

4. Фрейдин А.С. Полимерные водные клеи. – М.: Химия, 1985. – 144.
5. Фрейдин А.С., Вуба К.Т. Прогнозирование свойств клеевых соединений древесины. – М.: Лесн. пром-сть, 1980. – 224.
6. Левкина Л. Там, где есть склеивание// Мебельное обозрение, июнь 2000, 10...14 с.

УДК 674: 621.928.93

Здобувач А.В. Ляшеник¹ – Коломийський
політехнічний коледж

ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМ ПОКРАЩЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЦИКЛОНІВ

Описано фактори, які мають вплив на процес очищення потоку повітря в циклоні. Основним напрямом вдосконалення конструкції циклона визначено заміну зовнішньої металевої стінки на фільтрувальну з метою нейтралізувати негативний вплив приповерхневого шару на процес очищення повітря від пилу.

Competitor A.V. Lyashenyk – Kolomyjskij polytechnic college

The perspective method of the improvement of the cyclone's characteristics

This article describes the facts, which have an influence on the cyclone's characteristics. The main direct of the improvement of the cyclone's characteristics is using of the filter outside cylinder.

Серед пристроїв для очищення аспіраційного повітря на деревообробних підприємствах найбільше розповсюдження одержали циклони [1]. Порівняно з іншими пиловловлюючими апаратами вони мають такі переваги як простота конструкції, відсутність рухомих частин, постійний гідравлічний опір, здатність працювати при високих температурах та абразивності потоку. Вперше конструкція циклона була запатентована у 1886 році [2]. За час, що минув з моменту винайдення циклона, його конструкція зазнала значних змін, проте не вдалося позбутися його основних недоліків. А саме: високий гідравлічний опір – 1250-1500 Па, низька ефективність вловлювання частинок, розмір яких менший 50 мкм [1]. На підприємствах деревообробної галузі склалася ситуація, коли циклони використовують як першу ступінь очищення перед рукавними фільтрами. Компонування циклон-фільтр має гідравлічний опір 1700-2100 Па, що призводить до значних перевитрат електроенергії на деревообробних підприємствах. У роботах [3-5] зазначено, що до 50 % електроенергії, що споживається деревообробними підприємствами, витрачається на аспірацію та повітроочищення. Тому задача створення нових конструкцій пилоочисного обладнання є актуальною на сьогодні.

У цій роботі зроблена спроба визначити напрями розроблення нових конструкцій циклонів.

Робота циклона базується на використанні відцентрових сил, що виникають при обертанні газового потоку у середині його корпусу. Такий рух виникає внаслідок тангенціального вводу потоку в циклон, або дії закручувального елемента типу "розетка" залежно від конструкції циклона. Внаслідок дії відцентрових сил частинки пилу, що знаходяться у потоці, відкидаються до

¹ mail-to: texeko@texeko.ko.if.ua

стілки корпусу, гальмуються і випадають з потоку. Очищений газ, продовжуючи обертатись, повертається на 180 градусів і виходить з циклона через розміщену вздовж осі вихлопну трубу. Частинки пилу, які досягли стінок корпусу, під дією потоку, який переміщається в осьовому напрямі і сил ваги, рухаються до вихідного отвору корпусу і виводяться з циклону. Через те, що обумовлюючими є аеродинамічні сили, а не сили тяжіння, циклони можна розміщати похило і навіть горизонтально.

У багатьох роботах [6-10] основною причиною низької ефективності при очищенні повітря від дрібнодисперсного пилу та високого гідравлічного опору називають явище радіального стоку.

