

DOI: 10.32347/2786-7269.2024.10.358-364

УДК 504.06:552.11:697.7

д.т.н., професор **Корбут В.П.**,
predsedatel@emw.kiev.ua, ORCID: 0000-0002-0831-2477,
к.т.н., доцент **Рибачов С.Г.**,
9599770@i.ua, ORCID: 0000-0002-0093-9750,
Київський національний університет будівництва і архітектури

ВПЛИВ ВИСОТИ БОРТІВ ПРОМИСЛОВОЇ ВАННИ З НАГРІТОЮ РІДИНОЮ НА ПАРАМЕТРИ КОНВЕКТИВНОГО ПОТОКУ

Для дослідження повітряно-струминної огорожі над дзеркалом рідини та проектування систем локальної витяжної вентиляції для гальванічних цехів пропонується використовувати теплові моделі, які замінюють джерела шкідливих випаровувань до еквівалентних тепловіддаючих поверхонь. Основна мета такого підходу — визначити параметри теплового потоку, що утворюється над джерелами з боковими огороженнями.

При визначенні реальних теплових надходжень від джерел тепла застосовуються умови автотемпературності процесів відповідно до принципів теплового моделювання. Це передбачає масштабування характеристик конвективних потоків (Q — тепловий потік, t — температура, v — швидкість) відповідно до коефіцієнтів моделювання. Додатково враховується співвідношення між конвективною і променевою складовими теплообміну.

У виробничих умовах нанесення покриттів часто проводиться за інтенсивних режимів, що включають високі густини струму та підвищену температуру електроліту. Ці фактори значно посилюють випаровування шкідливих речовин із поверхні рідини, що створює додаткові вимоги до вентиляційних систем для захисту робітників і зменшення забруднення довкілля.

Також вивчається вплив висоти бокових огорожень ванн на утворення та розвиток конвективних потоків, які формуються над плоскими тепловими поверхнями. Це дозволяє оптимізувати вентиляційні системи для підвищення ефективності локального видалення шкідливих речовин та зменшення енергетичних витрат.

Отримані основні закономірності розвитку конвективних потоків при різних геометричних характеристиках промислових ванн для розробки ефективних методів локалізації шкідливостей динамічними екранами.

Ключові слова: конвективні потоки; надлишкова температура; нагріта поверхня; автотемпературність процесів; динамічні екрани.

Формулювання цілей статті.

Для розрахунку повітряного екрану та розробки систем місцевої витяжної вентиляції гальванічних цехів пропонується застосовувати теплові моделі, які передбачають заміну джерела шкідливих випаровувань еквівалентними тепловіддаючими поверхнями. При цьому необхідно визначити параметри теплового потоку над поверхнею джерела, що має бокові огороження. При визначенні фактичних теплових надходжень від теплових джерел виконані умови автомодельності процесів згідно теорії теплового моделювання. Тобто фактичні характеристики конвективних потоків (Q, t, v) визначались згідно масштабів моделювання (C_L, C_Q, C_{tt}, C_v) [1] з врахуванням співвідношення конвективної і променевої складової теплообміну.

Розглянуто вплив висоти бокових огорожень ванни на формування, розвиток та параметри конвективних потоків від горизонтальних плоских теплових джерел.

Постановка проблеми.

В гальванічних ваннах висока температура електроліту як правило позитивно впливає на процес формування покриття деталей. При її зростанні збільшується швидкість дифузії іонів, що дозволяє проводити процес при вищих густинах струму. У той же час вплив підвищеної температури призводить до зниження перенапруги і сприяє утворенню великокристалічної структури, що знижує якість покриття [4-7]. На практиці нанесення електрохімічних покриттів в ваннах проводиться при інтенсивних режимах: високі густинах струму та при підвищеній температурі електроліту. Такі умови значно інтенсифікують випаровування шкідливостей з поверхні дзеркала рідини.

Аналіз досліджень та публікацій.

Для зменшення кількості тепла і випарів з поверхні, як правило, влаштовують бортові відсмоктувачі в огороженнях ванн вище дзеркала електроліта, що призводить до деформації конвективного потоку над нагрітою поверхнею. Попередні дослідження показали, що наявність вертикальних конструкцій чи огороження навколо джерела тепла істотно впливає розподіл надлишкових температур і швидкостей в конвективному потоці.

Основна частина.

Проведено додаткові експериментальні дослідження для з'ясування впливу розташування горизонтально нагрітої поверхні на розподіл видкості та надлишкової теплоти в конвективному повітрі. В якості джерела теплоти використовувався нагрівач з розмірами 1,2 x 0,6, виконаний з текстолітових пластин товщиною 1 мм з нарізаними доріжками для створення нагрівального елемента.

