

УДК 697.92

Оцінка енергоефективної роботи дворівневого повітряно-струминного екрану зі співвісними зустрічними струминами з ежекційним підживленням

С. Г. Рибачов¹

¹ас. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, 9599770@i.ua
ORCID: 0000-0002-0093-9750

Анотація. Дотримання чистоти повітряного середовища робочої зони промислових приміщень є однією з найважливіших умов збереження здоров'я людини. З метою забезпечення параметрів повітря в робочій зоні необхідно мінімізувати потрапляння та розповсюдження забрудненого повітря. Для приміщень з ваннами наповненими рідинами такі проблеми в першу чергу слід вирішувати застосуванням місцевої вентиляції з відсмоктувачами різних конструкцій, в тому числі динамічні повітряно-струминні огороження. На основі аналітичного дослідження розглянуті основні можливі варіанти влаштування дворівневого повітряно-струминного екрану промислової ванни шляхом складання балансових рівнянь для досягнення максимального коефіцієнта ефективності η . Розглядаються співвісні зустрічні струмини з ежекційним підживленням у сполученні з обертовими потоками, що утворюють стійке захисне поле при випаровуванні шкідливої рідини з промислової ванни.

Ключові слова: дворівневий, екрануюча струмина, ефективність, обертові потоки, співвісні зустрічні струмини.

Вступ. Ефективність організації повітрообміну приміщень оцінюється за допомогою коефіцієнта повітрообміну KL . При зональній вентиляції використовується коефіцієнт повітрообміну за середньозваженою температурою витяжного повітря за зонами $KL_{заг}$. Маючи аналогію простору, що утворений межами дзеркала рідини, стінками повітряного огороження та умовною межею над ванною, до об'єму приміщення можна отримати коефіцієнт ефективності η , що буде аналогом коефіцієнта повітрообміну KL . [4].

Актуальність дослідження. Розробка та впровадження енергоефективних, екологічних і технологічно безпечних систем локалізації та вловлювання шкідливостей з поверхні ванн для різних галузей виробництва є актуальною проблемою розвитку промисловості України та світу.

Останні дослідження та публікації. Наразі великого поширення для вирішення завдань аеродинаміки вентиляції, зокрема для розрахунку струминних течій і течій поблизу стоків виконується для приміщень невеликої висоти, що можна вважати з певними особливостями аналогічним до простору над рідиною ванни [4-6].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є визначення основних кількісних співвідношень для влаштування повітряно-струминної огорожі над дзеркалом рідини, що працює в режимі граничного уловлювання за допомогою балансових рівнянь.

Основна частина. Об'єм над рідиною великорозмірних посудин розбивається на такі характерні зони (рис. 1): зони надходження припливних струмин, конвективні потоки над гарячою поверхнею ванни та витяжні щілини бортових відсмоктувачів [1, 2].

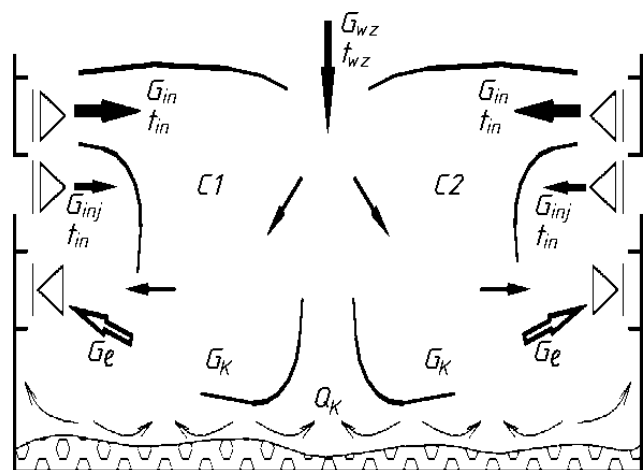


Рис. 1. Розрахункова схема системи повітряного укріття за умови повної локалізації шкідливостей

Повітря надходить крізь припливні щілинні насадки у кількості G_{in} , кг/с, з двох сторін. Температура припливного повітря становить t_{in} , °C. Утворюються припливні струмини C1 і C2. На підживлення струмин іде повітря робочої зони з температурою t_{wz} , °C. Воно надходить крізь ежекційні щілини між зазначеними насадками й бортовими відсмоктувачами, а також крізь відкриту частину посудини в кількостях, відповідно, G_{inj} та G_{wz} , кг/с. Бортові відсмоктувачі

вловлюють повітря в кількості G_l , кг/с, і видаляють шкідливості, що виділяються від поверхні рідини. Загальне балансове рівняння витрати повітря

$$G_{in} + (G_{inj} + G_{wz}) - G_l = 0. \quad (1)$$

Далекобійні струмини ежектують повітря і повністю заходять до конвективного потоку. Ежектоване повітря повертається до зон всмоктування, де виникає нестача повітря за рахунок роботи бортових відсмоктувачів. За такої умови роботи досягається максимально можливе екранування поверхні рідини припливними струминами (рис. 1). За таких умов балансові рівняння

$$G_k + G_{in} t_{in} + G_{inj} t_{wz} + G_{wz} t_{wz} - G_l t_l = 0; \quad (2)$$

$$G_k + G_{in} t_{in} + (G_{inj} + G_{wz}) t_{wz} - G_l t_l = 0; \quad (3)$$

$$G_k + G_{in} t_{in} + (G_l + G_{wz}) t_{wz} - G_l t_l = 0. \quad (4)$$

Якщо припливні струмини мають високу інтенсивність затухання або малу швидкість, то вони руйнуються до досягнення точки дотику на середині ванни (рис. 2).

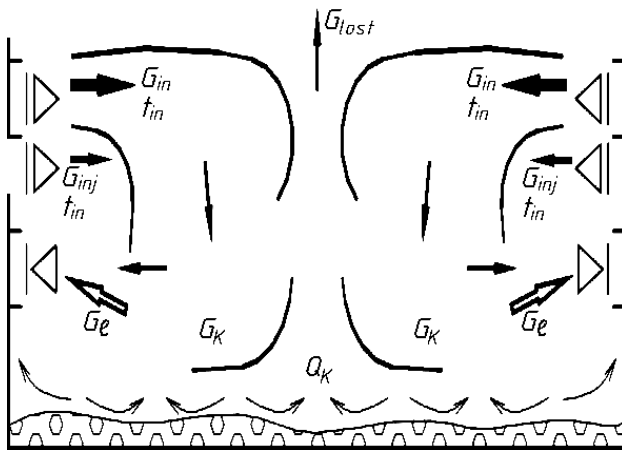


Рис. 2. Розрахункова схема системи повітряного укріття за умови неповної локалізації шкідливостей: малі стрілки – рух струмини; великі чорні стрілки – вихід повітря;

За такої умови має місце потрапляння певної кількості шкідливостей до робочої зони приміщення в кількості G_{lost} , кг/с. Балансові рівняння

$$G_{in} + G_{inj} - G_l - G_{lost} = 0. \quad (5)$$

Кількість забрудненого повітря, що виривається,

$$G_{lost} = G_{in} + G_{inj} - G_l, \text{ кг/с.} \quad (6)$$

Баланс теплоти

$$c_p G_{in} t_{in} + c_p G_{inj} t_{wz} - c_p G_l t_l - c_p G_{lost} t_l + Q_k = 0, \quad (7)$$

де c_p – ізобарна питома теплоємність повітря, Дж/(кг·К).

Після перетворень рівняння (7)

$$c_p G_{in} t_{in} + c_p G_{inj} t_{wz} - c_p G_l t_l - c_p (G_{in} + G_{inj} - G_l) t_l + Q_k = 0. \quad (8)$$

Середньозважена температура витяжного повітря визначається з балансу маси повітря й теплоти. Маємо

$$\bar{t}_i = \frac{G_{in} \cdot t_{in} + G_{inj} \cdot t_{wz}}{G_{in} + G_{inj}}. \quad (9)$$

Кількість не вловленої теплоти

$$G_k + G_{in} t_{in} + (G_l + G_{wz}) t_{wz} - G_l t_l = 0. \quad (10)$$

$$Q_{lost} = c_p (G_{in} + G_{inj} - G_l) (t_l - \bar{t}_i). \quad (11)$$

$$c_p G_{in} t_{in} + c_p G_{inj} t_{wz} - c_p (G_{in} + G_{inj}) t_l + Q_k = 0. \quad (12)$$

Кількість уловленої теплоти

$$Q_{capt} = c_p G_l (t_l - \bar{t}_i), \text{ Вт.} \quad (13)$$

Температура повітря, що видаляється бортовими відсмоктувачами

$$t_l = \frac{Q_k + c_p G_{in} t_{in} + c_p G_{inj} t_{wz}}{c_p (G_{in} + G_{inj})}, \text{ }^\circ\text{C.} \quad (14)$$

Кількість уловленої теплоти

$$Q_{capt} = c_p G_l \left(\frac{Q_k + c_p G_{in} t_{in} + c_p G_{inj} t_{wz}}{c_p (G_{in} + G_{inj})} - \frac{c_p G_{in} t_{in} + c_p G_{inj} t_{wz}}{c_p (G_{in} + G_{inj})} \right), \text{ Вт.} \quad (15)$$

Після спрощень формули (15)

$$Q_{capt} = \frac{Q_k G_l}{G_{in} + G_{inj}} = \frac{Q_k G_l}{G_l + G_{lost}}, \text{ Вт.} \quad (16)$$

Ефективність роботи системи з урахуванням формули (16)

$$\eta = \frac{Q_{capt}}{Q_K} = \frac{G_l}{G_{in} + G_{inj}} = \frac{G_l}{G_l + G_{lost}}. \quad (17)$$

Рівняння (17) підтверджує принципову можливість використання системи дворівневих повітряно-струминних екранів для великогабаритних посудин. Коефіцієнт ефективності η буде дорівнювати 1 тоді і лише тоді коли не буде проривання повітря в робочу зону.

Висновки. Підтверджено принципову мож-

ливість використання системи дворівневих повітряно-струминних екранів для великогабаритних посудин. Ефективність η дорівнюватиме одиниці тоді і лише тоді, коли не буде проривання повітря до робочої зони.

Перспективи подальших досліджень. За аналогією до балансів масової витрати повітря та кількості тепла можна скласти баланси надлишків вологи та концентрації інших шкідливих речовин.

Література

1. Корбут В. П. Дослідження дворівневого повітряно-струминного огороження відкритої поверхні великорозмірних ванн / В. П. Корбут, С. Г. Рибачов // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб.* – 2018. – Вип. 24. – С. 5-11.
2. Корбут В. П. Дослідження дворівневого повітряно-струминного огороження відкритої поверхні великорозмірних ванн / В. П. Корбут, С. Г. Рибачов // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: наук.-техн. зб.* – 2014. – Вип. 17. – С. 26-31.
3. Посохин В. Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования / В. Н. Посохин. – Москва: Машиностроение, 1984. – 160с.
4. Позин Г. М. Принципы аналитического определения коэффициентов воздухообмена в книге Исследование различных способов воздухообмена в производственных помещениях / Г. М. Позин. – Москва, 1975. – С. 43–53.
5. Позин Г. М. Принципы разработки приближенной математической модели тепловоздушных процессов в вентилируемых помещениях / Г. М. Позин // *Известия вузов. Строительство и архитектура.* – 1980. – № 11. – С. 122–127.
6. Довгалиук В. Б., Мілейковський В. О. Ефективність організації повітрообміну в теплонапружених приміщеннях у стиснутих умовах / В. Б. Довгалиук, В. О. Мілейковський // *Будівництво України: наук.-виробн. Журнал.* – 2007. – № 3. – С. 36-39.