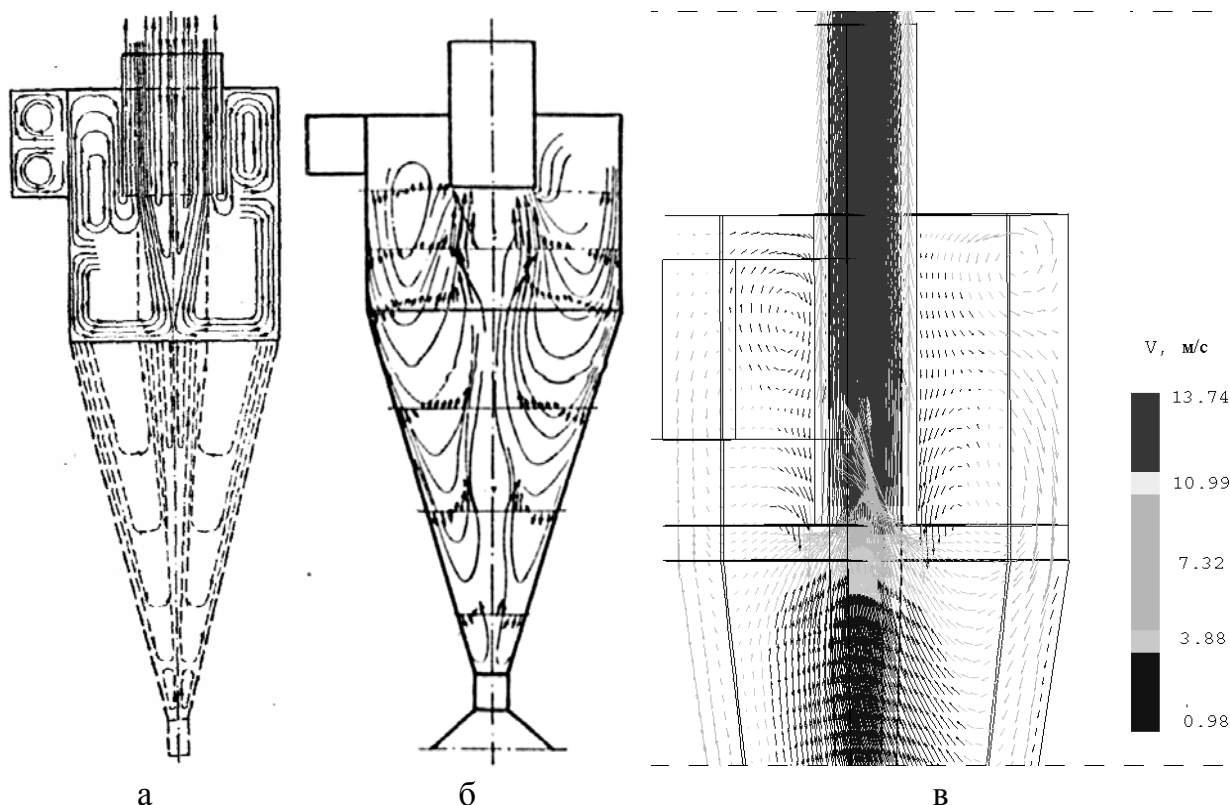


Рис. 1. Зображення радіального стоку та потоків повітря в циклоні за даними: а – [6], б – [10], в – [8]

Механізм виникнення радіального стоку може бути описаний таким чином. Для частинок потоку, які розміщені далеко від нерухомої основи (зовнішньої стінки), радіальний градієнт тиску врівноважується відцентровою силою. Поблизу цієї основи тангенціальна швидкість частинок внаслідок тертя зменшується, а значить зменшується й відцентрова сила. Оскільки радіальний градієнт статичного тиску залишається незмінним, то рівновага між силами статичного тиску і відцентровими порушується і виникає радіальний потік, який спрямований до осі обертання. Цей потік, у свою чергу, викликає осьовий потік, який напрямлений вздовж нормалі до основи циклона. У результаті цього в циклоні виникають так звані "вторинні потоки", в яких задіяно 10 % газового потоку [9]. Опис вторинних потоків представлено в роботах [6-9], (рис. 1, а-в). У просторі нижче вихлопної труби виникає радіальний стік, який має значний вплив на ефективність циклона. Найбільша інтенсивність радіального стоку спостерігається у конічній частині циклона. Радіальні

складові швидкості потоку повітря протидіють сепараційному рухові частинок пилу до стінки, визначаючи своєю величиною розмір частинок, які будуть ними винесені у вихлопну трубу циклона. Максимальне значення радіальної складової швидкості потоку повітря дорівнює половині значення тангенціальної складової на віддаленні від стінки [7]. Особливо негативна дія радіального стоку проявляється на відділенні дрібних фракцій пилу, оскільки за своїми розмірами вони близькі до молекул повітря і величина відцентрової сили, що на них діє, є незначною порівняно з захоплюючою дією радіального стоку.

