

Література

1. Губернский Ю.Д. Экономия энергии и топлива при управлении микроклиматом / Ю.Д. Губернский, Д.И. Исмаилова // Водоснабжение и санитарная техника. – 1985. – № 3. – С. 11-12.
2. Возняк О.Т. Устройство для пульсирующей подачи воздуха в салон транспортного средства / О.Т. Возняк та ін. АС № 1382674, БИ № 11, 1988 г.
3. Гримитлин М.И. Распределение воздуха в помещениях / М.И. Гримитлин. – М. : Стройиздат, 1982. – 164 с.
4. Банхиди Л. Тепловой микроклимат помещений / Л. Банхиди. – М. : Стройиздат, 1981. – 248.
5. Возняк О. Динамічний мікроклімат та енергоощадність / О. Возняк // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – Сер.: Теплоенергетика. Інженерія довкілля. Автоматизація. – Львів : Вид-во НУ "Львівська політехніка". – 2010. – № 460. – С. 150-153.
6. Ловцов В.В. Системы кондиционирования динамического микроклимата помещений / В.В. Ловцов, Ю.Н. Хомуцкий. – Л. : Стройиздат, 1991. – 152 с.

Возняк О.Т. Воздухораспределение взаимодействием встречных несоосных струй в пульсирующем режиме

Рассмотрено воздухораспределение взаимодействием встречных несоосных струй в пульсирующем режиме. Определены динамические параметры воздушного потока, образованного взаимодействием встречных несоосных плоских струй, при их вытекании в пульсирующем режиме и создании динамического микроклимата в помещении.

Ключевые слова: воздухораспределение, плоская струя, пульсирующий режим, динамический микроклимат, взаимодействие струй, встречные несоосные струи, скорость движения воздуха, затрата.

Vozniak O.T. Air distribution by interaction of opposite non axial jets at variable regime

Air distribution by interaction of opposite non axial jets at variable regime has been regarded. Dynamic parameters of air flow that is created due to interaction of opposite non axial flat air jets at their leakage at variable regime and creation of dynamic microclimate in a room has been determined.

Keywords: air distribution, flat jet, variable regime, dynamic microclimate, jets interaction, opposite non axial jets, air velocity, flow rate.

УДК 697.92

Аспір. Х.Р. Лесик; доц. В.М. Желих, канд. техн. наук – НУ "Львівська політехніка"

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ ТЕРМОСИФОННОГО СОНЯЧНОГО КОЛЕКТОРА

Представлено результати натурних експериментальних досліджень із визначення теплової ефективності геліоколектора, залежно від значення числа Re. Встановлено коефіцієнт корисної дії запропонованого термосифонного сонячного колектора. Отримано залежності для визначення кількості отриманого тепла.

Ключові слова: термосифонний сонячний колектор, повітряна система опалення, природна конвекція, теплопоглинаюча поверхня, число Рейнольдса.

Актуальність роботи. Останнім часом дедалі більше уваги приділяють питанням використання екологічно чистих відновлюваних джерел енергії. Актуальність і перспективність цього напрямку енергетики зумовлені двома основними факторами: складним станом екології та обмеженим запа-

сом покладів органічного палива. Серед невичерпних джерел енергії сонячну радіацію вважають найбільш перспективною, завдяки своїй невичерпності, екологічній чистоті та загальнодоступності.

Існує багато варіантів використання сонячних установок для забезпечення індивідуальних потреб в обігріванні та теплопостачанні будинків котеджного типу. Одним із енергоощадних заходів опалення приміщень є застосування повітряних систем із пасивним використанням енергії Сонця. Повітряні колектори – це прості плоскі конструкції, основною перевагою яких є те, що їм не властиве замерзання і закипання теплоносія, на відміну від рідинних систем. Для покращення ефективності роботи сонячного повітрянагрівача необхідно підвищити коефіцієнт тепловіддачі між теплопоглиначем та теплоносієм. Існують два основні методи досягнення даної мети. Згідно з першим – збільшити площу поверхні теплообміну, а з другим – збільшити конвективний теплообмін, завдяки інтенсифікації перемішування повітряних мас, шляхом надання нерівності поверхні теплопоглинальної пластини [1].

