

ОДЕСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

ЗБІРНИК ПРАЦЬ

*VII Міжнародної науково-практичної
конференції*

**«ІННОВАЦІЙНІ
ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ»**

9-13 вересня 2019 р.



ОДЕСА
2019

Публікуються доповіді, представлені на XVIII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових та хімічних виробництв» (9 – 13 вересня 2019 р.) і присвячені актуальним проблемам підвищення енергоефективності в сфері АПК, харчових та хімічних виробництвах, розробки та впровадження ресурсо-та енергоефективних технологій та обладнання, альтернативних джерел енергії.

Редакційна колегія:

Доктор техн. наук, професор
Кандидат техн. наук

О.Г. Бурдо
Ю.О. Левтринська
Я.О. Масельська

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВИЙ ОРГКОМІТЕТ

Єгоров <i>Богдан Вікторович</i>	– голова, Одеська національна академія харчових технологій, ректор, д.т.н., професор
Бурдо <i>Олег Григорович</i>	– вчений секретар, Одеська національна академія харчових технологій, д.т.н., професор
Атаманюк <i>Володимир Михайлович</i>	– Національний університет «Львівська політехніка», д.т.н., професор
Васильєв <i>Леонард Леонідович</i>	– Інститут тепло- і масообміну ім. А.В. Ликова, Республіка Білорусь, д.т.н., професор
Гавва <i>Олександр Миколайович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Гумницький <i>Ярослав Михайлович</i>	– Національний університет „Львівська політехніка”, д.т.н., професор
Долинський <i>Анатолій Андрійович</i>	– Інститут технічної теплофізики, почесний директор, д.т.н., академік НАН України
Зав’ялов <i>Владимир Леонідович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Сукманов <i>Валерій Олександрович</i>	– Полтавський університет економіки і торгівлі, д.т.н., професор
Колтун <i>Павло Семенович</i>	– Technident Pty. Ltd., Australia, Dr
Корнієнко <i>Ярослав Микитович</i>	– Національний технічний університет України „Київський політехнічний інститут”, д.т.н., професор
Малежик <i>Іван Федорович</i>	– Національний університет харчових технологій, д.т.н., професор
Михайлов <i>Валерій Михайлович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, д.т.н., професор
Паламарчук <i>Ігор Павлович</i>	– Національний університет біоресурсів та природокористування України, д.т.н., професор
Снежкін <i>Юрій Федорович</i>	– Інститут технічної теплофізики, директор, д.т.н., академік. НАН України
Сорока <i>Петро Гнатович</i>	– Український державний хіміко-технологічний університет, д.т.н., почесний професор
Сухий <i>Константин Михайлович</i>	– ДВНЗ "Український державний хіміко-технологічний університет", д.хім.н., професор
Тасімов <i>Юрій Миколайович</i>	– Віце-президент союзу наукових та інженерних організацій України
Товажнянський <i>Леонід Леонідович</i>	– Національний технічний університет „Харківський політехнічний інститут”, д.т.н., професор, член-кореспондент НАН України
Ткаченко <i>Станіслав Йосифович</i>	– Вінницький національний технічний університет, д.т.н., професор
Черевко <i>Олександр Іванович</i>	– Харківський державний університет харчування та торгівлі, ректор, д.т.н., професор
Шит <i>Михайл Львович</i>	– Інститут енергетики Академії Наук Молдови, к.т.н., в.н.с

СЕКЦІЯ 1.

**ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМ
ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ**

УДК 66.045.14

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ ТЕПЛОНОСІЇВ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАНАЛІ КОНТАКТНОГО АПАРАТУ

Кузьменко І.М., к.т.н., доц., КНІ ім. Ігоря Сікорського, Київ

DETERMINATION OF LOCAL VELOCITY IN THE VERTICAL CHANNEL OF A CONTACT APPARATUS

Kuzmenko I.M., Ph.D., docent., «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

Анотація. В роботі наведено та перевірено методику розрахунку локальних швидкостей в вертикальному каналі контактної апарату. Отримані аналітичні вирази для розрахунку локальних швидкостей в вертикальному каналі за гравітаційного збігання плівки рідини у протитоці з газом. Аналітичний розв'язок базується на системі рівнянь Нав'є-Стокса для плівки рідини і потоку газу з відповідними граничними умовами, які включають рівність дотичних напружень на межі поділу фаз та умову прилипання на твердій поверхні. Для верифікації аналітичного розв'язку зібрано і протестовано експериментальний стенд з вертикальною дослідною ділянкою типу труба-в-трубі. Точність тестових дослідів на експериментальному стенді складає до 15%. А відхилення експериментальних результатів розрахунку локальних швидкостей за ламінарного руху газового потоку в вертикальному каналі контактної апарату від аналітичних складає до 19,1%.

Abstract. The method of calculating local velocities in the vertical channel of a contact apparatus is presented and checked in the paper. The obtained analytical expressions for local velocities in the vertical channel for the gravitational coincidence of the liquid film in countercurrent with the gas are obtained. This analytical solution is based on the Navier-Stokes equations for a liquid film and gas flow for unchanging film thickness with boundary conditions, which include the equality of shear stresses at the film interface and no-slip condition on solid surfaces. The analytical solution was tested at the experimental stand with vertical coaxial channel by tube-in-tube type. The exactness of test experiments in vertical coaxial channel was up to 15%. The deviation of the experimental results of the calculation of local velocities for the laminar flow of gas flow in the vertical channel of the contact apparatus and the analytical results was up to 19.1%.

Ключові слова: канал, локальна швидкість, гравітаційна плівка, рівняння Нав'є-Стокса

Keywords: channel, local velocity, gravitational film, Navier-Stokes equation

При розрахунку контактних апаратів, зокрема – скрубєрів, градиєнтів, економайзерів важливим є розрахунок поля швидкостей теплоносіїв, оскільки подальші розрахунки скалярних полів температур та концентрацій базуються на встановлених значеннях локальних швидкостей теплоносіїв. Подана у даній роботі методика визначення локальних швидкостей у вертикальному каналі контактної апарату може використовуватися для обчислення локальних швидкостей в вертикальному каналі контактної теплообмінної апарату при стіканні гравітаційної плівки рідини за зустрічного руху газового потоку.

В інженерній літературі [1] рекомендується визначати локальні швидкості в області „гравітаційна плівка рідини-зустрічний газовий потік у вертикальному каналі” за сталого гідродинамічного режиму, який включає експериментальне визначення витрат води та газу без урахування дотичної напруги на межі поділу теплоносіїв. Однак, цей спосіб не придатний для визначення локальних швидкостей поблизу поверхні контакту теплоносіїв в вертикальному каналі, оскільки на цю поверхню діє сила тертя потоку газу. Існує ряд способів [2-3] врахувати дію сили тертя на поверхню плівки, однак, вони базуються на феноменологічних результатах, що справедливі лише за певних умов.

В ряді робіт [4-5] наведено чисельний обчислення стаціонарного поля швидкостей в двовимірній постановці. Система диференціальних рівнянь включає рівняння нерозривності та Нав'є-Стокса і описує супутній рух плівки рідини і потоку газу в вертикальному каналі контактної апарату. Однак, даний спосіб не має точного розв'язку і придатний лише для тільки для чисельного розрахунку локальних швидкостей у вертикальному каналі контактної апарату за сумісного руху плівки рідини та газового потоку вниз. Або в каналі, розміщеному під кутом [6] за підйомного руху потоку газу.

Аналіз сучасної наукової літератури показує, що відомі методики або не враховують існування плівки, або не забезпечують точний розв'язок і визначення локальної швидкості, якщо плівка і газовий потік рухаються протитоком.

