

ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім. І.І. Мечнікова

На правах рукопису

МБАНКОВА СОФІЯ ЛЕОНІДОВНА

КАПІЛЯРНІ ПРОЦЕСИ ПРИ СПІВУДАРІ КАПЛІ З ПЛОСКОЮ
ПОВЕРХНЕЮ РІДИНИ

01.04.14 - Теплофізика та молекулярна фізика

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття вченого ступеня
кандидата фізико-математичних наук

Одеса - 1993

Аб 27.40

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00814194 (R)

Роботу виконано на кафедрі теплофізики Одеського державного університету ім. І.І. Мечнікова

Науковий керівник: кандидат фізико-математичних наук, ст.наук.спів. О.В. Колпаков

Офіційні опоненти: доктор фізико-математичних наук, професор Костусь Сергій Михайлович

кандидат фізико-математичних наук, доцент Лопатенко Сергій Васильович

Керівна організація: Інститут проблем енергозбереження АН України

Захист дисертації відбудеться "18" серпня 1993 р. в "14" годин на засіданні Спеціалізованої ради, Д. 068.24.03 по фізико-математичним наукам (фізика) в Одеському державному університеті ім. І.І.Мечнікова (270100, м.Одеса, вул. Петра Великого, 2)

З дисертацією можливо ознайомитися в науковій бібліотеці Одеського державного університету

Автореферат розслано "14" травня 1993 р.

Вчений секретар Спеціалізованої ради

кандидат фізико-математичних наук, ст.наук.спів. Сидорук

Сид.

С.В.Маргашук

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. В багатьох технологічних процесах будуть присутніми двофазні потоки, які складаються із газу та полідисперсних капель рідини.

Співудар капель неоднакового розміру в залежності від ряду факторів приводить до злиття, відскоку чи дроблення.

При розборі питань про тепломасообмін між потоком та стичними з ним поверхнями, а також при оцінюванні двофазних утрат імпульсу чи змінювання фракційного складу чистотного компоненту необхідно ураховувати процеси співударів капель неоднакового розміру (в граничному випадку - капель з плоскою поверхнею).

Окрім того, процес співудару капель неоднакового розміру є одним з визначальних еволюцій атмосферного аерозолу, так як приводить до масопереносу між фракціями.

Процес взаємодії каплі з поверхнею рідини дуже складний та залежить від багатьох факторів.

Сучасна модель подає процес співудару, як сукупність капілярних процесів: утворення каверни на поверхні мішені; розвиток системи кільцевих капілярних хвиль; розвиток сплеску; осциляція каплі; а саме що сплеск досягає каплю, що відлітає, то й виформування та розпад рідинної перемички.

Інформації про перелічені явища явно недостатньо.

Точний теоретичний опис процесів, які відбуваються при взаємодії каплі з поверхнею рідини, неможливий в рамках класичної гідродинаміки.

Експериментальні дослідження процесу співудару каплі з плоскою поверхнею рідини часто дають суперечливі результати. Основні суперечності зв'язані з визначенням гідродинамічних зон злиття, відскоку та часткового злиття, характером межі між цими зонами, характером залежності результату співудару від параметрів співудару. А такі процеси, як деформація поверхні мішені після співудару з каплею для суто капілярного випадку, розпад струменя нев'язкої рідини, який зазнає осьосиметричний розтяг, осциляція капель розміром менш 400 мкм не досліджували зовсім.

Таким чином, актуальність роботи визначена необхідністю

нових експериментальних досліджень капілярних процесів, що відбуваються при співударі каплі з плоскою поверхнею рідини.

Мета роботи. Метою дисертації є експериментальне дослідження комплексу капілярних процесів, які відбуваються при співударі каплі з плоскою поверхнею рідини. Це дослідження включає декілька задач: 1) визначення залежності результату співудару капель води з плоскою поверхнею води від параметрів співудару; 2) вивчення розвитку нестійкості капілярного водяного струменя, який розтягається осьосиметрично; 3) вивчення розвитку на поверхні рідини системи кільцевих капілярних хвиль; 4) вивчення осциляції капель після відскоку від поверхні рідини чи після дроблення.

