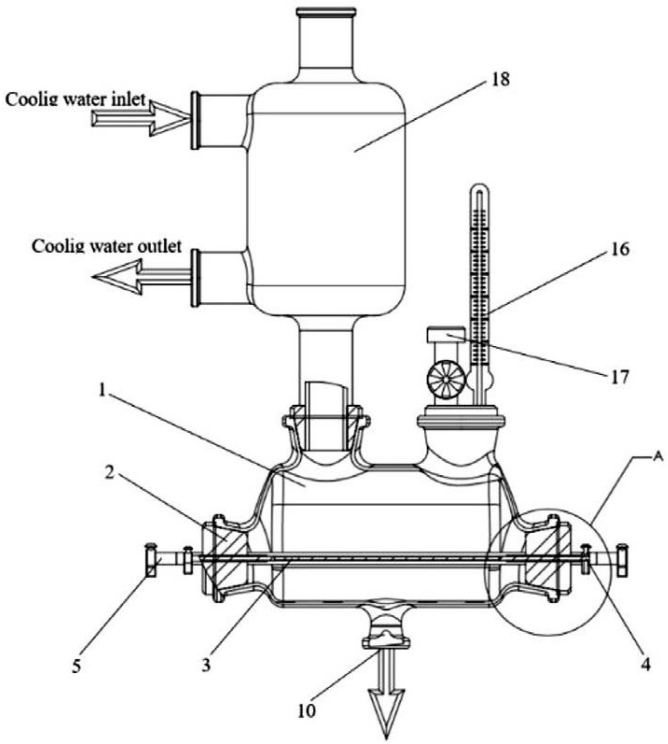


Фотозображення нанофлюїдів на основі TiO2 (1), аттапульгіту (2), природної суміші аттапульгіту та монтморилоніту (3), тієї ж суміші з 0,1% УНТ (4), термічно розширеного графіту (5), синтетичний алмаз (6), УНТ (7) та вуглецева сажа DG-100 (8)
 через 1 місяць седиментації

Дослідження теплофізичних параметрів створених нанофлюїдів при їх кипінні



Автоматизована лабораторна установка



Експериментальна комірка

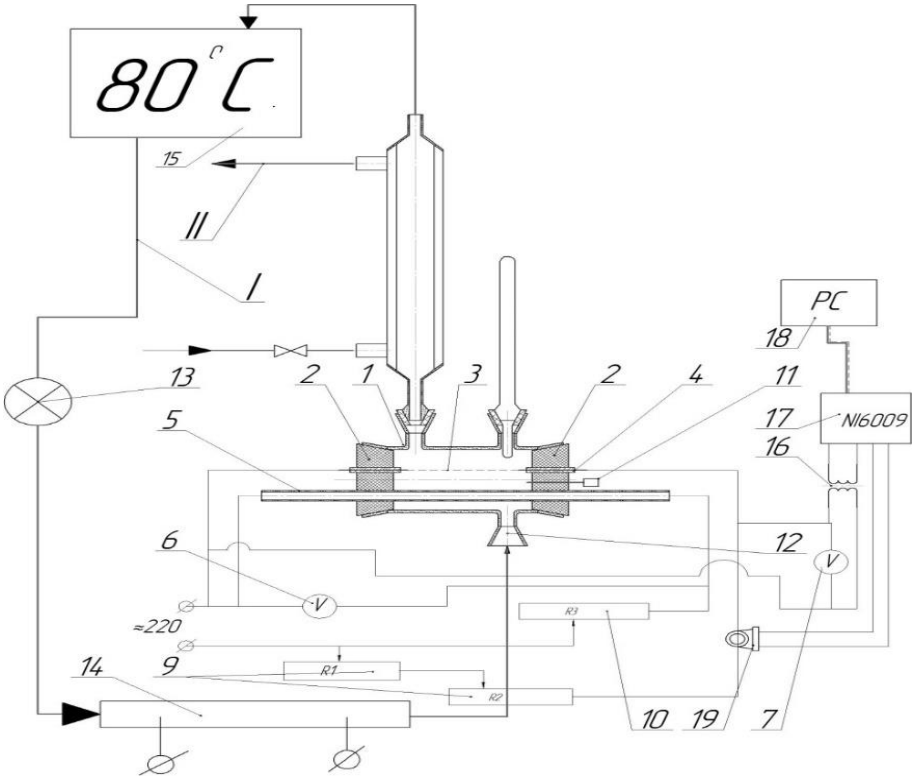
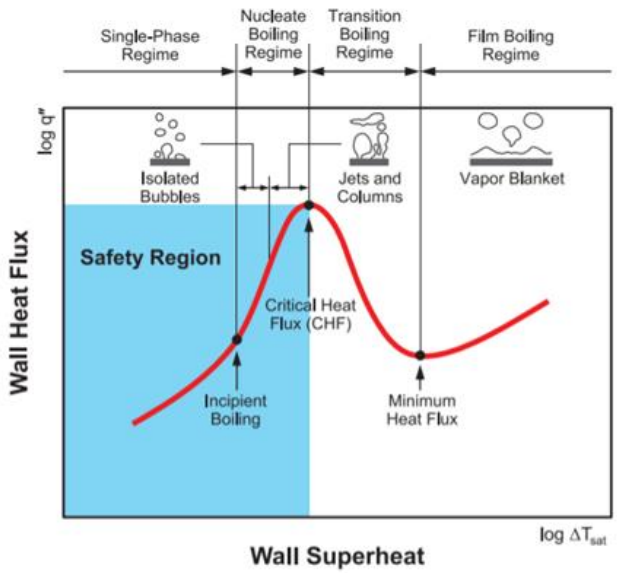
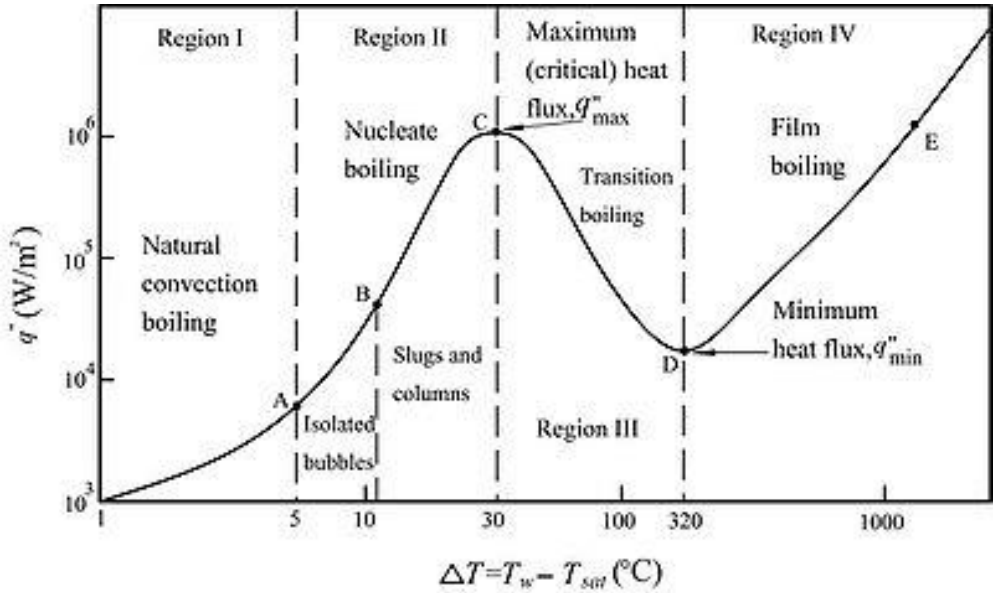


Схема лабораторної установки

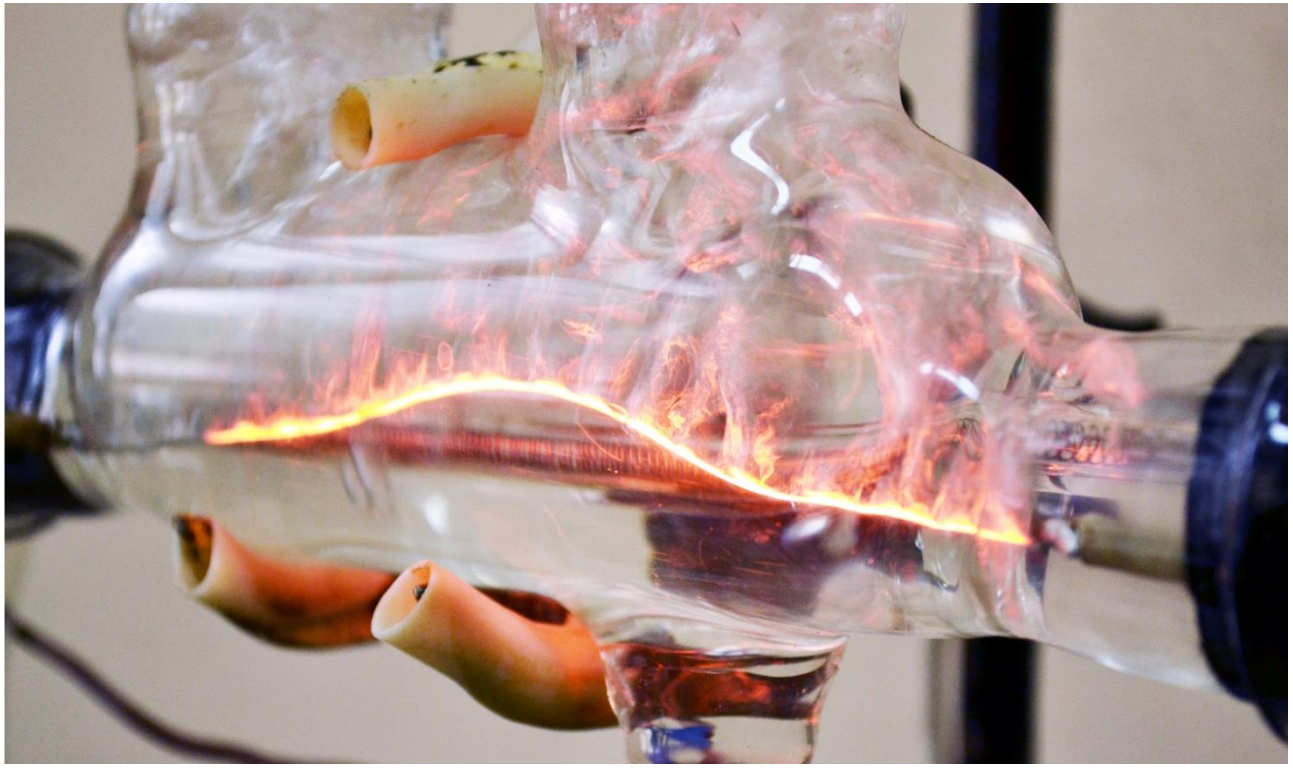
1 – експериментальна посудина; 2 – пробки; 3 – основний нагрівач;
4 – під'єднувальні електроди;
5 – допоміжний нагрівач; 6 – вольтметр допоміжного нагрівача;
7 – вольтметр основного нагрівача; 9 – реостат основного нагрівача;
10 – реостат допоміжного нагрівача ; 11 – термопара; 12 – зливний кран; 13 – циркуляційний насос;
14 – проміжний нагрівач експериментальної рідини; 15 – накопичувальний резервуар; 16 – понижаючий трансформатор;
17 – NI USB-6009; 18 – ПК; 19 – датчик CSLA1CD;



Boiling curve.



Залежність теплового потоку від режиму кипіння



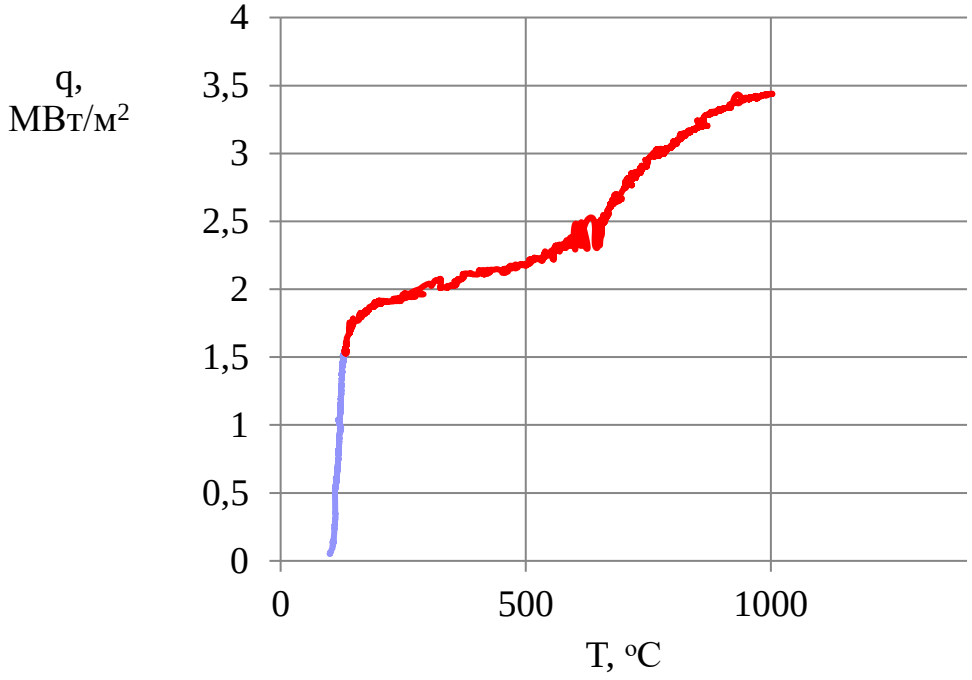
Криза кипіння першого роду

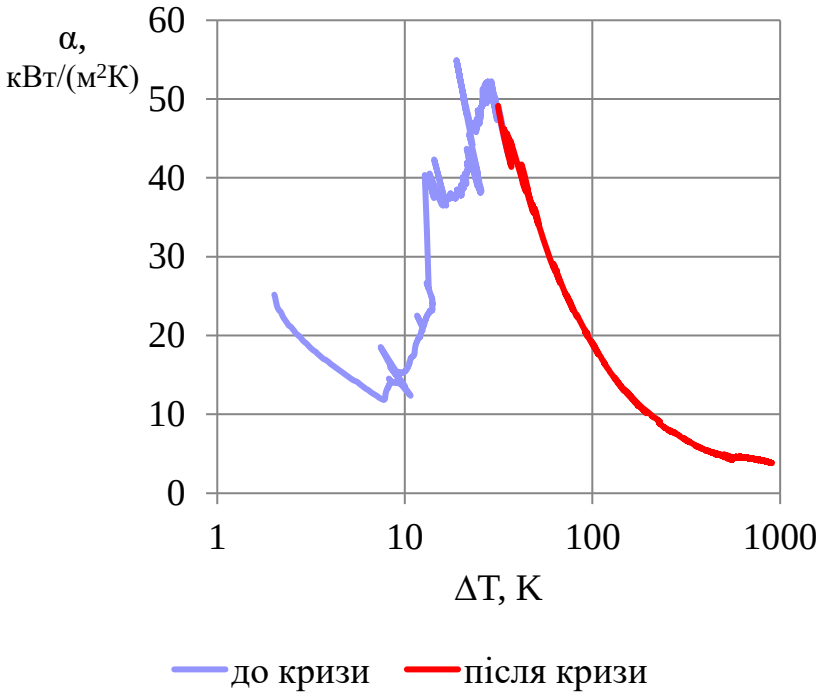
Методика експеримента

Методика проведення експерименту передбачає нагрівання досліджуваної рідини до температури кипіння додатковим нагрівачем, який при досягненні температури кипіння використовується для компенсації теплових втрат у навколишнє середовище. Після цього вмикається основний ніхромовий нагрівач, на поверхні якого і відбувається кипіння НР при високих питомих теплових потоках (ПТП) (можливе досягнення ПТП 25МВт/м^2) та одночасне вимірювання температури. Застосування автоматизованого запису результатів експерименту робить можливим вимірювання всіх параметрів досліду з частотою до 10 Гц. Оскільки нанорідини є непрозорими, то при їхньому кипінні неможливо візуально зафіксувати досягнення критичного теплового потоку. З цією метою розроблено програму комп’ютерного розрахунку значення питомого теплового потоку та коефіцієнту тепловіддачі для спостереження за зміною параметрів кипіння в режимі реального часу.