Температури на горизонтальній поверхні джерела вимірювалися за допомогою інфрачервоного термометра ThermoPro TP450. Температура поверхонь коливалася в межах від 60 до 90 °С. Різниця температур у різних точках поверхні становила приблизно 7 %. Всі дослідження виконувались в умовах автотурбулентності процесів розвитку турбулентних конвективних потоків при $Gr \cdot Pr \geq 2 \cdot 10^6$.

Швидкість у потоці вимірювалася за загальноприйнятою методикою за допомогою електронного термоанемометра типу Testo 425, що має температурний компенсаційний пристрій. Одночасно із вимірами швидкості проводився і замір температур повітря в потоці. В процесі дослідів змінювалася висота бортів і теплова потужність горизонтальної поверхні джерела теплоти. Згідно планування експерименту проводилися п'ятикратні виміри швидкостей і температур. Оцінка точності експерименту показала, що при визначенні розрахункового значення швидкості як середнього арифметичного п'яти однотипних вимірів, її похибка не перевищувала 16 - 18 %. Вимірювання проводили в межах початкової ділянки $z/d_e = 0,5 \dots 2,5$ (де z - відстань від горизонтальної поверхні джерела до перерізу, що розглядається, d_e - еквівалентний діаметр джерела тепла).

Кількість конвективного теплоти визначалося по формулі:

$$Q_k = \alpha_k \cdot F_{дж} \cdot \Delta t_n \quad (1)$$

де $F_{дж}$ - площа поверхні тепловіддачі, м²;

$\Delta t_n = t_n - t_b$ - температурний напір, °С;

t_n - температура нагрітої поверхні, °С;

t_b - температура навколишнього повітря, °С;

α_k - коефіцієнт тепловіддачі конвекцією, величина якого визначається з відомого критеріального рівняння [1]:

для горизонтальної поверхні

$$Nu = 0,1755 \cdot (Gr \cdot Pr)^{1/3} \quad (2)$$

На рис. 1 представлені результати вимірів осьових швидкостей та надлишкових температур конвективного потоку над плоским джерелом теплоти при різних заглибленнях його горизонтальної поверхні ($h^{заг}$).

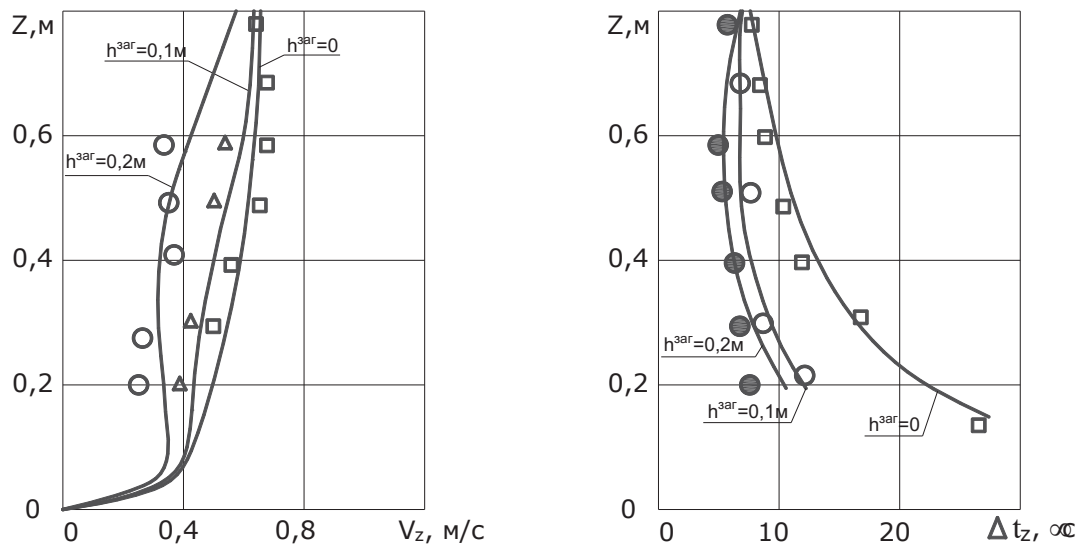


Рис. 1. Значення осьових швидкостей та надлишкових температур конвективного потоку над плоским джерелом

При цьому вертикальні огороження ванни над плоским джерелом теплоти були ізотермічними. З рисунка видно, що заглиблення горизонтальної поверхні при тій же кількості конвективного теплоти призводить до зменшення осьової швидкості і надлишкової температури в початковій ділянці конвективного потоку. При цьому профілі швидкостей та надлишкових температур по висоті вирівнюються.

Для досліджених областей $0 \leq z/d_e \leq 2,5$ отримані поправочні коефіцієнти на швидкість та надлишкову температуру:

$$\varphi_v = 1 + (0,076 - 1,176\bar{h})Z + (0,038 + 0,31\bar{h})Z^2 \quad (3)$$

$$\varphi_{\Delta t} = (0,058 - 0,087\bar{h})Z^2 - (0,04 + 0,265\bar{h})Z - 0,05\bar{h} + 0,58 \quad (4)$$

На рис. 2 наведені криві φ_v та $\varphi_{\Delta t}$. обчислені за залежністю (3) та (4),

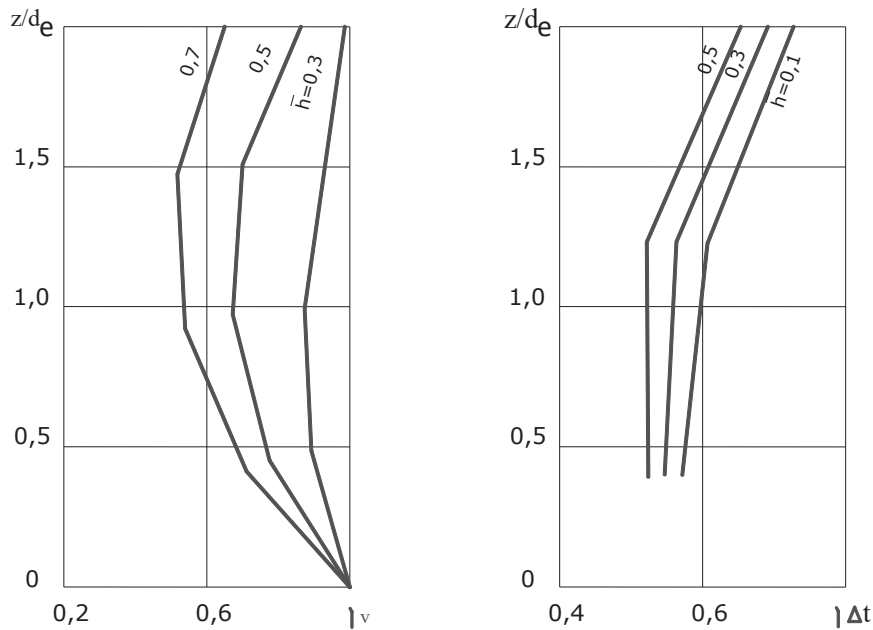


Рис. 2. Розподіл поправочних коефіцієнтів φ_{ϑ} та $\varphi_{\Delta t}$

Таким чином, швидкість та надлишкова температура на осі конвективного потоку над джерелом тепла, що знаходиться в заглибленні визначаються за формулами:

$$\vartheta_z^{\text{зар}} = \vartheta_z \cdot \varphi_{\vartheta} \quad (5)$$

$$\Delta t_z^{\text{зар}} = \Delta t_z \cdot \varphi_{\Delta t} \quad (6)$$

де осьова швидкість потоку над заглибленим джерелом тепла:

$$\vartheta_z = 0,06 \cdot Q_K^{1/3} \cdot d_e^{-1/3} \left(\frac{z}{d_e} \right)^{0,2} \quad (7)$$

надлишкова температура по осі струмینی:

$$\Delta t_z = 0,07 \cdot Q_K^{2/3} \cdot d_e^{-5/3} \left(\frac{z}{d_e} \right)^{-0,7} \quad (8)$$

$\bar{h} = \frac{h^{\text{зар}}}{d_e}$ - відносна висота заглиблення горизонтальної поверхні до джерела тепла;

Висновки.

Отримані основні закономірності розвитку конвективних потоків при різних геометричних характеристиках промислових ванн для розробки ефективних методів локалізації шкідливостей динамічними екранами.

Використані джерела

1. В.П. Корбут Природна турбулентна конвекція між вертикальними тепловіддавальними поверхнями. Київ Наукова думка. – 1996 р.
2. В.П. Корбут, С.Г. Рыбачов Удосконалення пристроїв повітряноструминного огороження відкритої поверхні великорозмірних ванн // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. - 2014. - Вип. 17. - С. 26-31.
3. Довгалюк В.Б. Формування та розвиток конвективних потоків біля теплових джерел промислових цехів / В.Б. Довгалюк // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб. / Київ. нац. ун-т буд. і арх.; відп. ред. Худенко А.А. - Київ : КНУБА, 2001. - Вип. 1. - С. 43-57.
4. Кутий О.І. Гальванотехніка. Львів: Видавництво Нац. Ун-у «Львівська політехніка», 2004. 236 с.
5. Nitin Kardekar, Dr. Bhojwani V.K., Dr. Sane N.K. Numerical analysis of air flow velocity streamlines of air curtains // International journal of mechanical engineering and technology (IJMET). 2013. Volume 4, Issue 5, September-October, P. 150-155.
6. Lappa M. Thermal Convection: Patterns, Evolution and Stability. – Wiley, United Kingdom, 2010. – 670 p.
7. Shur M., Spalart P.R., Strelets M., Travin A. Detached-Eddy Simulation of an airfoil at high angle of attack // Engineering Turbulence Modelling and Experiments. – 1999. – Vol. 4. – P. 669-678.

Doctor of Technical Sciences, Professor **Korbut Vadum**,
Candidate of technical science, associate Professor **Rybachov Serhii**,
Kyiv National University of Construction and Architecture

**THE EFFECT OF THE HEIGHT OF THE SIDES
OF AN INDUSTRIAL BATH WITH A HEATED LIQUID
ON THE PARAMETERS OF THE CONVECTIVE FLOW.**

To study the air-jet fence above the liquid mirror and design local exhaust ventilation systems for electroplating shops, it is proposed to use thermal models that replace sources of harmful vapors with equivalent heat-dissipating surfaces. The main goal of this approach is to determine the parameters of the heat flow formed above sources with side fences.

When determining the real heat input from heat sources, the conditions of self-similarity of processes are applied in accordance with the principles of thermal modeling. This involves scaling the characteristics of convective flows (Q - heat flow, t - temperature, v - velocity) in accordance with the modeling coefficients.

Additionally, the ratio between the convective and radiative components of heat transfer is taken into account.

In production conditions, coating is often applied under intensive conditions, including high current densities and elevated electrolyte temperatures. These factors significantly enhance the evaporation of harmful substances from the surface of the liquid, which creates additional requirements for ventilation systems to protect workers and reduce environmental pollution.

The influence of the height of the side walls of the baths on the formation and development of convective flows that are formed over flat thermal surfaces is also studied. This allows optimizing ventilation systems to increase the efficiency of local removal of harmful substances and reduce energy costs.

The main patterns of the development of convective flows with different geometric characteristics of industrial baths are obtained for the development of effective methods for localizing harmful substances using dynamic screens.

Key words: convective flows; excess temperature; heated surface; self-similarity of processes; dynamic screens

REFERENCE

1. V.P. Korbut Pryrodna turbulentna konvektsiia mizh vertykalnymy teploviddavalnymy poverkhniamy. Kyiv Naukova dumka. – 1996 r. {in Ukrainian}
2. V.P. Korbut, S.H. Rybachov Udoskonalennia prystroiv povitrianostrumynnoho ohorodzhennia vidkrytoi poverkhni velykorozmirnykh vann // Ventyliatsiia, osvittennia ta teplohazopostachannia. - 2014. - Vyp. 17. - S. 26-31. {in Ukrainian}
3. Dovhaliuk V.B. Formuvannia ta rozvytok konvektyvnykh potokiv bilia teplovykh dzherel promyslovykh tsekhiv / V.B. Dovhaliuk // Ventyliatsiia, osvittennia ta teplohazopostachannia: nauk.-tekhn. zb. / Kyiv. nats. un-t bud. i arkh.; vidp. red. Khudenko A.A. - Kyiv: KNUBA, 2001. - Vyp. 1. - S. 43-57. {in Ukrainian}
4. Kutyi O.I. Halvanotekhnika. Lviv: Vydavnytstvo Nats. Un-u «Lvivska politekhnika», 2004. 236 s. {in Ukrainian}
5. Nitin Kardekar, Dr. Bhojwani V.K., Dr. Sane N.K. Numerical analysis of air flow velocity streamlines of air curtains // International journal of mechanical engineering and technology (IJMET). 2013. Volume 4, Issue 5, September-October, P. 150-155. {in English}
6. Lappa M. Thermal Convection: Patterns, Evolution and Stability. – Wiley, United Kingdom, 2010. – 670 p. {in English}
7. Shur M., Spalart P.R., Strelets M., Travin A. Detached-Eddy Simulation of an airfoil at high angle of attack // Engineering Turbulence Modelling and Experiments. – 1999. – Vol. 4. – P. 669-678. {in English}