Наукова новизна роботи.

1. Проведено комплексне дослідження капілярних процесів, що відбуваються при співударі каплі з плоскою поверхнею рідини.

2. Уперше виконано експериментальне дослідження розвитку системи кільцевих капілярних хвиль, які утворюються при падінні каплі на поверхню рідини.

Показано, що радіус та швидкість падаючої каплі не мають впливу на процес зміни хвильової картини від часу. Тобто на спостережасьму систему хвиль можна дивитися як на систему кільцевих капілярних хвиль, яка утворена точковим джерелом.

Одержано рівняння поверхні для кільцевих капілярних хвиль.

3. Уперше було здійснено дослідження механізму розпаду струменя-перемички при осьосиметричному розтягненні.

Показано, що розтягнення має стабілізуючий вплив на розвиток нестійкості перемички.

Одержано, що розвиток нестійкості перемички катеноїдно-подібної форми реалізується через деформації з двома вузлами.

5. Виконано дослідження осциляції капель в діапазоні радіусів $r_0 = 75 \div 200$ мкм.

Наукове та практичне значення.

Запропонована методика досліджень комплексу капілярних процесів, які є присутніми при співударі каплі з плоскою поверхнею рідини.

Подані у роботі нові експериментальні дані поширюють сучасне уявлення про вивчаєми капілярні процеси.

Знання загальних закономірностей процесу співудару може внести корективи в розрахунок коагуляційного збільшення капель у хмарах, вплинути на розвиток нових моделей контактної зарядки капель.

Результати роботи можуть бути застосовані пр. розробленні різних технологій, де використані рідинні дисперсні системи. Урахування залежності ефективності злиття від параметрів співудару дозволить удосконалити конструкції сепараторів, теплообмінних пристроїв.

Дослідження осциляції капель використані при розробленні пристрою для генерування монодисперсних капель.

Наукові положення, які винесено до захисту:

- методику досліджень комплексу капілярних процесів;
- залежність коефіцієнту злиття (часткового злиття) від параметрів співудару для взаємодії капель води з плоскою водною поверхнею;
- результати експериментального дослідження системи кільцевих капілярних хвиль, що утворюється при падінні каплі на поверхню рідини;
- вираз для вільної поверхні для кільцевих капілярних хвиль, які побудовані від початкового імпульсу;
- особливості реалізації нестійкості рідинної перемички, яка підлягає осьосиметричному розтягу.

Апробація результатів роботи.

Результати дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися :

- на XV Всесоборній конференції "Актуальні проблеми фізики аеродисперсних систем", (Одеса , 1989);
- на симпозіумі що до атмосферної електрики (Нальчик , 1990);

- на Всесоюзній конференції " Оптически методы исследования потоков " (Новосибирськ, 1991) ;

- на II Всесоюзній конференції " физика и техника монодисперсных систем " (Москва, 1991).

За метою дисертації опубліковано 4 статті, 6 тез доповідів на конференції. І авторське свідчення.

Структура та об'єм дисертації.

Дисертація складається з вступу, 6 розділів з підсумками, висновка та списку літератури, який налічує 106 найменувань. Загальний об'єм роботи складає 82 сторінки машинописного тексту, 38 малюнків.

ЗМІСТ РОБОТИ

Перший розділ є оглядовим. Він присвячений аналізу досліджень таких капілярних процесів, як: співудар каплі з плоскою поверхнею рідини; поверхнева деформація, що утворюється від початкового збурення поверхні; розвиток та розпад струменя-перемички при осьосиметричному розтягненні; осциляція капель.

В огляді освітлюється розвиток уявлень про механізм співудару каплі з поверхнею рідини, розглянута модель процесу співудару, побудована для нормальних співударів.

