

Міністерство освіти і науки України
Державний вищий навчальний заклад
«Донецький національний технічний університет»
Кафедра електричної інженерії

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

До проведення самостійної роботи з курсу «Моделювання теплових процесів в технологічних системах» для студентів денної та заочної форми навчання технічних спеціальностей

Покровськ-2017

УДК № УДК 621.75.008.001.2 (071)

ББК №

Методичні вказівки до проведення самостійної роботи з дисципліни
Моделювання теплових процесів в технологічних системах » » для
студентів денної та заочної форми навчання технічних спеціальностей/
Артеменко Ю.А.. – Покровськ, ДонНТУ, 2017 р. – 12 с.

Надані варіанти завдань та методичні вказівки до виконання контрольної роботи .. Наведено список рекомендованої літератури.

Дана розробка буде корисна для студентів денної та у заочної форми навчання спеціальностей «Теплоенергетика», «Інженерна механіка» на ін.. .

Укладач

Артеменко Ю.А., доц., к.т.н., доц

Рецензент

Любименко О.М., доц., к.ф.-м.н., доц.

Відповідальний за випуск
завідувач кафедри

Колларов О.Ю., доц., к.т.н., доц..

Затверджено навчально-методичним відділом ДонНТУ, протокол № ____
_____ від _____

Донецький національний
технічний університет, 2017

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ КОНТРОЛЬНОЇ РОБОТИ

1 Завдання на контрольну роботу

За заданими умовами обробки - властивостями оброблюваного та інструментального матеріалів, геометричним параметрам інструменту і режимами різання визначити температуру на вершині токарного різця з використанням методу джерел. Вихідні дані для розрахунку представлені в таблиці 1 (додаток А). Варіант завдання вибирається за останніми двома цифрами шифру залікової книжки.

2 Основні теоретичні відомості

У технологічній теплофізиці для вирішення теплових задач найбільш часто застосовують метод джерел теплоти [5]. Він являє собою гнучкий, зручний в інженерних додатках математичний апарат, що дозволяє описувати теплові явища в різних технологічних системах. За допомогою методу джерел порівняно просто можна визначити інтеграл, що задовольняє диференціальним рівнянням теплопровідності і умовам однозначності: подальшим завданням є лише обчислення інтеграла.

Основні положення методу джерел полягають у наступному.

1. Джерело або стік будь-якої форми, що рухається або нерухомий, чинний тимчасово або постійно, може бути представлений як система точкових миттєвих джерел (стоків) теплоти. Назвемо це положення принципом конструювання рішень.
2. Процес поширення теплоти в тілі обмежених розмірів може бути представлений як процес поширення теплоти в необмеженій тілі, якщо фактично діючі джерела доповнити деякою системою фіктивних джерел або стоків теплоти..

Це положення назвемо принципом відображення джерел. Розглянемо методику застосування принципу конструювання рішень. Відповідно до цього принципу одновимірне джерело в вигляді лінії представляють як безліч точкових джерел, поставлених поруч і діючих одночасно. Двовимірне джерело представляють як сукупність нескінченної безлічі точкових, що займають частину поверхні, очерчену контуром джерела. Аналогічно можна уявити джерело будь-якої форми як ту чи іншу конструкцію, що складається з точкових джерел теплоти. Тепер розглянемо інтерпретацію часу функціонування джерела. Якщо джерело діє протягом часу τ , то його можна представити у вигляді системи миттєвих точкових істочників, що спалахують і гаснуть з вельми великою частотою, коли період часу між спалахами прагне до 0. У цьому випадку імпульси слідує один за одним з нескінченно малим проміжком ком часу і в межі утворюють безперервно функціонуюче джерело. Рух джерела імітують також рядом послідовних спалахів і гасінь миттєвих імпульсів, що послідовно виникають в різних точках траєкторії переміщення

