

УДК 697.92

Експериментальні дослідження дворівневого повітряно-струминного огороження відкритої поверхні промислових ванн великих розмірів

В. П. Корбут¹, С. Г. Рибачов²

¹д.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, predsedatel@emw.kiev.ua
ORCID: 0000-0002-0831-2477

²ас. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, 9599770@i.ua
ORCID: 0000-0002-0093-9750

Анотація. Експериментально досліджено розроблений дворівневий повітряно-струминний екран промислової ванни. Принцип його роботи – подача повітря екранувальними струминами на верхньому рівні і відсмоктування забрудненого повітря на нижньому рівні симетрично з протилежних бортів. На даному етапі експериментальних досліджень вивчено поля швидкості та характер взаємодії припливних струмин і факелів відсмоктування. При визначенні геометричних розмірів конструкції повітряного укриття, розміщенні ключових вузлів та елементів системи важливо знати, забезпечувати і не перевищувати допустимі значення швидкості повітряних потоків над поверхнею дзеркала рідини. Експериментально підтверджені умови екранування за рахунок стабілізації поля швидкості над поверхнею ванни. Визначено відповідні закономірності зміни утворення захисного повітряного екрану від основних параметрів як то співвідношення швидкостей «прилив-видалення» та геометричних характеристик конструкції. Підтверджено доцільність улаштування ежекційної щілини під щілиною подачі повітря задля збільшення витрати та далекобійності струмини.

Ключові слова: дворівнева повітряно-струминна завіса, екранувальна струмина, обертові потоки, розподіл концентрації.

Вступ. Покращення умов праці в гальванічних цехах є необхідною умовою збереження здоров'я та працездатності робочих. Основною проблемою гальванічних цехів є викиди шкідливих речовин, теплоти та вологи від ванн.

На кафедрі теплогазопостачання і вентиляції Київського національного університету будівництва і архітектури розроблено ряд конструкцій повітряно-струминних екранів. Конструктивно це – стінки ванни, у кожній з яких улаштовано на верхньому рівні припливну щілину, приєднану до припливного вентилятора. Під нею знаходиться щілина для підсмоктування повітря робочої зони. На нижньому рівні розташовано відсмоктувальну щілину, приєднану до витяжної вентиляції. Такий екран утворює сукупність повітряних потоків, що взаємодіють між собою, і процесів тепло-масопереносу зі складними фізико-хімічними властивостями.

При конструюванні бортових відсмоктувачів важливо знати поля швидкості перед всмоктувальними отворами та над дзеркалом рідини. Вони визначають вихрові зони, що виникають біля стоків, та тепломасообмін між рідиною й повітрям. Це у свою чергу впливає на надходження шкідливостей – теплоти, вологи та парів речовин.

Ці поля залежать від розмірів і розташування вхідних вузлів. Тому для досягнення максимальної ефективності вловлювання необхідні дослідження цих полів залежно від геометричних та аеродинамічних параметрів повітряно-

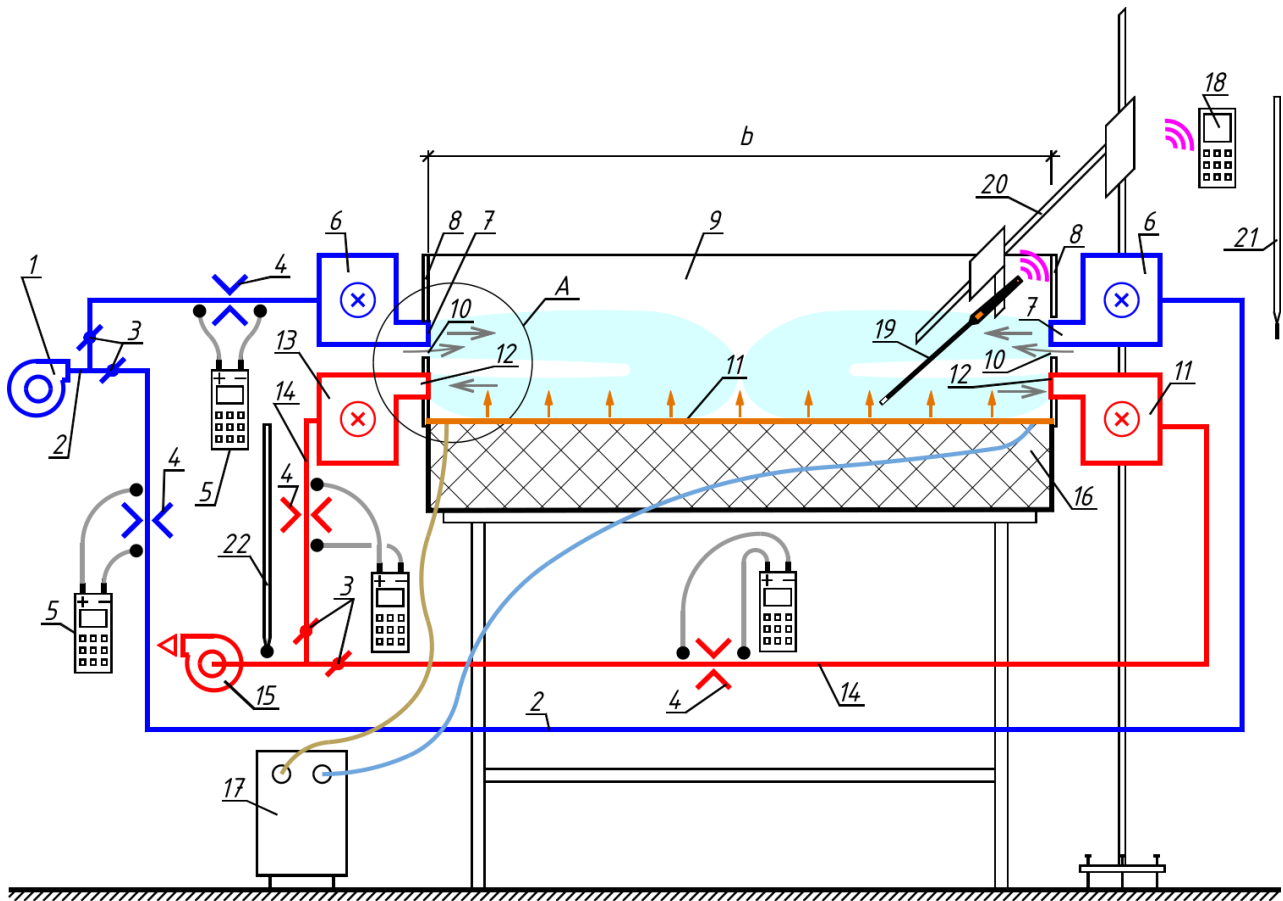
струминного екрану.

Актуальність дослідження. Підвищена ефективності вловлювання шкідливостей є одним з пріоритетних напрямків розвитку місцевих систем вентиляції. Одним з головних чинників, що впливають на ефективність уловлювання шкідливих речовин, є взаємодія і розвиток результатних потоків від струминних течій, що утворюються над поверхнею рідин. Тому задача експериментального дослідження і подальшого опису струминних течій є актуальною.

Останні дослідження та публікації. Дослідження ефективності місцевих систем локалізації та вловлювання шкідливостей виконані в роботах [1, 2]. Розрахунок турбулентних течій біля всмоктувальних та припливних отворів потребує значних обчислювальних потужностей та часу. Експериментальні дослідження дозволяють перевірити та проаналізувати результати емпіричних методів розрахунку [3, 4].

Формулювання цілей статті. Метою даної роботи є експериментальне визначення полів швидкості залежно від геометричних розмірів та співвідношення швидкості повітря у дворівневій повітряно-струминній завісі для гальванічних ванн.

Матеріали та методи. Експериментальні дослідження було виконано на розробленому та виготовленому експериментальному стенді (рис. 1). Установка працює так. Припливний вентилятор 1 нагнітає повітря робочої зони до мережі припливних повітроводів 2.