Ця модель передбачає два механізми злиття капель:

1) Злиттю каплі з поверхнею рідини заважає газовий прошарок, який опиняється затиснутим між поверхнями, що співударяються. Для витіснення прошарку необхідний якийсь час. Вважається, що відскок каплі гарантовано при товщині газового прошарку, яка рівна довжині вільного пробігу молекули газу прошарку h_{gp} . Тоді критерій злиття записується у вигляді

$$h^2 = 0,32 \frac{\rho^{1/2} v_{n,2}^2 r_1^{5/2}}{\sigma^{3/2}} < h_{gp}^2 \quad (1)$$

де h - товщина газового прошарку ; ρ - в'язкість газу прошарку ; $v_{n,2}$ - нормальна складова швидкості каплі ; r_1 - радіус каплі ; ρ та σ - густина та поверхневий натяг рідини мішені.

2) Сплеск, що розвивається при відновленні zdeформованої поверхні мішені, переборже газовий прошачок при умові, що кінетична енергія сплеску перевищує потенціальну енергію деформації.

При цьому критерій злиття для співударів капель з плоскою поверхнею рідини записується у вигляді :

$$V_{1,2} \cdot \tau_1^{1/2} \geq 1,34 \left(\frac{\sigma}{\rho} \right)^{1/2} \quad (2)$$

На основі проведеного огляду у першому розділі сформульовано завдання дослідження.

У другому розділі розглядено методику та експериментальну техніку досліджень.

Специфіка вивчасмих явищ та універсальність методу дозволили всі експерименти провести на основі однієї установки, основним вузлом якої є генератор монодисперсних капель (ГМК) типу "вібруюча голка". Принцип роботи ГМК типу "вібруюча голка" полягає в реалізації нестійкості рідинної перемички, яка осьосиметрично розтягується між двома поверхнями. Робота ГМК забезпечує високе відтворення процесів витягнення струменя-перемички та утворення капель.

Загальна схема експериментальної установки зображена на рис.1. Потік незв'язаних монодисперсних капель води, утворених у ГМК (1), спрямовується на поверхню води, яка заповнює прозору скляну кювету (2). Спостереження за дослідженими процесами проводилось через оптичну систему мікроскопу МЕС-1 (3). Освітлювання проводилось джерелами безперервного (4) та імпульсного (5) світла. Генератор ГЗ-56/1, задаючи роботу ГМК, синхронізований з запускаючим генератором імпульсної лампи (6) через блок затримки імпульсу генератора Г5-60 (8). Використання стробоскопічного ефекту та управління затримкою світлових імпульсів дозволяє з заданим часовим кроком ($10^{-7} \div 10^{-1}$ с) здобувати послідовні стробоскопічні зображення вивчаємого процесу та, крім того, легко вивчати лінійні та часові параметри.

Спостереження за розвитком деформації поверхні проводились за допомогою дзеркала (9), розміщеного під кутом 45° до поверхні рідини та фокальної площини мікроскопу. При ім-

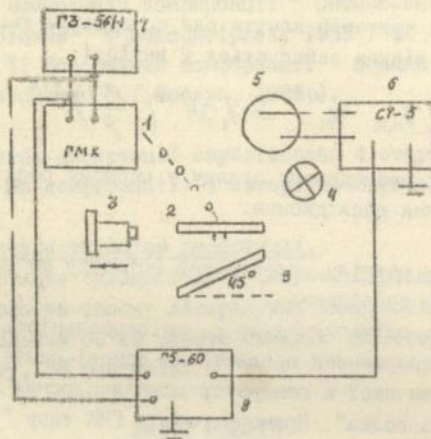


Рис. I.

пульсним освітленні поверхні кювети оптична система настроювалася таким чином, щоб у дзеркалі було чітке зображення кілець, відповідні максимальним підйманням хвильової поверхні.

Експерименти проводились у лабораторних умовах. За рідину використовували дистильовану воду.

Третій розділ присвячений результатам експериментальних досліджень співударів капель води з плоскою водною поверхнею. Параметри капель змінювались в діапазонах: радіус $r_1 = 60 \pm 150$ мкм, швидкість $V_1 = 0,4 \pm 1,1$ м/с, кут співудару $\alpha = 10 \pm 90^\circ$. Кут співудару визначається як кут поміж траєкції рієк каплі та дотичною до поверхні у точці співудару.

