

**УДК 54.08-006.91**

**ОЦІНЮВАННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ РЕЗУЛЬТАТІВ МОРФОЛОГІЇ  
БІОРІДИНИ**

Новикова А.О., Таран О.М.,

Херсонський національний технічний університет

**UDC 54.08-006.91**

**EVALUATION OF UNCERTAINTY OF MORPHOLOGY BIOLIQUIDS**

Novikova A.A., Taran A.N.,

Kherson National Technical University

*Робота присвячена експериментальному дослідженню розподілу температури вздовж діаметру краплі рідини на поверхні скляної підкладки при її висушуванні. Проаналізована залежність крайового кута від часу висушування краплі води та водного розчину альбуміну. Проведено дослідження залежності технологічних умов сушіння від типу нагрівача. Визначена залежність морфологічних змін від умов сушіння. Встановлено, що в об'єму краплі при нагріванні діють конвекційні потоки. Проведена оцінки невизначеності результатів температурних вимірів.*

*Проведений аналіз невизначеності температури в зоні основи краплі, який показав, що його значення не може суттєво впливати на технологічні умови випаровування краплі.*

*Ключові слова: морфологія, біорідина, температура, невизначеність, випромінювання.*

*The work is dedicated to the experimental study of temperature distribution along the diameter of a drop of liquid on the surface of the glass substrate during its drying. The dependence of the contact angle of droplets drying time of water and aqueous solution of albumin. The research process drying conditions depending on the type of heater. The dependence of morphological changes of drying conditions. It was*

*established that the volume drops when heated are convection currents. The estimation of the uncertainty of results of temperature measurements.*

*The analysis of uncertainty in the temperature zone drops foundations, which showed that its value can not significantly influence the technological conditions of evaporation of drops.*

*Keywords: morphology, bioliquids temperature, the uncertainty of radiation.*

**1. Вступ.** Актуальність теми полягає в посиленні процесу інтеграції міжнародного співтовариства. Важливим елементом цього процесу є гармонізація стандартів і інших нормативних документів, в тому числі в галузі метрології, з метою усунення бар'єрів в торговому, промисловому, науковому та медичному співробітництві.

Питання оцінювання якості результатів медичних досліджень є одним з найважливіших на сьогоднішній день. Оскільки об'єктом подібних досліджень є людина, надзвичайно важливо враховувати різного роду як зовнішні, так і внутрішні чинники, яким він схильний під час проведення дослідження. Тому оцінювання невизначеності при трактуванні результатів досліджень є актуальним.

**2. Мета роботи** є встановлення невизначеності показників технологічних умов при формуванні структури фації рідини. При цьому вирішували наступні завдання:

1. Розробка стенду дослідження температури та зміни форми фації при висихання.
2. Аналіз динаміки процесу випаровування вздовж діаметру краплі води та водного розчину альбуміну.
3. Аналіз зв'язку показників невизначеності температури із структурою фації.

**3. Методи дослідження.** Оптичні та температурні виміри, комп'ютерні розрахунки.

Об'єктом дослідження є процес формування твердотілого осаду рідини на поверхні скляної підкладці при нагріванні. В якості рідини використовували дистильовану воду та 7%-й водний розчин бичачого сироваткового альбуміну.

Експерименти проводили при температурі 25°C і відносній вологості близько 60% в приміщенні без різких протягів і переміщень повітря.

Краплі рідини, що досліджували дозатором наносили на скляну підкладку. Діаметр крапель на склі становив 5-7 mm. Температуру поверхні всіх крапель в процесі висихання реєстрували одночасно за допомогою термопар хромель - алюмель (тип К). Схема розташування термопар, представлена на рис. 1

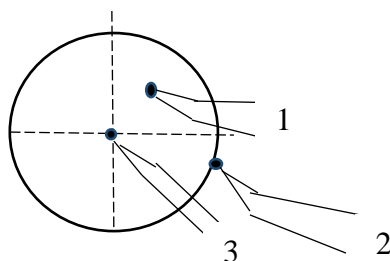


Рис. 1. Схема розташування термопар на поверхні підкладки: 1 - в середині краплі рідини; 2 - на границі краплі-повітря; 3 - в центрі краплі

Для дослідження зміни форми краплі при випаровуванні на підкладці використано стенд, принципова схема якого представлена на рис. 2.