Завдяки широким можливостям завдання різних програм досягення значень теплових потоків на лабораторній установці можливе проведення досліджень, що визначають здатність нанорідин до охолодження перегрітих корпусів ядерних реакторів. В цьому випадку нанорідина вводиться в робочий об’єм вже після досягення кризи кипіння попереднім теплоносієм.

На створеній нами автоматизованій установці отримано криві кипіння і залежності коефіцієнта тепловіддачі від ΔT для всіх НР, з яких визначені величини КТП і максимального КТВ в порівнянні з такими для базової рідини (ДВ). Було встановлено, що для всіх НР ці теплові характеристики на 50-300% вище, ніж для води, а головне, криза кипіння НР відсувається до більш високих теплових навантажень і втрачає свою раптовість (див., наступний слайд), що дуже важливо для практичного застосування теплоносіїв.





а) **б)**

Рис. 4. Залежність ПТП від а) температури поверхні нагрівача та б) коефіцієнту тепловіддачі від ΔT

- У дослідженнях по кипінню НР саме критичне значення КТВ є якісним показником процесу теплообміну (рис. 4б). Доцільність подальшого підвищення питомого теплового потоку (рис. 4а) при теплообміні і настанні кризи, продиктована саме раптовим зниженням *коефіцієнта тепловіддачі*, так як це не дозволяє ефективно відводити тепло при надвисоких теплових потоках. Перевага розроблених нами НР якраз і полягає в забезпеченні подальшого зростання ПТП при падінні КТВ, що дає можливість для своєчасного запобігання розвитку аварійних ситуацій на виробництвах.
- Як було виявлено в ході проведення дослідів, важливим режимним параметром для нормальної роботи НР є швидкість підйому теплового навантаження (ШПТН) для формування оптимальної структури осаду на поверхні нагрівача. Виявлено пікове значення максимального теплового потоку (МТП) для НР з анізометричними частинками при швидкості підйому теплового навантаження рівній 1500 (Вт/м^2)×с$^{-1}$. (Рис. 5).
- Очевидно, при такій ШПТН відбувається утворення оптимального псевдо-стабільного шару осаду на поверхні нагрівача, який і забезпечує максимальну тепловіддачу.
- Концентрація твердої фази в НР (Рис. 6) - один з ключових чинників, що впливають не тільки на вартість виготовлення НР, але і на ефективність їх тепловіддачі. У даній роботі досліджено вплив концентрації НЧ в НР на основі суміші аттапульгіту та монтмориллоніту і діоксиду титану на величину МТП при їх кипінні. Для алюмосилікатних НР виявлений максимум теплових властивостей при концентрації 0,65% мас. Зміна ж концентрації твердої фази в НР з ізометричними частинками TiO_2 не робить істотного впливу на теплові параметри і зростання МТП і КТП залишається в межах статистичної похибки експерименту.

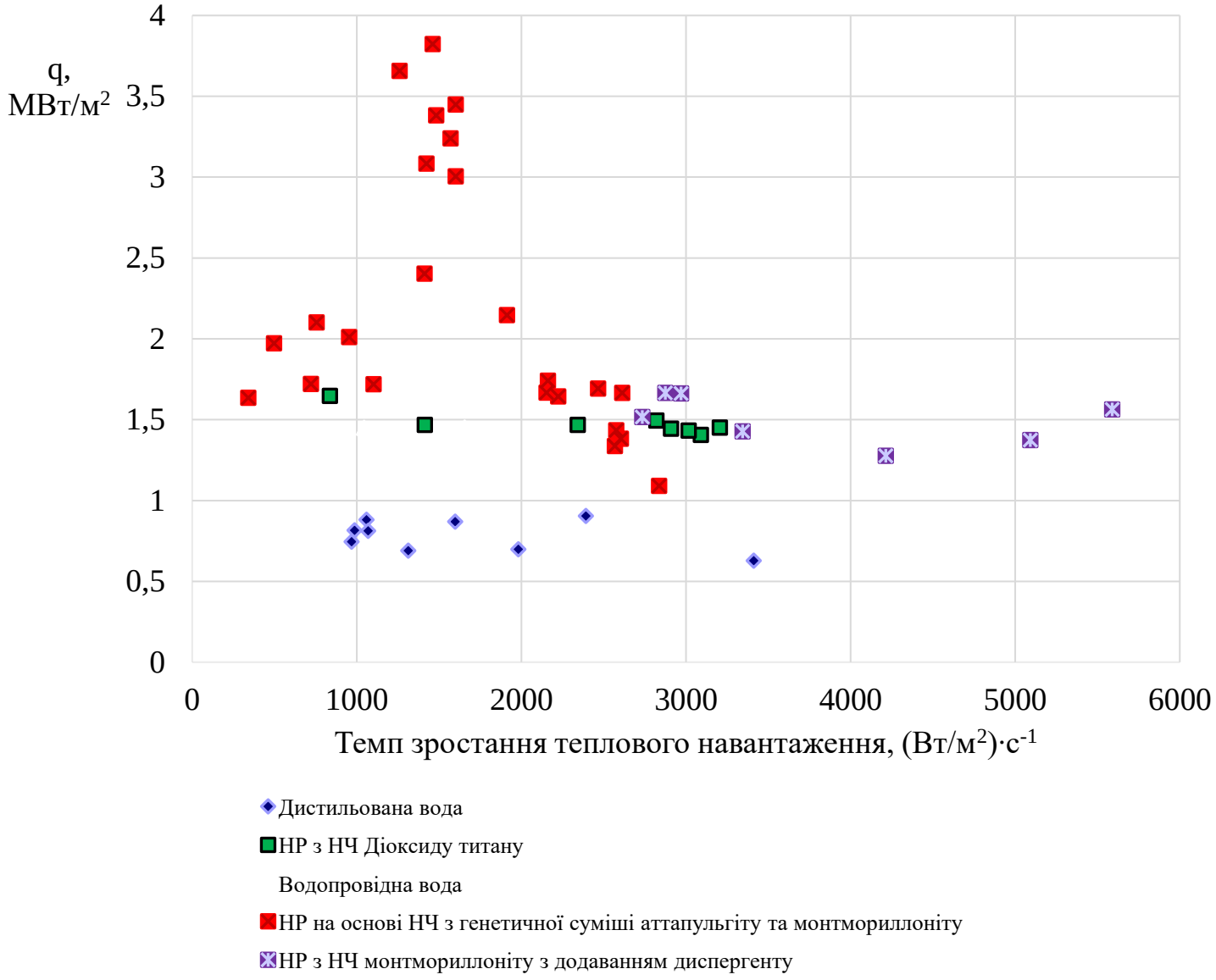


Рис. 5. *Залежності максимально досяжного теплового потоку в від швидкості підйому теплового навантаження.*

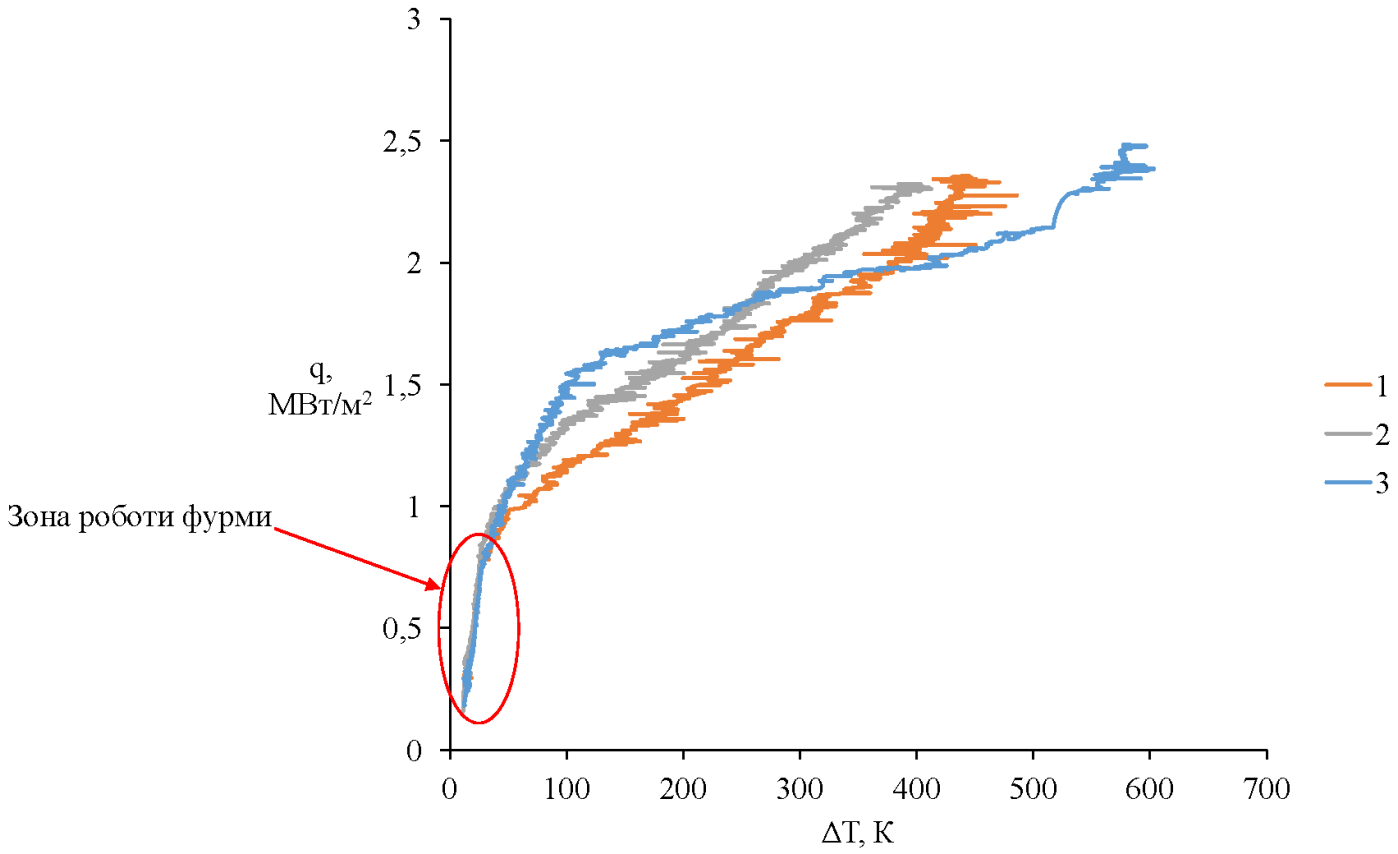


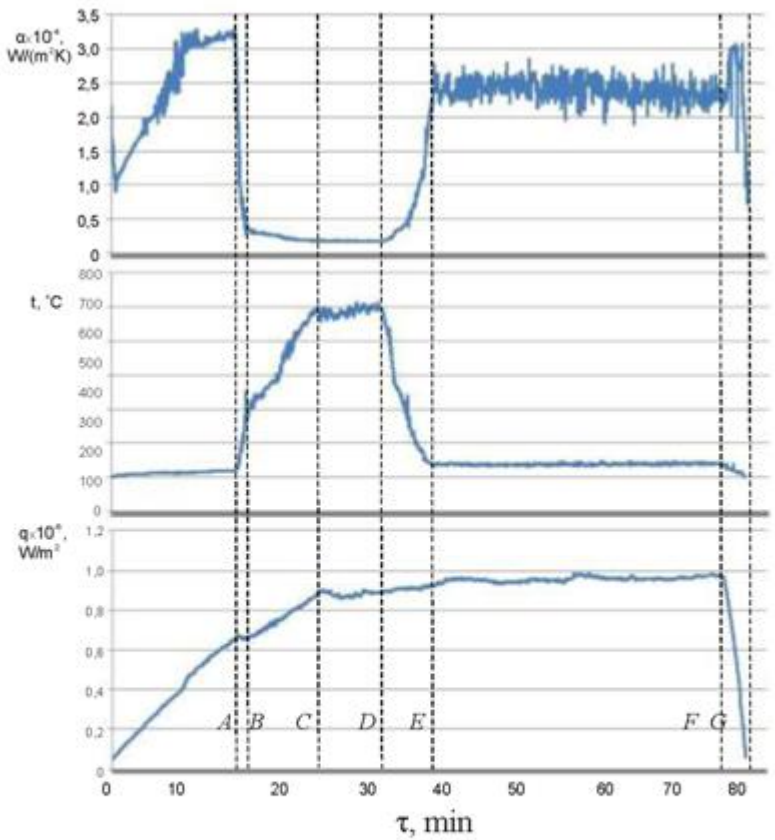
Рис. 8. *Криві кипіння ДВ на поверхні модифікованій алюмосилікатними наночасточками: 1 - перше кипіння ДВ на модифікованій поверхні; 2 - друге кипіння ДВ на модифікованій поверхні; 3 – крива кипіння на основі суміші аттапульгіту та монтмориллоніту на вихідній чистій поверхні нагрівання.*

Аварійне охолодження

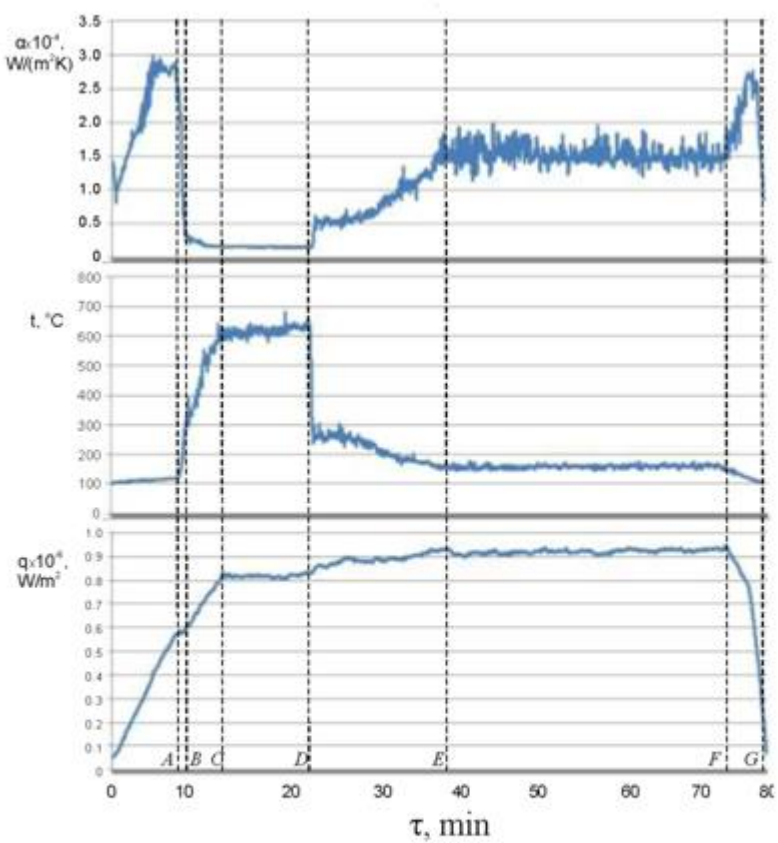
Аварійне охолодження застосовується без зміни робочого навантаження. При досягненні кризи кипіння чи запроектних навантажень на теплообмінному обладнанні можливе усунення перегріву та повернення до бульбашкового режиму кипіння без виводу обладнання з експлуатації та зниження робочих характеристик.