З метою підвищення ефективності роботи повітряних сонячних колекторів за мінімальних втрат тиску використовували теплопоглиначі з різною формою поверхні. Для зручності роботи Брідж Бушан [2] розділив ці заходи на чотири групи: перша – використання фіксованого проводу; друга – металевої сітки; третя – ребер; четверта – заглибин. У роботах Мрідула Шарма [3], Ірфана Куртбаса [4], Гупта М. [5] здійснено огляд та порівняльну характеристику різних видів нерівностей. Вони прийшли до висновку, що за більших значень числа Re кращий результат у сонячних колекторів з ребрами V-подібної форми, а за низького Re – з заглибина клиноподібної форми.

Більшість досліджень пасивних сонячних нагрівачів здійснено для країн зі спекотним кліматом в лабораторних умовах або за допомогою комп'ютерного моделювання. Відомі конструкції термосифонних сонячних колекторів потребують модифікації та удосконалення з метою підвищення ефективності їх роботи в умовах помірного клімату та зменшення капітальних і експлуатаційних затрат. Недостатня кількість інженерних методів підбору та розрахунку таких пристроїв потребує додаткового їх дослідження і розроблення науково обґрунтованих методик.

Постановка задачі мета досліджень. Робота спрямована на експериментальне вивчення коефіцієнта корисної дії запропонованого термосифонного сонячного колектора під час дослідження його в натурних умовах для помірного клімату, зокрема для м. Львова.

Методика експериментальних досліджень. Дослідження проводили на експериментальній установці (рис. 1 а), що складається з герметичного та теплоізолюваного корпусу колектора, шару теплової ізоляції, металевої теплопоглинальної пластини чорного кольору, з загальною площею поверхні 1,2 м², скляної пластини. У вхідному та вихідному отворах колектора вставлено регулятивні засувки.

На рис. 2 зображено схему запропонованого пристрою, який працює так. Корпус колектора 1 встановлюють в конструкцію похилого даху, вхідний отвір 5 та вихідний отвір 6 розташовані в приміщенні, що обігрівається.

Сонячні промені проходять крізь світлопрозирну пластину 4, поглинаються теплопоглинальною пластиною 3, відбувається перетворення сонячної енергії в тепло. За рахунок різниці температур виникає "термосифонний ефект", тобто холодне повітря з приміщення через отвір 5 находити в колектор, омиває нагріту абсорбувальну пластину 3, піднімається вгору і нагрітим повертається в приміщення через вихідний отвір 6. Швидкість та об'єм повітря, що походить через корпус колектора 1, регулюються за допомогою засувки 7.

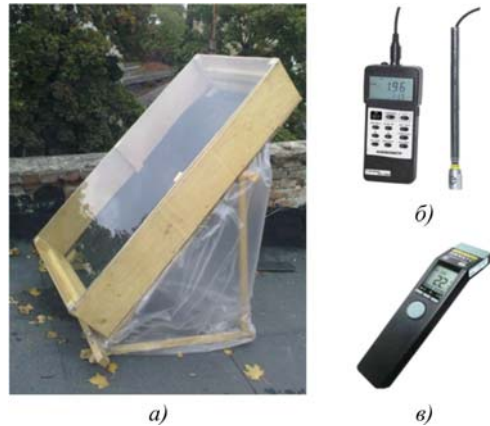


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки (а); прилади вимірювання: термоанемометр АТТ004 (б); пірометр Нимбус-530 (в)

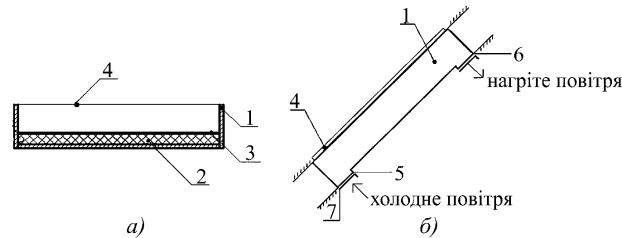


Рис. 2. а) геліоколектор в розрізі; б) встановлений на даху геліоколектор: 1) корпус колектора; 2) шар теплової ізоляції; 3) теплопоглинальна пластина; 4) світлопрозирна пластина (скло); 5) вхідний отвір; 6) вихідний отвір; 7) регулятивна засувка

Наявність корпусу з удосконаленими характеристиками дає змогу зменшити тепловтрати колектора. Покриття чорного кольору покращує поглинання енергії сонця, а відсутність вентиляторів та повітропроводів спрощує конструкцію сонячного колектора та значно зменшує експлуатаційні витрати.