джерела. Як впливає з викладеного, принцип конструювання рішень застосовують для опису особливостей джерел теплоти, що діють в необмеженім тілі, опис же особливостей форми нагрітих тіл і граничних умов на їх поверхнях виконують на основі принципу відображення джерел. Покажемо застосування останнього при описі процесу поширення теплоти в півпросторі з адіабатичній поверхнею (гранична умова другого роду $q_s = 0$). Нехай в півпросторі діє джерело J_0 (рис. 1, а). Тепловий потік, що рухається від джерела в будь-якому напрямку 1 в сторону граничної поверхні, досягнувши останньої, в силу умови не теплопровідності кордону повинен повернути і далі рухатися в напрямку 2. Якщо такий же джерело діє в необмеженій тілі; (Рис. 1, б), то тепловий потік перетне площину AA, що знаходиться всередині необмеженого тіла, але не є граничною і адіабатичній, і буде продовжувати рухатися в напрямку 1.

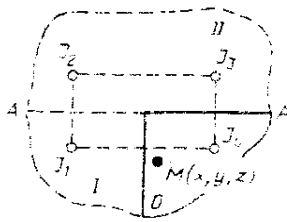


Рисунок 1- Розподіл тепла в півпросторі

Тепер помістимо в необмеженій тілі симетрично джерела J_0 джерело J_1 . Зустрічний тепловий потік, що йде в напрямленні 1 /, складаючись з тепловим потоком 1, створює рівнодіюча, що має напрямок 2, тобто той же напрямок, що і в півпросторі з адіабатичній граничної поверхнею. Отже, процес поширення теплоти в півпросторі можна уявити як частина процесу в необмеженій тілі, але з додатковим джерелом J_1 . Тому температура $\Theta_p(J_0)$ в будь-якій точці $M(x, y, z)$ півпростору дорівнює температурі аналогічної точки необмеженого тіла $\Theta_n(J_0) + \Theta_n(J_1)$, де $\Theta_n(J_0)$ і $\Theta_n(J_1)$ температури, що виникають в необмеженім тілі від джерел J_0 і J_1 відповідно.

$$\Theta_k(J_0) \Big|_{\beta=90^\circ} = \sum_{n=0}^3 \Theta_n(J_n) \quad (1)$$

5

Якщо $y_i=0$, то

$$\Theta_n(J_0) = 2\Theta_n(J_0). \quad (2)$$

Отже, джерело, розташований на адіабатичній поверхні півпростору, викликає в останньому температуру в 2 рази більшу, ніж такий же джерело в необмеженій тілі. Розглянемо ще один приклад: нескінченний клин з кутом $\beta = 90^\circ$ (рис. 2.2) при граничних умовах другого роду $q_s = 0$. Щоб перейти до необмеженого тіла, потрібно: спочатку доповнити подумки клин 0 відбитим клином 1 з фіктивним джерелом J_1 і отримати напівпространство : потім доповнити напівпространство з джерелами J_0 і J_1 півпростором II з фіктивними

джерелами J_2 і J_3 розташованими симетрично джерел J_0 і J_1 щодо площини AA .

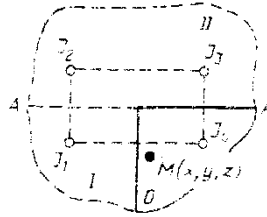


Рисунок 2 - Відображення джерел для квіна з кутом 90°
Температура в точке M основного квіна

$$\Theta_\kappa(J_0) \Big|_{\beta=90^\circ} = \sum_{n=0}^3 \Theta_n(J_n). \quad (3)$$

Отже, для того щоб врахувати обмеженість твердих тїл і умови типу ГУ1 і ГУ2, треба виконати відображення джерел і стоків теплоти, подумки прикладаючи до основного (реального) тїлу ряд подїбних йому тел з фїктивними джерелами або стоками теплоти, при чому кожне з наступних тел повинно бути дзеркальним відображенням попереднього тїла вїдносно площини їхнього зїткнення. Вїдповїдно до принципу конструювання рїшень складнї джерела подають як тїєї чи їншої системи, що складається з миттєвих точкових джерел теплоти. Тому і температурне поле, що виникає пїд дїєю що виникають пїд дїєю кожного з миттєвих точкових джерел. Математичний вираз, що описує температурне поле, яке виникає пїд дїєю миттєвого точкового джерела, має вигляд

$$\Theta(x, y, z, t) = Q \exp\left(-R^2/4\omega t\right) / \lambda \sqrt{\omega} (4\pi)^{3/2} \quad (4)$$