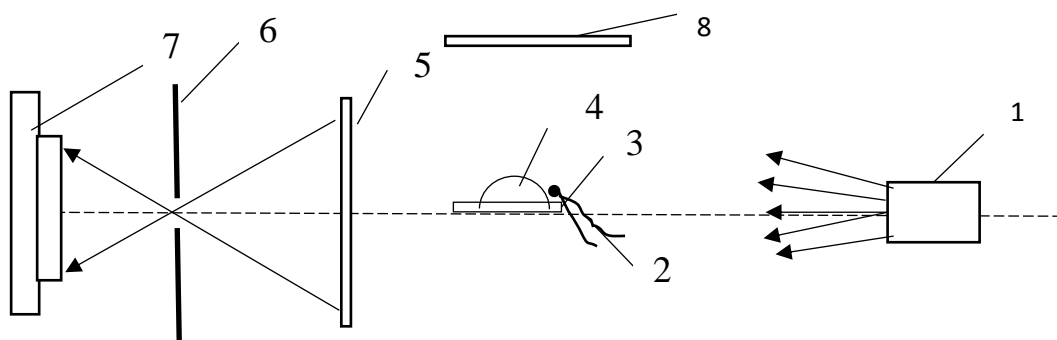


Рис.2. Макет стенду визначення форми краплі: 1 - джерело світла; 2 - термопара; 3 - підкладка; 4 - крапля рідини; 5 - конденсуюча лінза; 6 - екран з отвором; 7 - фіксує камера; 8 - нагрівач

Дана система призначена для спостереження за краплею під час її випаровування. Для проєкцювання зображення на сенсор камери використовується комбінація конденсуючої лінзи 5 та об'єктиву камери 7.

Для фіксації картинки краплі використана камера Logitech WebCam C 270. В роботі невизначеність оцінювали за типом А та В.

**4. Результати експерименту.** При дослідженнях проведено аналіз розподілу температури вздовж краплі при її випаровуванні. Схема розташування термопар при цьому показана на рис. 3.

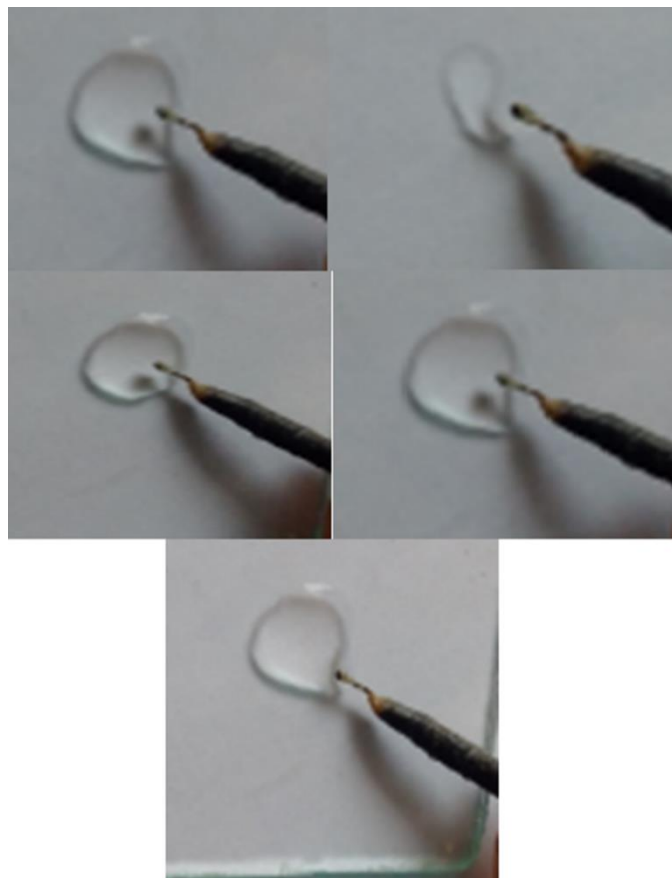
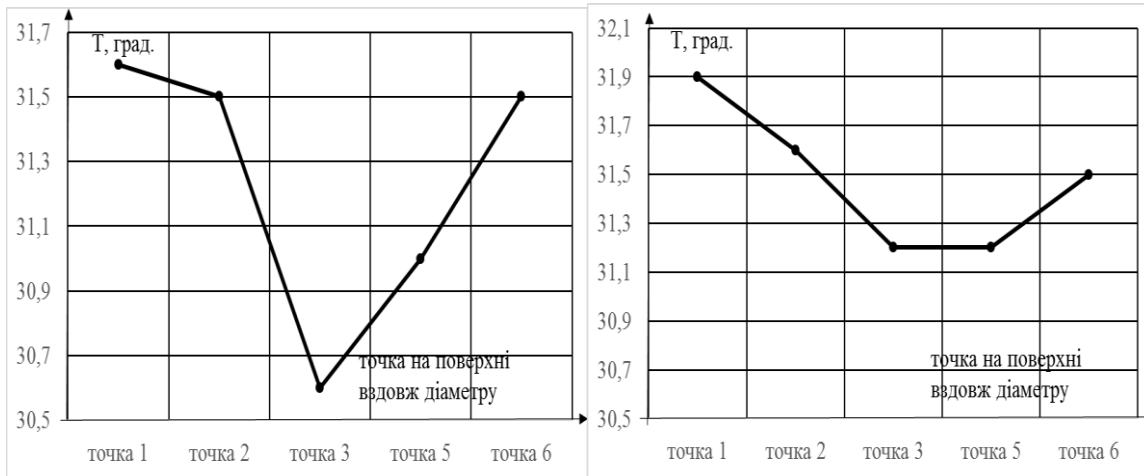