З метою перевірки ефективності розроблених нами НР як теплоносіїв були проведені їх випробування для екстреного охолодження перегрітих поверхонь теплообміну шляхом додавання порції попередньо підігрітої НР до об'єму киплячої ДВ, для якої вже настала криза кипіння (рис. 9). Досліди проводилися для НР на основі алюмосилікату та діоксиду титану відповідно.

Екстрене охолодження за допомогою НР (рис. 9) на основі суміші анізометричних наночасточок відбувається швидше і глибше, ніж при використанні НР з частинками TiO_2 ізометричної форми. Так, за допомогою НР на основі генетичної суміші атапульгіту і монтморилоніту вдалося повернутися до величини перегріву ΔT близько 35К (рис.9, зона Е). У той же час НР з наночасточками діоксиду титану давала мінімальне температурне навантаження на рівні $\Delta T \sim 55 - 60$К.



а) Al-Si-7a



б) TiO_2

- Зміна параметрів кипіння дистильованої води в часі з наступним додаванням порції НР після настання кризи кипіння першого роду.

По підвищенню питомого теплового навантаження (Рис. 47):

0 - C – режим стаціонарного підвищення теплового навантаження до досягнення значення q_{max} (точка "C")

C - F – режим кипіння при постійному значенні питомого теплового навантаження ($q=const.$)

F - G – зниження питомого теплового навантаження та вимкнення експериментальної установки (точка "G")

За умови розгляду ефективності процесу теплообміну даний рисунок можна пояснити наступним чином:

A – виникнення кризи кипіння першого роду.

A - B – короткий перехідний режим кипіння при якому відбувається стрімке зростання температури поверхні теплообміну без зростання теплового навантаження;

B - C – підвищення теплового навантаження в плівковому режимі кипіння;

C - D – зона теплообміну в плівковому режимі кипіння;

D – точка додавання НР до загального об'єму охолоджуючого середовища (дистильованої води);

D - E – зниження температури поверхні нагрівача та повернення до бульбашкового режиму кипіння;

E - F – стаціонарний бульбашковий режим кипіння при значенні теплового навантаження $q>q_{cr}$;

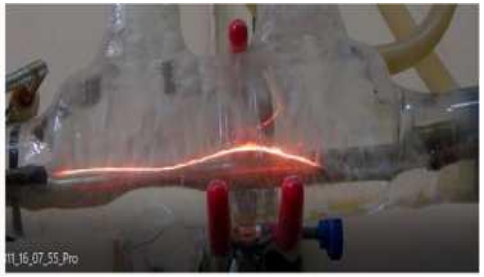
F - G – вимкнення експериментальної установки.

На Рис. 46 показане розташування даних точок на кривій кипіння класичного виду.

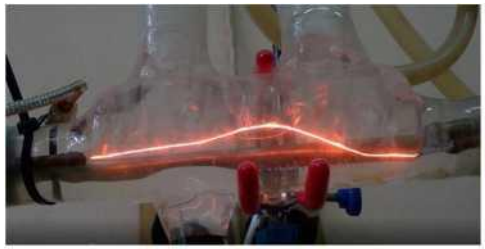
При поверненні до бульбашкового режиму кипіння в залежності від типу рідини температура поверхні нагрівача може опускатися до різного значення. Це

Розвиток кризи кипіння дистильованої води (a-c) та її усунення за допомогою добавки нанордини AlSi-7 (d – h)

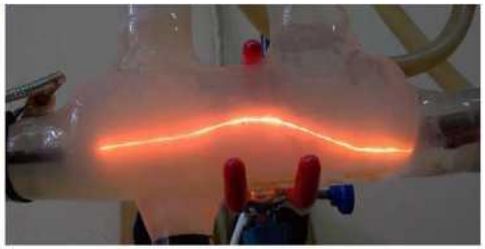
a) 0,70 MW / m^2



b) 0,75 MW / m^2



c) 1,10 MW / m^2



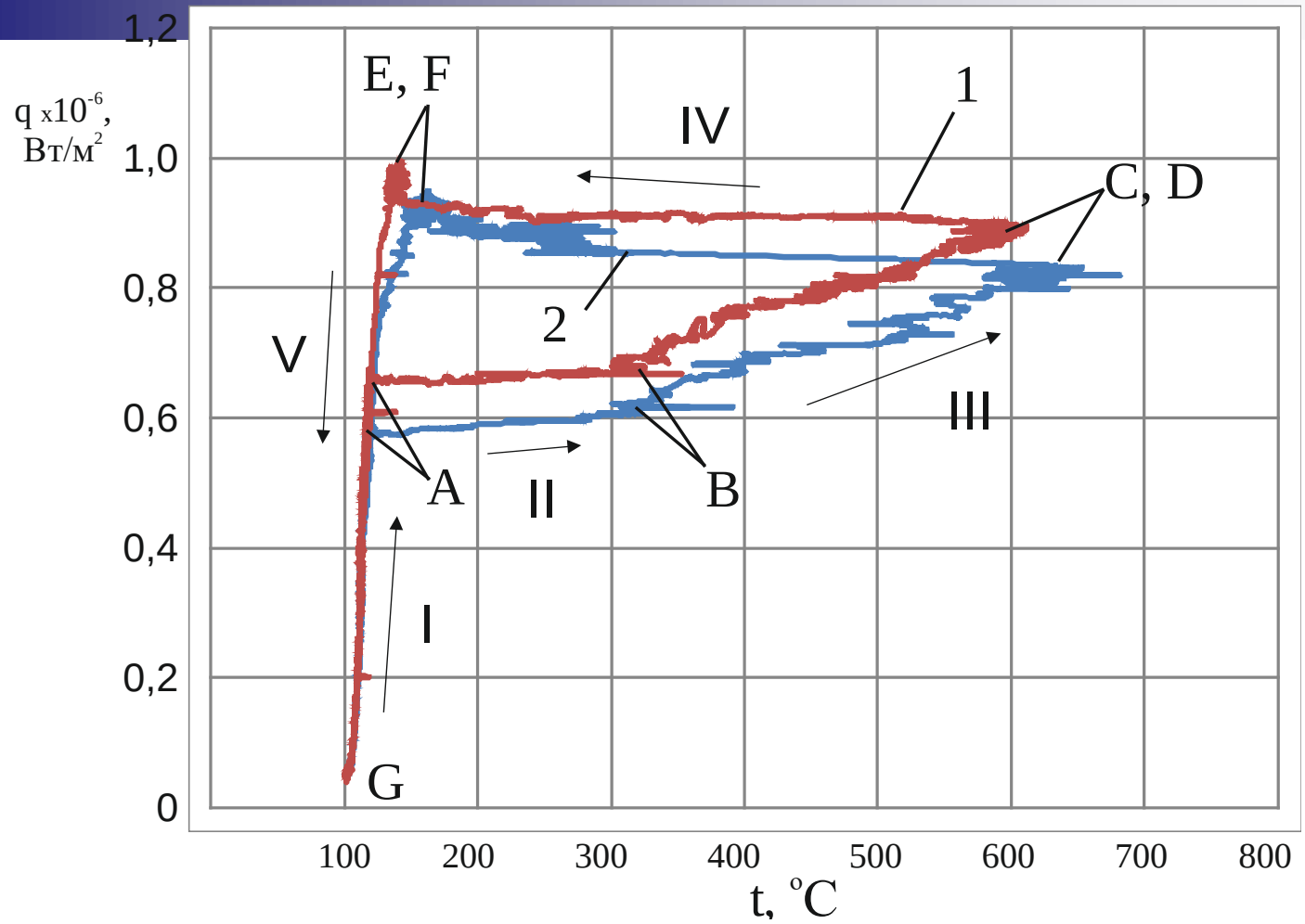
d) 1,10 MW / m^2

e) 1,15 MW / m^2

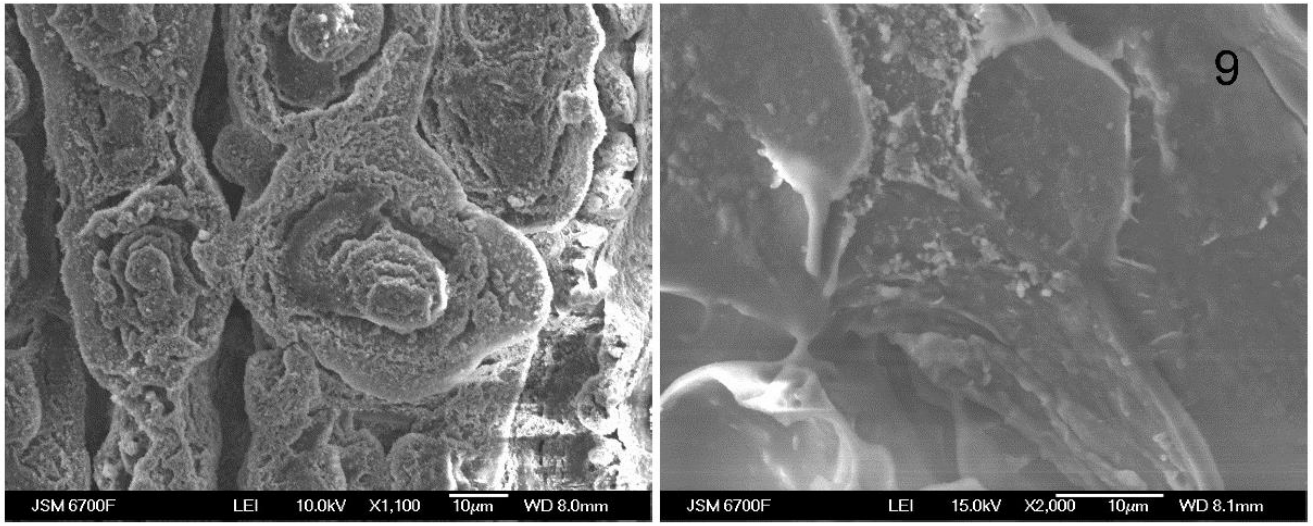
f) 1,18 MW / m^2

g) 1,21 MW /m^2

h) 1,25 MW/m^2



Порівняння впливу додавання нанорідин AlSi-7 (1) й HP-8 (2) до киплячого теплоносія в момент розвиненого плівкового режиму на хід кипіння теплоносія (води). Точки C, D вказують момент введення порції HP. На кривих кипіння для обох нанорідин точки C і D збігаються в одну, так само, як і точки E, F. Ділянки I (G−A) — підвищення теплового навантаження при бульбашковому режимі кипіння; II (A−B) — виникнення і перехід до стабільного плівковому режиму (кризи) кипіння; III (B−CD) — підвищення навантаження вже у плівковому режимі кипіння, коли руйнування нагрівача ще не відбулося; IV (CD−EF) — різке охолодження поверхні нагрівача після додавання порції нанорідини; V (EF−G) — зниження питомої теплового навантаження і вимикання лабораторної установки.

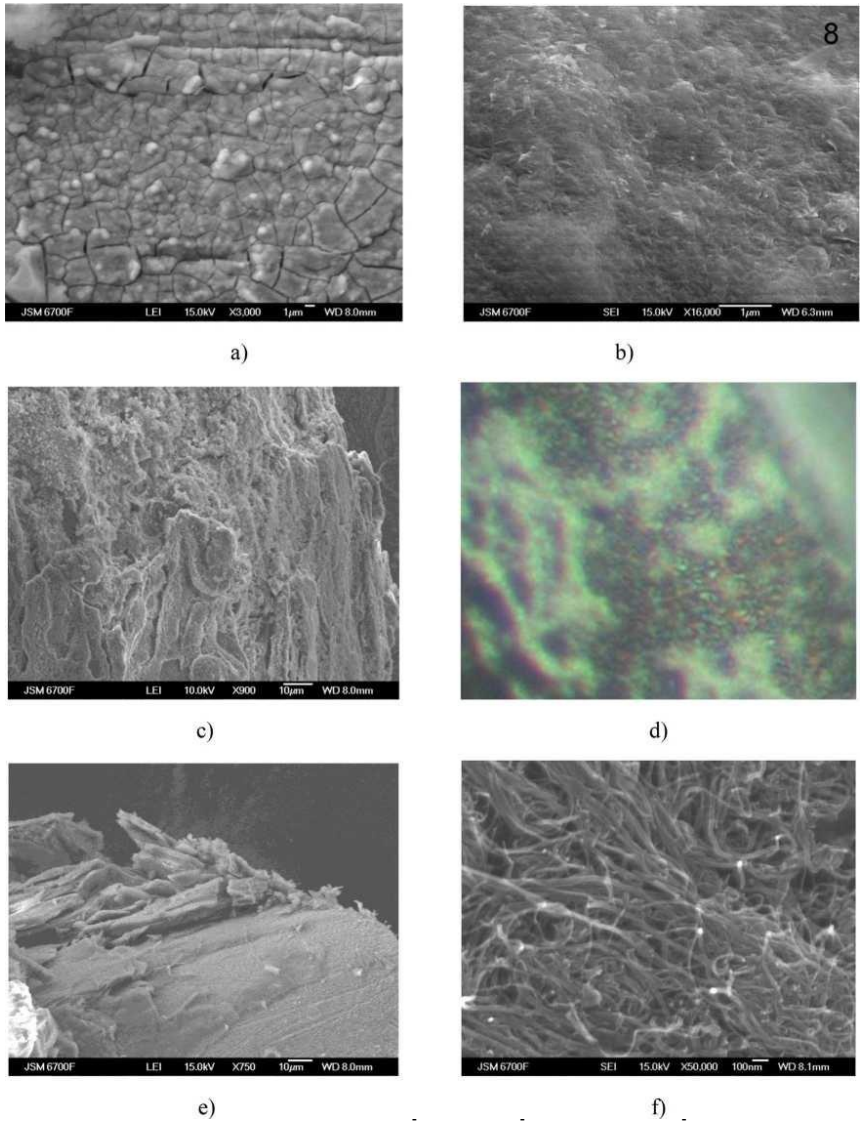


а) б)

Рис. 7. *Зображення поверхні нагрівання після роботи в середовищі НР на основі TiO_2 (а) і генетичної суміші аттапульгіту та монтмориллоніту(б)*

Як приклад, на Рис. 7 показані зображення модифікованих поверхонь теплообміну після кипіння НР і досягнення максимального теплового потоку (1,6 і 3,2 МВт/м^2) для двох нанорідин з наночасточками різної форми і природи. Як правило, модифіковані поверхні нагрівання з найбільш вираженою пористістю і шорсткістю відкладень характеризуються найбільш високими тепловими параметрами при кипінні. Це можливо пояснити тим, що пористість та шорсткість різко збільшують кількість центрів пароутворення і площу поверхні теплообміну.