де Q - кїлькїсть теплоти, внесеної в тїло джерелом; t -час, що минув вїд моменту теплового їмпульсу; λ і ω тепло фїзичнї характеристики матерїалу; R -вїдстань вїд мїсця спалаху J (x_i, y_i, z_i) до будь-якої точки тїла M (x, y, z):

$$R = \sqrt{(x - x_u)^2 + (y - y_u)^2 + (z - z_u)^2} \quad (5)$$

Щоб описати за допомогою формули (2.4) температурнї поля, що виникають пїд дїєю рїзних джерел теплоти, роблять один або два з наступних трьох їнтегральних переходїв: 1) вїд точкового джерела до одно-, дво- або тривимїрному; 2) вїд миттєвого джерела до дїючого безперервно; 3) вїд миттєвого джерела до рухомого. Розглянемо методикy цих переходїв. Перепишемо вираз (2.4) у виглядї

$$\Theta(x, y, z, t) = QF\{R, t\} \quad (6)$$

Уявімо одновимірний джерело, розташований паралельно осі Z, у вигляді безлічі одночасно діючих елементарних точкових джерел. Повний підвищення температури тіла під дією всіх точкових джерел, що утворюють одновимірний, отримаємо, здійснивши інтегральний перехід першого типу:

$$\Theta(x, y, z, t) = \int_{z_{u1}}^{z_{u2}} Q(z_u) F\{R, t\} dz_u \quad (7)$$

Розглянемо інтегральний перехід другого типу, за допомогою якого конструюються вираження для опису температурних полів, що виникають в необмежених тілах під дією безперервно діючих джерел теплоти. Безперервне дію джерела імітуємо серією миттєвих теплових імпульсів, що слідуєть один за одним. Все миттєві точкові джерела, які слідували один за одним з інтервалом часу dt викличуть в точці M (x, y, z) до моменту спостереження τ підвищення температури

$$\Theta(x, y, z, \tau) = q \int_0^{\tau} F\{R, \tau - t_i\} dt_i \quad (8)$$

де q - кількість теплоти, що виділяється джерелом теплоти в одиницю часу. Для безперервно діючого точкового джерела при сталому теплообміні b отримано рішення:

$$\Theta(x, y, z) = q/4\pi\lambda R \quad (9)$$

З використанням виразу (9) можуть бути складені формули для розрахунку стаціонарних температурних полів, що виникають під дією одно-, дво- і тривимірних джерел. Розглянемо, наприклад, двовимірний прямокутний джерело теплоти, рівномірно розподілений по майданчику $b \times l$ (рис. 3).

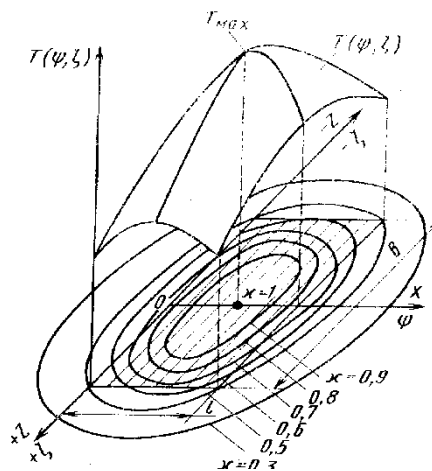


Рисунок 3 - Розподіл температури $T(\psi, z)$ для двовимірного джерела теплоти розмірами $b \times l$