У процесі досліджень спостерігали три типи взаємодії: злиття, відскок та часткове злиття.

На основі експериментальних даних були побудовані залежності коефіцієнту злиття E_2 (часткового злиття E_3) від кута співудару α для різних швидкостей V_1 та ра-

діусів капель r_1 . Величина коефіцієнта злиття визначалася як відношення числа злиттів (часткових злиттів) до повного числа співударів у вибраному діапазоні параметрів.

Відзначено, що характер залежності результату взаємодії від кута співудару змінюється при зміні радіуса каплі.

Для капель, радіус яких менший 75 мкм, переважним результатом співудару є злиття.

Результати для капель $r_1 = 100, 125$ мкм показані на рис.2., де зображені поверхні коефіцієнта злиття, побудовані у координатах (кут співудару α / швидкість V_{1n}).

Збільшення розміру капель ($r_1 = 150$ мкм) приводить до появи часткового злиття в області малих та середніх кутів. При збільшенні кута співудару область часткового злиття та відскоку змінюється областю чистого відскоку.

Таким чином, існують області параметрів, де результат процесу співудару суворо визначений (злиття, відскок, часткове злиття), та області, де результат взаємодії каплі з поверхнею носить статистичний характер, інакше кажучи, де з певною ймовірністю можливий будь-який з результатів.

Інтерпретація експериментальних результатів будувалась на основі моделі співудару, що враховувала два механізми злиття (1),(2).

У роботі показано, що для співударів під довільними кутами критеріїв (1), (2) недостатньо для однозначного визначення результату співудару.

Одержано, що статистичність процесу співудару виявляється в області параметрів, де численні оцінки по (1),(2) змінюються в межах порядку величини критичного значення, тобто в перехідній області параметрів.

Статистичний характер процесу злиття визначається нестійкістю процесу переборення газового шару, зруйнування перемички, що піддається осьосиметричному розтягненню, та можливо іншими факторами, що важко контролюються.

У перехідній області параметрів недостатньо розглядати залежність результатів співудару від нормальної складової швидкості V_{1n} та радіусу каплі r_1 , треба окремо урахувати залежність від кута співудару α .

В областях середніх та нормальних кутів виявлені експериментальні тенденції якісно описуються критеріями (1),(2).

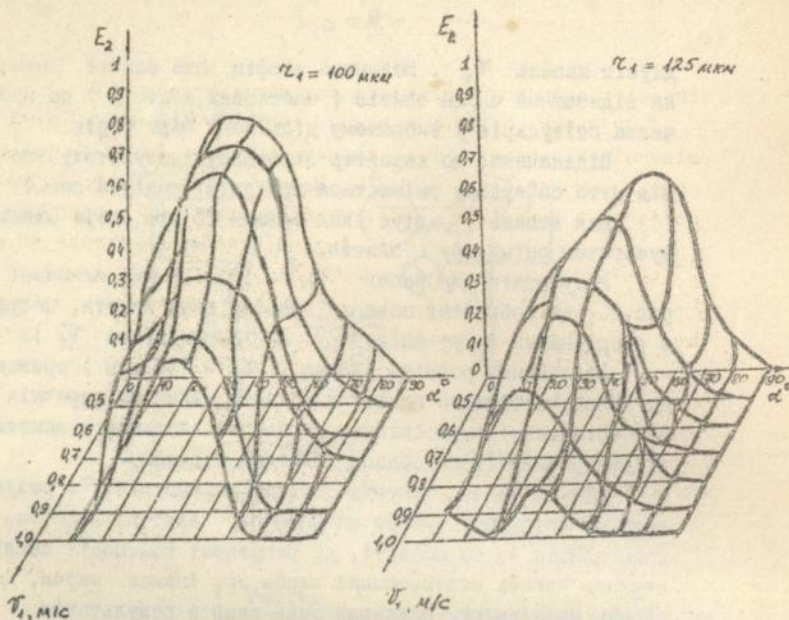


Рис. 2.

У області параметрів, де злиття найголовніше визначається умовами витискування газового прошарку (I), коефіцієнт злиття E_2 зменшується при збільшенні нормальної складової швидкості v_1 чи радіусу каплі r_1 .