Першим етапом досліджень було визначення коефіцієнта корисної дії термосифонного сонячного колектора. Результати замірів фіксували кожні 10-15 хвилин протягом 7-и годин, за зміни площі отворів колектора. За допомогою термоанемометра АТТ004 (рис. 1 б) вимірювали температуру на вході, а на виході з пристрою, крім температури, визначали і швидкість руху тепло-

носія. Для вимірювання температури теплопоглинальної пластини геліоколектора використовували пірометр марки Нимбус-530 (рис. 1 в). Заміри інтенсивності сонячного випромінювання здійснювали за допомогою альбедометра. Досліди проводили в дні з різними температурами навколишнього середовища. Температура зовнішнього повітря змінювалася в межах 19-27 °С, інтенсивність сонячного випромінювання – від 380 до 1250 Вт/м².

Запропонований геліоколектор працює за принципом вільної конвекції. Для підрахунку теплової ефективності установки було використано методику, описану М.А. Міхеевим [6]. За законом Ньютона-Ріхмана:

$$q = \alpha \cdot (t_n - t_x) \quad (1)$$

де: q – густина теплового потоку, Вт/м²; α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·°С); t_n – температура нагрітої теплопоглинаючої пластини, °С; t_x – температура повітря, на вході в колектор, °С. Для визначення середнього коефіцієнта тепловіддачі під час ламінарного руху теплоносія існує залежність:

$$\overline{Nu}_{ln} = 0.66 \times Re_{ln}^{0.5} \times Pr_{ln}^{0.33} \times \left(\frac{Pr_x}{Pr_n} \right)^{0.25} \quad (2)$$

Для визначення середнього коефіцієнта тепловіддачі під час турбулентного руху теплоносія:

$$\overline{Nu}_{ln} = 0.66 \cdot Re_{ln}^{0.8} \cdot Pr_{ln}^{0.43} \cdot \left(\frac{Pr_x}{Pr_n} \right)^{0.25} \quad (3)$$

У співвідношеннях (2) та (3): $\overline{Nu}_{ln} = \frac{\bar{\alpha} \cdot l}{\lambda_x}$ – середнє значення числа Нуссельта;

$Re_{ln} = \frac{\omega_o \cdot l}{\nu_x}$ – число Рейнольдса; $Pr_n = \frac{\nu_x}{\alpha_x}$ – число Прандтля; $Pr_n = \frac{\nu_n}{\alpha_n}$ – число

Прандтля, що характеризує параметри повітря після геліоколектора; ω_o – швидкість руху теплоносія, м/с; ν – кінематичний коефіцієнт в'язкості, м²/с; λ_x – коефіцієнт теплопровідності теплоносія, Вт/м·С.

Індекси "x" і "n" вказують на те, що фізичні властивості повітря належать до температури повітря в приміщенні (t_x) і нагрітої теплопоглинальної пластини (t_n).

Для повітря $Pr = 0.71$ Формули (2) та (3) набудуть вигляду:

- для ламінарного руху теплоносія:

$$\overline{Nu}_{lx} = 0.57 \cdot Re_{lx}^{0.5} \quad (4)$$

- для турбулентного руху теплоносія:

$$\overline{Nu}_{lx} = 0.032 \cdot Re_{lx}^{0.8} \quad (5)$$

Як відомо, режим руху теплоносія визначають величиною критерія Рейнольдса. Обчислені значення змінюються в межах від $14,5 \times 10^3$ до $28,5 \times 10^3$, що є характерним для ламінарної повітряної течії. З урахуванням наведеного, коефіцієнт тепловіддачі було визначено із залежності:

$$\bar{a} = \frac{Nu_{lx} \cdot \lambda_x}{l} \quad (6)$$

Кількість тепла, утилізованого геліоколектором:

$$Q = \bar{\alpha} \cdot F \cdot (t_n - t_x), \quad (7)$$

де F – площа світлопропускної поверхні геліоколектора, m^2 . Коефіцієнт корисної дії запропонованого колектора було визначено за формулою:

$$\eta = \frac{Q}{I \cdot A} \cdot 100\%, \quad (8)$$

де I – інтенсивність сонячного випромінювання, $Вт/м^2$.