Метою даного дослідження є вдосконалення методики визначення локальних швидкостей в вертикальному каналі контактної апарату. Для досягнення цієї мети послідовно вирішено ряд задач: задача аналітичного обчислення локальних швидкостей в поперечному перетині вертикального каналу за стаціонарного режиму руху

теплоносіїв; задача проведення експериментальних досліджень; задача верифікації результатів аналітичного обрахунку з результатами експериментальних досліджень.

Аналітичний обрахунок локальних швидкостей в поперечному перетині вертикального каналу

Розглянемо область „гравітаційна плівка рідини та зустрічний газовий потік у вертикальному каналі”, де вертикальний канал має конструкцію – труба в трубі. В частині каналу від R_1 до R_0 рухається в'язкий нестисливий газ, а на зовнішній поверхні меншої труби гравітаційно збігає плівка, товщиною H . Задачу розглянемо в циліндричних координатах. Координату z направимо у напрямку руху газу і розмістимо в центрі труби, а координату r – перпендикулярно до z . Приймаємо, що рух в каналі є ламінарним і вісесиметричним.

На рис.1 показано умовне зображення області „гравітаційна плівка рідини-зустрічний газовий потік у вертикальному каналі” де канал має вигляд труба в трубі.

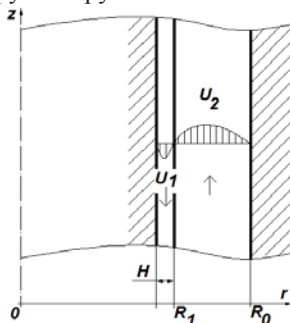


Рисунок 1. Геометрія задачі – область „гравітаційна плівка рідини та зустрічний газовий потік у вертикальному коаксіальному каналі”, R_1 – радіус внутрішньої труби з плівкою, H – товщина плівки, R_0 – радіус зовнішньої труби, U_1 – швидкість плівки води, U_2 – швидкість потоку газу.

Рух двофазного потоку в'язкого нестисливого газу і рідини в циліндричній системі координат для вісесиметричної течії в нескінченному каналі, сформованому коаксіальними трубами постійного перетину (рис.1) описується системою диференціальних рівнянь Нав'є Стокса, яка в наближенні $\rho_1 \gg \rho_2$ має вигляд:

$$\begin{cases} \frac{\mu_1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du_1}{dr} \right) = \rho_1 g + \frac{dP}{dy}, & R_1 - H \leq r \leq R_1, \\ \frac{\mu_2}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{du_2}{dr} \right) = \frac{dP}{dy}, & R_1 \leq r \leq R_0, \end{cases} \quad (1)$$

де:

μ_1, μ_2 - коефіцієнти динамічної в'язкості плівки, рідини і газу, відповідно,

ρ_1, ρ_2 - густини плівки, рідини і газу, відповідно,

H - товщина плівки рідини,

g - прискорення вільного падіння,

dP/dy - градієнт тиску, прикладений до ділянки вертикального каналу,

R_0 - радіус вертикального каналу,

R_1 - радіус поділу фаз «гравітаційна плівка рідини-зустрічний газовий потік у вертикальному каналі».

З граничними умовами:

$$u_1(R_1 - H) = 0, \quad (2)$$

$$u_2(R_0) = 0, \quad (3)$$

$$u_1(R_1) = u_2(R_1) \quad (4)$$

$$\mu_1 \frac{du_1}{dr} \Big|_{r=R_1} = \mu_2 \frac{du_2}{dr} \Big|_{r=R_1} \quad (5)$$

Граничні умови (2-3) характеризують прилипання плівки рідини та газового потоку до твердої поверхні, граничні умови (4-5) – є умовою спряження полів швидкостей і дотичних напружень на поверхні розділу гравітаційної плівки і газового потоку.