Для нього при сталому теплообміні

$$\Theta(x, y, z) = \frac{q}{4\pi\lambda} \int_0^l dx_u \int_{-0.5b}^{+0.5b} \frac{dz_u}{\sqrt{(x-x_u)^2 + (y)^2 + (z-z_u)^2}} \quad (10)$$

Розраховуємо температурне поле в площині XOZ, вважаючи $y = 0$.
Перейдемо до безрозмірних величин

$$\psi = x/l; \quad \psi_u = x_u/l; \quad \zeta = z/l; \quad \zeta_u = z_u/l; \quad \eta = 0.5b/l$$

Тоді

$$\Theta(x, z) = \frac{ql}{4\pi\lambda} \int_0^l d\psi_u \int_{-0.5b}^{+0.5b} \frac{d\zeta_u}{\sqrt{(\psi-\psi_u)^2 + (\zeta-\zeta_u)^2}} \quad (11)$$

Або

$$\Theta(x, z) = \frac{ql}{4\pi\lambda} T(\psi, \zeta) \quad (12)$$

де ql - щільність теплоутворення Вт / м²; $T(\psi, \zeta)$ - закон розподілу температур в безрозмірному вигляді.

Вирішуючи це інтеграл, отримуємо

$$\begin{aligned} T(\psi, \zeta) = & \psi \ln \left| \frac{\zeta + \eta + \sqrt{\psi^2 + (\zeta + \eta)^2}}{\zeta - \eta + \sqrt{\psi^2 + (\zeta - \eta)^2}} \right| - \\ & - (\psi - 1) \ln \left| \frac{\zeta + \eta + \sqrt{(\psi - 1)^2 + (\zeta + \eta)^2}}{\zeta - \eta + \sqrt{(\psi - 1)^2 + (\zeta - \eta)^2}} \right| + \\ & + (\zeta + \eta) \ln \left| \frac{\psi + \sqrt{\psi^2 + (\zeta + \eta)^2}}{\psi - 1 + \sqrt{(\psi - 1)^2 + (\zeta + \eta)^2}} \right| - \\ & - (\zeta - \eta) \ln \left| \frac{\psi + \sqrt{\psi^2 + (\zeta - \eta)^2}}{\psi - 1 + \sqrt{(\psi - 1)^2 + (\zeta - \eta)^2}} \right| \end{aligned} \quad (13)$$

Отримана формула (13) описує безрозмірне температурне поле в площині XOZ для розглянутої теплової задачі. Функція $T(\psi, \zeta)$ показана на рис. 3 у вигляді поверхні, побудованої при $\eta = 1$, т. Е. Для джерела, ширина якого b вдвічі більше довжини l .

3 Порядок виконання контрольної роботи

Вихідні дані (табл.1 ПА): межа міцності σ_b ; i коефіцієнт усадки стружки к оброблюваного матеріалу - конструкційної сталі; коефіцієнт теплопровідності інструментального матеріалу - твердого сплаву; геометричні параметри токарного різця (рис.г4): кути в плані $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$, передній кут $\gamma = 15^\circ$, задній кут $\alpha = 15^\circ$; режими різання: t - глибина різання; s - подача; v - швидкість різання; величина зносу по задній поверхні леза h . В процесі точіння через площадку контакту $b \times l$ зі стружкою в інструмент передається рівномірно розподілений тепловий потік щільністю q . Передню А і задні В, С поверхні вважати адиабатичними. Решта граничні поверхні інструменту вважати пасивними.