Оцінку вимірювання результатів експериментальних досліджень виконували на основі визначених за критерієм Стьюдента відносних і абсолютних похибок [6]. Їх значення перебуває в межах від 3 до 5 %.

Виклад результатів досліджень. На основі експериментальних досліджень побудовано графік залежності потужності термосифонного сонячного колектора від зміни витрати теплоносія та перепаду температур у вхідному і вихідному отворі установки за температур навколишнього середовища $t_{н.с.} = 21^\circ C$; (рис. 3).

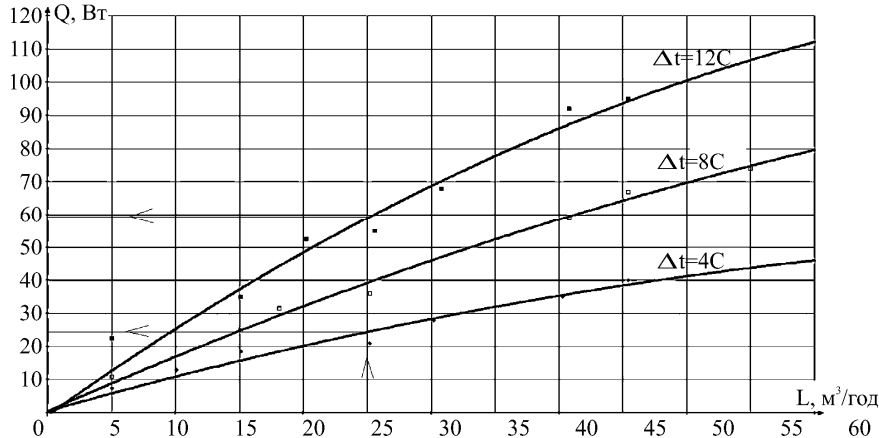


Рис. 3. Залежність теплової потужності термосифонного сонячного колектора (Q , Вт) від витрати теплоносія (L , $m^3/год$) та перепаду температур у вхідному і вихідному отворі колектора (Δt , $^\circ C$) за $t_{н.с.} = 21^\circ C$

З рисунку видно, що у разі збільшення хоча б одного фактора впливу, зростає і кількість тепла, утилізованого геліоколектором. Наприклад, у разі витрати повітря $25 m^3/год$ і перепаду температур $4^\circ C$ (рис. 3) кількість отриманого тепла становитиме 23 Вт, за тієї самої витрати, але різниці $12^\circ C$ потужність зростає до 60 Вт. На основі експериментальних даних отримано залежність [9] для знаходження теплової потужності. Лінійні залежності номограми було функціонально описано за допомогою матричного методу [7] із застосуванням комп'ютерної програми GRAPHER та зведено в одне рівняння:

$$Q = 0,41 + 0,023 \cdot \Delta t + (0,203 + 0,206 \cdot \Delta t) \cdot L + (-0,12 + 0,014 \cdot \Delta t) \cdot L^2, Вт \quad (9)$$

Крім цього побудовано графік залежності теплової потужності сонячного колектора від витрати теплоносія та інтенсивності радіаційного випромінювання (рис. 4).

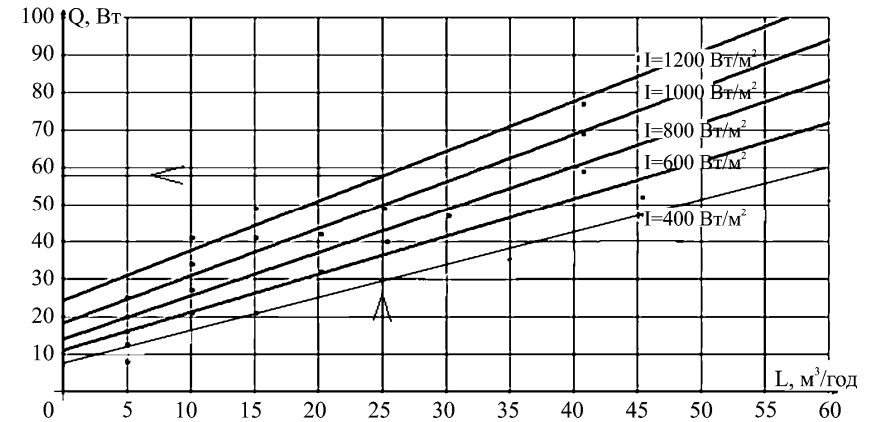


Рис. 4. Залежність потужності термосифонного сонячного колектора (Q , Вт) від витрати теплоносія (L , $m^3/год$) та інтенсивності радіаційного випромінювання (I , $Вт/м^2$)

