

О.А. Нагурський, А.Я. Сороківський  
Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра екології та охорони навколишнього середовища

## МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ КАПСУЛЮВАННЯ ДИСПЕРСНИХ МАТЕРІАЛІВ У СТАНІ ПСЕВДОЗРІДЖЕННЯ

© Нагурський О.А., Сороківський А.Я., 2009

Дослідження будь-яких теплообмінних процесів передбачає визначення температурних параметрів об'єктів, які беруть в ньому участь. У разі капсулювання дисперсних матеріалів у стані псевдозрідження вимірювання температур повітря в середині шару ускладнене через інтенсивну їх взаємодію. Запропонована методика дає змогу уникнути впливів сторонніх чинників та з достатньою точністю визначити температуру псевдозріджувального повітря у шарі дисперсного матеріалу.

Research of any heat-exchange processes foresees determination of temperature parameters of objects which take part in it. In the case of capsulating of dispersible materials in the pseudo fluidizing state measuring of air temperatures in the middle of the layer is complicated by virtue of their intensive co-operation. The offered method allows to avoid influences of extraneous factors and with sufficient exactness to determine a temperature of pseudo fluidizing air in the layer of dispersible material.

**Постановка проблеми.** Капсулювання дисперсних матеріалів у стані псевдозрідження супроводжується тепло- та масообміном. За усіх однакових умов проведення капсулювання його інтенсивність визначається температурними параметрами. Теоретичні залежності, які описують цей процес, мають у своєму складі значення температур його об'єктів. До останніх належать повітря та частинки матеріалу. У стані псевдозрідження ці два агенти інтенсивно рухаються, перемішуються між собою. Це створює певні складнощі у вимірюванні їхніх температур. Визначення цих параметрів максимально наближеними до їх істинного значення уможливить з достатньою точністю розраховувати параметри тепломасообміну у процесі капсулювання дисперсних матеріалів в стані псевдозрідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Методи визначення температурних показників псевдозріджувального агента та дисперсного матеріалу наведені в [1, 2, 3]. Згідно з цими джерелами температуру зріджувального агента у шарі вимірюють оголеною (незахищеною) термопарою або захищеною за допомогою сітки чи тканини від зіткнення із твердими частинками. В обох випадках точність виміру невисока. Оголена термопара внаслідок періодичного (хоча й короточасного) контакту її спаю із твердими частинками показує температуру, проміжну між останніми і зріджувальним агентом. У разі захищених термопар неминуча зміна температури зріджувального агента, при проходженні його через захисну сітку. Ще важче безпосередньо виміряти температуру твердих частинок, усередині яких — через малі розміри — закладення спаю термопари фактично неможливе, не говорячи вже про порушення при цьому рухливості частинки. Крім того, можливі помилки у визначенні миттєвої координати частинки, а також пов'язані з тепловою інерцією системи частинка – спай. У зв'язку з відзначеними складнощами часто користуються непрямою оцінкою температури твердих часток. Наприклад, її приймають за показниками оголеної термопари у псевдозрідженому шарі (або за раптового припинення продування), прирівнюють температури газу на виході із шару за достатньої його висоти, або обчислюють із теплового балансу.

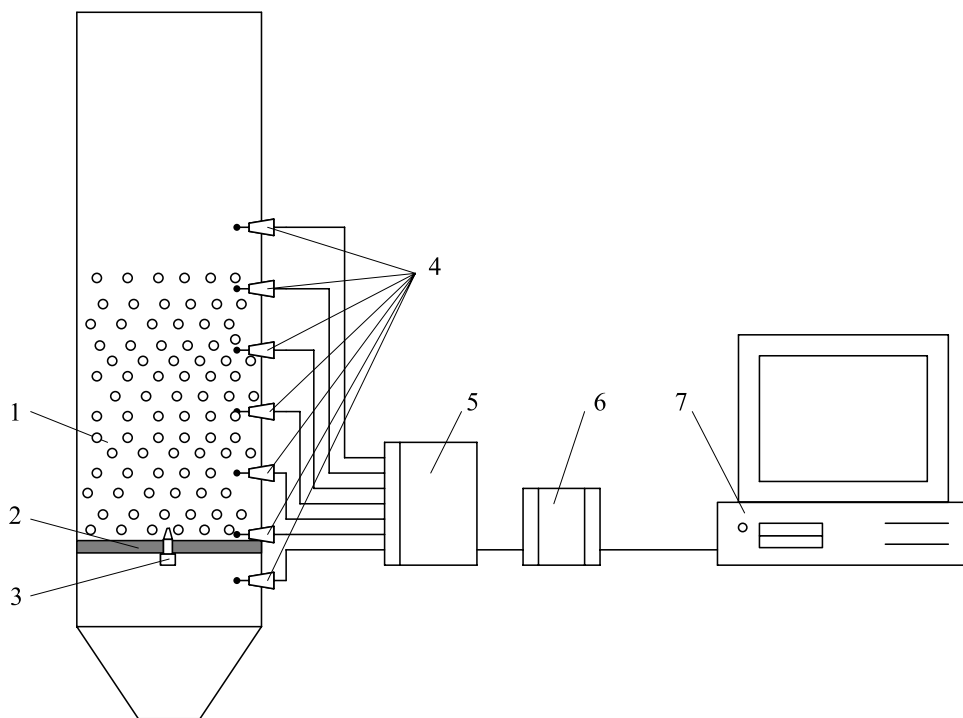
**Мета роботи** – вдосконалити методику визначення температур об’єктів, які беруть участь у тепломасообмінних процесах під час капсулювання дисперсних матеріалів в стані псевдозрідження розчинами плівкоутворювальних композицій.