Крайова задача (1-5) дозволяє отримати значення локальних швидкостей для області „гравітаційна плівка рідини-зустрічний газовий потік у вертикальному каналі” у вигляді:

$$\begin{cases} u_1 = \frac{\rho_1 g}{4\mu_1} [r^2 - (R_1 - H)^2] + \frac{1}{4\mu_1} \frac{dP}{dy} [r^2 - (R_1 - H)^2] + A \ln \left(\frac{r}{R_1 - H} \right), & R_1 - H \leq r \leq R_1, \\ u_2 = \frac{1}{4\mu_2} \frac{dP}{dy} (r^2 - R_0^2) + \ln \left(\frac{r}{R_0} \right) \left[\frac{\rho_1 g R_1 R_2}{2\mu_2} + (R_1 - R_2) \frac{(dP)}{dy} \frac{R_2}{2\mu_2} + A \frac{\mu_1 R_2}{\mu_2 R_1} \right], & R_1 \leq r \leq R_0, \end{cases} \quad (6)$$

де

$$A = \frac{1}{\ln\left(\frac{R_1}{R_1 - H}\right) - \ln\left(\frac{R_2}{R_0}\right) \frac{R_2 \mu_1}{R_1 \mu_2}} \left(\frac{\rho_1 g}{4\mu_1} \left(R_1^2 - (R_1^2 - H)^2 \right) + \frac{1}{4\mu_1} \frac{dP}{dy} \left(R_1^2 - (R_1^2 - H)^2 \right) - \frac{1}{4\mu_2} \frac{dP}{dy} \left(R_2^2 - R_0^2 \right) - \ln\left(\frac{R_2}{R_0}\right) \frac{\rho_1 g R_1 R_2}{2\mu_2} - \ln\left(\frac{R_2}{R_0}\right) (R_1 - R_2) \frac{dP}{dy} \frac{R_2}{2\mu_2} \right) \quad (7)$$

З аналітичного розв'язку (6-7) видно, що значення локальних швидкостей залежать від градієнта тиску, товщини гравітаційно стікаючої плівки рідини, геометрії каналу та теплофізичних характеристик теплоносіїв.

Експериментальний стенд і результати досліджень

Для розрахунку локальних швидкостей теплоносіїв в області „гравітаційна плівка рідини-зустрічний газовий потік у вертикальному коаксіальному каналі” система рівнянь (6-7) крім геометрії каналу та теплофізичних характеристик теплоносіїв, потребує значення товщини гравітаційно стікаючої плівки рідини та перепаду тиску на вході та виході з вертикального каналу типу труба-в-трубі. Тому задачею дослідження на даному етапі було експериментальне визначення значення товщини гравітаційно стікаючої плівки рідини та перепаду тиску на вході та виході з вертикального каналу

Відповідно до задачі, на даному етапі було зібрано експериментальний стенд, показаний на рис. 2. Основним елементом стенду є робоча ділянка, яка є вертикальним коаксіальним каналом типу труба в трубі з сіткою, що приварена до зовнішньої поверхні меншої труби, або з гладкими стінками. Експериментальні дослідження проводилися в умовах зустрічного руху гравітаційно збігаючої плівки води та зустрічного потоку повітря. Робота стенду в заданому діапазоні температур і витрат забезпечувалася магістралями підготовки і подачі повітря і води. Для регулювання температур води та повітря використовувалися електронагрівачі. Повітряна магістраль включала повітрорудку ЕЛПРОМ-ЛовЕ4- 380W (15), ротаметр типу РС-7 (3) із різними діапазонами шкали вимірювання і електронагрівач повітря. Повітрорудка подавала до 0,8 м³/хв повітря з тиском до 400 мм вод.ст. Витрата повітря задавалася регулювальними вентилями (2) і контролювалася за показами відповідних ротаметрів, а надлишок відводився в атмосферу. Потужність нагрівача встановлювалася за допомогою регулятора напруги РНО-250/2 (4) і контролювалася за показами мультиметра ДТ-830В.

Для вимірювання перепаду тиску у фланці внизу робочої ділянки робився отвір діаметром 0,8 мм і приварювалася імпульсна трубка з краплезбірником, що приєднувалася до мікроманометра типу ММН-240. Зовнішня скляна труба робочої ділянки за рахунок сальникових ущільнень нерухомо закріплювалася між фланцями з верхньою та нижньою імпульсними трубками. Для спрощення монтажу магістралі, що подають теплоносії до робочої ділянки стенду виконані зі стандартних труб, щільно скріплені між собою. Тобто, магістраль подачі повітря включала можливість регулювання витрати/температури повітря і їх контроль.