Вузол А

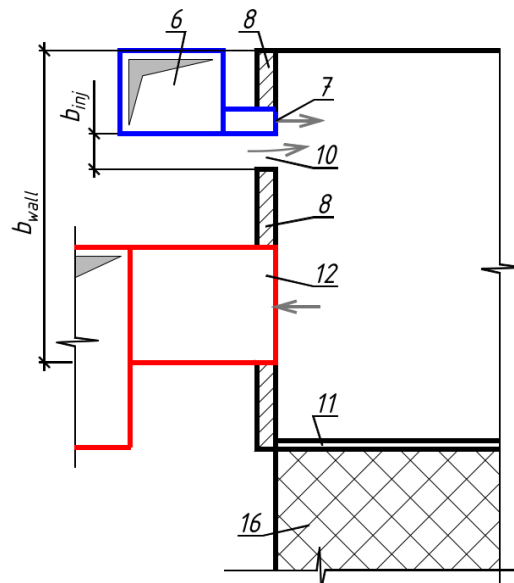


Рис.1. Експериментальна установка проведення досліджень

дворівневого комбінованого повітряно-струминного огороження:

- 1 – припливний вентилятор; 2 – припливні повітроводи; 3 – дросель-кран; 4 – витратомірна діафрагма; 5 – мікроманометр; 6 – щілинний повітророзподільник; 7 – припливна щілина;
- 8 – повітронепроникна стінка; 9 – модель ванни; 10 – ежекційна щілина; 11 – джерело шкідливих виділень (повітронагрівач); 12 – відсмоктувальна щілина; 13 – щілинний відсмоктувач; 14 – щілинні повітроводи; 15 – витяжний вентилятор; 16 – теплоізоляція; 17 – лабораторний автотрансформатор;
- 18 – термоелектроанемометр Testo-440; 19 – датчик “Нагріта куля”; 20 – координатник;
- 21 – комп’ютер; 22 – термометр для вимірювання температури повітря робочої зони;
- 23 – термометр у повітроводі витяжного повітря

На розгалуженні повітроводу 2 до обох бортів ванни встановлено дросель-клапани 3. Вони дозволяють регулювати витрату повітря, кг/год. Остання контролюється градуйованими діафрагмами 4 з мікроманометром 5.

3 мережі 2 повітря потрапляє до щілинних повітророзподільників 6, щілини яких 7 розміщено в повітронепроникних стінках 8 з протилежних боків моделі ванни 9.

У стінках 8 одразу під щілинами 7 виконано ежекційні щілини 10. Крізь них завдяки ежекційній здатності припливних струмин затікає повітря робочої зони і зливається зі струминами від щілин 7.

Якщо зазначені щілини не виконати, виникатиме розрідження, що спонукатиме струмини розгортатися вниз і видалятися. Щілини 7 і 8 утворюють верхній рівень повітряно-струминного екрану. Струмини перекривають джерело 11 для уникнення виносу шкідливостей з його поверхні до зовнішнього середовища. Вони зникають в області середини корпусу ванни.

Під впливом розрідженого середовища над рідиною струмини розвертаються. Після цього вони насталяються на поверхню джерела шкідливих виділень 11 і направляються до відсмоктувальних щілин 12 щілинних відсмоктувачів 13. Ці щілини утворюють нижній рівень повітряно-струминного екрану. Видалене повітря подається витяжними повітроводами 14 через витратомірні діафрагми 4 та дросель-клапани 3 до витяжного вентилятора 15.

Вимірюваною шкідливістю при моделюванні прийнято конвективну теплоту. Тому джерелом шкідливостей 11 є плоский електронагрівач, розміщений на шарі теплоізоляції 16. Потужність джерела 11 регулюється лабораторним автотрансформатором 17.

Вимірювання поля швидкості у ванні здійснюється за допомогою термоелектроанемометра 18 Testo 440 з датчиком 0635 1571 19 на координатнику 20.

Температура повітря робочої зони T_e , К, вимірюється термометром 21. Оскільки повітря для припливних струмин забирається та відсмоктується з навколишнього середовища, значення температури цих струмин прийнято таке ж, як у робочій зоні, тобто T_e , К.

Для визначення кількості вловленої теплоти у витяжному повітроводі 14 перед вентилятором 15 встановлено термометр 22.

Критерієм оцінки роботи повітряно-струминної огорожі прийнято ефективність уловлювання шкідливостей

$$\eta = \frac{Q_y}{Q_k}, \quad (1)$$

де Q_y – кількість теплоти, уловлена відсмоктувачами, Вт; Q_k – кількість конвективної теплоти, що виділяється джерелом шкідливостей, Вт.