Процес капсулювання дисперсних матеріалів у стані псевдозрідження досліджувався на установці, схему якої зображено на рис. 1. Для визначення температурних характеристик процесу залежно від висоти шару використовували 7-канальний інтелектуальний перетворювач ПВІ-0298, який дає змогу одночасно фіксувати температуру в семи точках з виведенням інформації на ПК. Границя допустимої основної зведеної похибки перетворювача –  $\pm 0,25\%$ , час опитування усіх каналів – не більше 3,5 с.

Для теоретичного визначення температури псевдозріджувального агента у будь-якій точці дисперсного шару  $t$  отримано таке рівняння:

$$t = t_{mm} + (t_n - t_{mm}) \exp\left(-\frac{\chi}{V_c \rho c} z\right), \quad (1)$$

де  $t_{mm}$  – температура мокрого термометра, К;  $t_n$  – початкова температура повітря на вході в апарат, К.



*Рис. 1. Установка для дослідження теплообміну процесу капсулювання в псевдозрідженому стані:  
1 – циліндричний апарат ПШ; 2 – газорозподільна решітка; 3 – пневматична форсунка; 4 – термопары;  
5 – інтелектуальний перетворювач ПВІ-0298; 6 – перетворювач RS-232; 7 – ПК*

У процесі капсулювання з поверхні частинок випаровується розчинник. Визначити температуру поверхні частинки фактично неможливо, тому її значення приймається близькою до температури мокрого термометра. Початкову температуру повітря вимірювали термопарою, яка встановлена під газорозподільною решіткою. Для перевірки адекватності рівняння (1) необхідно дослідним шляхом визначити температуру повітря у різних точках робочої зони апарата. Як зазначалось вище, температуру повітря в шарі матеріалу можна виміряти оголеною або захищеною термопарою. У разі капсулювання розчинами плівкоутворювальних композицій на покази приладу істотний вплив можуть чинити краплинки розчинника, які потрапляють на термопару. Тоді постає питання захисту термопару від впливу розчинника або врахування його дії. Врахувати зміну показів термопару за рахунок потрапляння розчинника практично неможливо, оскільки невідома його

кількість, яка туди може потрапити. Простіше ізолювати їх від потрапляння розчинника. Досягнути цього можна, розташувавши форсунку на відстані, яка перевищує відстань вільного прольоту краплинок розчину. З цією метою термопари розташовували безпосередньо біля стінок апарата, а форсунку встановлювали під кутом так, щоб факел розпилювання був відвернутий від них. Відсутність розчинника на спаях термопари під час капсулювання контролювали візуально, за відсутністю на них плівкоутворювальної композиції. Для полегшення цього спостереження до розчину додавали барвник. Так, для встановлених режимів капсулювання за розміщення першої термопари на висоті 5 см над розпилювальною форсункою на ній не спостерігалось нашарувань плівкоутворювального компонента.

Для запобігання контакту поверхні частинок зі спаєм термопар останні обладнували спеціальним захистом (рис. 2).