Зменшення ймовірності злиття в області малих кутів (що суперечить (I)) обумовлено процесами, зв'язаними з тангенціальною складовою швидкості каплі $v_{1,t}$. Тангенціальна складова швидкості каплі $v_{1,t}$ примушує каплю рухатися уздовж поверхні мішені без розриву газового прошарку.

Поява часткового злиття для капель радіусу $r_1 = 150 \text{ мкм}$ показує, що значну роль починає грати другий механізм злиття (2).

Четвертий розділ присвячений дослідженню деформації по-

верхні рідини при падінні на неї каплі радіусу r_1 .

Спочатку розглянута задача теоретичного опису сім'ї капілярних кільцевих хвиль, спричинених початковим імпульсом поверхні по області $0 < r < r_1$. Величина початкового імпульсу зв'язана з імпульсом каплі. Задачу розв'язано у припущенні про малі збурення поверхні, інакше кажучи, амплітуда збурень у хвилі повинна бути багато меншою, чим довжина хвилі.

Використовують відоме загальне розв'язання для потенціалу швидкості рідини (Ламб, 1947), одержано рівняння вільної поверхні рідини для чисто капілярних кільцевих хвиль: в циліндричній системі координат відхилення від рівноважної поверхні рідини

$$\zeta(r, t) = - \frac{r_1^2}{2\rho} I \int_0^{\infty} J_0(kr) \frac{\sin \{ W(k)t \}}{W(k)} k^2 dk \quad (3)$$

де I - величина віднесеного до одиниці площі імпульсу, прикладеного до вільної поверхні, k - хвильовий вектор, $J_0(kr)$ - функція Бесселя нульового порядку першого роду, $W(k) = (gk^3/\rho)^{1/2}$ - мода дисперсійного відношення для капілярних хвиль.

Із цього виразу видно, що параметри r_1 та I впливають тільки на амплітуду коливань, а не на характер зміювання з часом хвильової картини. На великий віддалі ($kr \gg 1$) застосовують інтеграл (3) метод стаціонарної фази та урахувавши залежності для капілярних хвиль

$$k = \frac{4 r_1^2 \rho}{9G t^2} \quad ; \quad W(k) = \frac{8 r_1^3 \rho}{27G t^3} \quad (4)$$

вираз (3) записується у вигляді :

$$\zeta(r, t) = \frac{I r_1^2}{3\pi^{3/2} G t} \sin \left(\frac{4}{27} \frac{r_1^3 \rho}{G t^2} \right) \quad (5)$$

З цього легко одержати закон поширення постійної фази збурення (наприклад, гребнів):

$$r_n' = \left\{ \left(\frac{\pi}{2} + 2n(n-1) \right) \frac{27G}{4\rho} \right\}^{1/3} t^{2/3} \quad (6)$$

$$n = 1, 2, 3, \dots$$

У другій частині цього розділу описано експериментальне дослідження хвильової картини, одержаної при падінні капелі води з параметрами $r_1 = 60 + 200$ мкм, $v_1 = 0,8 + 2,0$ м/с на водну поверхню.

Спостерігалось, що капля породжує складне початкове збурення яке через короткий час, $\Delta t \approx 10^{-4}$ с перетворюється у систему кільцевих капілярних хвиль. Тільки з цієї миті спостерігалась чітка стробоскопічна картина. (Початковим моментам часу відповідає процес формування кратеру.) Причому гребні з меншою умовною довжиною хвилі знаходяться далі від центру. Цей факт є наслідком аномальної дисперсії капілярних хвиль на поверхні рідини. Гребні посуваються з неоднаковими швидкостями, так що віддаль між ними постійно збільшується.

У деяких випадках відзначають другу систему хвиль, яка була наслідком зрушення сплеску. Таким чином, одержано експериментальне підтвердження наявності сплеску при співанні каплі з поверхнею рідини.

Експериментальна залежність координат гребнів від часу $r_n(t)$ дає добру згоду з теоретичною (6).