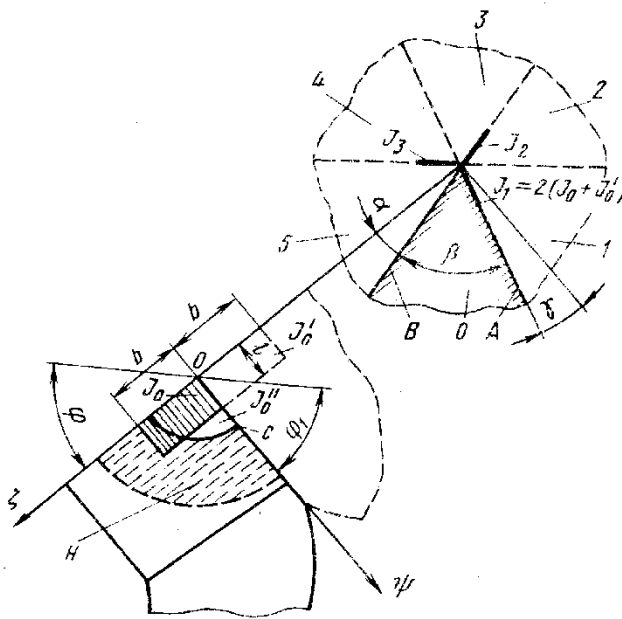


Рисунок.4 - Токарський різець з джерелом теплоти на передній поверхні

1. Розрахувати сили, що діють при точінні на передній і задній поверхнях різця. При зовнішньому поздовжньому точінні конструкційної сталі тангенціальна P_z і радіальна P_y складові сили різання [8]

$$P_z = 300ts^{0,75}v^{-0,15}(\sigma_b/750)^{0,75}, P_y = 243t^{0,9}s^{0,6}v^{-0,3}(\sigma_b/750)^{0,75},$$

де t - глибина різання; s - подача; v - швидкість різання; σ_b - межа міцності оброблюваного матеріалу.

Сила тертя на передній і задній поверхнях [6]

$$F_{mp} = 0,0252\sigma_b h(t/\sin \varphi)$$

, де h - величина зносу по задній поверхні інструменту; φ - головний кут в плані.

2. Розрахувати розміри $b \times l$ плоского джерела теплоти J_0 на передній поверхні різця, рівного майданчику контакту стружки з передньою поверхнею [1]

Довжина контактної площадки в напрямку сходу стружки l і її розмір уздовж головної різальної крайки b рівні

$$l = 2a[k(1 - tg\gamma) + \sec\gamma] \quad a = s \sin \varphi \quad b = t / \sin \varphi$$

де a - товщина зрізу; γ - передній кут різця; k - коефіцієнт поздовжньої усадки стружки.

3. Розрахувати щільність рівномірно розподіленого теплового потоку, що діє в зоні тертя стружки об передню поверхню інструменту [6].

$$q = v(P_{Z0} \sin \gamma + P_{N0} \cos \gamma) / blk \quad ;$$

де $P_{Z0} = P_z - F_{тр}$ - різниця тангенціальної сили різання і сили тертя по задній поверхні леза; $P_{N0} = P_y - F_{тр}$ - різниця нормальної складової сили різання і сили тертя по передній поверхні леза.

4. Виконати відображення джерела J_0 у вигляді J_0' , для того, щоб врахувати адіабатичність поверхні C . За допомогою відбитих клинів 1-5 ввести систему додаткових джерел, які враховують, що поверхні основного клина O з кутом загострення $\beta = 60^\circ$ адіабатичні (рис. 4).

5. Визначити за формулою (13) значення функції $T(\psi, \zeta)$ в точках $\psi = 0$; $\zeta = 0$, відповідних координатах вершини різця, тобто значення $T(0,0)$

$$T(0,0) = \ln \left| \frac{\sqrt{1+\eta^2} + \eta}{\sqrt{1+\eta^2} - \eta} \right| + 2\eta \ln \left| \frac{\eta}{\sqrt{1+\eta^2} - 1} \right|$$

де η - безрозмірна величина, рівна $\eta = 0,5b/l$.