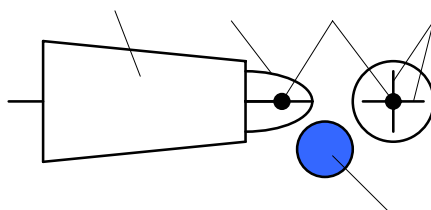


Рис. 2. Схема термопари із захисним екраном: 1 – спай термопари; 2 – захисний екран; 3 – кулька дисперсного матеріалу; 4 – корпус термопари

На рис. 2 зображено термопару у корпусі у двох видах: зліва – вигляд збоку, справа – вигляд спереду. Захисний екран виготовлений із сталевого дроту у вигляді перехрещених дуг, вставлених в корпус термопари. Товщина дроту становить 0,4 мм, що фактично не змінює температурне повітря при проходженні через цей екран, яке спостерігається у випадку захисної сітки. Зображена на рис. 2 частинка дисперсного матеріалу із збереженням пропорцій розмірів дає змогу побачити, що під час роботи установки неможливе контактування між спаєм термопари та поверхнею частинки. Усі ці заходи дають змогу припустити, що виміряна температура буде максимально наближена до дійсної температури повітря у робочій зоні апарата.

Для перевірки ефективності проведених вдосконалень проводили експериментальні дослідження з вимірювання температури. Вивчення впливу на покази термопари захисного екрана здійснювали так: в корпус апарата на однаковій висоті над газорозподільною решіткою встановлювали по три термопари із захисним екраном і без нього. Для мінімізації впливу екрана термопару розташовували вільним перерізом вздовж потоку повітря (рис. 3).

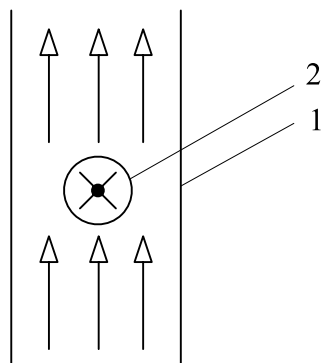


Рис. 3. Розташування захищеної термопари стосовно напрямку руху повітря: 1 – корпус апарата; 2 – термопара

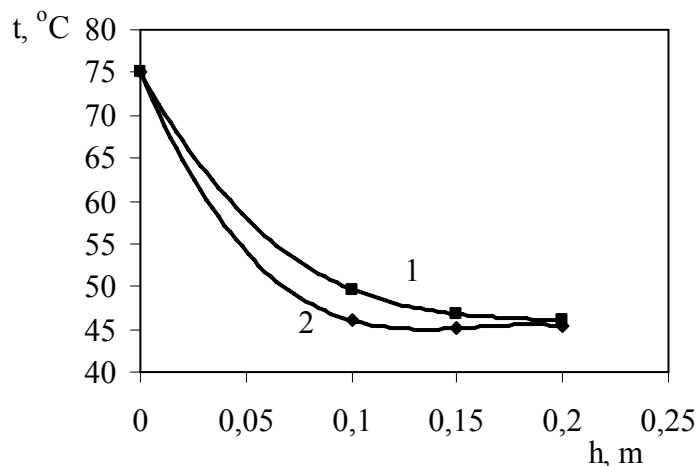
Через установку пропускали нагріте повітря і фіксували покази обох типів термопар. Дисперсний матеріал під час цих досліджень не засипали в робочу зону апарата, щоб запобігти його впливу на покази термопар. Результати вивчення впливу захисного екрана наведено у таблиці. Отримані числові значення є середнім арифметичним 15-ти вимірювань з інтервалом приблизно 1,67 с (дійсний час опитування перетворювачем каналів).

**Результати дослідження впливу захисного екрана на покази термопар**

Висота розташування термопар, м	Температура повітря, °С			
	Захищена термопара		Незахищена термопара	
0,05	70,30±0,18	80,87±0,20	70,76±0,18	80,90±0,20
0,1	70,15±0,17	80,19±0,20	70,45±0,18	80,24±0,20
0,15	69,91±0,17	79,93±0,20	70,14±0,17	80,06±0,20

Як бачимо із наведених результатів, розбіжність між показами термопар лежить у межах заявленої виробником перетворювача зведеної похибки вимірювань. Це дає змогу стверджувати, що встановлений на термопару захисний екран не спотворює температуру повітря.

Для порівняння показів захищених і незахищених термопар під час капсулювання проводили одночасне вимірювання температури повітря в шарі. Термопару розташовували в апараті почергово у зоні недоступності розпиленого розчинника, нагрівали матеріал до постійної температури і включали подачу розчину. Покази термопар за однакових умов (висота, початкова температура, витрата рідини) показано на рис. 4.



*Рис. 4. Порівняння показів захищених (1) і незахищених (2) термопар під час зрошення дисперсного матеріалу рідиною у стані псевдозрідження*

На рис. 4 бачимо, що найбільші розбіжності між показами спостерігаються у термопар, які найближче розташовані до розпилювальної форсунки. Далі з висотою розбіжність зменшується і після завершення тепломасообміну покази захищених і незахищених термопар збігаються. Показані на рис. 4 числові значення температур є середнім арифметичним 25-ти вимірювань з інтервалом 1,67 с. На рис. 5 і 6 дано покази термопар під час вимірювань відповідно захищених і незахищених. На рис. 6, де є наведені покази незахищених термопар, спостерігається значне коливання температур, пов'язане із контактуванням частинок матеріалу із спаями термопар. На рис. 5 бачимо мінімальне коливання в межах ціни поділки шкали приладу (1 град.), які можна пояснити пульсаціями в шарі матеріалу у стані псевдозрідження.

**Висновки.** Використана методика вимірювання температури псевдозріджувального повітря у шарі дисперсного матеріалу дає змогу досліджувати теплообмін процесу капсулювання, уникаючи впливів на точність показів частинок матеріалу і захисного екрана термопар. Покази захищених

термопар можна вважати такими, що максимально наближені до температури повітря у шарі псевдозрідженого матеріалу.

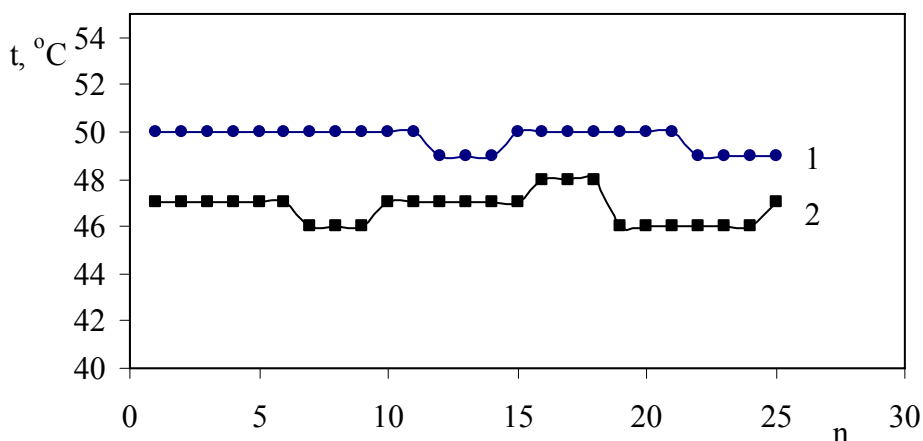


Рис. 5. Покази захищених термопар, розташованих на різній висоті (м) під час вимірювання температур з інтервалом 1,67 с в процесі зрошення шару частинок рідиною: 1 – 0,1; 2 – 0,15

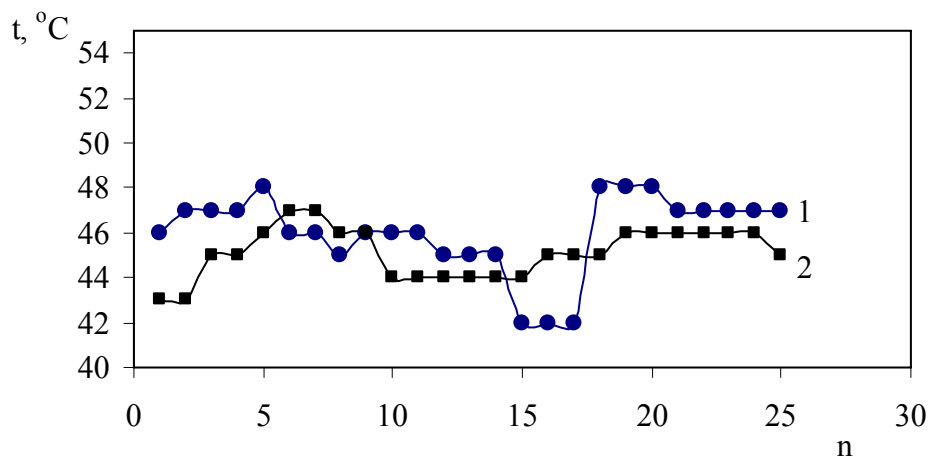


Рис. 6. Покази незахищених термопар, розташованих на різній висоті (м) під час вимірювання температур з інтервалом 1,67 с в процесі зрошення шару частинок рідиною: 1 – 0,1; 2 – 0,15

1. Куниш Д., Левенитиль О. Промышленное псевдоожигение / Пер. с англ.; Под ред. М.Г. Слинко и др. – М.: Химия, 1976. – 448 с. 2. Псевдоожигение / Под ред. И. Девидсона и Д. Харрисона; Пер. с англ.; Под ред. проф. Н.И. Гельперина. – М.: Химия, 1974. – 728 с. 3. Гельперин Н.И., Айништейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдоожигения. – М.: Химия, 1967. – 664 с.