Іншим теплоносієм була водопровідна вода, що подавалася через запірний вентиль, на схемі не зазначений. Її витрата встановлювалася регулювальним вентилем (8) і контролювалася ротаметром типу РС-3 (7). Далі вода проходила електронагрівач (5) напруга на який подавалася регулятором напруги РНО - 250/2. Потужність останнього контролювалася за показами мультиметра ДТ-830В. Після цього вода з заданими витратою і температурою надходила в робочу ділянку.

Робоча ділянка мала робочу висоту $H = 1\text{ м}$, або 1,16 м – включно з фланцями для кріплення. Вода після електропідігрівача рівномірно розподілялася по зовнішньому периметру труби, завдяки конструкції зрошувача рідини переливного типу. Поверхнею для збігання плівки води в першому випадку є труба з нержавіючої сталі Х18Н10Т $\varnothing 16$ мм з поверхнею, обробленою механічно, з шорсткістю до 50Е-6 м. Значення шорсткості встановлювалося візуальним порівнянням (із 20-кратним збільшенням) з еталонною шорсткістю, утвореною наждачним папером відомої зернистості. Перед проведенням експериментів для збільшення адгезії, протягом 50-100 годин труба вимочувалася в водяній бані.

Другим типом поверхні для збігання плівки води в робочій ділянці була труба з нержавіючої сталі Х18Н10Т $\varnothing 16$ мм з поверхнею, на яку способом контактного зварювання прикріплена нержавіюча сітка з розміром вічка 0,56x0,56 мм. Ширина сітки підбиралася так, щоб в місці зварювання її краї лежали впритул. Перед проведенням дослідів робоча ділянка з привареною сіткою знежирювалася. Для збору плівки рідини після проходження нею робочої ділянки використано збірник рідини особливої конструкції, що створював мінімум перешкод проходження газового потоку. Плівка рідини потрапляла в збірник і з нього через гідрозатвор виводилася в дренаж. Робоча ділянка зі зрошувачем та збірником рідини нерухомо монтувалася всередині скляної труби, внутрішнім діаметром 37Е-3 м. Для ущільнення місць контакту скляної труби та металевої поверхні фланців, які її тримають, застосовано сальники. Повітряний потік після електронагрівача (3) з відповідною температурою, яка контролювалася термopарою, потрапляв у робочу ділянку. Після повного монтажу всієї робочої ділянки проводилася перевірка її вертикальності. Температура повітря за робочою ділянкою вимірювалася термopарою, яка закріплювалася усередині потоку за сітчастим захисним екраном. Визначення температури води на вході/виході в робочу ділянку проводилося перед зрошувачем та на виході з робочої ділянки. Для визначення температури застосовувалися хромель-алюмелеві термopари із діаметром королька 0,5 мм. Місця введення термopар в робочу ділянку герметизувалися. Вільні кінці термopар підключалися до приладу контролю УКТ38-Щ4.АТ. При градуванні термopар враховувалися інструментальні похибки термометра і вторинного приладу, а градування термopар проводилося в термостаті СЖМЛ-19-2,5.

У процесі досліджень вимірювалися:

1. Температура і вологість навколишнього повітря. Для цього застосовувалися два лабораторних термометри зі шкалою 0...50 °С і ціною поділки 0,1 °С. Кулька одного з термометрів оберталася гігроскопічним матеріалом і змочувалася водою.
2. Витрата води і повітря за ротаметрами, типу РС-3 та РС-5, відповідно. Ротаметри мали індивідуальні тарувальні залежності.
3. Температура плівки води на вході/виході та повітря на виході (датчиками температури є хромель-алюмелеві термопари з діаметром королька 0.5 мм).
4. Перепад тиску на робочій ділянці за допомогою диференційного мікроманометру з похилою трубкою ММН-240. Похила трубка встановлювалася з мінімальним кутом нахилу, що дозволяло вимірюватися низькі перепади тиску.