6. Розрахувати температуру на вершині різця при сталому теплообміні за формулою (12), з огляду на наявність в системі $J_1 = J_2 = J_3 = 2(J_0 + J_0')$ джерел теплоти, отриманих відповідно до правил відображення, в тому числі відповідно до формулами (.2,3).

$$\Theta(0,0) = 6T(0,0)ql / 4\pi\lambda \quad ,$$

де λ - коефіцієнт теплопровідності матеріалу різця.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов: Учебник для машиностр. и приборостр. спец. вузов. - М.: Высш. шк., 1985. - 304 с.
2. Методические указания и контрольные задания по курсу “Теория резания и тепловые процессы в технологических системах” (для студентов специальности 7.090202) / Т.Г. Ивченко, Н.В. Голубов. - Донецк: ДГТУ, 1995. - 39 с.
3. Обработка металлов резанием с плазменным нагревом. / А.Н. Резников, М.А. Шатерин, В.С. Кунин, Л.А. Резников. - М.: Машиностроение, 1986. – 232с.
4. Обработка металлов резанием: Справочник технолога / А.А. Панов, В.В. Аникин, Н.Г. Бойм и др.; Под общ. ред. А.А. Панова. - М.: Машиностроение, 1988. - 736с.
5. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах: Учебник для вузов по специальностям “Технология машиностроения” и “Металлорежущие станки и инструменты”. - М.: Машиностроение, 1990. - 288с.
6. Резников А.Н. Теплофизика процессов механической обработки материалов. - М.: Машиностроение, 1981. – 279с.
7. Резников А.Н., Резников Л.А. Основы расчета тепловых процессов в технологических системах: Учеб. пособие. - Куйбышев: КуАИ, 1986. -153с.
8. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т. 2 / Под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. - М.: Машиностроение . 1985. - 496с.
9. Тихонцов А.М., Чухно С.И., Коробочка А.Н. Тепловые процессы при механической обработке материалов резанием: Учебник: - К.:УМК ВО, 1992. - 288с.
10. Якимов А.В., Слободяник П.Т., Усов А.В. Теплофизика механической обработки: Учеб. пособие. - К.; Одесса: Лыбидь, 1991. - 240 с.
11. Ящерицын П.И., Еременко М.Л., Фельдштейн Е.Э. Теория резания. Физические и тепловые процессы в технологических системах: Учеб. для вузов. - Мн.: Выш. шк., 1990. - 512 с.

Таблиця 1 – Варіанти завдань до контрольної роботи

№ варіанта	міцність матеріалу σ_b , МПа	Коефіцієнт усадки стружки k	швидкість різання v , м/мин	Подача s , мм/об	Глибина різання t , мм	Знос по задній поверхні різця h , мм	Коефіцієнт теплопровідності різця λ , Вт/м·°С
1	750	2,0	120	0,8	4,0	1,0	33,9
2	650	2,2	150	0,6	3,0	0,8	27,2
3	700	2,3	170	0,5	2,0	0,6	33,9
4	750	2,0	160	0,4	2,5	0,9	27,2
5	650	2,2	180	0,3	1,5	0,4	33,9
6	750	2,0	130	0,5	2,5	0,7	27,2
7	800	2,3	190	0,2	2,0	0,6	33,9
8	650	2,2	200	0,4	1,5	0,5	27,2
9	700	2,3	100	1,0	5,0	0,6	33,9
10	900	2,8	110	0,5	4,0	0,9	54,4
11	650	2,2	150	0,4	2,5	0,5	33,9
12	750	2,0	170	0,3	1,5	0,7	27,2
13	800	2,2	160	0,5	2,5	0,6	33,9
14	700	2,3	190	0,2	2,0	0,8	27,2
15	900	2,8	180	0,4	1,0	0,9	54,4
16	850	2,3	250	0,1	0,5	0,8	33,9
17	670	2,2	150	0,6	2,5	0,5	27,2
18	900	2,8	170	0,5	1,5	0,8	54,4
19	750	2,0	160	0,4	2,5	0,5	33,9
20	900	2,8	180	0,3	2,0	0,9	54,4
21	700	2,3	130	0,5	1,0	0,6	27,2
22	850	2,2	220	0,1	3,0	0,8	33,9
23	750	2,3	240	0,2	1,5	0,5	27,2
24	900	2,8	120	0,8	2,0	0,7	54,4
25	700	2,2	150	0,6	3,0	0,9	33,9