Після апроксимації було одержано таку аналітичну залежність:

$$Q = 24,12 - 0,015 \cdot I + (0,71 - 0,0004 \cdot I) \cdot L, Вт$$

де I – інтенсивність радіаційного випромінювання, $Вт/м^2$.

Результати досліджень показали, що за щільності сонячного теплового потоку $600 Вт/м^2$, що відповідає значенням деяких осінніх і весняних місяців опалювального періоду, повітря за незначний проміжок часу прогрівається від 5 до $12,5^\circ C$. Основною характеристикою сонячного колектора є його тепла ефективність. Коефіцієнт теплової ефективності розраховували як відношення корисного теплового потоку, який йде на нагрів теплоносія, до повного теплового потоку, який спадає на теплопоглинальну поверхню колектора. За отриманими даними підраховано, що коефіцієнт корисної дії термосифонного сонячного колектора становить 30 %.

Висновки. Проведено аналіз існуючих досліджень в галузі пасивної геліоенергетики, зокрема повітряних сонячних колекторів.

Запропоновано конструкцію термосифонного сонячного колектора з герметичним та утепленим корпусом, який може використовуватися як частина даху. Визначено закономірності впливу витрати теплоносія, перепаду температур та інтенсивності радіаційного випромінювання на потужність геліоколектора. На основі опрацьованих експериментальних даних підраховано коефіцієнт корисної дії установки для кліматичних умов м. Львова та отримано ряд узагальнювальних залежностей для знаходження теплової ефективності геліоколектора.

Література

1. Aloy Kaze Клод. On the Comparison of some Selected Artificial Roughness Geometries used in Solar Air Collectors / Kaze Aloy Клод // Energy and Exergy Analysis. European Journal of Scientific Research. – 2010. – Vol. 45, No. 2. – P. 136-139.
2. Brij Bhushan. A review on methodology of artificial roughness used in duct of solar air heaters / Bhushan Brij, Singh Ranjit // Energy. – 2010. – Vol. 35. – P. 202-212.
3. Mridul Sharma. Varun Performance estimation of artificially roughened solar air heater duct provided with continuous ribs / Sharma Mridul // Department of Mechanical Engineering, National Institute of Technology, Hamirpur, India. – 2010. – Vol. 38. – P. 172-178.
4. Irfan Kurtbas. Firat University, Mechanical Education Department, Elazig, TURKEY / Kurtbas Irfan and Turgut Emre // International Journal of Science & Technology. – 2006. – Vol. 1, No. 1. – P. 75-82.
5. Gupta M.K. Performance evaluation of solar air heater having expanded metal mesh as artificial roughness on absorber plate / M.K. Gupta, S.C. Kaushik // Int. J. of Thermal Sciences. – 2009. – Vol. 48. – P. 1007-1016.
6. Михеев М.А. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеев. – Изд. 4-ое, [перераб. и доп.]. – М.: Изд-во "Энергия", 1977. – 344 с.
7. Возняк О.Т. Основы научных исследований в строительстве / О.Т. Возняк, В.М. Желих. – Львів: Вид-во НУ "Львівська політехніка", 2003. – 173 с.

Лесик Х.Р., Желих В.М. Экспериментальное исследование тепловой мощности термосифонного солнечного коллектора

Представлены результаты натурных экспериментальных исследований по определению тепловой эффективности гелиоколлектора, в зависимости от значения числа Re. Установлен коэффициент полезного действия предложенного термосифонного солнечного коллектора. Получены зависимости для определения количества полученного тепла.

Ключевые слова: термосифонный солнечный коллектор, воздушная система отопления, естественная конвекция, теплопоглощающая поверхность, число Рейнольдса.