Перед проведенням досліджень проводили тестування експериментального стенду за умови гравітаційного збігання плівки для кількох значень витрати води і відсутності потоку повітря. Отримані результати порівнювалися з відомою аналітичною залежністю швидкості плівки від її товщини за умови гравітаційного збігання плівки.

Тестування проведено за температури плівки води 10 - 20 С, Re плівки води =138 - 308 при збіганні плівки води в гладкому коаксіальному каналі. Встановлено, що експериментальні дані за збігання плівки води в гладкому коаксіальному каналі з відхиленням до 15 % відповідають аналітичній залежності, а товщина плівки складає (0.19 - 0.42)e-3 м.

Методика проведення експерименту полягала в наступному. У процесі досліджень задавалася витрата і температура води, а надалі методом відсікання визначалася товщина плівки.

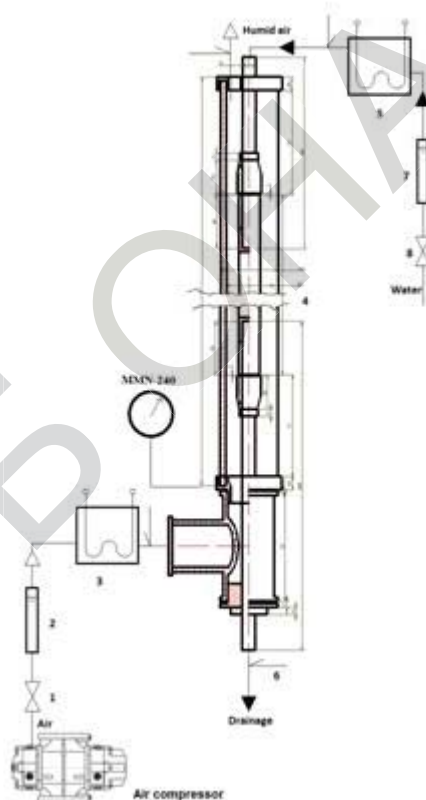


Рисунок 2. Схема експериментального стенду з робочою ділянкою (1, 8 - регулювальні вентилі; 2 - повітряний ротаметр РС-7; 3, 5 - електронагрівачі; 4 - робоча ділянка; 6 - термопари; 7 - водяний ротаметр РС-3).

В подальшому проводилося дискретне збільшення витрати води і заміри повторювалися в усьому дослідженому діапазоні витрат води.

Серія дослідів полягала у варіюванні витрати повітря за сталої витрати води. Методика проведення полягала в наступному: задавалася витрата води і її температура, потім задавалася витрата повітря і знімалися покази РС-5, РС-7 та ММН-240. Надалі методом відсікання визначалася товщина плівки (подача повітря при цьому перекривалася) і на наступному кроці проводилося дискретне збільшення витрати повітря (для певної сталої витрати води) та повторювалися заміри в усьому дослідженому діапазоні витрат повітря.

Після цього робоча ділянка замінювалася на коаксіальний канал з гладкими стінками і досліди повторювалися.

В результаті, на основі дослідних даних визначено та обраховано наступні параметри: товщину гравітаційно збігаючої плівки води, середні швидкості теплоносіїв та перепад тисків у вертикальному каналі контактного апарату.

Ці параметри дають змогу обрахувати за системою рівнянь (6-7) значення локальних швидкостей теплоносіїв та визначити їх середні швидкості.

В табл. 1 наведена верифікація обрахованих за системою рівнянь (6-7) середніх швидкостей теплоносіїв з дослідними даними.

Таблиця 1.