Криві кипіння ДВ на Ni/Cr нагрівачах з модифікованою поверхнею після попереднього кипіння в середовищі НР на основі суміші аттапульгіту та монтмориллоніту, показані на Рис.8.



SEM-зображення відкладень на поверхні нагрівання після закипання водних нанорідин на основі: a) – гідрослюди, b) - монтморилоніту, c) -TiO 2, d) - синтетичного алмазу, e) - природної суміші аттапульгіту і монтморилоніт, f) - вуглецеві нанотрубки.

Таким чином, в залежності від типу доданої НР, при поверненні до бульбашкового режиму кипіння температура поверхні нагрівача може опускатися до різних значень. Це пояснюється принципово різними "наноархітектурами", що виникають на поверхні нагрівального елемента при кипінні різних НР нами було показано, що мікрорельєф, пористість і питома площа поверхні теплообміну можуть змінюватися в широких межах в залежності від дисперсності, форми і анізометрії частинок, що осіли. Очевидно, що саме з цими факторами пов'язана різна ступінь підвищення тепловіддачі та ефективності охолодження при використанні різних за природою нанорідин.

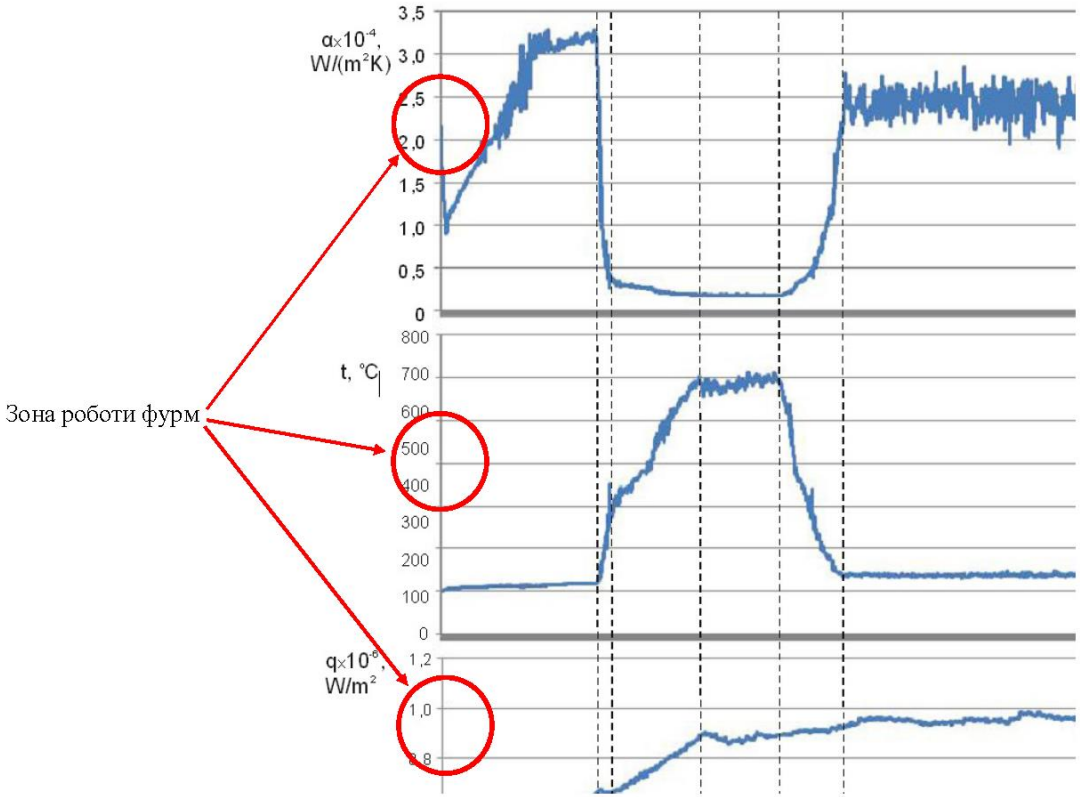
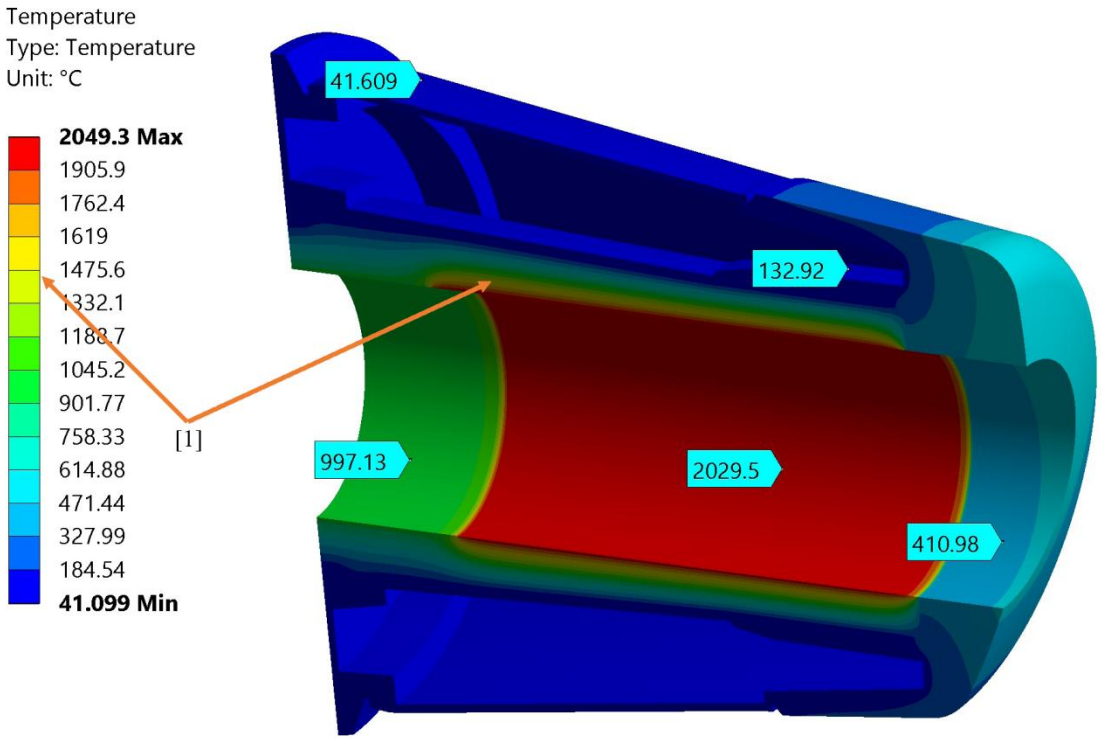


Рис. 9. *Зміна параметрів теплообміну при екстреному охолоджені нанорідиною на основі суміші аттапульгіту та монтмориллоніту.(Блакитною стрілкою позначена координата вводу додаткової порції НР)*

Рис 10 *- Розподіл температури в тілі фурми.*



Використання НР в контурі охолодження фурми дозволить виконувати стінку набагато меншої товщини, НР здатні ефективно працювати при температурах поверхні теплообміну набагато вище ніж технічна чи дистильована вода. [1] – температури при яких проведено випробування алюмосилікатних НР і показана можливість ефективного охолодження при таких умовах теплообміну (при вільній конвекції).

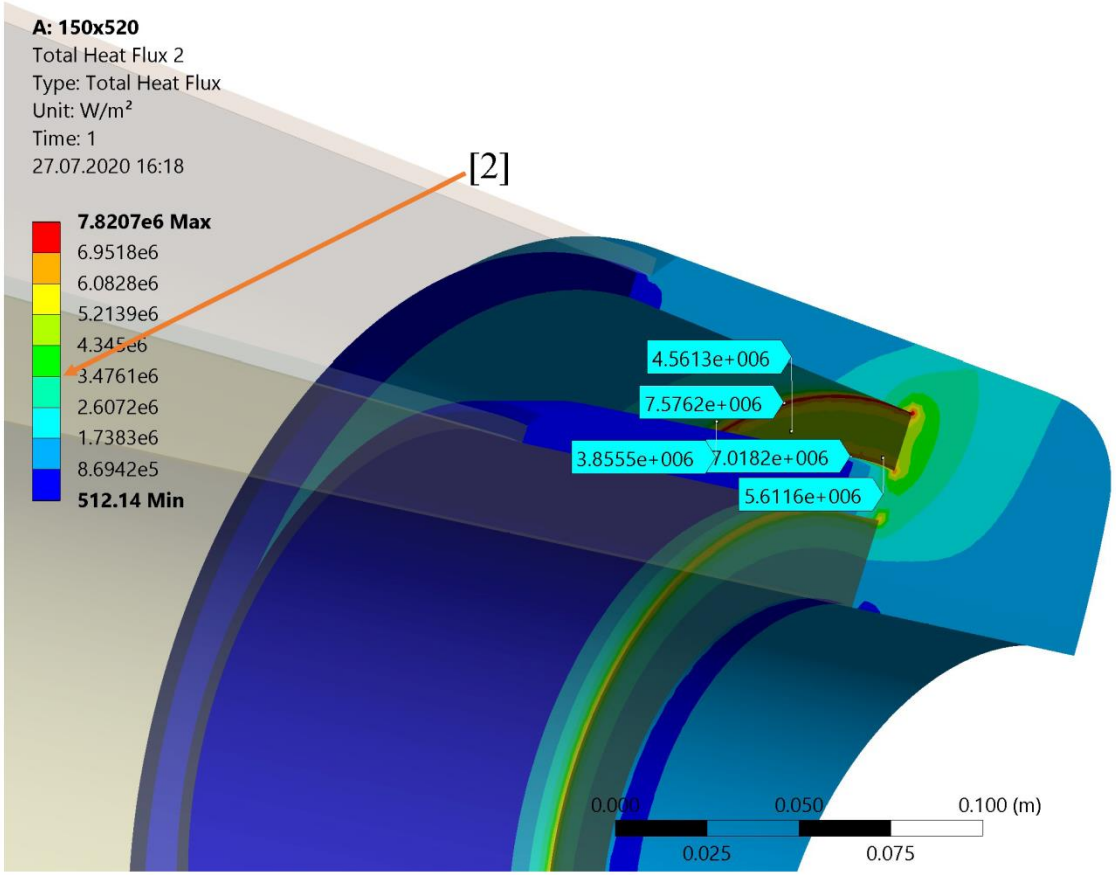


Рис. 11 – Питомий тепловий потік в різних ділянках фурми

[2] – Відповідно до Рис. 4 - алюмосилікатні НР показали свою надійну роботу при величинах питомого теплового потоку до 3,5МВт/м^2.

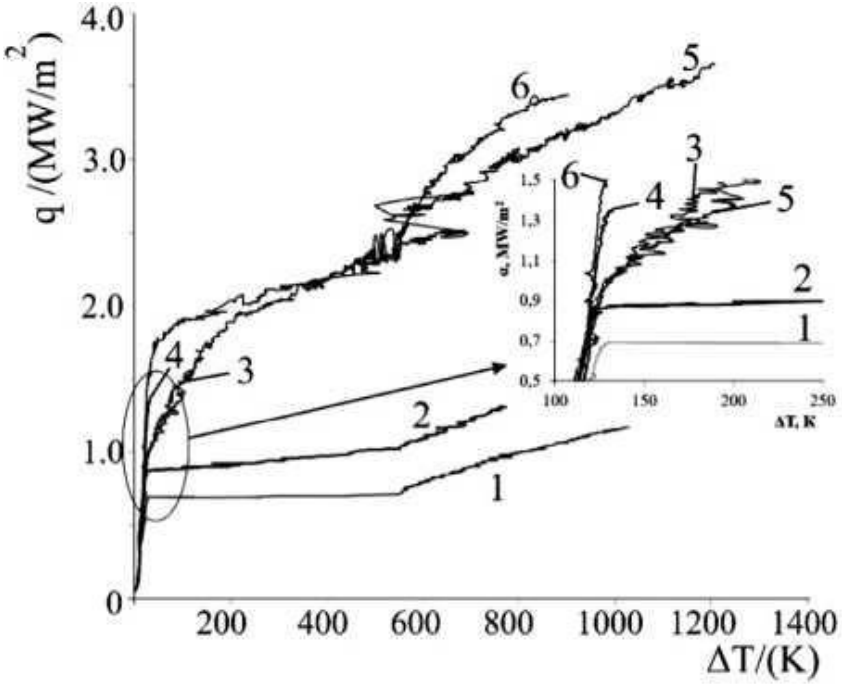
Слід зазначити, що дані цифри досягнути при умовах вільної конвекції. Використання ж вимушеної конвекції (циркуляції теплоносія) дозволить значно їх розширити.

Фізико-хімічні властивості й значення теплових параметрів води й водних нанофлюїдів при кипінні на установці з постійним током

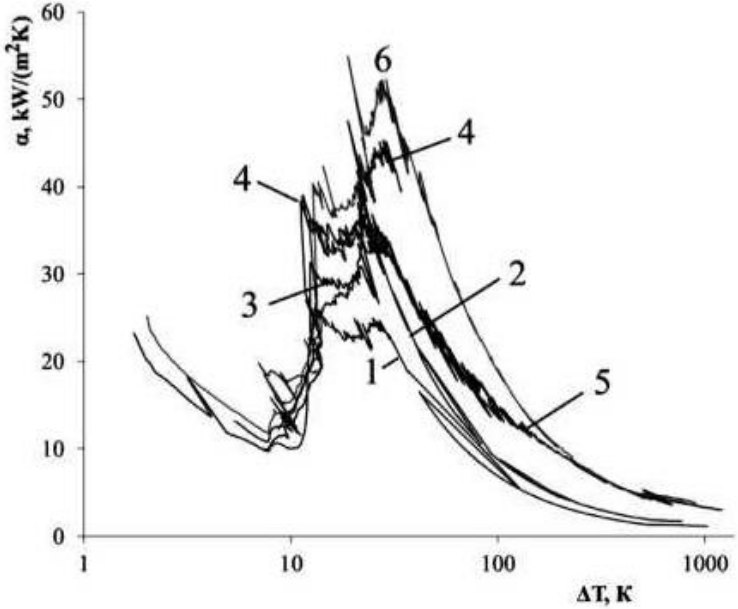
Исследуемая жидкость	d, nm	C_H, mass.%	σ, mN/m	ξ, mV	pH	K, μS/cm	q_{cr} MW/m^2	α_{max}, W/m$^2 \cdot$ K
Дистиллированная вода (ДВ)	–	0	72.8	–	6.0	001	1.20	25 000
AlSi-7 исходная + ДВ	100–350	0.5	72.6	–20.2	5.5	024	3.70	38 500
AlSi-7 + 0.05% ПФН	50–180	0.5	71.7	–57.0	7.0	1045	1.40	27 000
УНТ + 0.0365% ЦТАБ	179–850	0.1	38.4	+50.2	5.9	068	0.95	42 000
CA 1/0 исходная + ДБ	100–500	0.5	71.5	–30.5	6.0	004	1.30	37 000
CA 1/0 + 0.005% Na_2SiO_3	50–250	0.5	70.7	–54.0	10.0	320	1.35	45 000

Примечание: d — средний размер частиц, C_H — концентрация частиц, σ — поверхностное натяжение при 20°C, ξ — электрокинетический потенциал, K — удельная электропроводность, q_{cr} — критический тепловой поток пережога и α_{max} — максимальный коэффициент теплоотдачи.

Криві кипіння



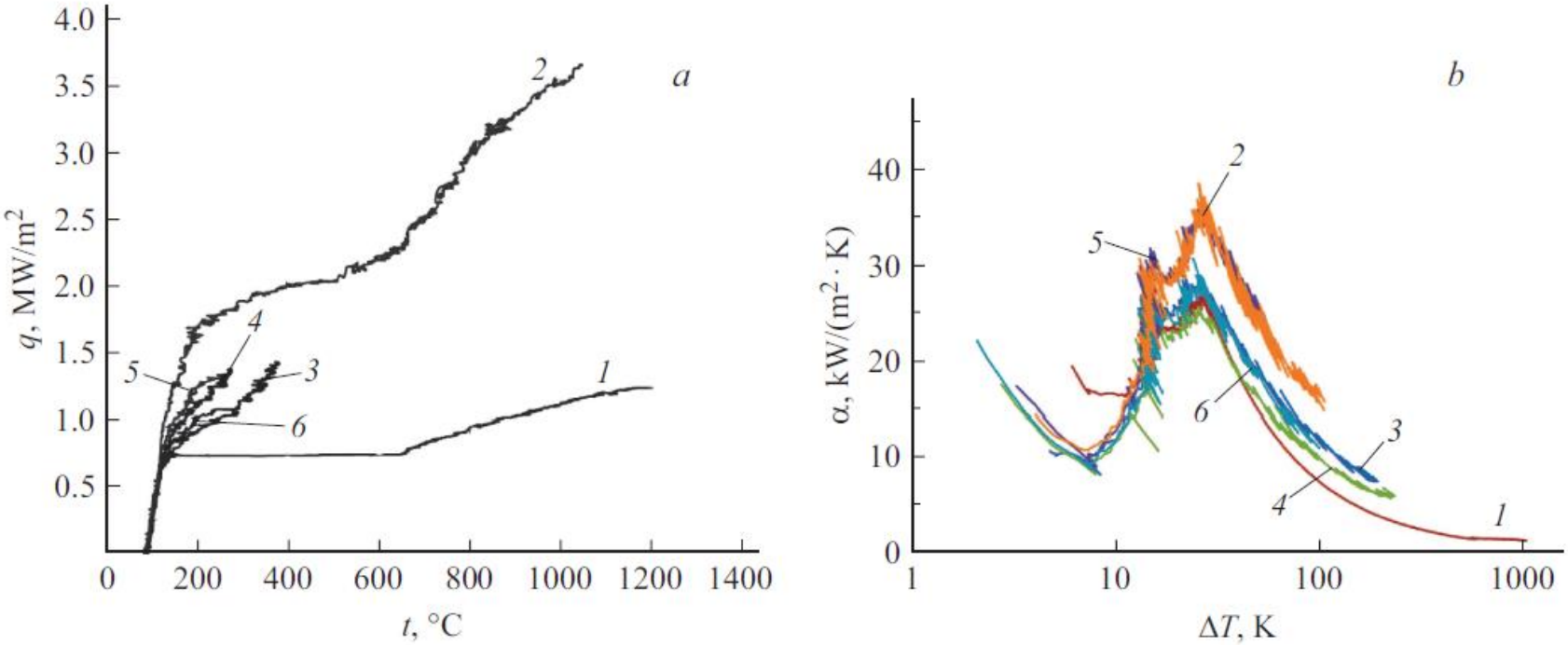
a)



b)

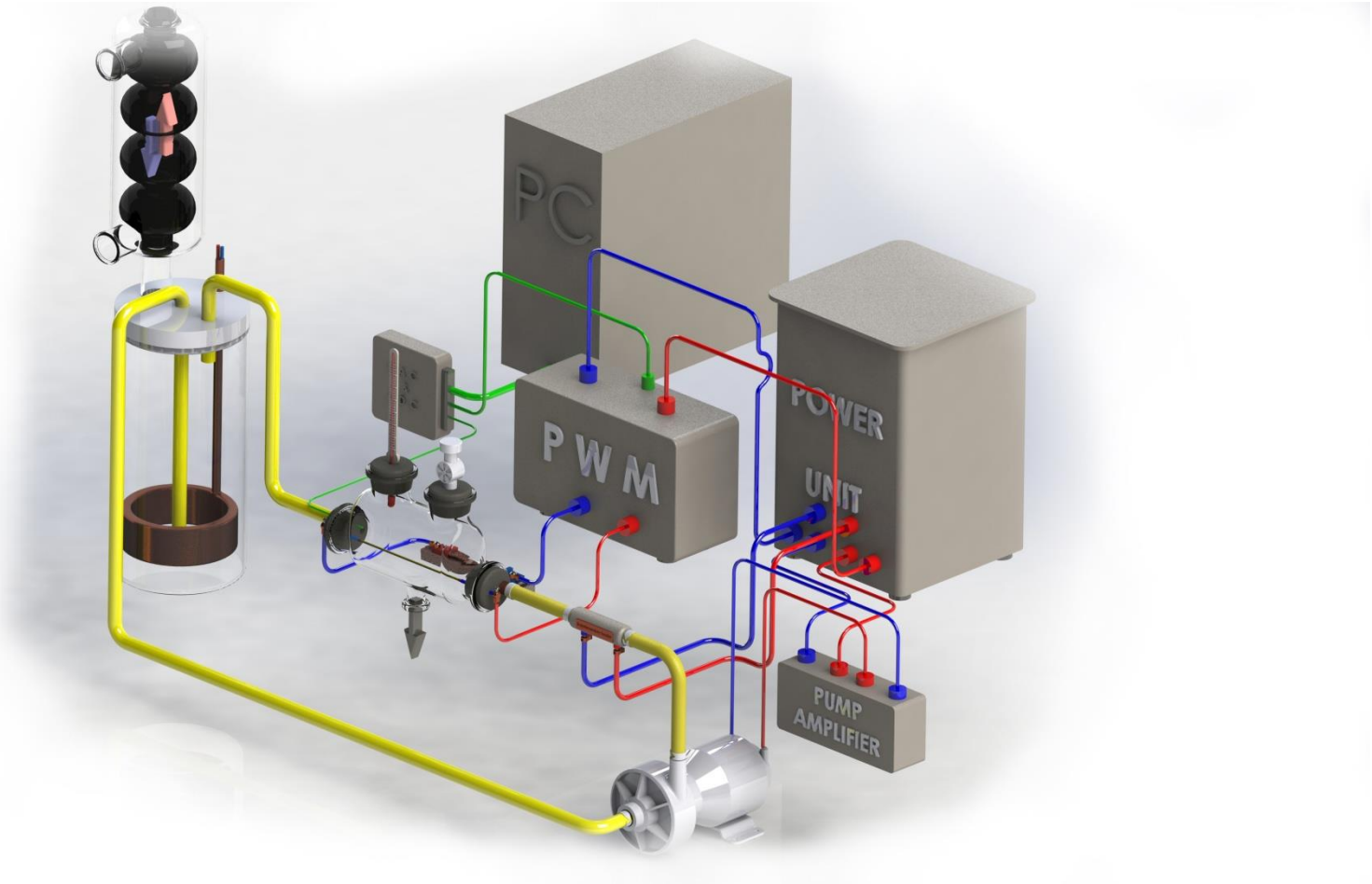
(a) Криві кипіння та (b) відповідні залежності коефіцієнта теплопередачі від величини перегріву ***Δ***T для дистильованої води (1) та НР на основі: синтетичного алмазу без диспергатора (2); TiO2 (3); синтетичного алмазу з диспергатором (4); генетична суміш монтморилоніту та аттапульгіту (5) та остання суміш із додаванням ВНТ (6).

Криві кипіння

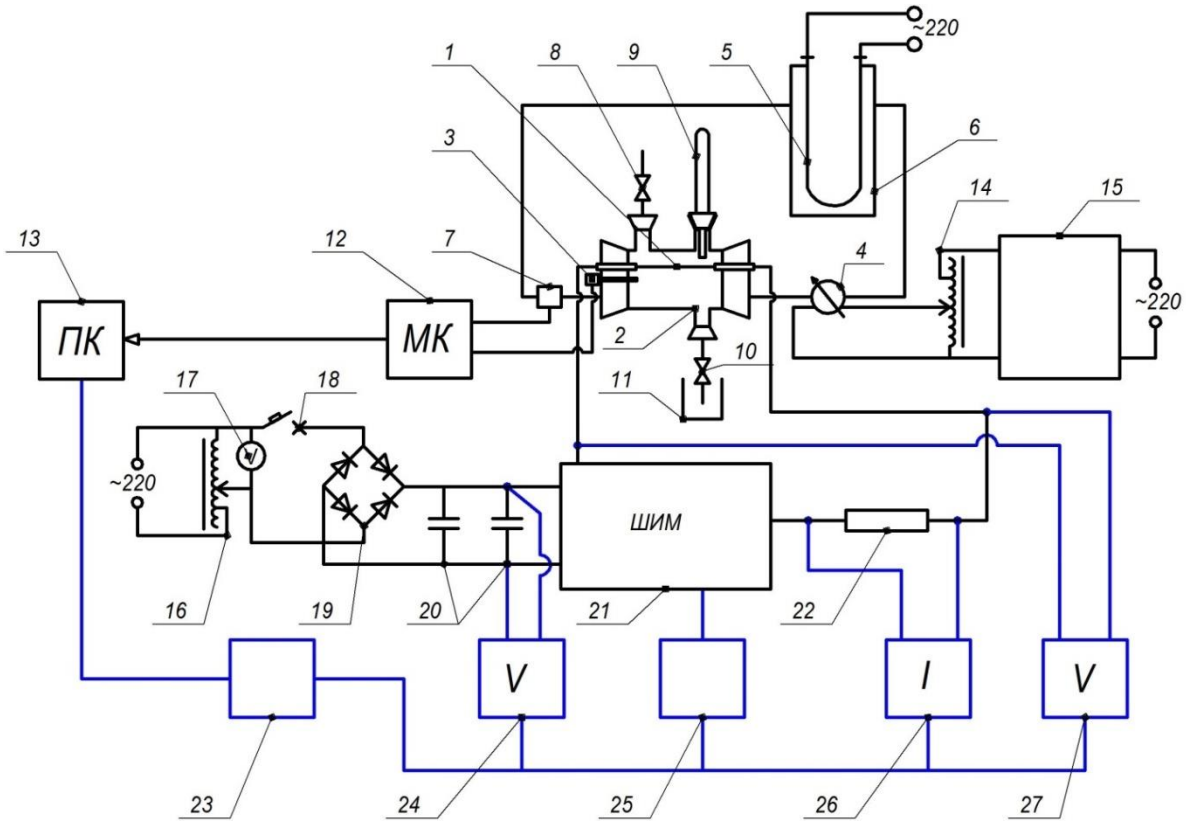


Кривые кипения (*a*) и зависимости коэффициента теплообмена от величины перегрева ΔT (*b*) при кипении ДВ (*1*) и НЖ AlSi-7 с различными добавками пирофосфата натрия (кривые *2–6*), mass.%: *2* — 0, *3* — 0.015, *4* — 0.03, *5* — 0.05, *6* — 0.1.

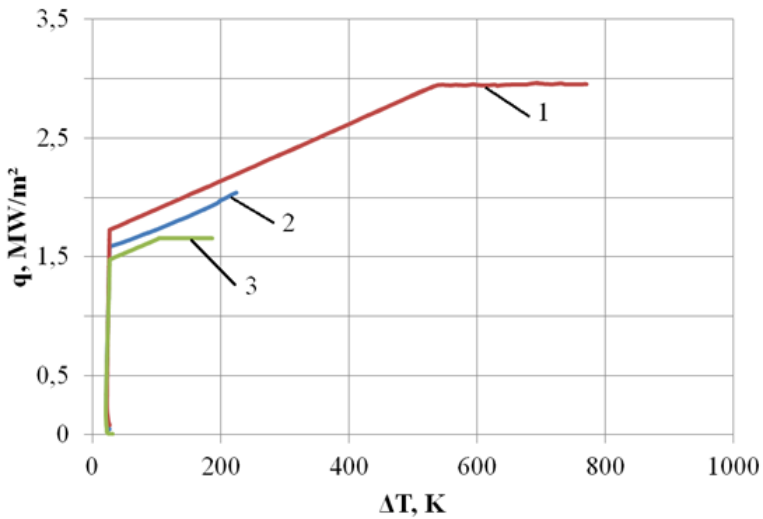
Схема лабораторної установки для дослідження критичного теплового потоку (КТП) із рециркуляційним контуром

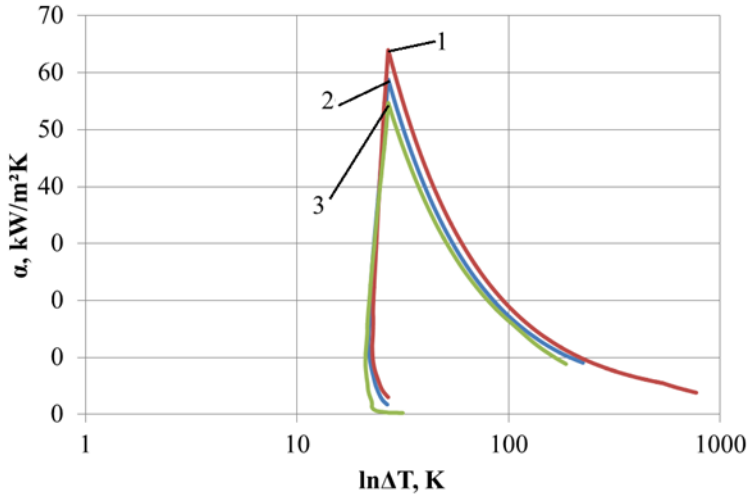


Вимірювальний контур із рециркуляцією нанофлюїдів



Кипіння при вимушеній конвекції

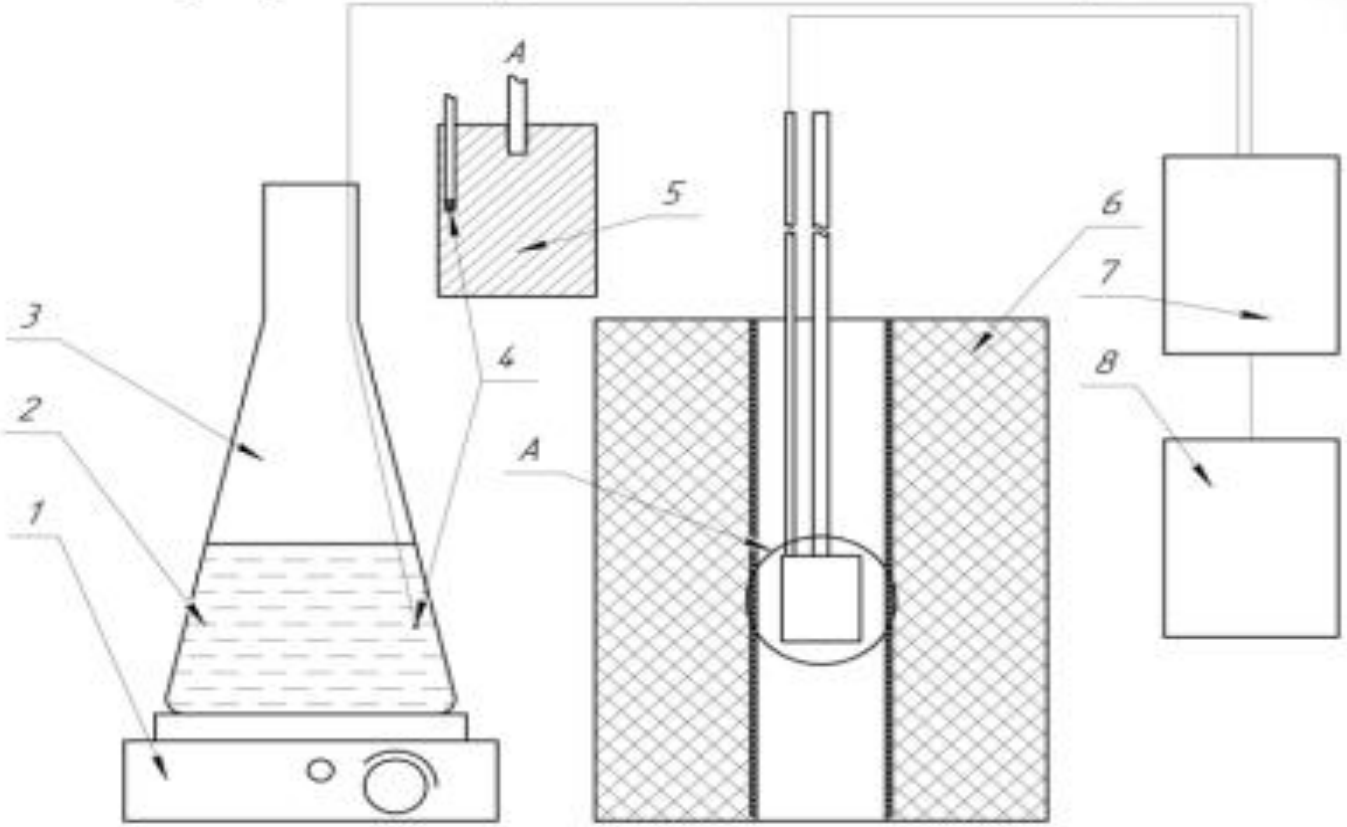




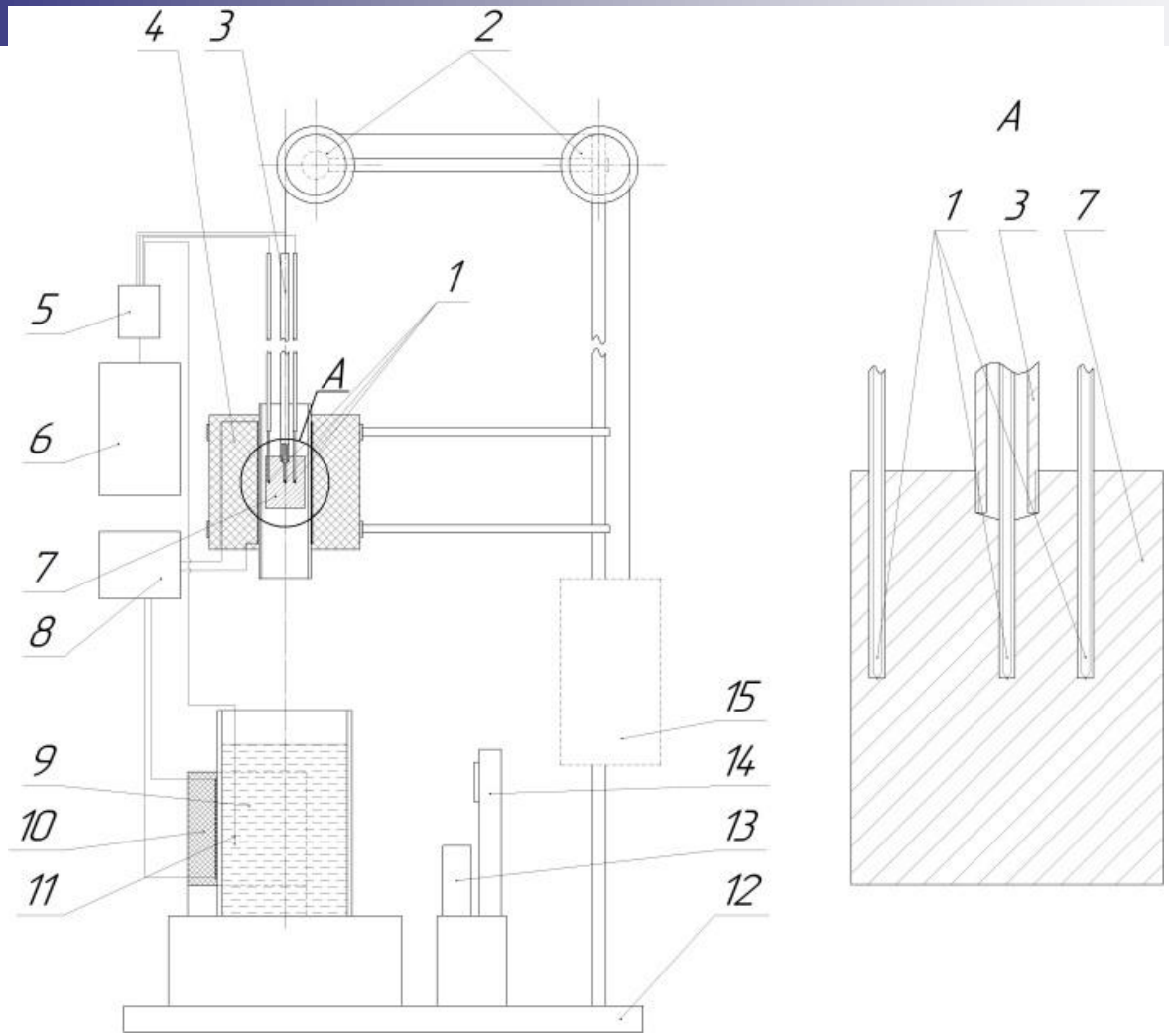
Криві кипіння при вимушеній конвекції: 1-НР (AlSi); 2- ДВ; 3 - НР (TiO2)

Коефіцієнти тепловіддачі при вимушеній конвекції: НР (AlSi); 2- ДВ; 3-НР (TiO2).

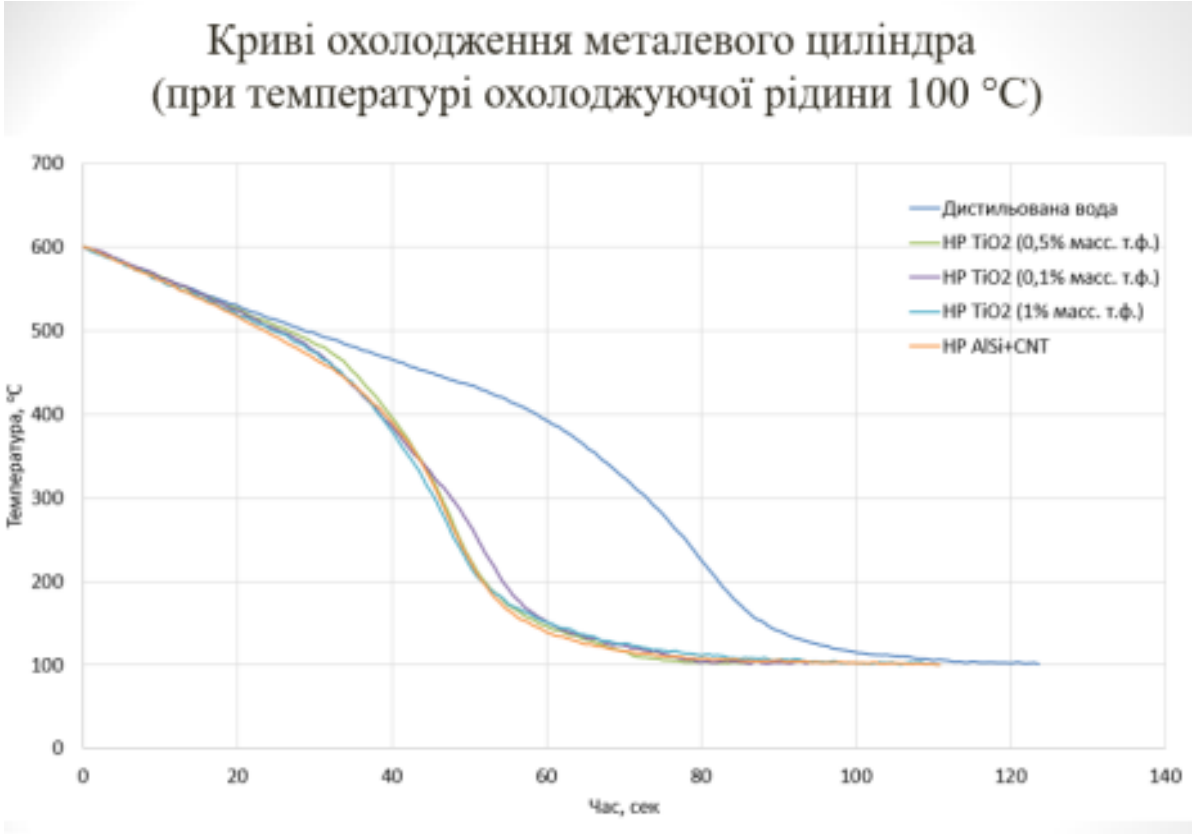
Схема експериментальної установки з екстреного охолодження перегрітої поверхні за допомогою нанорідин



1 – Нагрівач досліджуваної рідини; 2 – досліджувана рідина;
3 – Експериментальна посудина; 4 – Термопари тику «К»;
5 – Експериментальний об'єкт; 6 – Вертикальна трубчаста піч спротиву;
7 – Блок вимірювання температури (нормалізатор та АЦП); 8 – ПК;



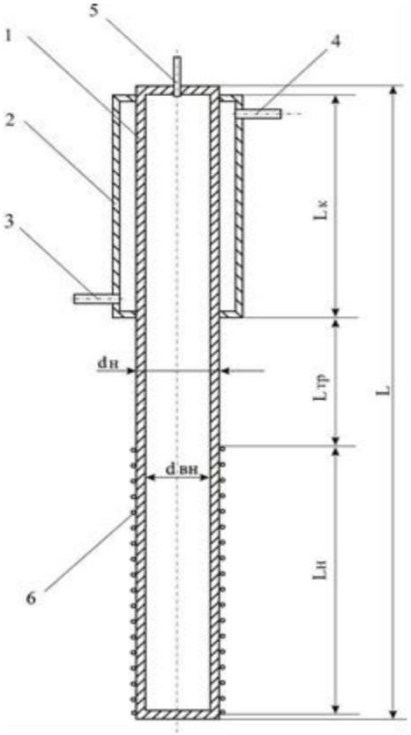
1 – Термопари Тип-К (3 шт.); 2 – Ролики; 3 – Тримач тест-об'єкта (труба нержавіюча);
4 – Піч; 5 – Блок вимірювання температури (нормалізатори та АЦП);
6 – ПК; 7 – Тестовий об’єкт; 8 – Блок живлення; 9 – Судно; 10 – Підігрівач теплоносія;
11 – Термопари Тип-К;12 – Стенд; 13 – Лампа; 14 – Фотоапарат; 15 – Занурювальний механізм.



При охолодженні перегрітих тіл як у ДВ, так і в НФ із зниженням їх температури спостерігається збільшення інтенсивності кипіння.
Така послідовність зміни інтенсивності процесу кипіння обумовлена зміною режиму плівкового кипіння з низьким коефіцієнтом тепловіддачі (КТВ) на режим перехідного та бульбашкового кипіння з високим КТВ. Для нанорідин спостерігається помітне скорочення часу охолодження об'єкта в порівнянні з дистильованою водою, що дуже важливо при ліквідації надзвичайних ситуацій,

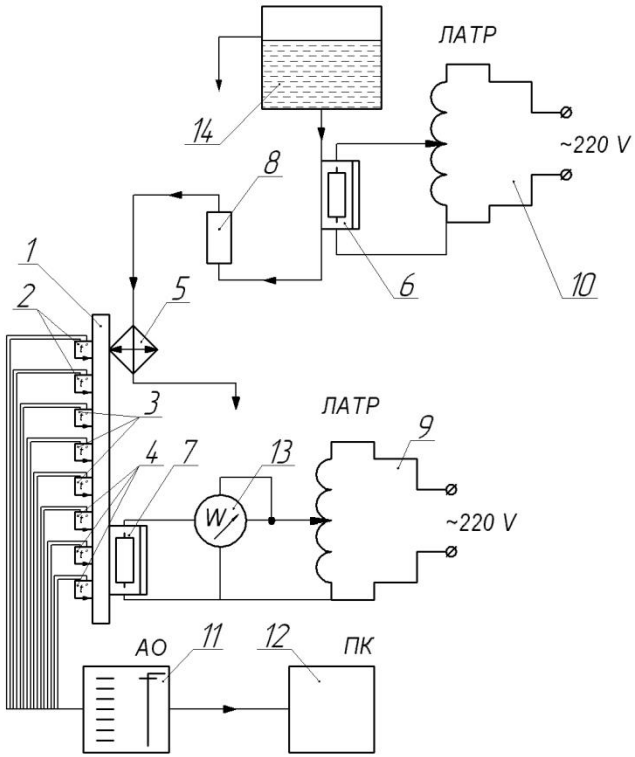
Охолодження циліндру з нержавіючої сталі попередньо нагрітого до 800 °С нанорідиною на базі TiO_2 характеризується пришвидшенням охолодження на ~ 30% ніж дистильованою водою.