Показано, що параметри падаючої каплі (r_1, v_1) не мають впливу на закон руху гребнів. Таким чином, система хвиль, що спостерігалась, подібна системі хвиль, яка створюється точковим джерелом.

У п'ятому розділі розібрані результати експериментальних досліджень розпаду струменя-перемички, що зазнає осьово-симетричного розтягнення.

Модель цього процесу є процес утворення капелі у ГМГ.

Був вибраний ГМГ такої конструкції, що при конкретних умовах роботи генератора, здійснювався розтиск об'єму рідини $V_0 = (0,5 + 15,0) \cdot 10^{-11}$ м³ зі швидкістю $v_1 = (0,6 + 2,0)$ м/с.

В процесі розтягнення перемички були виділені три стадії розвитку.

На першій стадії - форма перемички катеноїдноподібна. Ця форма визначається прагненням рідини мати фігуру з мінімальною поверхневою енергією. Але в процесі розтягнення відношення довжини катеноїду до діаметру основи збільшується.

ся до критичного значення, що відповідає умові існування катеноїда. Спостерігалось, що нестійкість перемички катеноїдноподібної форми реалізується через деформацію з двома вузлами. Тобто спочатку на перемичці виділяється циліндрична центральна частина, потім розвиваються перетяжки та формуються веретеноподібна форма.

Таким чином, форма струменя трансформується, послідовно переходячи від катеноїдноподібної до циліндричноподібної та веретеноподібної. За інтервал часу $\Delta t \approx 10^{-5}$ с діаметр перетяжок зменшується до нуля. З відірваної маси рідини утворюється капля.

Відзначено стабілізуючий вплив розтягнення на розвиток нестійкості перемички.

Критичні відношення, які значають можливість існування катеноїдної чи циліндричної форми перемички по величині перевищують відомі критичні відношення для стаціонарних струменів та перемичок.

Відношення довжини перемички до діаметру l/d у мить першого обриву залежить від швидкості розтягнення u і може досягати 20 при $u = 2,0$ м/с.

При постійній швидкості розтягнення u виявлена лінійна залежність поміж діаметром перемички d у мить першого обриву та радіусом каплі r_1 . Таким чином, при розтягненні з постійною швидкістю u перемички довільного об'єму V_0 веретеноподібна форма перемички зберігається подібною.

У шостому розділі описано експериментальне дослідження осциляції капель радіусу $r_1 = 75 \div 200$ мкм, що утворені у ГМК типу "вібруюча голка".

Після відскоку від поверхні відбувався ефект осциляції тільки капель великого розміру ($r_1 > 130$ мкм), тоді каплі менших розмірів можна вважати "жорсткими" при ступені з поверхнею рідини.

Частота коливань капель, що експериментально встановлена, знаходиться у гарній згоді з залежністю Релея, що справедлива для коливань з малою амплітудою.

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

1) Проведено експериментальне дослідження процесу взаємодії капілярної рідини з поверхнею рідини як комплекс капілярних процесів: злиття, відскок, часткове злиття, розвиток системи кільцевих капілярних хвиль, осциляція капель, розвиток нестійкості струменя розтягнення.

2) Для капілярної води, які співударяються з плоскою водною поверхнею, було отримано залежність коефіцієнту злиття та часткового злиття від параметрів співудару у діапазонах:

$$\text{швидкість каплі } V_1 = 0,4 + 1,1 \text{ м/с}$$

$$\text{радіус каплі } r_1 = 75 + 150 \text{ мкм}$$

$$\text{кут співудару } \alpha = 10 + 90^\circ$$

3) Зазначено, що існує область параметрів, де результат процесу співудару суворо визначений (відскок, злиття, часткове злиття), та області параметрів, де результат взаємодії каплі з поверхнею рідини має статистичний характер.

Статистичність процесу співудару обумовлена нестійкістю процесу переборення газового прошарку та зруйнування перемички, що підлягає осьосиметричному розтягу.

4) Уперше розібрано питання про процес поширення кільцевих капілярних хвиль, які утворюються при падінні каплі на поверхню рідини.