Верифікація швидкостей

N	$W_{пов\ експ}$, м/с	$W_{пов\ розрах}$, м/с	$Re_{пов}$	$W_{пл\ експ}$, м/с	$Re_{пл}$	Відхилення, % $1 - W_{пов\ експ} / W_{пов\ розрах}$
1	1,77	2,19	2148	2,544	199	19,06
2	2,45	3,50	2973	2,539	190,1	29,9

Розрахунки приведені для вертикального коаксіального каналу типу труба в трубі, висотою 1,17 м і внутрішнім/зовнішнім діаметром 17e-3/36e-3 м для сталих температур води/повітря 12/14 °С, відповідно. При цьому, відносне відхилення розрахунку середніх швидкостей за запропонованим способом від визначених експериментально складає до 19,1 % для ламінарного режиму руху повітряного потоку (число Рейнольдса $Re = 2054 < 2300$), що забезпечить задовільну точність визначення локальних швидкостей в контактному апараті.

Висновки

У роботі наведено вдосконалену методику визначення локальних швидкостей в вертикальному каналі контактного апарату. Методика ґрунтується на аналітичних результатах для розрахунку локальних швидкостей теплоносіїв, записаних для випадку вертикального каналу, типу труба в трубі. Для верифікації аналітичних результатів зібрано дослідний стенд з робочою ділянкою, висотою 1,17 м тестові дослідження пройдено на стенді з відхиленням до 15%. Верифікація отриманих дослідних результатів з аналітичними дає відхилення до 19,1% для ламінарного режиму руху повітря.

Запропонована методика визначення локальних швидкостей в вертикальному каналі контактного апарату дозволяє забезпечити високу точність обрахунку локальної швидкості за ламінарного режиму руху повітряного потоку всередині каналу, сформованого системою коаксіальних нескінченних труб постійного кругового поперечного перетину.

Список літератури

1. Ганчев Б.Г. Охолодження елементів ядерних реакторів збігаючими плівками. М: Енергоатомвидав, 1987 – 197 с.
2. Василенко С.М., Українець А.І., Олішевський В.В. Основи тепломасообміну: Підручник / За ред. акад. УААН І.С. Гулого. — К.: НУХТ, 2004. — 250 с.
3. Ключев Н.І., Соловйова Е.А. Математичні моделі двофазних течій / Навч. пос. – Самара: Самарський університет, 2010. – 51 с.
4. Кутателадзе С.С., Накоряков Е.Н. Тепломасообмін і хвилі в газорідних системах / М.: Наука, 1984, 301 с.
5. Чисельне дослідження випарного охолодження плівки рідини в ламінарних потоках змішаної конвекційної трубки / М. Феддаурі, Е-М. Белакміді, А. Мір, А. Бенду / International Journal of Thermal Sciences V. 40, N 11, 2001, 1011-1020 pp.
6. A. N. Alla, M. Feddaoui, H. Meftah Comparison of two configurations to improve heat and mass transfer in evaporating two-component liquid film flow/ Int.Journal of Thermal Science 126 2018 p.194-204.
7. O. Oulaid, B. Benhamou, N. Galanis Simultaneous Heat and Mass Transfer in Inclined Channel with Asymmetrical Conditions //Journal of Applied Fluid Mechanics, Vol. 5, No. 3, pp. 53-62, 2012.

ЗМІСТ

ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ПРОБЛЕМ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