Рис. 3. Фотографії розміщення термопари вздовж діаметра краплі

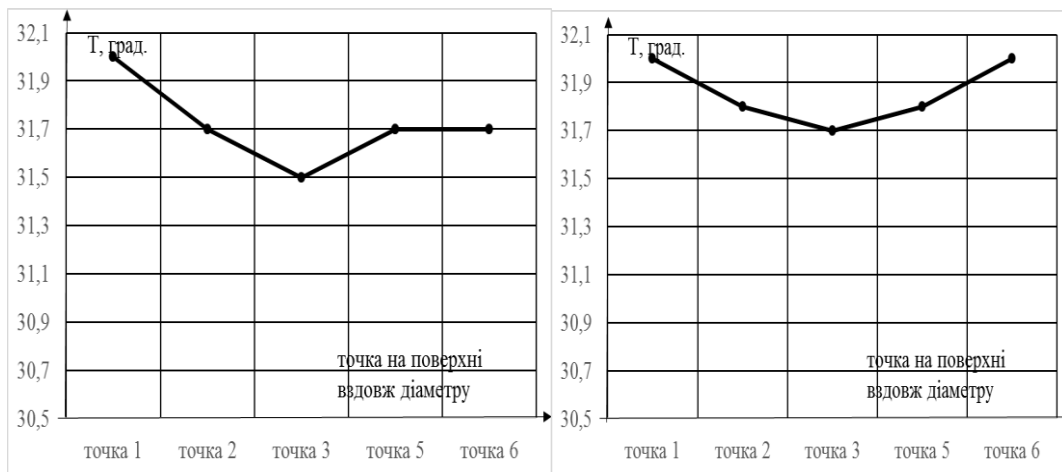
Результати вимірів представлені на рис. 4-5.

Як видно з рисунків, спочатку випаровування температура в середині краплі нижча у порівнянні з її краями. Поступово, по мірі випаровування рідини температура осереднюється.



а)

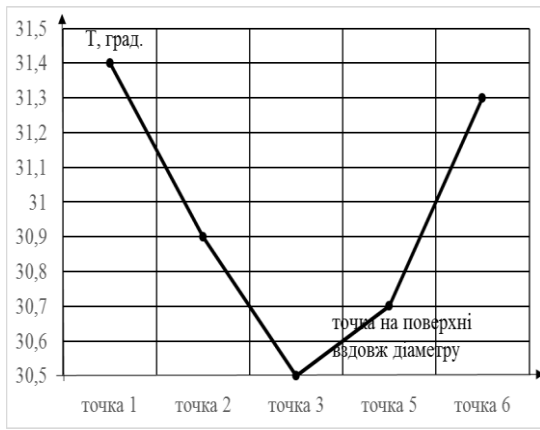
б)



