УДК 628.16:621.981.3

О. І. ТРИШЕВСЬКИЙ, М. В. САЛТАВЕЦЬ

ПОДІЛ СЛЯБІВ СІТКОЮ ПРИ РІШЕННІ ДВОМІРНОЇ ЗАДАЧІ НЕСТАЦІОНАРНОЇ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ ЯВНИМ КІНЦЕВО-ВІД'ЄМНИМ МЕТОДОМ

Встановлено, що для чисельного рішення теплофізичних задач теплообміну системи валок – полоса, що описуються рівняннями нестаціонарної теплопровідності, найбільш ефективним є метод кінцевих від'ємностей. Для подальшого чисельного рішення задач нестаціонарної теплопровідності (теплового стану) полоси та валків при гарячої прокатці сляби, які э заготовкою при гарячої прокатці листа, поділені умовною сіткою, для можливих варіантів вузлів якої при рішенні двомірної задачі нестаціонарної теплопровідності складені рівняння балансу енергії з подальшою кінцево-від'ємною апроксимацією Фурье.

Ключові слова: сляб, лист, гаряча прокатка, ділильна сітка, тепловий стан, нестаціонарна теплопровідність, баланс енергії, апроксимація, кінцево-від'ємний метод.

Вступ. Відомо, що в промислово розвитих країнах (Німеччина, Японія, Франція, США, Італія, Південна Корея) з метою скорочення часу технологічного процесу і економії енергетичних витрат при гарячої прокатці полоси, проводяться дослідження щодо удосконалення технології її виробництва, на базі котрих розроблюється нове устаткування, у тому числі устаткування для надшвидкісного охолодження листа (ULTRA FAST COOLING – UFC) на ділянках перед чистовою групою клітей і після чистової групи перед моталкою [1].

На Україні обладнання та технологія прокатки полоси були створені у відповідності з вимогами часу їх конструювання і, відповідно, не існує прокатних станів V покоління, а також сучасних методів проектування технологічного процесу прокатки з використанням цього ефективного прийому. Технології прокатки полоси на Україні потребують суттєвих змін з урахуванням вимог економії енергії для зменшення собівартості готової продукції шляхом удосконалення обладнання і режимів обтиснення з урахуванням теплового стану полосі.

Однак, невирішеною до цього часу залишається проблема охолодження полоси і валків при мінімумі розходу енергії, що дозволило би більш ефективно використовувати існуюче обладнання для здійснення нового технологічного процесу. Одним із перспективних шляхів рішення практичних задач розробки нових технологій і устаткування є залучення для цих питань методу математичного моделювання з використанням аналогової і цифрової обчислюваної техніки.

Внаслідок цього, розробка раціонального охолодження полоси і валків на основі математичного моделювання цього технологічного процесу є своєчасною та актуальною.

Аналіз стану питання, основних досягнень і літератури. У попередніх роботах авторів [2,3] була розроблена математична модель теплового стану полоси та валків під час прокатки, яка включає усі можливі варіанти, які мають місце під час гарячої прокатки. Враховано теплообмін валка з гарячою полосою, а також з водою, що йде на охолодження валка, геометричні розміри зон деформації і примусового охолодження, а також їх взаємне розташування. Якщо математична модель явища відома, то одним із шляхів її дослідження та отримання кінцевого рішення є математичне моделювання, тобто рішення систем рівнянь за допомогою або без допомоги обчислюваних машин [4, 5]. На підставі розгляду цих робіт з урахуванням застосування обчислювальних машин для рішення теплофізичних задач можна зробити висновок, що для рішення нелінійних і об'ємних задач, що описуються рівняннями типу рівняння нестаціонарної теплопровідності, найбільш ефективним є метод кінцевих від'ємностей. Для отримання результату у числовому вигляді, згідно з цим методом, переходять від диференційних рівнянь з частковими похідними до відповідних рівнянь у кінцевих від'ємностях. Рівняння в кінцевих від'ємностях отримують шляхом зміни похідних їх від'ємностями.