Lesik Ch.R., Zhelykh V.M. Experimental research of thermal power of thermo-siphon solar collector

In this article presents the results of natural experiments to determine the thermal power of solar collector depending on the value of the number Re. It was determined the efficiency of the proposed thermo-siphon solar collector. Obtained dependences for determining the amount of generated heat.

Keywords: thermo-siphon solar collector, air heating system, natural convection, absorbent surface, Reynolds number.

УДК 66.047 **Здобувач Б.М. Микичак¹; проф. П.В. Білей¹, д-р техн. наук; доц. Д.П. Кіндзера², канд. техн. наук**

ГІДРОДИНАМІКА ФІЛЬТРАЦІЙНОГО СУШІННЯ ПАКЕТА ШПОНУ

Представлено результати експериментальних досліджень гідродинаміки пакетного сушіння шпону фільтраційним методом. Отримано критеріальні залежності, які дають змогу використовувати результати для проектування нового сушильного обладнання.

Ключові слова: шпон, фільтраційне сушіння, пакет листів шпону, гідродинаміка, тепловий агент, критеріальні рівняння, втрати тиску, геометричні параметри пакета.

¹ НЛТУ України, м. Львів;

² НУ "Львівська політехніка"

Постановка проблеми. Струганий та лущений шпон широко застосовують у меблевій промисловості як личкувальні матеріали та є напівфабрикатами для виготовлення фанери та деревинношаруватих матеріалів. Технологія виготовлення шпону є багатостадійною та енергоємною. Найвищими затратами енергії характеризується стадія сушіння шпону від вологості 40...120 % до 6-12 % [1-4]. Для зневоднення шпону в промислових умовах використовують роликіві сушарки з поздовжньою, поперечною циркуляціями теплового агента та сопловим дуттям. Сушарки із сопловим дуттям є найпродуктивнішим обладнанням для висушування шпону, однак їх вадою є великі витрати електроенергії на створення інтенсивної циркуляції агента сушіння. Отже, впровадження у виробництво високоінтенсивних сушарок, які забезпечували б високу якість шпону за мінімальних енергетичних затрат, є актуальним завданням.

Відомо, що фільтраційне сушіння є високоінтенсивним методом сушіння дисперсних та листових матеріалів і має переваги, порівняно з традиційними методами їх зневоднення, а саме: наявність періоду механічного витіснення вільної вологи для деяких матеріалів; можливість використання теплового агента з низьким температурним потенціалом; зниження затрат теплової енергії на процес, збільшення швидкості сушіння; підвищення якості висушуваних матеріалів, вилучення стадії очищення теплового агента [5-9].

Шпон є одним із матеріалів, для зневоднення якого можна застосувати фільтраційне сушіння. Для реалізації процесу запропоновано пакетне сушіння шпону фільтраційним методом. Формування пакетів із листів шпону забезпечує вільне всихання останніх під час профільтрування теплового агента крізь канали між листами, а також фіксування їх форми для запобігання жолоблення та розривів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Першим етапом дослідження фільтраційного сушіння, як способу зневоднення шпону, є вивчення гідродинаміки, що дає змогу прогнозувати затрати на процес, таким чином вказуючи на доцільність його реалізації. Фільтраційний процес сушіння листових газопроникних матеріалів вивчали на об'єктах різної структурної модифікації [4-8] і одним із важливих завдань, яке виникало перед авторами робіт під час вивчення гідродинаміки, було узагальнення результатів досліджень з отриманням розрахункових залежностей, які давали б змогу розрахувати гідравлічний опір матеріалів залежно від швидкості руху теплового агента, його фізичних параметрів, а також структурних особливостей об'єктів досліджень.

У роботах [7-9] для прогнозування втрат тиску в листових матеріалах використовують залежність Дарсі-Вейсбаха, яку приводять до модифікованого двочленного рівняння Ергана і ця залежність є достатньо зручною для використання. У ці рівняння входять коефіцієнти А і В, значення яких змінюються залежно від структурної модифікації газопроникного матеріалу. Автор роботи [8] для розрахунку втрати тиску в шарі сухого матеріалу (азбестовий листовий матеріал нерівномірної структури) застосовує модифіковане рівняння Ергана: