

УДК 697.92

## Удосконалення пристроїв повітряно-струминного огородження відкритої поверхні великорозмірних ванн

В. П. Корбут<sup>1</sup>, С. Г. Рибачов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., професор, Київський національний університет будівництва і архітектури

<sup>2</sup>асистент, Київський національний університет будівництва і архітектури

*Наведені результати математичного опису дворівневого бортового відсмоктувача для локалізації та видалення шкідливостей від відкритих поверхонь великорозмірних промислових ванн.*

*Ключові слова: бортовий відсмоктувач; дворівневий; розподіл концентрації.*

**Вступ.** Для локалізації та видалення шкідливостей від відкритих поверхонь промислових ванн використовують місцеві відсмоктувачі різних типів – бортові, кільцеві, активовані припливною струминою. Якщо промислова ванна використовується для обробки великогабаритних виробів і має значні розміри (більше 3 м) традиційні способи і конструкції для видалення шкідливостей є недостатньо ефективними. Зростання швидкості припливної активуючої струмени (внаслідок значної відстані) викликає утворення хвиль на відкритій поверхні ванн тим самим збільшуючи тепломасообмін відкритої поверхні рідини з навколишнім середовищем. Це сприяє переносу шкідливостей в об'єм приміщення.

З метою підвищення ефективності роботи місцевого відсмоктувача і зниження перенесення шкідливостей від відкритої поверхні до повітря приміщення була запропонована конструкція дворівневого місцевого відсмоктувача представлена на рис. 1б.

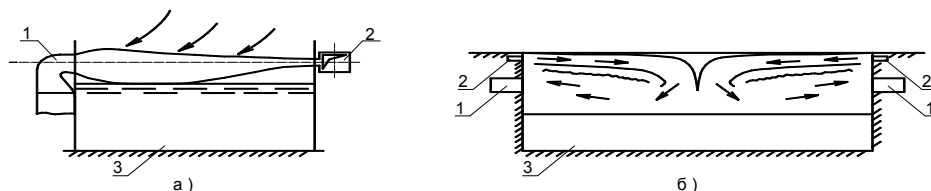


Рис. 1. Місцевий відсмоктувач:

а) однобортовий активований припливною струминою; б) дворівневий;  
1- всмоктуючий патрубок, 2 – припливний патрубок, 3 – рівень рідини в ванні.

На двох протилежних сторонах ванни встановлені витяжні бортові відсмоктувачі 1. Над ними розташовані припливні патрубки 2. Припливна струмина повинна досягти середини ванни, розвернутися, настелитися на поверхню рідини і потрапити до витяжного отвору.

При цьому буде існувати подвійне перекриття поверхні рідини зворотним потоком і плоскою припливною струминою. Швидкості руху повітря у зворотному потоці будуть меншими, ніж в традиційній схемі однобортного відсмоктування активованого припливною струминою (рис.1а). Витрати припливного і витяжного повітря мають бути визначені так, щоб струмина досягла середини ванни і розверталася у зворотному напрямку.

Для визначення ефективної роботи дворівневого бортового відсмоктувача, а також для вибору оптимального співвідношення витяжного і припливного повітря було розроблено математичну модель процесу і розрахунку.

Умовно приймається, що течія плоскопаралельна і двовірвна, тобто складова швидкості  $W_z$  дорівнює нулю, а складова  $u$  і  $v$ , а також тиск  $P$  і температура  $T$  не залежать від координати  $Z$ . При таких умовах система нестационарних рівнянь руху запишеться у вигляді:

$$\frac{du}{d\tau} + u \frac{du}{dx} + v \frac{du}{dy} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dP}{dx} + \gamma \left( \frac{d^2u}{dx^2} + \frac{d^2u}{dy^2} \right) \quad (1)$$

$$\frac{dv}{d\tau} + u \frac{dv}{dx} + v \frac{dv}{dy} = -\frac{1}{\rho} \cdot \frac{dP}{dy} + \gamma \left( \frac{d^2v}{dx^2} + \frac{d^2v}{dy^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} = 0, \quad (3)$$

де  $u$  і  $v$  – складові швидкості вздовж осей  $OX$  та  $OY$  відповідно;  $X$ ,  $Y$  – координати;  $\tau$  – час, год;  $\rho$  – густина,  $\text{кг/м}^3$ ;  $P$  – тиск, Па;  $\gamma$  – коефіцієнт кінематичної вязкості.

Система рівнянь збереження імпульсів представлена без урахування природної конвекції.

Рівняння теплопереносу в просторі над ванною має вид:

$$\frac{dT}{d\tau} + u \frac{dT}{dx} + v \frac{dT}{dy} = a \left( \frac{d^2T}{dx^2} + \frac{d^2T}{dy^2} \right), \quad (4)$$

де  $a$  – коефіцієнт температуропровідності.

Слід розглянути граничні умови для системи рівнянь. На поверхні рідини швидкості  $u$  і  $v$  приймаються рівними нулю, а температура повітря відповідає температурі поверхні рідини.

На осі симетрії ( $x=L$  де  $L$  – половина ширини ванни) виконуються умови:

$$u = 0, \quad \frac{dP}{dx} = 0, \quad \frac{dv}{dx} = 0, \quad \frac{dT}{dx} = 0.$$

На значному віддаленні від поверхні ванни ( $Y \rightarrow \infty$ ) приймаються умови виду:

$$P \rightarrow P_{\text{ат}}, \quad u \rightarrow 0, \quad \frac{dT}{dy_{Y \rightarrow \infty}} \rightarrow 0,$$

де  $P_{\text{ат}}$  – атмосферний тиск, Па.

На лівій межі області ( $X = 0$ ) умови будуть неоднорідними. Швидкості  $U$  і  $v$  на поверхні вертикальної стінки ванни дорівнюють нулю внаслідок налипання. На ділянці входження захисної струмини вектор швидкості направлений вздовж горизонтальної осі  $OX$ . Величина швидкості нагнітання вважається заданою

$v_{x<0} = v_{\text{наг}}$ , а її вертикальна складова дорівнює нулю. Аналогічні умови в області повітровідвідної щілини:  $v = 0, u = -v_{\text{відв}}$ . Вище вертикальної стінки ванни умови невідомі. Однак можна спрогнозувати, що вертикальна складова швидкості  $v$  на цій ділянці також дорівнює нулю, а тиск дорівнює атмосферному  $P_{\text{ат}}$ . Такі умови повинні виконуватися при  $X \rightarrow -\infty$  хоча в першому наближенні їх можна перенести на площину  $X = 0$ . Величина горизонтальної складової швидкості  $u$  в області вище стінки невідома і повинна бути знайдена при вирішенні задачі. Температурні умови на стінці відомі лише в області щілини нагнітання повітря  $T = T_{\text{нагн}}$ . На всіх решта ділянках вертикальної площини  $X = 0$  можна припустити відсутність градієнта температури в напрямі осі ОХ. Разом з тим, якщо потік повітря в просторі вище стінки спрямований до ванни з навколишнього середовища то температура цього потоку буде дорівнювати температурі навколишнього середовища.

Таким чином граничні умови при  $X = 0$  можливо сформулювати таким чином:

$$X = 0$$

$$0 \leq Y \leq h_{\text{відсм}}^{\text{min}}, \quad u = 0, \quad v = 0, \quad \frac{dT}{dx} = 0$$

$$h_{\text{відсм}}^{\text{min}} \leq Y \leq h_{\text{відсм}}^{\text{max}}, \quad u = -v_{\text{відв}}, \quad v = 0, \quad \frac{dT}{dx} = 0$$

$$h_{\text{відсм}}^{\text{max}} \leq Y \leq h_{\text{наг}}^{\text{min}}, \quad u = 0, \quad v = 0, \quad \frac{dT}{dx} = 0$$

$$h_{\text{наг}}^{\text{min}} \leq Y \leq h_{\text{наг}}^{\text{max}}, \quad u = v_{\text{наг}}, \quad v = 0, \quad T = T_{\text{нагн}}$$

$$h_{\text{наг}}^{\text{max}} \leq Y \leq h_{\text{ст}}, \quad u = 0, \quad v = 0, \quad \frac{dT}{dx} = 0$$

$$h_{\text{ст}} \leq Y \leq \infty, \quad P = P_{\text{ат}}, \quad v = 0, \quad \frac{dT}{dx} = 0 (u < 0); \quad T = T_{\text{навк}} (u > 0)$$

де  $h_{\text{ст}}$  – висота вертикальної стінки ванни;  $h_{\text{наг}}^{\text{min}}, h_{\text{наг}}^{\text{max}}$  – нижня і верхня межа щілини нагнітання;  $h_{\text{відсм}}^{\text{min}}, h_{\text{відсм}}^{\text{max}}$  – нижня і верхня межа щілини відсмоктування.

На ділянці  $0 \leq Y \leq h_{\text{ст}}$  для визначення тиску необхідно вирішити поставлену задачу.

Систему рівнянь (1)-(4) слід вирішувати методом кінцевих різниць.

Для  $i = 1$  отримаємо рівняння такого виду:

$$\vec{P}_{i-1} = X_{i-1}^p \vec{V}_2 + Y_{i-1}^p \vec{V}_2 + \vec{Z}_{i-1}^p \quad (5)$$

$$\vec{V}_{i-1} = X_{i-1}^v \vec{V}_2 + Y_{i-1}^v \vec{V}_2 + \vec{Z}_{i-1}^v \quad (6)$$

$$\vec{U}_{i-1} = X_{i-1}^u \vec{V}_2 + Y_{i-1}^u \vec{V}_2 + \vec{Z}_{i-1}^u \quad (7)$$

Рішення таких векторних рівнянь зводиться до знаходження матриць  $X_i$ ,  $Y_i$ ,  $\vec{Z}_i$ . Такий процес називається прямою матричною прогонкою. Розрахувавши  $X_m$ ,  $Y_m$ ,  $\vec{Z}_m$  повернемося до граничних умов при  $X = 0$ , тобто на вертикальній стінці ванни.

Виконуючи подальший розрахунок поля швидкостей і тисків на К-му кроці в часі, слід задати початкові умови задачі. Оскільки цікавить стаціонарне рішення, початкові умови можуть бути вибрані будь-які. Для монотонної зміни поля швидкості і тиску задачу слід вирішувати в стоксовому

наближенні ( $Re = 0$ ), а потім крок за кроком збільшувати число Рейнольдса до його реальних значень.

Розглянутий метод рішення гідродинамічної задачі називається методом установлення. Слід сказати, що цю задачу можливо вирішити методом ітерацій. Але такий спосіб був би занадто складним і потребує великої кількості спроб, оскільки для великих значень числа  $Re$  нелінійні члени мають більш високий порядок чим в'язкісні члени.

Що стосується рівняння теплопереносу, то його рішення в стаціонарному випадку не складає великої складності при відомому полі швидкостей. Тому вирішувати його потрібно після вирішення динамічної задачі.

Враховуючи симетричність процесів дослідження проводилися для однієї частини ванни. Задача вирішувалась для таких умов:

- половина ширини ванни  $l = 0,4$  м;
- висота стінки ванни  $h_{ст} = 0,11$  м;
- ширина щілини нагнітання  $\delta_n = 0,013$  м;
- ширина відсмоктуючої щілини  $\delta_o = 0,029$  м;
- відстань від поверхні ванни до нижнього рівня щілини нагнітання –  $h_n = 0,053$  м;
- відстань від поверхні ванни до нижнього рівня відсмоктуючої щілини –  $h_b = 0,02$  м;
- швидкість на виході зі щілини нагнітання  $v_m = 1$  м/с;
- швидкість на вході в щілину всмоктування  $v_{відсм} = 0,55 \cdot V_n$ ;
- висота верхньої межі розрахункової області  $h = 0,2$  м.

На рис. 2 показані вектори швидкостей повітряних потоків. Вони являються дотичними до лінії току повітря. Струмина витікає із щілини, розповсюджується над поверхнею ванни, відхиляється вниз і розвернувшись відводиться через відсмоктуючу щілину. Частина потоку, що відводиться через відсмоктуючу щілину потрапляє з навколишнього середовища. В той же час частина потоку, що виходить зі щілини виходить в навколишнє середовище в області осі симетрії.

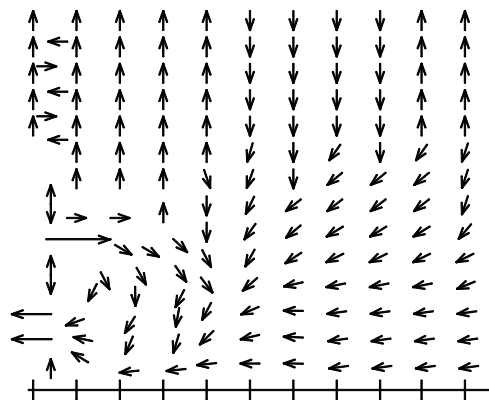


Рис 2 Вектори швидкостей повітряних потоків біля поверхні ванни

Попередні дослідження показали, що захисний пристрій буде працювати найбільш ефективно поблизу стінки ванни. В області осі симетрії ефективність роботи відсмоктуючого пристрою зменшується. Це також підтверджується характером розташування ізотерм в потоці (рис 3), що моделюють ізолінії концентрацій домішок в повітрі над басейном. Безрозмірна температура, яка дорівнює одиниці, відповідає найбільшій концентрації (поверхня басейну), а температура яка дорівнює нулю – концентрація домішок в повітрі, що нагнітається.

Як показує характер розташування ізотерм, концентрації швидше всього розповсюджуються по висоті в області стінки ванни, а повільніше всього по осі симетрії. Поблизу стінки де найбільш інтенсивний повітрообмін безрозмірна температура на верхній межі не перевищує 5% від максимального значення.

Умови витоку струмини приймаються такими, щоб система «струмина-відсмоктувач» була стійка до зовнішніх дій і не допускала прориву шкідливостей.

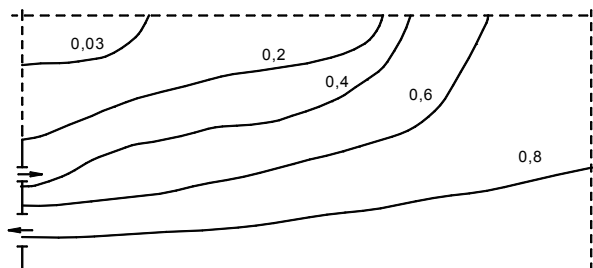


Рис 3. Розподіл ізотерм біля поверхні ванни

**Висновки.** Для перевірки оптимальних геометричних характеристик дворівневого бортового відсмоктувача (мінімальні відстань між отворами та розміри припливних і видаляючих отворів), а також оптимальних мінімальних співвідношень швидкостей і витрат припливного і видаляючого повітря слід провести експериментальні випробування.

### Література

1. *Посохин В.Н.* Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования. – М. 1984. -160с.
2. Патент № 55067 Пристрій для видалення шкідливих виділень. Автори: *Ищенко М. Ю., Корбут В. П., Давиденко Б. В.* Опубліковано 17.03.2003
3. *Талиев В.Н.* Аэродинамика вентиляции. – М : Стройиздат, 1979. – 295 с.
4. *Богословский, В.Н.* Строительная теплофизика Текст.: учеб. для вузов/ *В.Н. Богословский.* - М.: Высш. школа, 1982.-415с.
5. *Лойцянский Л.Г.* Механика жидкости и газов. -М. Наука, 1987, 736 с.
6. *Демидович, Б. П.* Численные методы анализа. Приближенные функции, дифференциальные и интегральные уравнения / *Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалов,* — М.: Физматгиз, 1968.— 368 с.

## **Совершенствование устройств воздушно-струйного ограждения открытой поверхности крупноразмерных ванн**

В. П. Корбут, С. Г. Рыбачов

*Приведены результаты математического описания двухуровневого бортового отсоса для локализации и удаления вредных веществ от открытых поверхностей крупноразмерных промышленных ванн.*

*Ключевые слова: бортовой отсос; двухуровневый; распределение концентрации.*

## **Improvement of air-jet device enclosures exposed surface of large baths**

V. Korbut, S. Rybachov

*The results of the mathematical description of a two-tier board suckers for localization and removal of hazards from exposed surfaces of large industrial tubs is presented.*

*Keywords: board suction; split-level; the distribution of concentration.*

Надійшла в редакцію 9.06.2014 р.