

УДК 697.92

Використання взаємодії опуклих напівобмежених струмин при вентиляції зі змінною витратою повітря

В. П. Корбут¹, В. О. Мілейковський², В. Г. Дзюбенко³, І. А. Саченко⁴

¹ д.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, predsdatel@emw.kiev.ua,
ORCID: 0000-0002-4560-5463

² д.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, v_mil@ukr.net,
ORCID: 0000-0001-8543-1800

³ к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, vdziubenko@gmail.com,
ORCID: 0000-0003-2468-2555

⁴ к.т.н., доц. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, ilay19@ukr.net,
ORCID: 0000-0002-3716-0249

Анотація. Підтверджено високу стабільність схеми організації повітрообміну з подачею повітря над робочою зоною опуклими напівобмеженими струминами, які взаємодіють між собою в умовах змінної витрати повітря. Ця схема доцільна у випадках, якщо неможливо подати повітря безпосередньо до робочої зони. Виконано математичне моделювання організації повітрообміну з подачею повітря над робочою зоною у виставковій залі при вентиляції зі змінною витратою в усьому можливому діапазоні регулювання продуктивності. Завдяки силі розрідження, що втримує струмину на поверхні настилення, вплив сил гравітації значно зменшується. Це дозволяє уникнути автоматизації повітророзподільних пристроїв задля непорушення схеми циркуляції повітря в приміщенні гравітаційними силами. Достатньо встановити клапани з приводами на відгалуженнях мережі повітроводів. Отже, підтверджується економічна вигода системи як на етапі створення, так і під час експлуатації.

Ключові слова: вентиляція, кондиціонування повітря, опукла напівобмежена струмина, організація повітрообміну.

Вступ. Сталий розвиток [1] передбачає ощадне та ефективне споживання ресурсів, серед яких енергетичні. Закон України “Про енергетичну ефективність будівель” [2] робить енергоефективність пріоритетом державної політики. Методика [3] визначення енергоефективності будівель враховує, що системи формування мікроклімату є одним з визначальних споживачів енергії. Адже на них припадає понад 30 % енергетичного балансу держави та понад 60 % енергетичного балансу будівель. Забезпечення мікроклімату займає 50 % витрат енергії Європейського Союзу [4]. Тому розроблення енергоефективних систем формування мікроклімату є першочерговим завданням розвитку будівництва.

Актуальність дослідження. Підвищення ефективності організації повітрообміну дозволяє суттєво знизити витрати енергії на обробку та переміщення вентиляційного повітря. Це підвищує загальну енергоефективність будівель і є актуальною задачею.

Останні дослідження та публікації. Споживання енергії системами вентиляції та кондиціонування повітря визначається двома компонентами: ефективна обробкою повітря (припливно-витяжні вентиляційні установки, кондиціонери, повітроводи тощо) та ефективна організація повітрообміну.

Організувати повітрообмін можливо за однією з типових схем [5]. Однак, особливості

різних приміщень (форма, розподілення надлишків шкідливостей тощо) не дозволяє застосувати ці схеми в усіх випадках і вимагає нестандартних підходів.

Прикладом є великі виставкові зали для комерційних виставок. Різноманітне розташування виставкових стендів обмежує подачу повітря до робочої зони. Повітророзподільники може бути затулено виставковими стендами. Отже, найбільш ефективною буде подача повітря якомога ближче до робочої зони [6].

У цій роботі розглянуто створений на кафедрі теплогазопостачання і вентиляції повітророзподільник ПЕС-Д (рис. 1), що подає повітря над робочою зоною струминками, які настилаються на опуклу циліндричну поверхню і взаємодіють між собою. Після відриву затухання струмини інтенсифікується диском.

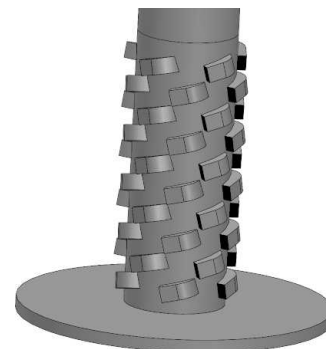


Рис. 1. Повітророзподільник ежекційний сопловий з диском ПЕС-Д [6]

У роботі розглянуто схему організації повітрообміну (рис. 2) для виставкової зали Міжнародного виставкового центру в місті Києві. Площа підлоги становить 5258 м^2 , висота дорівнює 19 м, витрата зовнішнього повітря відповідає мінімальній і становить $L_{ext} = 21,667 \text{ м}^3/\text{с}$ ($78000 \text{ м}^3/\text{год}$).