ВИРІШЕННЯ ЕНЕРГО-ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ КРУП'ЯНОГО ВИРОБНИЦТВА	
Хоренжий Н.В., Лапінська А.П.	5
ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕГАЗАЦИИ ЖИДКОСТИ В КАВИТАЦИОННЫХ ТЕЧЕНИЯХ. ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ	
Иваницкий Г.К., Целень Б.Я., Недбайло А.Е., Коник А.В.	11
ІННОВАЦІЙНІ СПОСОБИ ЕНЕРГОПІДВОДУ У ПРОЦЕСАХ СУШІННЯ ТЕРМОЛАБІЛЬНОЇ СИРОВИНИ	
Яровий І.І., Кашкано М.А., Маренченко О. І., Пилипенко Є.О.	17
МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ШВИДКОСТЕЙ ТЕПЛОНОСІВ У ВЕРТИКАЛЬНОМУ КАНАЛІ КОНТАКТНОГО АПАРАТУ	
Кузьменко І.М.	24
МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ ПРИ КОНВЕКТИВНОМУ СУШІННІ М'ЯСНИХ ВИРОБІВ	
Ощипок І. М.	29
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЕРГІЇ РЕКУПЕРАЦІЇ В СИСТЕМІ ТЯГОВОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ШВИДКІСНОГО ТРАМВАЮ М. КРИВИЙ РІГ	
Кухта О.О.	33
МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ В ПРОЦЕСІ ЖАРІННЯ ОЛІЙНОЇ СИРОВИНИ	
Сорокова Н.М., Дідур В.В.	37
ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПЛАЗМЕННЫХ ПРЕВРАЩЕНИЙ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ СРЕД	
Холявченко Л.Т., Опарин С.А., Давыдов С.Л.	42
ПРОБЛЕМИ ІНВЕСТИЦІЙНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ	
Бундюк А.М., Подпалова Ю.В., Коваленко А.К.	46
ENERGY POLICY OPPORTUNITIES. HOW TO FACE CHALLENGES	
Bezhan V., Zhytarenko V., Ostapenko O., Yakovleva O.	48

ІННОВАЦІЙНІ ЕНЕРГОТЕХНОЛОГІЇ ХІМІЧНИХ І
ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

ИННОВАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СУППОЗИТОРИЕВ	
Шмагток А.И., Степанова О.Е., Сильнягина Н.Б.	54
ТЕРМІЧНЕ РОЗКЛАДАННЯ ГРАНУЛЬОВАНОЇ ДЕРЕВИНИ В УМОВАХ ЗМІННОЇ ГАЗОВОЇ АТМОСФЕРИ	
Корінчевська Т.В., Михайлик В.А., Корінчук Д.М.	59
АКТИВАТОРИ ПРОЦЕСУ ПОГЛИНАННЯ ВУГЛЕКИСЛОГО ГАЗУ ХЛОРОФІЛСИНТЕЗУЮЧИМИ МІКРОВОДОРОСТЯМИ	
Дячок В.В., Мандрик С.Т., Гуглич С.І.	64
РОЗРОБКА ІННОВАЦІЙНОГО ТЕПЛОМАСООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ФАРМАЦЕВТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	
Грабова Т. Л., Шмагток О.І., Сильнягіна Н.Б.	70
ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ В НАСОСАХ РІЗНИХ ТИПІВ	
Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А., Жукотський Е.К.	77
ВИНИКНЕННЯ КАВІТАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ ПІД ЧАС РОБОТИ НАСОСІВ РІЗНОГО ТИПУ	
Авдєєва Л.Ю., Макаренко А.А., Жукотський Е.К.	80
ГІДРОДИНАМІКА ГАЗОРІДНИХ ПОТОКІВ НА КАПІЛЯРНО-ПОРИСТИХ СТРУКТУРАХ	
Туз В.О., Лебедь Н.Л., Трокоз Я.Є.	85
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭКСТРАКЦИИ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ КОМПОНЕНТОВ ИЗ ПРОДУКТОВ УТИЛИЗАЦИИ ТВЕРДОГО РАКЕТНОГО ТОПЛИВА С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИМЕТИЛСУЛЬФОКСИДА	
Челтонов М.М., Опарин С.А., Матросов А.С., Кириченко А.Л.	91
МОДУЛЬНИЙ ПРИНЦИП ОРГАНІЗАЦІЇ ПРОИЗВОДСТВА ПЕЛЛЕТ ИЗ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ	
Бунецкий В.А., Бурдо О.Г., Зыков А.В., Войтенко А.К., Безбах И.В., Кашкарев А.А.	94
ARTIFICIAL MICRO RNA (AMIRNA): A POTENT TOOL FOR GENE SILENCING IN PLANT	