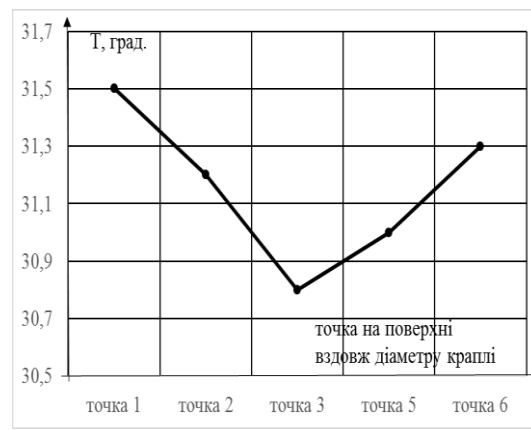
в)

г)

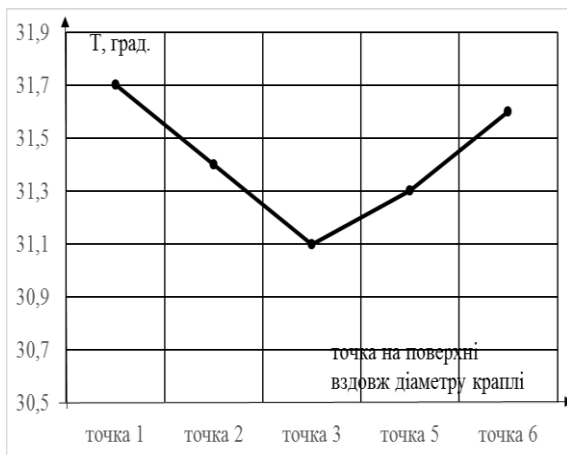
Рис. 4. Розподіл температури вздовж діаметру краплі  
Води. Вимір: а-через 1 хвилину, б -через 10 хвилин, в-через 20 хвилин,  
г -через 30 хвилин



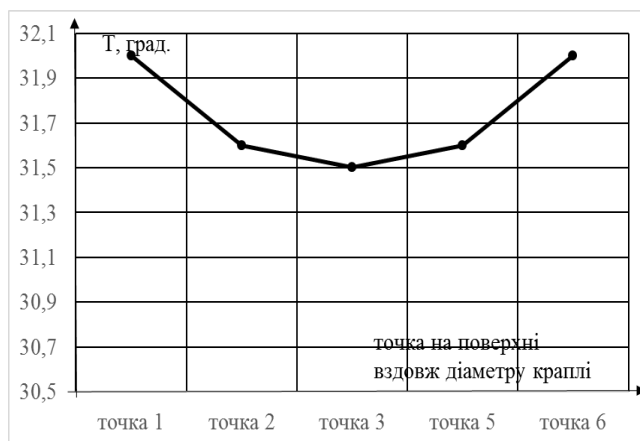
а)



б)



в)



г)

Рис. 5. Розподіл температури вздовж діаметру краплі

Водного розчину альбуміну. Вимір: а-через 1 хвилину, б -через 10 хвилин,  
в-через 20 хвилин, г -через 30 хвилин

На рис.6 представлена залежність температури від часу випаровування для води та водного розчину альбуміну.

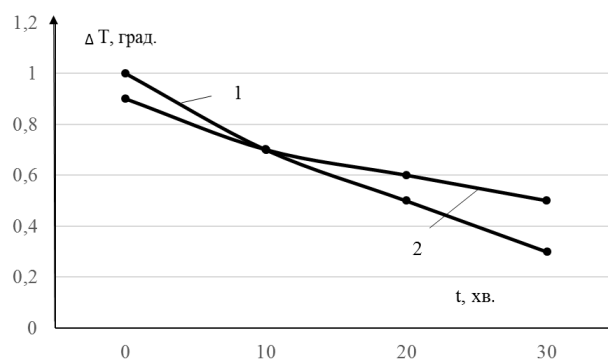


Рис. 6. Залежність зміни температури вздовж діаметру краплі від часу випаровування: 1-вода, 2-водний розчин альбуміну

Перепад температури у воді більш інтенсивний (рис.6), що пояснюється гелеутворенням альбуміну в процесі випаровування. Під дією ІЧ випромінювання тенденція вирівнювання температурного поля вздовж діаметру краплі зберігається, але температурний розподіл більш неоднозначний (рис.7).