Кількість конвективної теплоти, що виділяється нагрівачем, становить

$$Q_k = Q_{el} - Q_l - Q_m, \text{ Вт}, \quad (2)$$

де Q_{el} – електрична потужність нагрівання, Вт; Q_l – променеве тепловиділення, Вт; Q_m – втрати теплоти за рахунок теплопровідності, Вт.

Електрична потужність нагрівача:

$$Q_{el} = U \cdot I, \text{ Вт}, \quad (3)$$

де U – виміряна напруга в мережі нагрівача, В; I – виміряна сила струму, А.

Кількість теплоти, що видаляється з витяжним повітрям, визначалася за формулою

$$Q_y = G_v C_p (T_y - T_e) / 3,6, \text{ Вт}, \quad (4)$$

де C_p – середня питома теплоємність повітря, кДж/(кг·К); G_v – кількість повітря, кг/год; T_y – температура повітря, що видаляється, К.

У ході проведення експерименту було виявлено фактори, що впливають на роботу даної конструкції:

- відношення G_l/G_k витрати видалення повітря G_l , кг/год, до витрати конвективного потоку G_k , кг/год;
- відношення b_{wall}/b ширини газонепроникної стінки b_{wall} м, до ширини ванни b , м;
- відношення b_{inj}/b_{wall} ширини щілини для ежекції повітря з робочої зони b_{inj} , м, до ширини газонепроникної стінки b_{wall} м;
- відношення v_{in} / v_e швидкості екранувальної струмини v_{in} , м/с, та видалення повітря v_e , м/с, бортового відсмоктувача.

Результати проведених досліджень представлені як поля швидкості (рис. 2-4). При певному аеродинамічному режимі роботи установки (рис. 2) на розвиток припливної струмини екранування суттєво впливає всмоктувальний факел бортового відсмоктувача. При $b_{wal}/b = 0,083...0,14$ та відношенні $v_{in}/v_e = 0,5...2,2$ спостерігається захоплення потоку повітряного екрану майже на виході зі щілинного насадка припливу.