Нанорідини в термосифонах



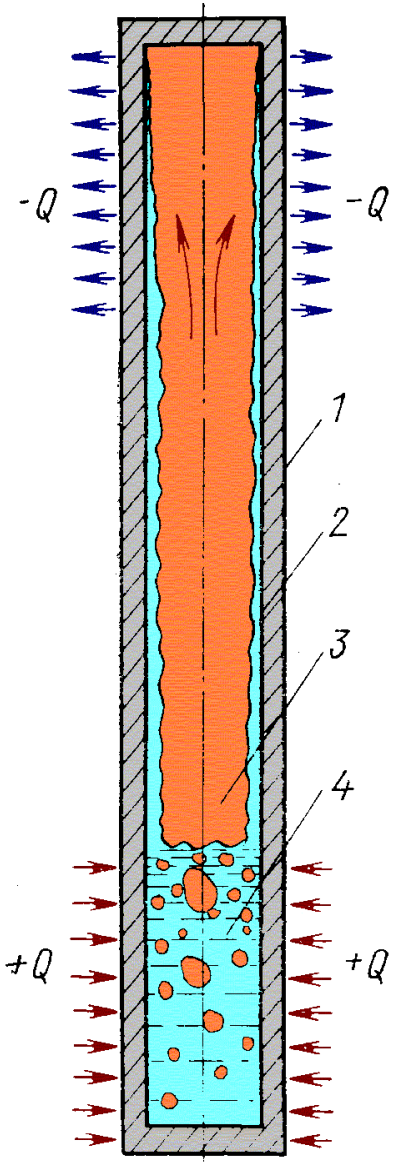
1 – корпус термосифона; 2 – конденсатор; 3, 4 – вхід та вихід води для охолодження; 5 – патрубок для заправки; 6 – електронагрівач.

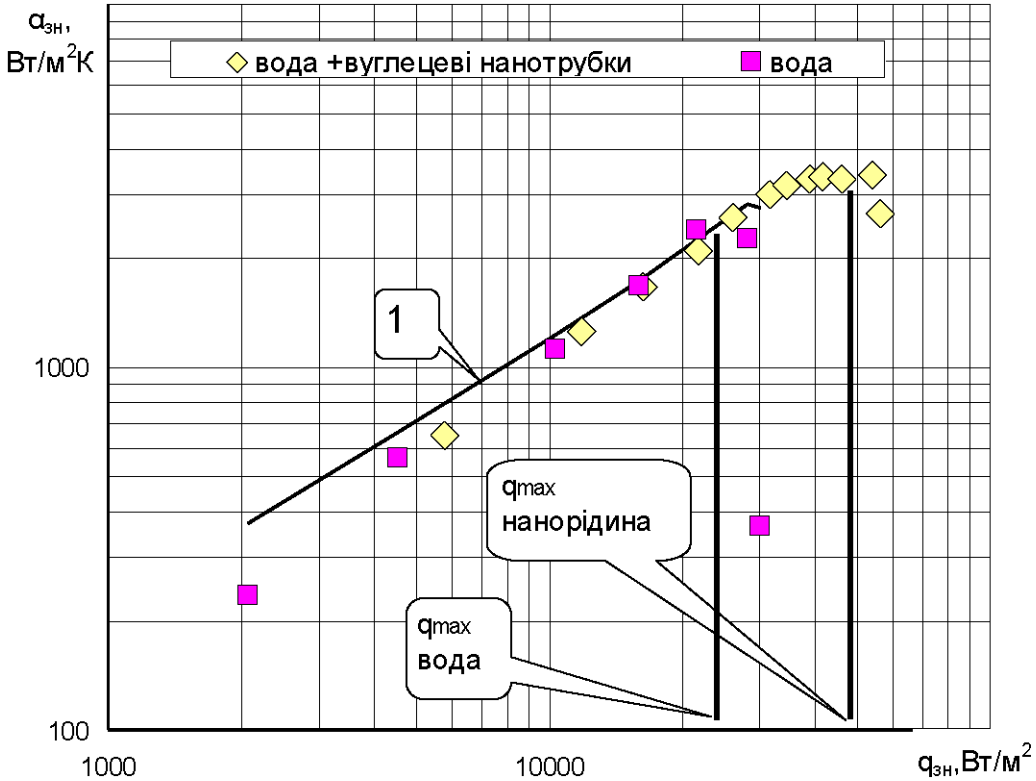
Рис.1. Схема термосифона з неорганізованою циркуляцією теплоносія



1 – термосифон; 2 – термопари в зоні конденсації; 3 – термопари в зоні транспорту; 4 – термопари в зоні нагріву; 5 – конденсатор; 6,7 – нагрівачі; 8 – ротаметр; 9,10 – трансформатори; 11 – автоматичний перемикач термопар; 12 – персональний комп'ютер; 13 – ватметр; 14 – напірний бак.

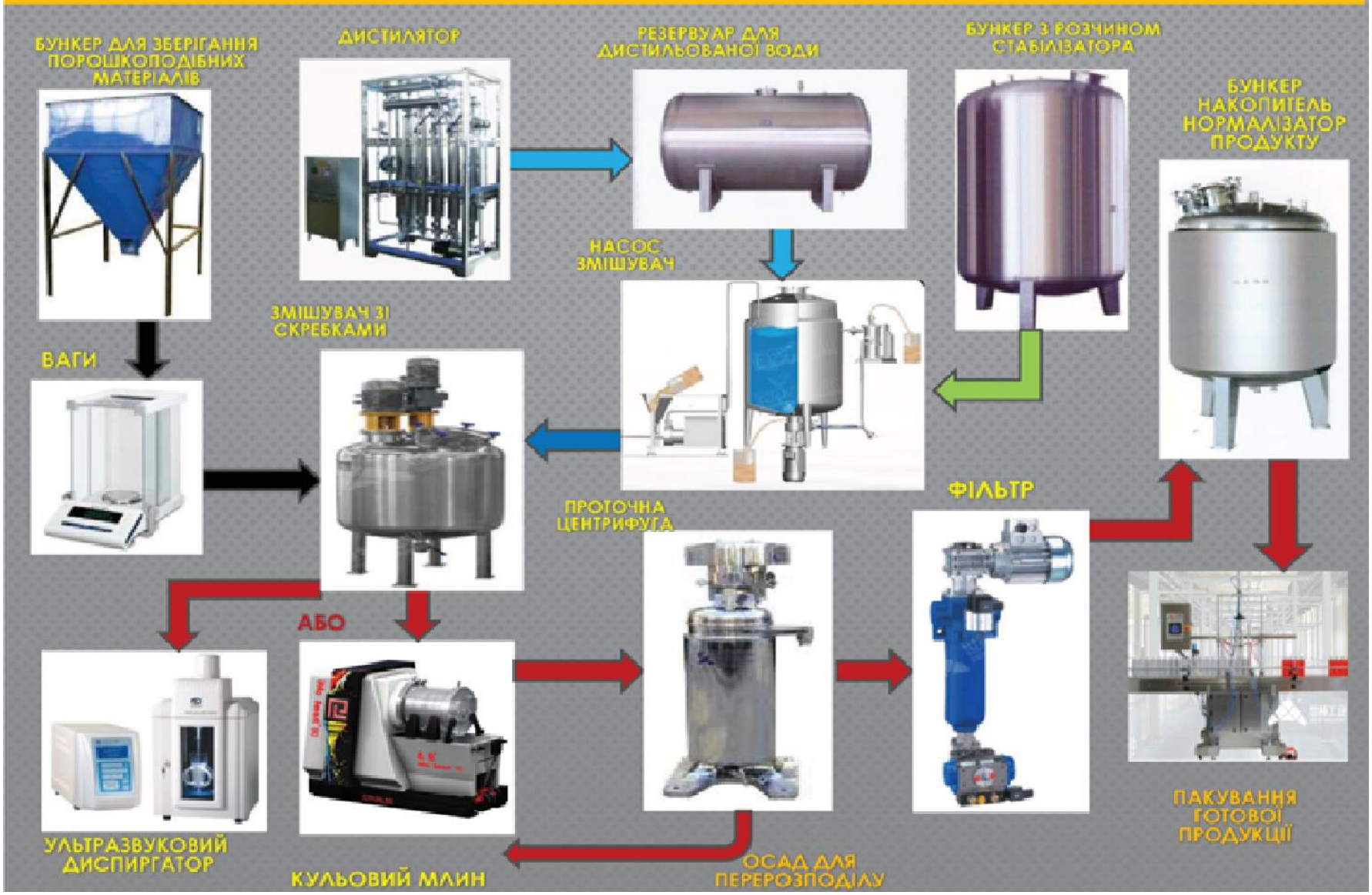
Рис. 2. Схема експериментальної установки





видно, що до густини теплового потоку близько $25 \cdot 10^3 Вт/м^2$, інтенсивність тепловіддачі для води і нанорідин практично збігаються. Однак при підвищенні теплового потоку в термосифоні з водою настає криза тепловіддачі, що характеризується різким підвищенням температури в зоні нагріву. У той же час термосифон з нанорідиною продовжує відводити теплові потоки більшої величини. Криза тепловіддачі в цьому випадку приблизно в два рази перевищує значення, яке було зафіксовано в термосифоні з водою. Це свідчить про те, що в зоні нагріву при кипінні формується своєрідна поверхня, яка перешкоджає з'єднанню парових бульбашок і появи парових плівок.

ПРИНЦИПОВА ТЕХНОЛОГІЧНА СХЕМА ВИРОБНИЦТВА НАНОФЛЮЇДІВ

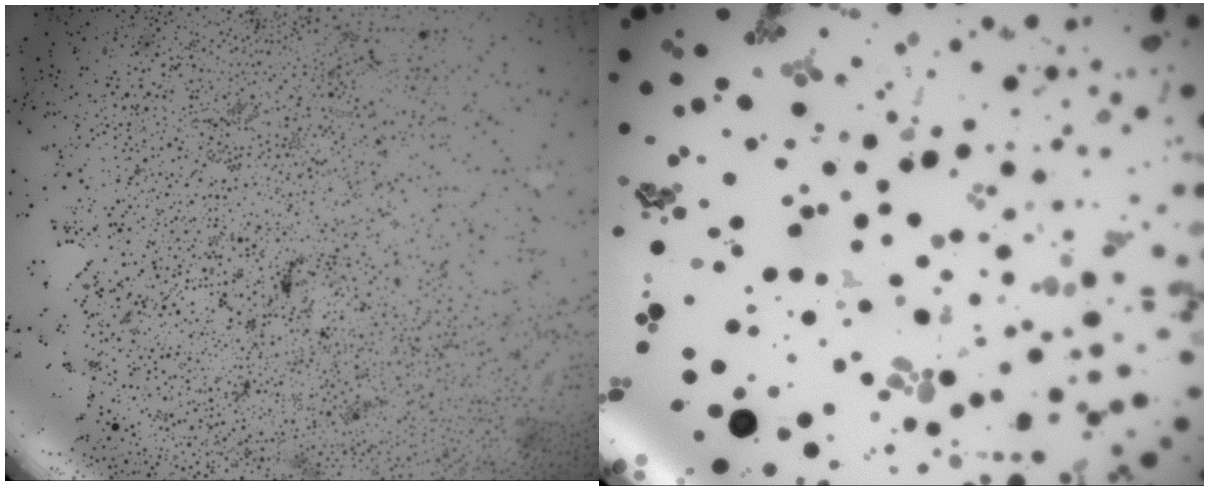


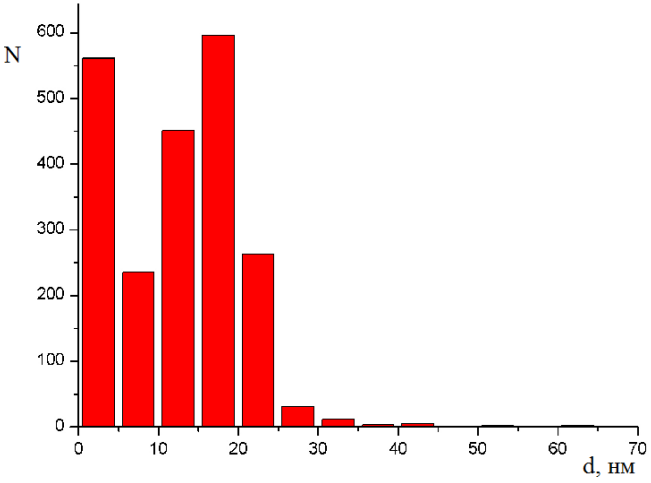
Регламент приготування нанофлюїдів

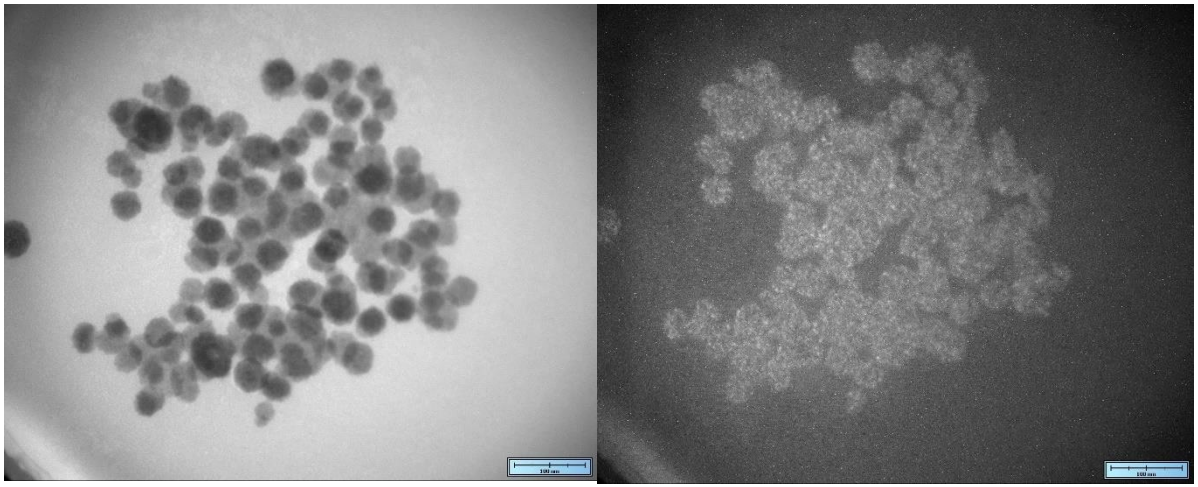
❖	**Отримання дистильованої води (дистилятор Д-25, 25 л/год, потужність 18 кВт)**
❖	**Приготування робочого розчину стабілізатора або диспергатора (місткість 0,63-1,0 м^3, t = 20-30°С, тривалість процесу 1-2 години, pH розчину = 6-9)**
❖	**Дозування рідких компонентів (за допомогою лічильників для рідин або дозувальних насосів) та завантаження їх у змішувач зі скребками для попереднього змішування рідких та сипучих компонентів**
❖	**Дозування сипучих компонентів (за допомогою товарних циферблатних ваг) та завантаження їх у змішувач зі скребками для попереднього змішування рідких та сипучих компонентів (V = 0,25-0,5 м^3)**
❖	**Гомогенізація суміші рідких і зернистих компонентів (1-2 години)**
❖	**Завантаження та тонке подрібнення отриманої суміші рідких і сипучих компонентів у кульовому млині або в бісерному млині або в ультразвуковому диспергаторі (t = 20-50°С, тривалість процесу становить 0,5-5 годин залежно від типу шліфувального пристрою)**
❖	**Відділення та вивантаження готового продукту (проточна центрифуга або лійка з нейлоновою фільтрувальною тканиною № 64-67 мкм, pH = 6-9) у резервуар для зберігання**
❖	**Накопичення та усереднення готового продукту (емальований або нержавіючий ємність з мішалкою, місткістю 1-1,5 м^3, t = 20°С, час = 3 доби)**
❖	**Маркування та зберігання готової продукції (пластикові банки місткістю 10 л, картонні або дерев'яні ящики на 4 банки, етикетки, камера зберігання, зберігання = + 8 ... + 40°С).**

Одержання стабільних нанодисперсій оксиду церію для процесів теплообміну

Бричка С.Я.