Окрім радіального стоку, значний вплив на характеристики циклона має турбулентність потоку повітря, яка проявляється в турбулентних пульсаціях та завихреннях потоку, вплив яких на сепараційні характеристики циклона є значним.

На сьогодні ще не створена повна та точна теорія інерційної сепарації, що ускладнює подальше вдосконалення конструкцій циклонів. В умовах недостатнього знання механізму циклонної сепарації одним з основних методів створення нових ефективних сепараторів, поряд з теоретичними дослідженнями, є шлях емпіричних пошуків, аналізу і вдосконалення вдалих конструктивних рішень [7]. Саме тому перед створенням нових циклонів необхідно провести аналіз існуючих конструкцій, які серійно використовуються у промисловості і розробок, які з'явилися останнім часом та не набули ще широкого застосування. Задачею такого аналізу є визначення факторів, які мають вплив на характеристики циклонів.

На основі проведеного аналізу відомих конструкцій циклонів автор сформулював фактори, які мають вплив на характеристики циклона. Факторами, що негативно впливають на процес очищення повітря від пилу в циклоні, є:

- радіальний стік;
- вихрові потоки у просторі між вихлопною трубою та зовнішньою стінкою циклона;
- турбулентний режим руху повітряного потоку в циклоні.

Факторами, що позитивно впливають на ефективність та гідравлічний опір циклона були названі такі:

- відведення частини очищеного повітря з циклона перед вихлопною трубою;
- зниження швидкості потоку повітря у вихлопній трубі;
- зниження радіального стоку у конічній частині циклона;
- зменшення перепаду статичного тиску у плоскому перерізі циклона.

Основне технічне протиріччя, яке має бути вирішене при створенні нових конструкцій циклонів, можна сформулювати таким чином. Для того, щоб підвищити ефективність очищення пилогазового потоку в циклоні, необхідно збільшити швидкість потоку повітря, що призводить до зростання відцентрових сил, які діють на частинку пилу. Одночасно зростання швидкості приводить до підсилення радіального стоку, збільшує кількість вихрових потоків та турбулізацію потоку, що знижує ефективність циклона. Крім того, при зростанні швидкості потоку зростають й енерговитрати на очищення. Спроби мінімізувати спад тиску суперечать намаганням підвищити ефективність вловлювання частинок. Будь-який критерій, спрямований на підвищення ефективності, пов'язаний зі зростанням енергетичних витрат. Розв'язати

таке протиріччя конструктивним шляхом не можливо. Тому необхідно було знайти новий метод покращення характеристик циклонів.

Для формулювання напрямків вдосконалення конструкції циклона розглядали рух потоку повітря у каналі при повороті на 90 градусів (рис. 2).