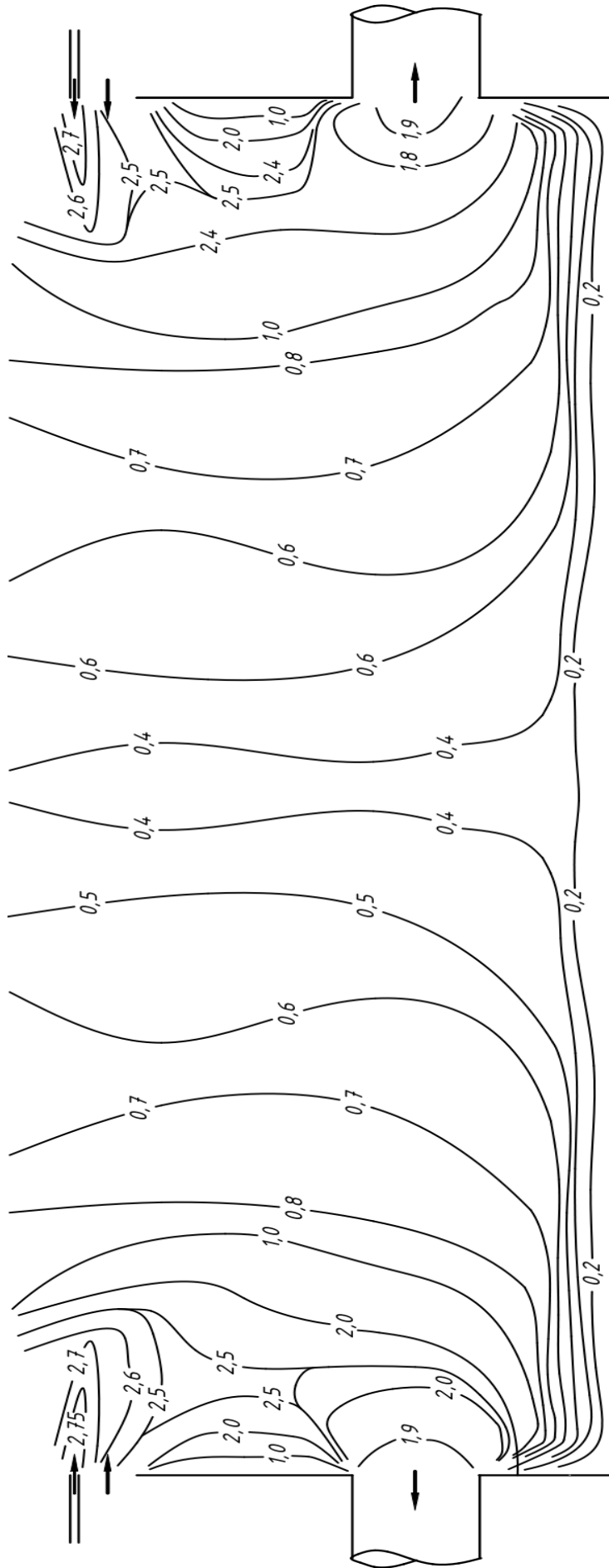


Рис.2. Характерний результат визначення поля швидкості, м/с,
при $b_{wall}/b = 0,11$, $b_{inj}/b_{wall} = 0,25$, $v_{inj}/v_t = 1,5$, $v_{in} = 3$ м/с

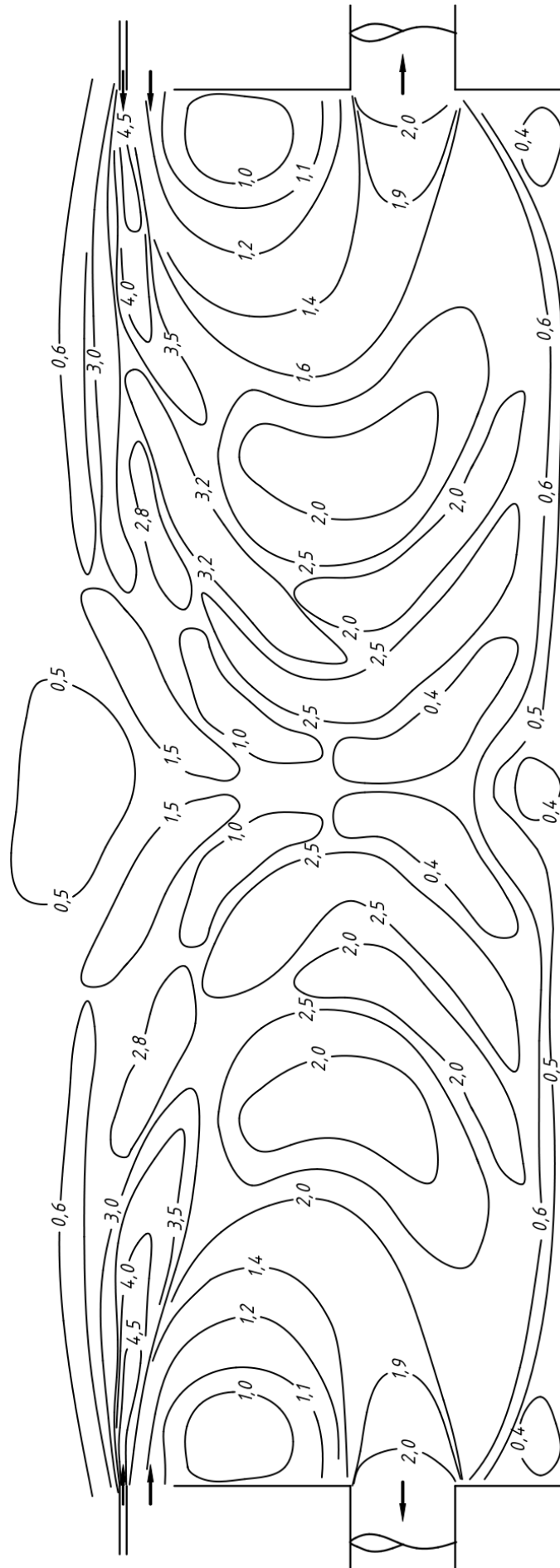


Рис. 3. Характерний результат визначення поля швидкості, м/с, при $b_{\text{wall}}/b = 0,11$, $b_{\text{inj}}/b_{\text{wall}} = 0,75$, $v_{\text{inj}}/v_t = 2,375$, $v_{\text{in}} = 4,75$ м/с