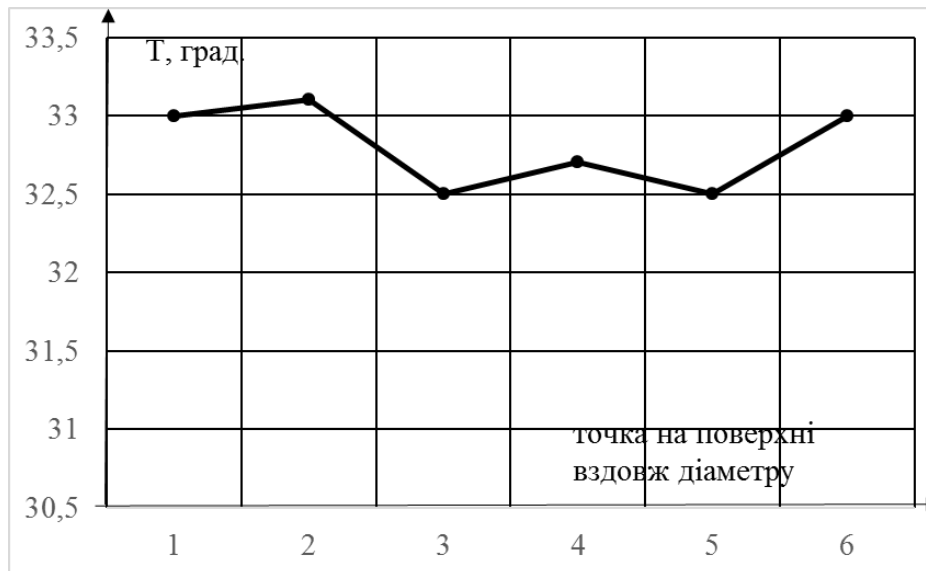


Рис. 7. Розподіл температури вздовж діаметру краплі води водного розчину альбуміну під дією ІЧ випромінювання (кінець випаровування)

При нагріванні відбувається випаровування БР, яке супроводжується міграцією її молекул та молекулярних угруповань. Таку систему вважають мікрореактором [1], в об'ємі якого відбувається самозбирання ансамблів мікро- та наноструктур. В результаті процесу випаровування здійснюється перехід від 3D до 2D морфологічної структури.

Архітектура, що формується в результаті такої технології залежить від різних факторів, основними з яких є взаємодія частинок друг з другом. Не зважаючи на те, що взаємодія частинок кожної БР має індивідуальний характер, тим не менш вплив технологічних умов випаровування може порушити динаміку руху частинок і в результаті морфологічну картину фації.

Головною силою, що ініціює процес упорядкування частинок в об'ємі краплі є випаровування розчину, який викликає зміну об'єму. В літературних

джерелах відзначається, що границі краплі зсуваються [2]. В нашому експерименті зміну границь визначити не вдалося. Разом с тим рух БР спостерігався. У випадку коли контактна лінія утримується підкладкою має місце ефект утримання або прилипання контактної лінії, що викликає встановлення радіальних потоків компенсаційної природи, які пересувають частинки від центру до периферії, утворюючи характерне кільце -надлишок твердої фази [3]. В даному експерименті на картинах фацій утворення кільця не було. В нашому випадку конвекційна нестійкість пов'язана з тим, що щільність рідини залежить від температури. В результаті виникає нестійкість.

Встановлені факти тороподібного завертання рідини в процесі висихання крапель [4, 5]. Теоретично виявлено та експериментально підтверджено, що напрямок цього завертання залежить від співвідношення теплопровідності рідини  $k_1$  та підкладки  $k_2$ , що впливає на напрямок вектору підвищення температури від трифазної границі до купола краплі.

Було встановлено, значення  $k_2/k_1=1,57$  є критичним рівнем переключення напрямку поверхневої течії.

При  $k_2/k_1 > 1,57$  струм рідини завертається проти годинникової стрілки, при  $k_2/k_1 < 1,57$  - за годинникової стрілкою.

У відповідності до цього правила в краплях розчинів, що висихали на склі тороподібний рух рідини повинен відбуватися проти годинникової стрілки, оскільки  $k_2/k_1=2,27$ . В краплях водних розчинів, що висихають на поверхні скла, в початковій гідродинамічній стадії висихання розвиваються відцентрові течії і тороподібне закручування внутрішнього потоку рідини проти годинникової стрілки, що знаходиться в згоді з спрямованістю температурних градієнтів.