Отримано рівняння вільної поверхні рідини для чисто капілярних кільцевих хвиль і, як наслідок, закон руху координат максимального підняття вільної поверхні.

5) Проведено експериментальне дослідження розвитку системи кільцевих капілярних хвиль, які утворюються при падінні каплі на поверхню рідини. Отримано, що параметри падаючої каплі не мають впливу на закон руху координат максимального підняття вільної поверхні. Експериментальні результати добре узгоджуються з теоретичними.

6) Вивчена кінетика струменя-перемички при осьосиметричному розтягненні.

Виділені стадії процесу розтягнення струменя-перемички

1) стадія існування катеноїдної форми; 2) стадія розтягнення циліндричної центральної частини; 3) стадія зруйнування струменя-перемички.

Зазначено, що розтягнення вказує стабілізуючий вплив на розвиток нестійкості перемички.

7) Проведено дослідження осциляції капель в діапазоні радіусів $r_1 = 75 + 200$ мкм.

Зазначено, що властиві частоти коливань капель описуються формулою строго справедливою для малих амплітуд.

ГОЛОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНО В РАБОТАХ:

1. Жбанкова С.Л., Колпаков А.В. Соударение капель воды с плоской водной поверхностью.// Изв.АН СССР. Механика жидкости и газа.- 1990.- № 3.- С. 165-168.

2. Жбанкова С.Л., Колпаков А.В. Релеевские колебания малых капель.// Ж-л технической физики.- 1990.- вып.8.- Т.60.- С.195.

3. Жбанкова С.Л. Кольцевые капиллярные волны.// Ж-л прикладной механики и технической физики.- 1991.- № 6.- С. 57-60.

4. Жбанкова С.Л., Колпаков А.В. Особенности развития капиллярной неустойчивости струи-растяжения.// Ж-л прикладной механики и технической физики.- 1992.- № 1.- С. 57-62.

5. Верещаго Н.Г., Жбанкова С.Л., Колпаков А.В. и др. Гидродинамика нестационарных свободных струй.// Тез. докл. XV Всес. конф. "Актуальные вопросы физики аэродисперсных систем."- Одесса.- 1989.- Т. II.- С. 33.

6. Жбанкова С.Л., Колпаков А.В. Механика образования капель при дроблении нестационарной струи.// Тез. докл. XV Всес. конф. "Актуальные вопросы физики аэродисперсных систем."- Одесса.- 1989.- Т. II.- С. 56.

7. Верещаго Н.Г., Жбанкова С.Л., Колпаков А.В. и др. Электризация капель при дроблении.// Тез. докл. IV Всес. симп. по атмосферному электричеству, -Нальчик.- 1990.- С. 337.

8. Жбанкова С.Л., Колпаков А.В. Визуализация быстротекающих процессов.// Тез. докл. I Всес. конф. "Оптические методы исследования потоков."- Новосибирск.- 1991, 23-28 апреля.- С. 101-102.

9. Вишневецкий И.И., Григорьев А.И., Жбанкова С.Л. и др. Формирование струи растяжения.// Тез. докл. Объед.2 всес. конф. "Физика и техника монодисперсных систем."- Москва.- 1991, 22-24 октября.- С. 12-14.

Москва:
ЛНБ им. В. Стефановича
АН Украины

464 802

Ю. Колпаков А.В.,
Zhbankova S.L. Electrifico
Proc 9-th. International Conf. on atmospheric electricity,
1992, June 15-19, St. Peterburg, Russia, p. 400- 403.

II. А.С. 1613187 СССР МКД⁵ в 05 в 17/06. Способ генериро-
вания монодисперсных капель и устройство для его осуществления/
А.В. Колпаков, В.А. Салов, Е.И. Титова, С.Л. Жбанкова (СССР).-
№ 4363833; Заявлено 14.01.88; Опубликовано 15.12.90;
Бюл. № 46// Открытия.Изобретения.- 1990.- № 46.

Scan

Заказ 5012 Тираж 100 Бумага офсетная № 1
г.Одесса, ул.Ленина, 28, Отдел оперативной полиграфии.