References

1. Korbut V. P., Rybachov S. H. “Doslidzhennia dvorivnevoho povitriano-strumynnoho ohorodzhennia vidkrytoi poverkhni velykorozmirnykh vann”. *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia*. 2018. Vyp. 24.P. 5-11.
2. Korbut V. P., Rybachov S. H. “Udoskonalennia prystroiv povitrianostrumynnoho ohorodzhennia vidkrytoi poverkhni velykorozmirnykh vann”. *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohozopostachannia*. 2014. Vyp. 17. P. 26-31.
3. Posokhin V. N. *Raschet mestnykh otsosov ot teplo- i gazovydeliaiushchego oborudovaniia*. Mashinostroenie, 1984.
4. Pozin G. M. *Printsipy analiticheskogo opredeleniia koeffitsientov vozdukhoobmena v knige Issledovanie razlichnykh sposobov vozdukhoobmena v proizvodstvennykh pomeshcheniakh*. Moskva, 1975.
5. Pozin G. M. “Principy razrabotki priblizhennoi matematicheskoi modeli teplovozdushnykh protsessov v ventiliruemykh pomeshcheniakh”. *Izvestiia vuzov. Stroitelstvo i arkhitektura*. 1980. no 11. P. 122–127.
6. Dovhaliuk V. B., Mileikovskiy V. O. “Efektyvnist orhanizatsii povitroobminu v teplonapruzhenykh prymishchenniakh u stysnutykh umovakh”. *Budivnytstvo Ukrainy: naukovy-vyrobnychiy zhurnal*. № 3, 2007. P. 36-39.

УДК 697.92

Оценка энергоэффективной работы двухуровневого воздушно-струйного экрана с соосными встречными струями с эжекционной подпиткой в сочетании с вращающимися потоками

С. Рыбачов¹

¹ас. Київський національний університет будівництва та архітектури, г. Київ, Україна., 9599770@i.ua
ORCID: 0000-0002-0093-9750

***Аннотация.** Соблюдение чистоты воздушной среды рабочей зоны производственных помещений является одним из важнейших условий сохранения здоровья человека. С целью обеспечения параметров воздуха в рабочей зоне необходимо минимизировать попадание и распространение загрязненного воздуха. Для помещений с ваннами наполненными жидкостями такие проблемы в первую очередь следует решать применением местной вентиляции с отсосами различных конструкций, в том числе динамические воздушно-струйные ограждения. На основе аналитического исследования рассмотрены основные возможные варианты устройства двухуровневого воздушно-струйного экрана промышленной ванны путем составления балансовых уравнений для достижения максимального коэффициента эффективности η . Рассматриваются соосных встречные струи с эжекционной подпиткой в сочетании с вращающимися потоками, образуя стойкое защитное поле при испарении вредной жидкости из промышленной ванны.*

Ключевые слова: двухуровневый, экранирующая струя, эффективность, вращающиеся потоки, соосные встречные струи.

UDC 697.92

Evaluation of the energy-efficient operation of a two-level air-jet screen with coaxial counter jets with ejection feeding in combination with rotating flows

S.G. Rybachov¹,

¹ assistant Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv, Ukraine, 9599770@i.ua ORCID: 0000-0002-0093-9750

***Abstract.** The use of local exhaust ventilation systems continues to be the most reliable way to capture pollutants in the technological processes of various industries. The main purpose of the application of local exhaust ventilation systems is the effective capture of pollutants in the places of their formation. Improving the efficiency of local exhausts and, accordingly, reducing the load of general ventilation can be achieved through the use of air screens. For baths filled with liquids most often used activated on-board suction pumps that operate on the scheme of "jet-suction", which are structurally located on the same axis of the supply nozzle and slotted drain. According to this principle of operation, various activated extractors require air exchange in large volumes with significant energy consumption and at the same time with insufficiently high sanitary and hygienic indicators. In order to increase the efficiency of the local ventilation system, especially for tanks with large open surfaces, fundamentally new aerodynamic schemes are required, the feature of which is the formation of dynamic screens with inflow and rotation flows. On the basis of analytical research the basic possible variants of the device of the two-level air-jet screen of an industrial bath by drawing up balance equations for achievement of the maximum efficiency factor η are considered. The analysis of theories of interactions of inflow jets, suction flares and convective flows from liquid surfaces is carried out. The aerodynamic problem of a flat turbulent flow is considered, in which inflow jets interact with a 180 ° expansion, forming a two-level closed rotating system with concentrated flow, which is affected by convective flows with harmful substances from an industrial bath. The assumptions and calculations confirmed the fundamental possibility of using a system of two-level air-jet screens for large baths.*

Key words: two-level, screening jet, efficiency, rotating flows, coaxial counter jets.

Надійшла до редакції / Received 02.06.2021