У роботах [4, 5] наведені приклади переходу від диференційних рівнянь з частковими похідними до рівнянь в кінцевих від'ємностях. Вони мають практично однаковий вигляд і відрізняються лише записом в залежності від системи координат (прямокутна чи циліндрична) і виду (лінійного або нелінійного). Наведено навіть кінцево-від'ємні рівняння для прямокутної і циліндричної систем координат з нерівномірними кроками по простору. Ці рівняння призначені для визначення залежностей при обчисленні RC – сіткових, або R-R – сіткових електромоделей при рішенні задач нестаціонарної теплопровідності неявним кінцево – від'ємним методом.

У разі використання явного кінцево – від'ємного методу задача спрощується – необхідно лише самостійно скласти кінцево-від'ємні рівняння балансу енергії для кожного вузла з урахуванням об'єктів досліджень.

Згідно з викладеним, метою даної роботи є поділ слябів, які являються заготовкою при гарячої прокатці листа, сіткою при рішенні двомірної задачі нестаціонарної теплопровідності явним кінцево-від'ємним методом, складання рівнянь балансу енергії для можливих варіантів сітки з подальшою кінцево-від'ємною апроксимацією Фурье. Матеріали цих досліджень є основою для подальшого чисельного рішення задач нестаціонарної теплопровідності (теплового стану) полоси та валків при гарячої прокатці.

Матеріали досліджень. У випадку двомірної задачі рівняння математичного опису процесів теплообміну в системі полоса-окалина-валок має вид [6]

$$c_m\rho_m\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda_m\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda_m\frac{\partial T}{\partial y}\right) + \rho_m(c_m T) + q_v \quad (1)$$

Схему розбивки слябу сіткою у поперечному перерізі представлено на рис.1.

Враховано, що у напрямку вісі x сітка повинна бути густішою у під поверхневих шарах і більш рідка у шарах, розташованих ближче до середини слябу.

Як видно з рис.1, вузли 10, 20, 30, 40 та 50 розташовані на середині слябу паралельно вісі *y*. Вузли 41-50 розташовані також на середині слябу, але паралельно вісі *x*.

У відповідності з рекомендаціями [7], записуємо баланс енергії для кожного вузла, отримуючи алгебраїчні рівняння для температури у кожному вузлі.

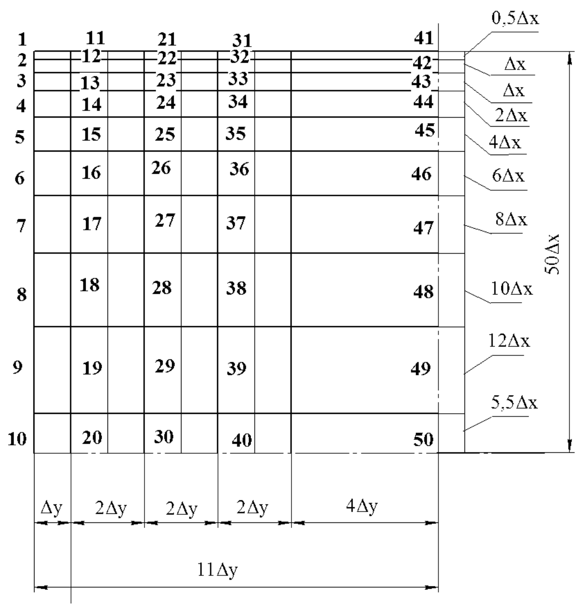

Рис. 1 – Поділ чверті слябу сіткою (вісесиметрична задача)

Розглянемо складання балансу енергії для типового внутрішнього вузла 24 (рис.1), представленого у збільшеному вигляді на рис 2

.