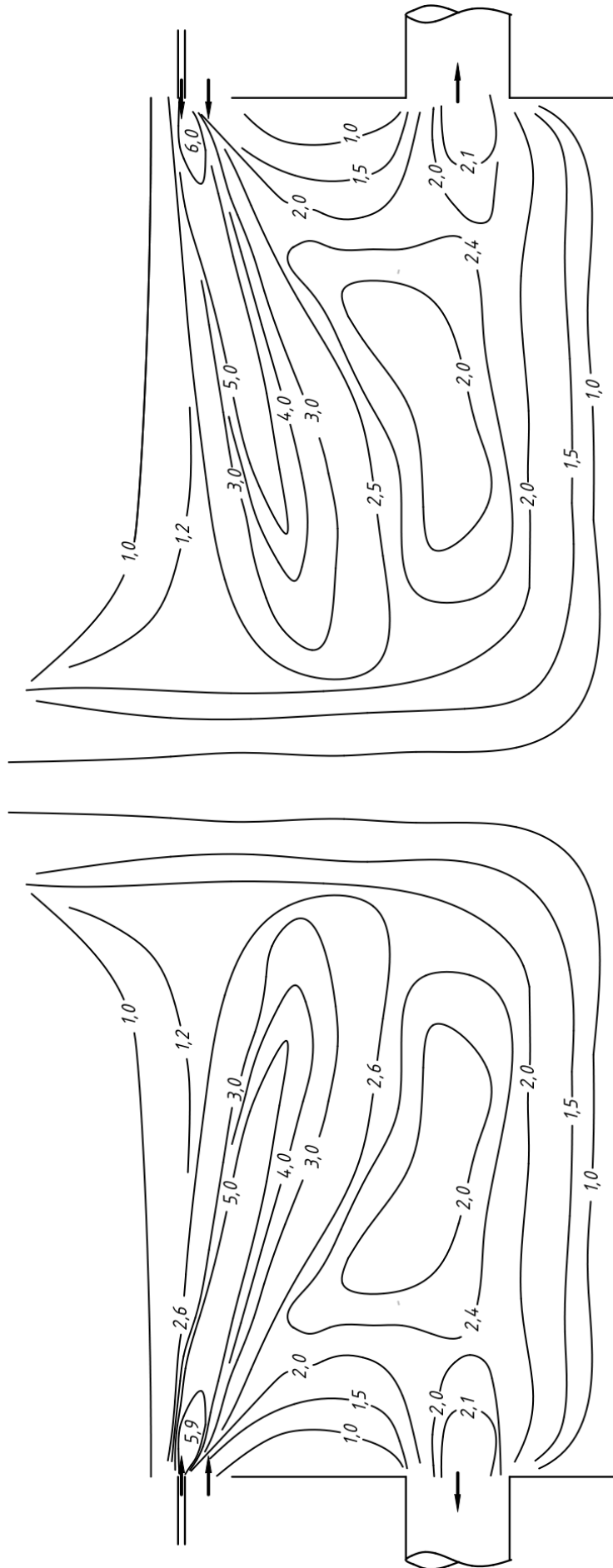


Рис.4. Характерний результат визначення поля швидкості, м/с, при $b_{wall}/b = 0,11$, $b_{inj}/b_{wall} = 0,75$, $v_{in}/v_t = 2,375$, $v_{in} = 4,75$ м/с

У ході дослідження також розглядалися варіанти зі зміною ширини щілини ежекції b_{inj} (рис. 3). При збільшенні відношення ширини щілини ежекції b_{inj}/b_{wall} до 0,75 та дотриманні співвідношення швидкості в межах $v_{in}/v_{\ell} = 0,3...2,45$ виникають плоскі обертові потоки. Відбувається перекриття поверхні та локалізація шкідливостей.

Збільшення відношення швидкості v_{in}/v_{ℓ} до трьох і більше (рис. 4) зі збереженням відношення геометричних розмірів відсмоктувача як на рис. 2 вирішує проблему миттєвого захоплення струмини екранування лише частково. Біля дзеркала рідини спостерігається висока швидкість повітря, м/с. Це призведе до генерування хвиль рідини та інтенсифікації тепломасобміну між повітрям і рідиною (рис 4). Останнє призводить до підвищення надходження шкідливостей.

Таким чином, режим роботи системи (рис. 3) дозволить максимально реалізувати мо-

жливості запропонованої конструкції.

У залежностях (1) і (2) було використано відношення геометричних параметрів для дотримання геометричної і аеродинамічної подібності в конструкціях інших розмірів.

У результаті дослідження встановлено, що використання даної конструкції дозволяє локалізувати до 90 % виділених шкідливостей порівняно з аналогічними конструкціями [2].

Висновки. Для розробленого повітряно-струминного екрана гальванічних ванн експериментально визначені умови ефективного екранування такі: відношення ширини щілини для ежекції повітря з робочої зони до ширини газонепроникної стінки становить 0,75, а відношення швидкості екранувальної струмини до швидкості видалення повітря знаходиться в межах 0,3...2,45. При цьому досягається ефективність уловлювання до 90 %.

Література

1. Посохин В.Н. Расчет местных отсосов от тепло- и газовыделяющего оборудования / В.Н. Посохин // Москва 1984. – 160 с.
2. Гольшев А.А. Разработка методов расчета бортовых отсосов Zbiór artykułów naukowych priorytetowe obszary nauki Zakopane 29.11.2015
3. Корбут В. П. Дослідження дворівневого повітряно-струминного огороження відкритої поверхні великорозмірних ванн / В. П. Корбут, С. Г. Рибачов // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2018. – Вип 24. Р. 5-11.
4. Цуляну К. Р. Моделирование работы щелевого отсоса взаимодействующего с плоской газовой струей / К. Р. Цуляну, В. Г. Гуцул, О. Н. Зайцев, Н. П. Богатикова // Строительство и безопасность. – 2012. – Вып. 41. – С. 235-239.
5. Корбут В. П. Удосконалення пристроїв повітряно-струминного огороження відкритої поверхні великорозмірних ванн / В. П. Корбут, С. Г. Рибачов // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – 2014. – Вип. 17. – С. 26-31.
6. Варсегова Е. В., Посохин В. Н. Об условия предельного улавливания потока вредных выделений местным отсосом / Е. В. Варсегова, В. Н. Посохин // Известия вузов. Строительство. – 2015. – № 11-12. – С. 18-22.
7. Wang L. Investigation of the Impact of Building Entrance Air Curtain on Whole Building Energy Use. Air Curtain Study / L. Wang. – The Air Movement and control Association International, Inc. – 2013. – 16 p.
8. N. Kardekar Numerical analysis of air flow velocity streamlines of air curtains / N. Kardekar, V. K. Bhojwani, N. K. Sane // International journal of mechanical engineering and technology (IJMET). – 2013. – Vol. 4. – Iss. 5. – P. 150-155.

References

1. Posokhin V.N. *Raschet mestnykh otosov ot teplo- i gazovydeliaiushchego oborudovaniia*. 1984 .
2. Golyshev A.A. *Razrabotka metodov rascheta bortovykh otosov Zbiór artykułów naukowych priorytetowe obszary nauki Zakopane* 29.11.2015
3. Korbut V.P., Rybachev S.G. “Doslidzhennia dvorivnevoho povitriano-strumynnoho ohorodzhennia vidkrytoi poverkhni velykorozmirnykh vann”. *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohazopostachannia*. 2018. Vyp. 24. P. 5-11
4. Tsulyanu K.R, Gutsul V.G, Zaitsev O.N, Bogatikova N.P. “Modelyrovanye raboty shchelevoho otsosa vzaymodeistvuiushcheho s ploskoi hazovoi struei”. *Stroytelstvo y bezopasnost*. 2012. Iss. 41. P. 235-239.
5. Korbut V.P., Rybachev S.G. “Udoskonalennia prystroiv povitrianostrumynnoho ohorodzhennia vidkrytoi poverkhni velykorozmirnykh vann”. // *Ventyliatsiia, osviltennia ta teplohazopostachannia*. 2014. Vyp. 17. P. 26-31.
6. Varsegova E.V, Posokhin V.N “Ob uslovyyu predelnoho ulavlyvaniya potoka vrednykh vydeleniy mestnym otсосom”. *Yzvestiya vuzov. Stroytelstvo*. 2015. No 11-12. P. 18-22.
7. Wang. L. *Investigation of the Impact of Building Entrance Air Curtain on Whole Building Energy Use. Air Curtain Study*. The Air Movement and Control Association International, Inc. 2013. 16 p.
8. Nitin Kardekar, Bhojwani V. K., Sane N. K. “Numerical analysis of air flow velocity streamlines of air curtains”. *International journal of mechanical engineering and technology (IJMET)*. 2013. Vol. 4, Iss. 5. P. 150-155.