Більш суттєві зміни спостерігаються при нагріванні ІЧ випромінюванням.

Реальний вплив інфрачервоного випромінювання зводиться до глибинного нагріву об'єкту, а при наявності глобули води, то в першу чергу, відбувається розрив водневих зв'язків і як наслідок дроблення їх на більш дрібні глобули.

Таким чином, потоки, що виникають в наслідок дії температури викликають пересування частинок БР. Причому можна очікувати чим більше



буде нестабільність в значеннях температури тим більша буде нестійкість системи.

На рис. 8 представлені картини фації водного розчину альбуміну на різних етапах випарювання.

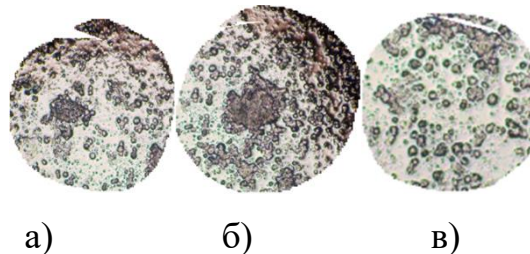


Рис. 8. Фації водного розчину альбуміну при випаровуванні: а – 15 хвилин; б -20 хвилин; в -35 хвилин

Як видно з рисунку з часом випаровування картина морфології БР і в кінцевому випадку фації змінюється: переходить від угруповання в центрі до рівномірного по всьому полі фації.

Проведений аналіз невизначеності температури випаровування показав, що невизначеність типу А в процесі випаровування поступово знижується.

**5. Висновки.** Розроблено стенд для дослідження форми та температури краплі рідини при її випаровуванні, який включає оптичний та термічний блоки та активну зону. В оптичний входить лінза, фотокамера та джерело світла. Термічний представлений нагрівачем та термопарою. В активну зону входить крапля рідини на поверхні. Показано, що процес випаровування краплі рідини неоднорідний, що відбивається в температурній картині вдовж діаметру краплі. Визначено, що на початку випаровування температура в середині краплі менше у порівнянні з температурою на її краю. Поступово в ході втрати рідини краплею температура вирівнюється. Виявлено, що ІЧ випромінювання вносить в процес випаровування більш хаотичний характер, хоча тенденція вирівнювання температурного поля вздовж діаметру краплі зберігається, але носить нерівномірний характер. Встановлено, що зниження температури в центрі краплі пов'язано з натягом поверхні краплі при її випаровуванні і виникненням

конвекційних потоків в об'ємі, що відбивається на морфологічних змінах БР і в кінцевому випадку в самій фації. Визначено, що основний вклад в невизначеність показників температури, які впливають на морфологічну картину закристалізованої БР носить випадковий характер. В середньому невизначеність для різних типів рідини та виду нагріву приблизно однакова.

### **Література:**

1. *Самосборка* наночастиц в микрообъеме коллоидного раствора: физика, моделирование, эксперимент. // Российские нанотехнологии.- 2013.№. 3-4.- С.5 - 23.
2. *Ушаков В.Л., Пызин Г.П., Бескачко В.П.* Методика наблюдения малых движений поверхности лежащей капли в процессе ее испарения //Вестник южно-уральского ун-та. -2013.-Т.5.-№2. -С.117-122.
3. *Рева С. Л.* Экспериментальная установка для исследования процесса капельного испарения // Известия ВолгГТУ : меж- вуз. сб. науч. ст. № 1 / ВолгГТУ. – Волгоград, 2011. – (Серия «Реология, процессы и аппараты химической технологии» ; вып. 4). – С. 40–43.
4. *Новикова Л.В., Ерёменко В.В.* ОПТИЧЕСКИЕ ДАТЧИКИ УРОВНЯ ЖИДКОСТИ // Биомедицинская инженерия и электроника, 2013. - № 1. – С. 60-61;  
URL: [biofbe.esrae.ru/184-914](http://biofbe.esrae.ru/184-914) (дата обращения: 15.11.2016).
5. Журнал по применению аналоговых компонентов. Третий квартал. - 2011. -3Q. -Texas Instruments. - 40 p.