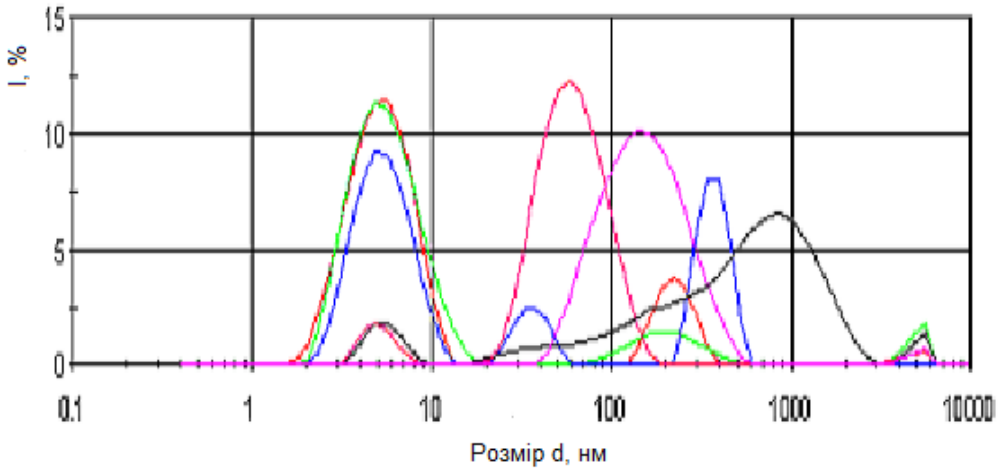




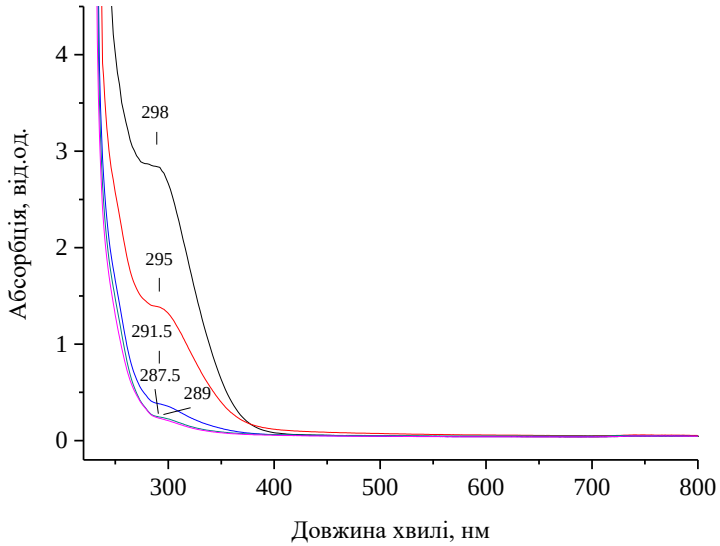


Розподіл колоїдних часток за розмірами в зразку з вмістом оксиду церію $1.72 \cdot 10^{-3}$%

Електронномікроскопічні зображення на просвіт часток дисперсій з вмістом оксиду церію $1.72 \cdot 10^{-3}$%



Розподіл часток за розмірами за даними фотон-кореляційної спектроскопії для дисперсій з вмістом оксиду церію $1.72\cdot10^{-3}$, $5.15\cdot10^{-3}$, $8.6\cdot10^{-3}$, $1.21\cdot10^{-2}$ та $1.72\cdot10^{-2}$%



УФ-Вид спектри нанодисперсій оксиду церію з вмістом оксиду церію $1.72\cdot10^{-3}$, $5.15\cdot10^{-3}$, $8.6\cdot10^{-3}$, $1.21\cdot10^{-2}$ та $1.72\cdot10^{-2}$%

Одержано ряд нанорозмірних дисперсій оксиду церію розміром 1-10 нм, стабілізованих полівінілпіролідоном. Фотон-кореляційна спектроскопія підтвердила дані електронної мікроскопії, що в розчині є частки з розмірами близько 5 та 30-70 нм. Метод УФ-Вид спектроскопії виявився інформативним щодо природи одержаних нанодисперсій та запропонований як метод контролю відтворюваності технології матеріалів теплоносіїв. Візуальне спостереження стабільності нанодисперсій оксиду церію підтвердило відсутність формування осаду протягом двох років. Порівняно з водою створені нанодисперсії мають теплопровідність, вищу на 4-6%.

Найвагоміші результати за темою

- Приготовлено серію (понад 20) лабораторних зразків звичайних і гібридних нанорідин (НР) (об'ємом 500-1500 мл) на основі діоксиду титану (TiO_2), природних алюмосилікатів, вуглецевих нанотрубок (ВНТ), терморозширеного графіту (ТРГ) та галуазіту, для вивчення їх теплових властивостей як теплоносіїв при кипінні.
- Отримано укрупнену дослідну партію (6,5 л) концентрату нанорідини на основі TiO_2 для гартування та охолодження теплонавантаженого металургійного обладнання, зокрема мідних фурм, що працюють на доменних печах, валків прокатного стану.
- Виготовлено 5 дослідних зразків різних НР на основі природних алюмосилікатів, наноалмазу, ВНТ та вуглецевої сажі DG-100 для проведення їх випробувань у теплових трубках та термосифонах (НТУУ “КПІ”).
- Вперше проведено лабораторне моделювання роботи системи охолодження водо-охолоджуваного ядерного реактора киплячого типу і процесу його аварійного охолодження за допомогою нанорідин.
- Вперше експериментально отримана повна модельна гістерезисна крива кипіння-перегріву-охолодження потенційного аварійного ядерного реактора. Встановлено принципова можливість використання нанорідин для аварійного охолодження перегрітих металевих поверхонь.
- Розроблено нову нанорідину з незвичайним тепловим поведінкою, яка витримує всі режими кипіння, захищаючи нагрівач від вигорання.
- Оформлено патент на состав и спосіб отримання НР для екстреного охолодження перегрітих поверхонь теплообміну.
- **Нові сучасні теплоносії – композитні нанорідини створені нами, не мають закордонних аналогів і вироблени з української сировини. Вони демонструють кращі показники екстреного охолодження та нагріву, та більшу ніж на 100 % покращену енергоефективність порівняно з іншими теплоносіями.**

Публікації за результатами НДР

- 1). Bondarenko B.I., Moraru V.N., Sydorenko S.V., Komysh D.V., Khovavko A.I, Gudkov N.N.
- Nanofluids for emergency cooling of overheated surfaces of power equipment. // European Commission funded International Workshop “Materials resistant to extreme conditions for future energy systems”. 12-14 June 2017, Kyiv – Ukraine. P. 37. ISSN 1831-9424 ISSN 1831-9424, doi: 10.2760/991754.
- 2). Морару В.Н. Механизм повышения и количественная оценка удельного теплового потока при кипении наножидкостей в условиях свободной конвекции. // Энерготехнологии и Ресурсосбережение, 2017, №3, с. 25-34.
- 3). V.N. Moraru. Stable Nanofluids for Efficient Heat Exchange Systems for Energy, Transport and Industry, Proceeding of Advances in Functional Materials Conference 2017, Aug 14-17, 2017, University of California, Los Angeles, USA, Abstract ID:AFM-17-0EA78 -0644360212:
- 4).V.N. Moraru. New nanofluids based on clay minerals as promising heat-carriers for energetics. // Scientific Research Abstracts, Vol. 7, p. 554, 2017, ISSN 2464-9147 (Online), XVI International Clay Conference | ICC 2017 | Granada, Spain
- 5).Moraru V.N. New Nanofluids based on Clay Minerals as Promising Heat-carriers for Energetics. // Clay Minerals, 2018, Vol. 53, Issue 2, June 2018, pp. 255-269.
- 6).Б.И. Бондаренко, В.Н.Морару, С.В.Сидоренко, Д.В. Комыш, Н.Н. Гудков "Невероятный эффект скорости подъема тепловой нагрузки на удельный тепловой поток при кипении некоторых наножидкостей // Письма в ПЖТФ,2018, том 44, вып. 11, с.11-20.DOI: 10.21883/0000000000.
- 7). Khovavko A.I., Strativnov E.V., Kozhan A.P., Moraru V.N., Sviatenko A.M., Nebesny A.A., Filonenko D.S.,Sidorenko S.V. Carbonaceous nanomaterials: production and application. R&D of gas institute of NAS ofUkraine // International Journal of Biosensors & Bioelectronics 2018, 4(3):139–142. DOI:10.15406/ijbsbe.2018.04.00113.
- 8).B.I. Bondarenko, V.N. Moraru, S.V. Sidorenko, D.V. Komysh, and N.N. Gudkov.”Incredible effect of heat load increase rate on specific heat flux at some nanofluids boiling”// Technical Physics Letters,2018, Vol. 44, No. 6, pp. 461–464. DOI: 10.1134/S1063785018060032

- 9).Borys Bondarenko, Vasyl Moraru, Dmitro Komysh, and Sergey Sidorenko Nanofluids for Power Industry //BITs 7-th Annual World Congress of Advanced Materials-2018 Conference Handbook, Section 6: Novel Nanomaterials. Focus 601: Nanotubes, Nanowires, Nanofibers, Nanorods and Nanobelts, September 13-15, 2018, Xiamen, China, p.173
- 10). Кравец В.Ю., Морару В.Н., Бехмард Г., Гуров Д.И. Теплопередающие характеристики миниатюрных двухфазных термосифонов с наножидкостями в качестве теплоносителя // Сб. трудов XIX Межд. научно-практической конф.:Современные информационные и электронные технологии, Одесса, 28 мая – 1 июня, 2018, с. 97-98.
- 11). Б.И. Бондаренко, В.Н. Морару, В. Ю. Кравец, Г. Бехмард. Влияние наножидкостей на теплопередающую способность миниатюрных термосифонов для охлаждения электроники //Письма в ПЖТФ,2019, Т. 45, No. 6, pp. 54–58.
- 12). B. I. Bondarenko, V. N. Moraru, V. Yu. Kravets, and G. Behmard. The Effect of Nanofluids on the Heat-Transfer Capacity of Miniature Thermosyphons for Electronics Cooling. // Technical Physics Letters, 2019, Vol. 45, No. 3, pp. 299–303. © Pleiades Publishing, Ltd., 2019. ISSN 1063-7850.
- 13). B. Bondarenko, V. Moraru, S. Sydorenko, D. Komysh and N. Gudkov. Emergency cooling of superheated heat exchange surfaces with nanofluids under various conditions of heat load supply // ICNF-19 INTERNATIONAL CONFERENCE PROCEEDINGS, Presentation No.: 533521, 1st International Conference on Nanofluids (ICNf), 2nd European Symposium on Nanofluids (ESNf), 26-28 June 2019, Castelló, Spain.
- 14). B. Bondarenko, V. Moraru, S. Sydorenko, D. Komysh and N. Gudkov. Nanofluids for Emergency Cooling of Overheated Surfaces of Power Equipment. //Proceed.of theNanotech France Conference 2019, Advanced Nanomaterials,Nanofluids, (26-28 June 2019, Paris- France).
- 15). В.Н. Морару , Б.И. Бондаренко, С.В. Сидоренко, Д.В. Комыш. Наножидкости для энергетики: механизм влияния диспергентов на тепловые параметры и кризисные явления при кипении // Журнал технической физики, 2020, том 90, вып. 2, с. 175 - 184.
- 16). V. N. Moraru, B. I. Bondarenko, S. V. Sidorenko, and D. V. Komysh
- Nanofluids for Power Engineering: The Mechanism of the Influence of Dispersing Agents on the Thermal Parameters and Crisis Phenomena during Boiling //ISSN 1063-7842, Technical Physics, 2020, Vol. 65, No. 2, pp. 163–173. © Pleiades Publishing, Ltd., 2020.

- 17). B.I. Bondarenko, V.N. Moraru, V.Yu. Kravetz, and D.I. Gurov. Nanofluids based on diamond and carbon nanotubes – as promising heat carriers for electronics cooling //Abstract of the 31st International Conference on Diamond and Carbon Materials (DCM 2020), Melia Palma Bay and Palau de Congressos de Palma, 13-17 September 2020, Palma, Mallorca, SPAIN.https://app.oxfordabstracts.com/stages/1607/submissions/186810/form/view
- 18). Bondarenko B., Moraru V., Sydorenko S., Komysh D., Kravets V.APPLICATIONS OF NANOFLUIDS FOR EMERGENCY COOLING OF OVERHEATED SURFACES OF POWER EQUIPMENT AND ELECTRONICS.
- BOOK of ABSTRACTS: I-st International Research and Practice Conference “Nanoobjects & Nanostructuring”, September 20–23, 2020, Lviv, Ukraine, page 104. ISBN 978-617-7546-11-4:
- 19). B.I. Bondarenko, V.N. Moraru, V.Yu. Kravetz, S.V. Sydorenko, D.V. Komysh. Stable nanofluids for emergency cooling of overheated surfaces of power equipment and electronics // Preprint on Researsh Gate Portal, Borys Bondarenko's Lab,March 2020.
- 20). Vasyl Moraru, Boris Bondarenko, Sergey Sydorenko, Dmytro Komysh, "Emergency cooling of superheated surfaces by nanofluids additives in the event of a water boiling crisis", International Journal of Heat and Mass Transfer, 2021, Vol. 169 (№4), 120932.
- 21). Vasyl Moraru, Dmytro Komysh, Mykola Sydorenko, Serhiy Sydorenko, Nanofluids for energetics: Emergency cooling of overheated objects by nanofluids. // 2021, IEEE – 11-th Internat. Conference on Nanomaterials Applications & Properties (NAP-2021), Odesa, Ukraine, Sept.5-11, 2021, p.114.
- 22) Strativnov E., Nie Gunochao. CFD simulation of transient boiling regime for overheated water and nanofluids. International rsearch and practice conference: NANOTECHNOLOGY and NANOMATERIALS (NANO 2021), 25-27 August 2021, Lviv, Ukraine. p. 452.
- 23) Strativnov E., Nie Guochao Investigation of Transient Boiling Regime of Water and Nanofluids Heated to Saturation Temperature Using CFD Simulation (ANSYS Fluent) // 2021 IEEE 11-th International Conference “Nanomaterials: Applications & Properties” (NAP-2021), p.146.
- 24) С.Бричка, Б.Бондаренко. Одержання стабільних нанодисперсій оксиду церію для процесів теплообміну // Енерготехнології та ресурсозбереження. 2020. № 2. P. 36-42. https://doi.org/10.33070/etars.2.2020.05.

Дякую за Увагу!