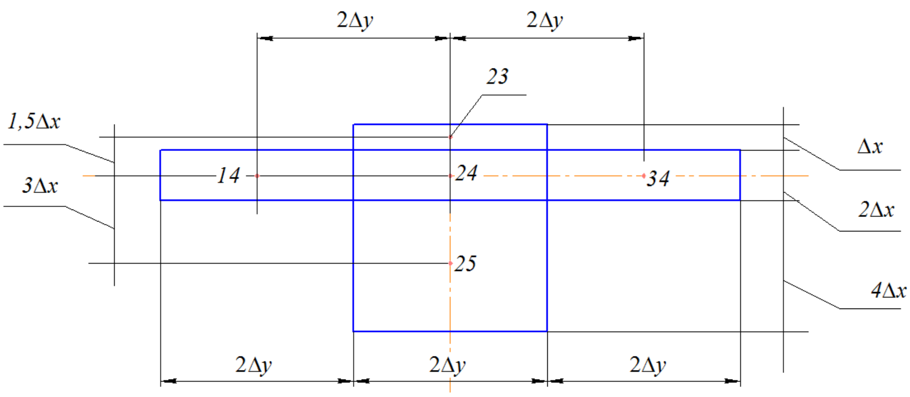

Рис. 2 – Схема типового внутрішнього і сусідніх вузлів усередині слябу

Баланс енергії для вузла 24 записуємо у вигляді

$$q_{23\to24} + q_{34\to24} + q_{35\to24} + q_{14\to24} + q_G + \\ +q_{w,25\to24} = \frac{\partial U'_{24}}{\partial \tau}, \quad (2)$$

де U'_{24} – внутрішня енергія у вузлі 24;
q_G – тепловиділення у виділеному об'ємі;

$$q_G = q_v \times V; \quad (3)$$

V – об'єм элементарного вузла;

$$V_{24} = 2\Delta x \times 2y \times \Delta z \quad (4)$$

q_v – інтенсивність тепловиділення на одиницю об'єму;

Δz – товщина елементарного об'єму по нормалі до площини креслення;

q_w – швидкість переносу тепла при деформуванні металу;

$$q_w = q'_w \times V; \quad (5)$$

q'_w – швидкість зміни внутрішньої енергії матеріалу на одиницю об'єму;

$$q'_w = \frac{c \times \rho \times U \times T}{\Delta x_{i\pm1}} \qquad (6)$$

де $\Delta x_{i\pm1}$ – відстань між вузлом 24 і вузлами, розташованими над вузлом 24 (i-1), а також під вузлом 24 (i+1).

Зміну внутрішньої енергії у вузлі представляємо у вигляді

$$\frac{\partial U_{24}}{\partial \tau} \approx m \times c \frac{\Delta T_{24}}{\Delta \tau} = c \times \rho \times 2\Delta x \times 2\Delta y \times$$

$$\times \Delta z \frac{T_{24,\tau+\Delta\tau} - T_{24,\tau}}{\Delta\tau}, \qquad (7)$$

де m – маса виділеного об'єму;

ρ – питома вага;

c – теплоємкість;

ΔT_{24} – підвищення температури у вузлі (за час $\Delta\tau$);

$\Delta\tau$ – розрахунковий час;

$T_{24,\tau}$ – температура (початкова) у вузлі (у час τ);

$T_{24,\tau+\Delta\tau}$ – температура у вузлі через час $\Delta\tau$.

Змінюючи складові теплового потоку кінцево-від'ємною апроксимацією Фур'є, та враховуючи залежності (2)-(7) запишемо рівняння (2) у виді

$$\lambda \times 2\Delta y \times \Delta z \frac{T_{23,\tau} - T_{24,\tau}}{1{,}5\Delta x} + \lambda \times 2\Delta x \times \Delta z \frac{T_{34,\tau} - T_{24,\tau}}{2\Delta y} + \lambda \times 2\Delta y \times \Delta z \frac{T_{25,\tau} - T_{24,\tau}}{3\Delta x} + + \lambda \times 2\Delta x \times \Delta z \frac{T_{14,\tau} - T_{24,\tau}}{2\Delta y} +$$

$$q_v \times 2\Delta x \times 2\Delta y \times \Delta z + \frac{c \times \rho \times U(T_{23,\tau} - T_{24,\tau}) 2\Delta x \times 2\Delta y \times \Delta z}{1{,}5\Delta x} + \frac{c \times \rho \times U(T_{25,\tau} - T_{24,\tau}) 2\Delta x \times 2\Delta y \times \Delta z}{3\Delta x} = c \times \rho \times 2\Delta x \times 2\Delta y \times$$

$$\times \Delta z \frac{T_{24,\tau+\Delta\tau} - T_{24,\tau}}{\Delta\tau}. \qquad (8)$$

Розділимо праву і ліву частини рівняння (8) на $c \times \rho \times 2\Delta x \times 2\Delta y \times \Delta z$ і помножимо на $\Delta\tau$.

Поділивши товщину листа на 2 (вісесиметрична задача) і отриманий результат на 50, визначимо розмір Δx у мм.

Поділивши ширину листа на 2 (вісесиметрична задача) і отриманий результат на 11, визначимо розмір Δy у мм.

Визначимо безрозмірний коефіцієнт А.

$$A = \frac{\Delta y}{\Delta x}. \qquad (9)$$

Звідки

$$\Delta y = A \times \Delta x. \qquad (10)$$

Оскільки половина товщини листа розділена на 50 (уся товщина листа на 100 Δx), то ми маємо значення Δx такі, які потребують дуже малих кроків по простору $\Delta\tau$ для забезпечення стійкості рішення.

Внаслідок малого часу рішення $\Delta\tau$ маємо змогу перейти від нелінійної задачі до лінеаризованої. Приймаємо, що за час рішення $\Delta\tau$ – λ, c, та ρ – незмінні і підставляються з урахуванням початкової температури вузла.

Враховуючи залежність (10), а також те, що $\lambda/(c\rho) = a$, та $(a \times \Delta\tau)/\Delta x^2 = F_0$, після відповідних спрощень рівняння (8) матиме вид

$$T_{24,\tau+\Delta\tau} = \frac{1}{6} F_0 (2T_{23,\tau} + T_{25,\tau}) + (1 - 0{,}5F_0) T_{24.\tau} + \frac{0{,}25F_0}{A^2} (T_{34,\tau} + T_{14,\tau} - 2T_{24,\tau}) + \frac{q_v \Delta\tau}{c\rho} + + \frac{U\Delta\tau}{3\Delta x} (2T_{23,\tau} + T_{25,\tau} - 3T_{24,\tau}) \qquad (11)$$

Проаналізуємо отримане рівняння (11). При товщині слябу 150 мм і ширині 1650 мм, Δx=1,5 мм, а Δy=75 мм. Безрозмірний коефіцієнт у залежності (8) A=75/1,5=50. При підстановці в рівняння (11) цього значення отримуємо

$$T_{24,\tau+\Delta\tau} = 0{,}1666 F_0 (2T_{23,\tau} + T_{25,\tau})(1 - 0{,}5F_0) T_{24,\tau} + 0{,}0001 F_0 (T_{34,\tau} + T_{14,\tau} - 2T_{24,\tau}) + + \frac{q_v \Delta\tau}{c\rho} + \frac{U\Delta\tau}{3\Delta x} (2T_{23,\tau} + T_{25,\tau} - 3T_{24,\tau}) \qquad (12)$$

Як видно з рівняння (12) третій його член, який враховує зміни температури вузла 24 внаслідок впливу сусідніх по вісі у вузлів, має множник 0,0001. Сума температур $(T_{34,\tau} + T_{14,\tau} - 2T_{24,\tau})$ швидше за все дорівнює нулю, або наближується до нього. Внаслідок цього, третім членом у рівнянні (12) можемо знехтувати, і отримаємо новий вид цього рівняння.

$$T_{24,\tau+\Delta\tau} = 0{,}1666 F_0 (2T_{23,\tau} + T_{25,\tau}) + (1 - 0{,}5F_0) T_{24.\tau} + \frac{q_v \Delta\tau}{c\rho} + \frac{U\Delta\tau}{3\Delta x} (2T_{23,\tau} + T_{25,\tau} - 3T_{24,\tau}) \qquad (13)$$

Складання балансу енергії для кутового вузла (1), представленого на рис.3 і основні позначення подібні до вищенаведених.

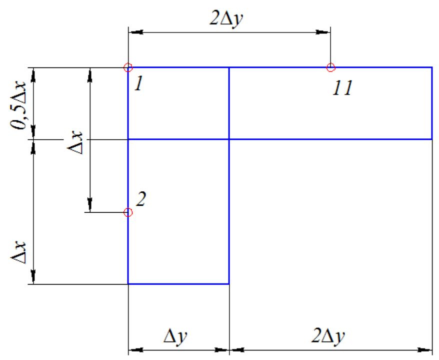

Рис. 3 – Схема поверхневого кутового вузла і сусідніх з ним вузлів

Баланс енергії для вузла (1), записуємо у вигляді

$$q_{2\to1}+q_{11\to i}+q_{a_1}+q_{a_2}+q_G+q_w=\frac{\partial U_1}{\partial\tau}, \quad (14)$$

де q_{a_1} – тепловий потік до вузла 1 від іншого твердого тіла (валка);

q_{a_2} – конвекційний тепловий потік до вузла 1 від оточуючої середи.

Кінцево-від'ємна апроксимація Фур'є рівняння (14) має вигляд

$$\lambda\Delta y\Delta z\frac{T_{2,\tau}-T_{1,\tau}}{\Delta x}+\lambda\frac{\Delta x}{2}\Delta z\frac{T_{11,\tau}-T_{1,\tau}}{2\Delta y}+a_1\Delta y\Delta z\left(T_{B,\tau}-T_{1,\tau}\right)+a_2\frac{\Delta x}{2}\Delta z\left(T_{\infty,\tau}-T_{1,\tau}\right)++q_v\frac{\Delta x}{2}\Delta y\Delta z+\frac{c\rho U\left(T_{2,\tau}-T_{1,\tau}\right)\frac{\Delta x}{2}\Delta y\Delta z}{\Delta x}=c\rho\frac{\Delta x}{2}\Delta y\Delta z\frac{T_{1,\tau+\Delta\tau}-T_{1,\tau}}{\Delta\tau}, \quad (15)$$

де a_1 – коефіцієнт теплопередачі між металом і валком;

T_B – температура валка в момент часу τ ;

a_2 – коефіцієнт тепловіддачі до навколишньої середи;

T_∞ – температура навколишньої середи.

Після спрощень, подібних до тих, що застосували у попередньому прикладі рівняння (15) має вигляд

$$T_{1,\tau+\Delta\tau}=2F_0T_2+\frac{1}{2A^2}F_0T_{11}+\Big(1-\frac{1}{2A^2}F_0-2F_0-2Bi'F_0-\frac{U\Delta\tau}{\Delta x}\Big)T_{1,\tau}+T_{1,\tau+\Delta\tau}=F_0\Big(2Bi'T_{B,\tau}++\frac{1}{A}Bi''T_{\infty,\tau}\Big)+\frac{q_v\Delta\tau}{c\rho}+\frac{U\Delta\tau}{\Delta x}T_{2,\tau}; \quad (16)$$

де $Bi'=\frac{a_1\times\Delta x}{\lambda}$;

$$Bi''=\frac{a_2\times A\times\Delta x}{\lambda};$$

Вузол на бічній поверхні слябу.

Основні розміри типового елементарного вузла (4) і сусідніх з ним представлено на рис.4.

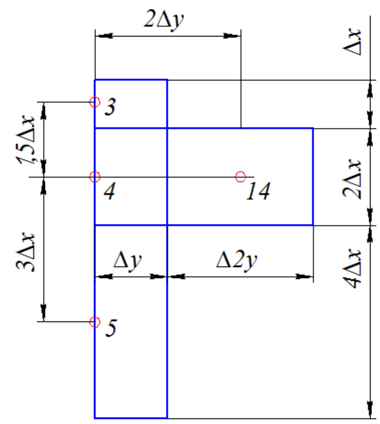

Рис.4 – Схема поверхневого бічного вузла

Рівняння балансу енергії для вузла (4) має вигляд

$$q_{3\to4}+q_{14\to4}+q_{5\to4}+q_{a_2}+q_G+q_{w3\to4}+q_{w5\to4}==\frac{\partial U_4}{\partial\tau}, \quad (17)$$

Члени рівняння (17) можуть бути представлені за допомогою кінцево-від'ємної форми закону Фур'є.

$$\lambda\Delta y\Delta z\frac{T_{3,\tau}-T_{4,\tau}}{1{,}5\Delta x}+2\Delta x\Delta z\frac{T_{14,\tau}-T_{4,\tau}}{2\Delta y}+\lambda\Delta y\Delta z\frac{T_{5,\tau}-T_{4,\tau}}{3\Delta x}++a_2 2\Delta x\Delta z\left(T_{\infty,\tau}-T_{4,\tau}\right)++q_v 2\Delta x\Delta y\Delta z++\frac{c\rho U\left(T_{3,\tau}-T_{4,\tau}\right)\times2\Delta x\Delta y\Delta z}{1{,}5\Delta x}+\frac{c\rho U\left(T_{5,\tau}-T_{4,\tau}\right)\times2\Delta x\Delta y\Delta z}{3\Delta x}=c\rho\times\times2\Delta x\Delta y\Delta z\frac{T_{4,\tau+\Delta\tau}-T_{4,\tau}}{\Delta\tau} \quad (18)$$

Після спрощень рівняння (18) має вигляд

$$T_{4,\tau+\Delta\tau}=F_0\left(\frac{1}{3}T_{3,\tau}+\frac{1}{2A^2}T_{14,\tau}+\frac{1}{6}T_{5,\tau}\right)+\Big(1-\frac{F_0}{2}-\frac{F_0}{2A^2}-\frac{F_0}{A}Bi''-\frac{U\Delta\tau}{\Delta x}\Big)T_{4,\tau}++\frac{q_v\Delta\tau}{c\rho}+\frac{U\Delta\tau}{3\Delta x}\left(2T_{3,\tau}+T_{5,\tau}\right) \quad (19)$$

Кінцево-від'ємні рівняння для визначення температури у вузлах сітки (рис.1) виведені з рівнянь балансу енергії для відповідних вузлів, після спрощень мають вигляд:

для вузла 10

$$T_{10,\tau+\Delta\tau}=F_0\left(\frac{T_{9,\tau}}{63{,}25}+\frac{T_{20,\tau}}{11A^2}\right)+\Big(1-\frac{F_0}{63{,}25}--\frac{F_0}{11A^2}\Big)T_{10,\tau}+\frac{q_v\Delta\tau}{c\rho}+\frac{U\Delta\tau}{11{,}5\Delta x}; \quad (20)$$

для вузла 21

$$T_{21,\tau+\Delta\tau}=2F_0\left(T_{22,\tau}+Bi'\times T_{B,\tau}\right)+\Big(1-2F_0--\frac{0{,}5F_0}{A^2}-2Bi'F_0-\frac{U\Delta\tau}{\Delta x}\Big)T_{21,\tau}+\frac{0{,}25F_0}{A^2}\left(T_{11,\tau}+T_{31,\tau}\right)++\frac{q_v\Delta\tau}{c\rho}+\frac{U\Delta\tau\times T_{22,\tau}}{\Delta x}; \quad (21)$$

для вузла 30

$$T_{30,\tau+\Delta\tau}=0{,}0158F_0\times T_{29,\tau}+\Big(1-0{,}0158F_0--\frac{0{,}25F_0}{A^2}-\frac{0{,}087U\Delta\tau}{\Delta x}\Big)T_{30,\tau}+\frac{\Delta\tau}{c\rho}+\frac{0{,}087\times U\Delta\tau\times T_{29,\tau}}{\Delta x} \quad (22)$$

Усі інші кінцево-від'ємні рівняння для вузлів сітки, представленої на рис.1 виводяться подібним чином.

Аналізуючи наведенні рівняння (16), (19–22), бачимо, що у всіх цих рівняннях присутні члени, які враховують зміни температури вузла внаслідок впливу сусідніх по вісі *y* вузлів з безрозмірним коефіцієнтом A^2. Використовуючи підхід, застосований для аналізу рівняння (11), має змогу зробити висновок, що і для інших вузлів сітки (рис. 1) зміною температури вузла внаслідок передачі, чи втрати тепла по вісі y за рахунок теплопровідності можемо нехтувати.

Цей висновок припустимий у разі, якщо на поверхні металу вздовж вісі y коефіцієнти теплопередачі до валків і коефіцієнт тепловіддачі до води або навколишньої середи – однакові. У такому разі задача спрощується і відпадає необхідність вирішувати тривимірну задачу.

Висновки. 1. Встановлено, що для дослідження процесів теплообміну полоси і валків, а також валків з водою під час прокатки найбільш ефективним є метод математичного моделювання. Для рішення теплофізичних задач теплообміну системи валок – полоса, що описуються рівняннями нестаціонарної теплопровідності, найбільш ефективним є вибраний метод кінцевих від’ємностей.

2. У прямокутної системі координат виконаний поділ слябів, з яких прокатується гарячекатаний лист, умовною сіткою з нерівномірним кроком по простору. Для характерних вузлів сітки складені кінцево-від’ємні рівняння балансу енергії, які після апроксимації та спрощень дозволили отримати рівняння для визначення температури для усіх вузлів умовної сітки.

3. Виконані дослідження є основою для подальших розрахунків та вирішення нелінійних задач, що описуються рівняннями нестаціонарної теплопровідності, зокрема задач теплового стану системи валок – полоса при прокатці тонких полос.

Список літератури: 1. *De Paepe, Simon P., Moerkerke I., Hermann J.C.* Control of the temperature of the bar on entry to the finisher // ECSC STEEL RTD PROGRAMME. – 2000. – P. 1–9. 2. *Trishevskii O.I., Saltavets N.V.* Mathematical model of the thermal state of strip in rolling // Steel in translation 2009 – №2 – Vol 39 – P.42–44. Allerton Press Inc. 3. *Тришевский О. И., Салтавец Н. В.* Разработка математической модели теплового состояния валков при прокатке // Сталь 2011 – №12 – С.22–23. 4. *Коздоба Л.А.* лектрическое моделирование явлений тепло- и массопереноса// М.:Энергия. – 1972. – 296 с. 5. *Кузьмин М.П.* Электрическое моделирование явлений нестационарных процессов теплообмена. // М. Энергия. – 1974 – 416 с. 6. *Тришевский О.И., Салтавец Н.В.* Математическая модель теплового состояния системы валок-полоса и её использование при реконструкции станов горячей прокатки. // Сборник научных трудов «Обработка металлов давлением» №2(23) Краматорск, 2010. С.53–59. 7.*Крейт Ф., Блэк У.* Основы теплопередачи. // М.: Мир. –1983. – 512 с.

Bibliography (transliterated) 1. De Paepe, et al. «Control of the temperature of the bar on entry to the finisher» *ECSC STEEL RTD PROGRAMME*. 2000. 1–9. Print. 2. Trishevskii, O.I., and N.V. Saltavets. «Mathematical model of the thermal state of strip in rolling» *Steel in translation. Allerton Press Inc.* No. 2. Vol. 39. 2009. 42–44. Print. 3. Trishevskij, O. I., and N. V. Saltavec. «Razrabotka matematicheskoj modeli teplovogo sostojanija valkov pri prokatke» *Stal,* No.12. 2011. 22–23. Print. 4. Kozdoba, L.A. *Jelektricheskoe modelirovanie javlenij teplo- i massoperenosa*. Moscow: Jenergija, 1972. Print. 5. Kuz'min, M.P. *Jelektricheskoe modelirovanie javlenij nestacionarnyh processov teploobmena*. Moscow: Jenergija, 1974. Print. 6. Trishevskij, O.I. and N.V. Saltavec. «Matematicheskaja model' teplovogo sostojanija sistemy valok-polosa i ejo ispol'zovanie pri rekonstrukcii stanov gorjachej prokatki.» *Sbornik nauchnyh trudov* «*Obrabotka metallov davleniem.*» No.2 (23). Kramatorsk: 2010. 53–59. Print. 7. Krejt, F., and U. Bljek. *Osnovy teploperedachi*. Moscow: Mir, 1983.Print.

Надійшла (received) 25.10.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Тришевський Олег Ігорович, доктор технічних наук, професор, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім.Петра Василенка, завідувач кафедри «Технологія матеріалів», тел. 050-407-26-11, E-mail: 3shev@ukr.net.

Салтавець Микола Вільямович, Харківський національний технічний університет сільського господарства ім.Петра Василенка, інженер, тел. 7-164-153.

Trishevskiy Oleh Igorovich, doctor of engineerings sciences, professor, Kharkiv national technical university of agriculture, the name of Petro Vasilenko, manager of department «Technology of materials», tel., 407-26-11, E-mail: 3shev@ukr.net.

Saltavec' Nikolay Vil'yamovich, Kharkiv national technical university of agriculture the name of Petro Vasilenko, engineer, tel. 164-153.