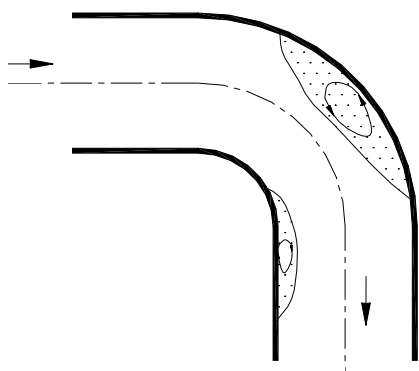


Рис. 2. Рух потоку повітря у коліні

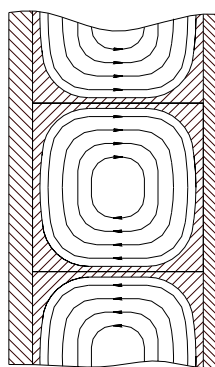


Рис. 3. Схема потоків між циліндрами

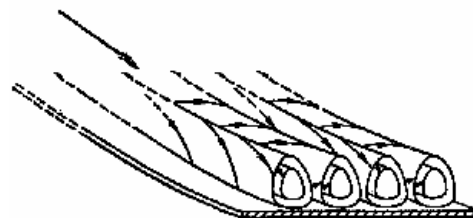


Рис. 4. Потоки поблизу вгнутої стінки

При русі потоку повітря по криволінійному каналу швидкості частинки потоку зменшуються зі збільшенням радіуса кривизни і, як наслідок, тиск поблизу внутрішньої стінки є меншим, ніж біля зовнішньої. Звідси випливає, що на початку криволінійного потоку поблизу внутрішньої стінки виникає конфузورها ділянка, а поблизу зовнішньої – дифузورها. З теорії приповерхневого шару відомо, що у дифузорній частині приповерхневий шар росте дуже інтенсивно, він є нестійким і може легко відірватися від стінки. Це явище є одним з основних причин турбулізації потоку повітря. Воно спостерігається тільки у дифузорних областях криволінійного потоку [11]. Схематично потік у коліні показаний на рис. 2, звідки видно, що відриви є місцевими. Через те, що тиск поблизу зовнішньої стінки є більшим, ніж поблизу внутрішньої, вздовж бічних стінок, на яких швидкість близька до нуля, буде проходити перетікання потоку від зовнішньої стінки до внутрішньої, за рахунок чого утворюється парний вихор. Зі збільшенням градієнта тиску буде підсилюватися парний вихор, що є причиною виникнення радіального стоку.

Під час руху потоку повітря між двома циліндрами, внутрішній з яких обертається, починаючи з певних чисел Рейнольдса, між циліндрами виникають завихрення з правим і лівим обертанням (рис. 3), які підсилюють вторинні потоки та істотно збільшують гідравлічний опір. Такі завихрення описані в роботах [6, 11, 12] і підтверджуються сучасними дослідженнями за допомогою лазерних анемометрів та спеціалізованих комп'ютерних програм (CFD) (рис. 1, в).

Аналогічного роду нестабільність потоку, що пов'язана з тривимірними збуреннями, виникає у приповерхневому шарі біля вгнутих стінок [12] (поблизу випуклих стінок така нестабільність не спостерігається). Збурювальні завихрення мають форму, що представлена на рис. 4. Осі таких завихрень паралельні до швидкості основного потоку.

Вказані явища визначають природу втрат у криволінійному потоці, які складаються з втрат на тертя; втрат, пов'язаних з виникненням парних вихорів; втрат, викликаних наявністю місцевих відривів потоку. Всі ці явища

пов'язані з існуванням приповерхневого шару, а також з його відривом від стінки.

Якщо використати цей висновок для руху потоку повітря в циклоні, то для зменшення втрат у циклоні передусім необхідно усунути місцеві аеродинамічні дифузори, які часто призводять до відривів приповерхневого шару, що значно турбулізує потік. Наступним кроком повинно бути зменшення інтенсивності вторинних потоків і тільки після цього потрібно шукати засоби зменшення сил тертя. Головна частина спаду тиску, близько 80 %, це втрати у середині циклона на енергетичне розсіювання у в'язкому турбулентному обертальному потоці. Решта 20 % втрат пов'язані з розсіюванням потоку на виході, розширенням на вході і тертям до стінки циклона [9]. Тому в циклоні насамперед необхідно боротися з негативними проявами приповерхневого шару, а не з радіальним стоком. Існування радіального стоку і значна ступінь турбулізації повітря в циклоні є тільки наслідками існування та відриву приповерхневого шару.

Незважаючи на детальний опис приповерхневого шару в циклоні, в ряді джерел [6-10], не розроблено методів боротьби з його шкідливими проявами в циклонах. Відомими є такі основні методи управління приповерхневим шаром [11, 12]:

- рух стінки в напрямі потоку;
- збільшення швидкості приповерхневого шару;
- відсмоктування приповерхневого шару;
- перехід потоку у приповерхневому шарі з ламінарного в турбулентний.

У [13] описана установка з зовнішньою стінкою, що обертається (рис. 5) для очищення води від нафти. Проте даний метод є надто незручний для широкого практичного використання на підприємствах деревообробної галузі, а отриманий вигравш в енерговитратах незначний. Збільшення швидкості приповерхневого шару вимагає значних додаткових енерговитрат, а тому не може бути застосовано. Тому, як найбільш перспективний для подальшого вивчення, був обраний метод відсмоктування приповерхневого шару.