УДК 697.92

Экспериментальные исследования двухуровневого воздушно-струйного ограждения открытой поверхности промышленных ванн больших размеров

В. П. Корбут¹, С. Г. Рыбачов²

¹ д.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, Predsedatel@emw.kiev.ua, ORCID: 0000-0002-0831-2477

² ас. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, 9599770@i.ua
ORCID: 0000-0002-0093-9750

Аннотация. Экспериментально исследован разработанный двухуровневый воздушно-струйный экран промышленной ванны. Принцип его работы – подача воздуха экранирующими струями на верхнем уровне и отсос загрязнённого воздуха на нижнем уровне симметрично с противоположных бортов. На данном этапе экспериментальных исследований изучены поля скорости и характер взаимодействия приточных струй и факелов отсоса. При определении геометрических размеров конструкции воздушного укрытия, размещении ключевых узлов и элементов системы важно знать, обеспечивать и не превышать допустимые значения скорости воздушных потоков над поверхностью зеркала воды. Экспериментально подтверждены условия экранирование за счёт стабилизации поля скорости над поверхностью ванны. Определены соответствующие закономерности изменения образования защитного воздушного экрана от основных параметров, таких как соотношение скорости «притока-удаления» и геометрических характеристик конструкции. Подтверждена целесообразность устройства эжекционной щели под щелью подачи воздуха для увеличения расхода и дальности струи.

Ключевые слова: двухуровневая воздушно-струйная завеса, экранирующая струя, вращающиеся потоки, распределение концентрации.

UDC 697.92

Experimental researches of a two-level air-jet protection of an open surface of industrial baths of the big sizes

V. P. Korbut¹, S.G. Rybachov²,

¹ Sc.D, professor. National University of Construction and Architecture, City Kiev, Ukraine, predsedatel@emw.kiev.ua,
ORCID: 0000-0002-0831-2477

² assistant Kyiv National University of Civil Engineering and Architecture, Kyiv, Ukraine, 9599770@i.ua
ORCID: 0000-0002-0093-9750

Abstract. The developed two-level air-jet screen of an industrial bath is experimentally investigated. The principle of its operation is the supply of air by a shielding jet at the upper level and the suction of polluted air at the lower level symmetrically from opposite sides. At this stage of experimental research, the velocity fields and the nature of the interaction of inflow jets and suction flares have been studied. When determining the geometric dimensions of the air-jet screen structure, the location of key components and system elements, it is important to know, ensure and not exceed the allowable values of air flow velocity above the surface of the liquid mirror. During the observations of the aerodynamic properties of two-level air-jet screens, questions arose about the need to use flat rotational flows and control the velocity field in their interaction. Minimization of the interaction of inflow jets and flares of suction is the basis of the concept of designing a screen of this type. The shielding conditions have been experimentally confirmed due to the stabilization of the velocity field above the bath surface. The corresponding dependencies of change of formation of the protective air screen from the basic parameters as that a ratio of velocity "inflow-removal" and geometrical characteristics of a design are defined. For the developed air-jet screen of galvanic baths experimentally determined conditions of effective shielding are as follows: the ratio of the width of the slot for ejection of air from the working area to the width of the gas-tight wall is 0.75, and the ratio of screening jet velocity to air removal rate is within 0.3-2.45. This achieves a capture efficiency of up to 90 %. The expediency of arranging an ejection slot under the air supply slot to increase the flow rate and range of the jet has been confirmed.

Key words: two-level air-jet curtain, shielding jet, rotational flows, concentration distribution.

Надійшла до редакції / Received 15.01.2021