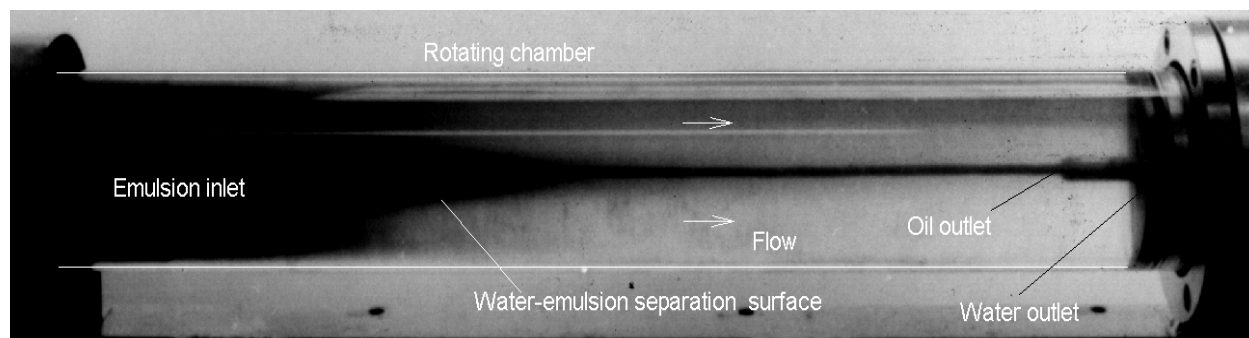


Рис. 5. Конструкція сепаратора для очищення води [13]

Відсмоктування приповерхневого шару стабілізує його, а зменшення опору досягається при цьому в результаті попередження переходу ламінарного режиму потоку повітря в турбулентний [11]. Дія відсмоктування проявляється двояко. По-перше, відсмоктування зменшує товщину приповерхневого шару, а більш тонкий приповерхневий шар має меншу схильність до переходу в турбулентний стан. По-друге, відсмоктування створює у приповерхне-

вому шарі такі профілі швидкостей, які володіють більш високою границею стійкості, тобто більш високим критичним числом Рейнольдса, ніж профілі швидкостей у шарі без відсмоктування [11, 12].

За наявності відсмоктування критичне число Рейнольдса практично у 100 разів перевищує критичне число Рейнольдса без відсмоктування [11, 12]. Потік у приповерхневому шарі зберігається при відсмоктуванні ламінарним не тільки завдяки зменшенню товщини шару, а також, і причому значно більшою мірою, завдяки підвищенню границі стійкості для профілів швидкостей. До позитивних наслідків відведення частини очищеного повітря з циклона необхідно віднести й те, що радіальний стік, який зароджується поблизу зовнішньої стінки циклона і за рахунок приєднаних мас вторинних потоків наростає до значних швидкостей на межі потоку, який спрямований вверх, буде нейтралізований.

Враховуючи те, що у деревообробній промисловості циклони традиційно встановлюються на нагнітальній ділянці вентилятора, ефект відсмоктування приповерхневого шару легко організувати на практиці використанням фільтрувальної зовнішньої стінки. Тому, зважаючи на сказане вище, найбільш перспективною конструкцією циклона для досліджень є циклон з фільтрувальною зовнішньою стінкою. Тобто, *для боротьби з негативними проявами приповерхневого шару пропонується заміна зовнішньої металевої стінки циклона на фільтрувальну*. Таке рішення дає змогу:

- зменшити товщину приповерхневого шару поблизу зовнішньої стінки циклона, чим можна нейтралізувати дію турбулентних завихрень в ньому;
- створити радіальний потік у напрямі до зовнішньої стінки циклона, чим можна нейтралізувати дію радіального стоку;
- за рахунок відводу частини потоку через стінку зменшується швидкість потоку у вихлопній трубі і кінчній частині циклона;
- зменшити вплив вторинних потоків на процес сепарації;
- радіальний потік поблизу зовнішньої стінки циклона створює додатковий притискувальний градієнт, який протидіє повторному захопленню частинки потоком повітря, сприяє коагуляції частинки у зростки;
- зменшити швидкість потоку у кінчній частині циклона;
- подальші дослідження, які проводилися автором, підтвердили правильність обраного напрямку вдосконалення конструкції циклона [14].

Література

1. **Охрана** воздушной среды на деревообрабатывающих предприятиях/ Русак О.Н., Милохов В.В., Яковлев Ю.А., Щеголев В.П. – М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 240 с.
2. **Бретшнайдер Б, Курфюст И.**, Охрана воздушного бассейна от загрязнений: технология и контроль: Пер с англ./ Под ред. А.Ф. Туболкина. – Л.: Химия, 1989. – 288 с.
3. **Козориз Г.Ф.** Пневматический транспорт деревообрабатывающих предприятий, М.: Машиностроение, 1968. – 122 с.
4. **Jürgen Roth, M. Scot.**, Energy Saving in Cyclone Systems PMT – Zyklontechnik GmbH, Krems, Austria, 2000. – p. 39-64.
5. **Сэкономить** на пылеочистке воздуха. Günter Fuchshuber, Scheuch GmbH, Австрия. Деревообрабатывающие оборудование Восточной Европы. ISSN 1427-955X. Сентябрь 2001 г.
6. **Пирумов А.И.**, Аэродинамические основы инерционной сепарации/ Под ред. Н.Я. Фабриканта. – М.: Госстройиздат, 1961. – 121 с.
7. **Пирумов А.И.** Обеспыливание воздуха, 2-е изд. перераб. и доп. – М: Стройиздат, 1981. – 296 с.

8. Frank Th. Application of Eulerian-Lagrangian prediction of gas-particle flow to cyclone separators. Lecture series 1999-2000. "Theoretical and experimental modeling of particle flow". Brussels. Belgium. 03-07 April 2000.

9. Christian Fredriksson Exploratory Experimental and Theoretical Studies of Cyclone Gasification of Wood Powder. Doctoral thesis. Lulea University of technology. Sweden. 1999.

10. Ter Linden A., Investigation into cyclone Dust Collectors. Proc. Inst. Mech. Eng., 1949. pp160-233.

11. Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. – М.: Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, изд-во "Наука", 1978. – 736 с.

12. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя/ Пер. с нем. – М.: Наука, 1974. – 712 с.

13. Lecoffre Y., Gay J.C., Goffart A. Optisep, a new concept in liquid-liquid separation. Stavanger. Force downhole/subsea processing seminar. 16-17 march 1999.

14. Лютий Є.М., Нахаєв П.П., Ляшеник А.В. Ефективність застосування циклонів із фільтруючими зовнішніми стінками// Наук. вісник УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2001, вип. 12.2. – С. 121-125.

УДК 674.047

Доц. І.М. Озарків, канд. техн. наук;

доц. М.С. Кобринович, канд. фіз.-мат. наук – УкрДЛТУ

ОСОБЛИВОСТІ ЗОВНІШНЬОГО ТЕПЛООБМІНУ В ПРОЦЕСАХ ПРОМЕНЕКОНВЕКТИВНОГО СУШІННЯ ДЕРЕВИНИ

Розкриті особливості теплообміну в технологічних процесах конвективно-радіаційного сушіння деревини. Наведено відповідні аналітичні вирази для розрахунку теплообміну.

Doc. I.M. Ozarkiv; doc. M.S. Kobrynovich – USUWFT

The peculiarities of external heatexchange in the process of the radiant convective wood drying

The article deals with the peculiarities of heatexchange in the technological process of convective-radiant wood drying. The corresponding analytical formula for calculating heatexchange are given.

В останні роки конвективно-радіаційне сушіння як за рахунок традиційних джерел інфрачервоного (ІЧ) випромінювання, так і нетрадиційного, екологічно чистого й відновлювального джерела теплової радіації (зокрема, сонячного випромінювання) знаходить широке використання не тільки для сушіння тонких листових матеріалів (сушеного і струганого шпону, лікарських рослин, тютюну, тонких шарів стружки чи тирси), але й для сушіння пилопродукції.

Аналіз умов опромінення у промислових ІЧ-установках показує, що матеріал (об'єкт сушіння) опромінюється змішаним спрямовано-дифузійним у певному обмеженому тілесному куті $\Delta\omega$ та повністю дифузним напівсферичним потоком ($\Delta\omega=2\pi$) випромінювання. Що стосується направлено опромінення матеріалів є опромінення сонячним випромінюванням, яке має місце при сушінні фруктів, овочів, бавовнику, чаю, тютюну, торфу і т.п., а також при конвективно-атмосферному сушінні пиломатеріалів (дошок, заготовок, брусів тощо). При виконанні теплових розрахунків сушарок, які працюють в умовах променевого теплообміну, необхідно знати терморадіаційні властивості об'єкта опромінення (R, D, A, ϵ).