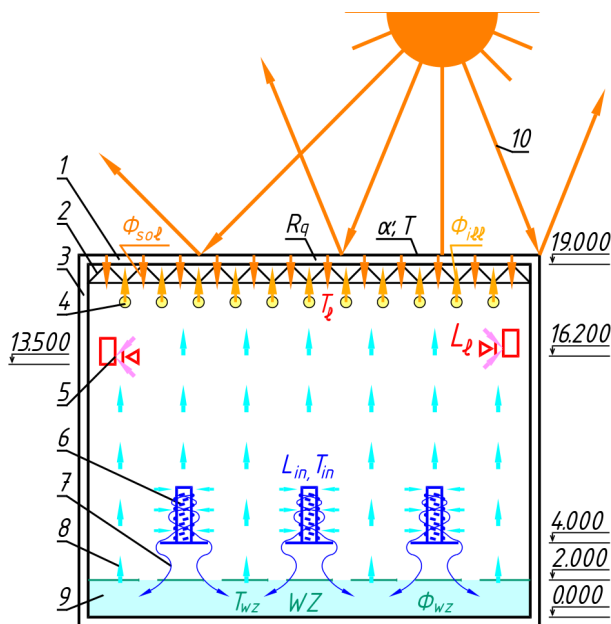


Рис. 2. Пропонована схема організації повітрообміну виставкової зали [6]:

1 – дах будівлі; 2 – ферма; 3 – стіни приміщення; 4 – світильники; 5 – витяжні решітки; 6 – припливні повітророзподільники; 7 – припливні струмини; 8 – потоки повітря в приміщенні; 9 – робоча зона; 10 – сонячна радіація:

Φ_{sol} – теплонадходження від сонячної радіації, Вт;
 Φ_{lit} – теплонадходження від штучного освітлення, Вт;
 R_q – опір теплопередачі покрівлі, $(\text{м}^2 \text{ К})/\text{Вт}$; α' – коефіцієнт поглинання сонячної радіації; T – температура поверхні, К;
 $L_{t,up}$ та $L_{t,mid}$ – витрата витяжного повітря з верхньої та середньої зони, $\text{м}^3/\text{с}$

На відмітці 4,0 м (для розміщення виставкових конструкцій заввишки до 3,5 м) розміщено 24 рівномірно повітророзподільники ПЕС-Д-8-10/15-0,9 діаметром циліндричної поверхні та вхідного патрубку 8 дм (800 мм). Він має 10 рядів сопел під кутом $\pi/12$ (15°) до горизонту. Загальна площа виходу повітря дорівнює 0,9 площі перерізу вхідного патрубку.

У роботі [6] було доведено високу ефективність такої схеми порівняно з використанням закручених струмин. Однак, за можливості слід додатково підвищувати енергоефективність.

Серед найбільш енергоефективних рішень вентиляції та кондиціонування повітря є системи [7,8] зі змінною витратою повітря (Variable Air Volume – VAV). Основною проблемою [7] є занадто високі капітальні вкладення. Це призводить до завищеного терміну окупності – біля 10 років. При всіх екологічних та експлуатаційних перевагах інвестиційна

привабливість цих систем дуже низька. Тому зменшення вартості систем без погіршення експлуатаційних характеристик є важливим завданням.

Формулювання цілей статті. Метою роботи є дослідження ефективності організації повітрообміну у виставкових залах з подачею повітря опуклими напівобмеженими струминами при регулюванні витрати повітря.

Основна частина. Найбільш енергоефективним є режим роботи систем вентиляції та кондиціонування повітря зі змінною витратою повітря залежно від потреб приміщення. У більшості систем повітророзподілення зменшення витрати призводить до зміни схеми руху повітря в приміщенні.

Для уникнення порушення циркуляції повітря використовують повітророзподільники змінної геометричної форми [8] з приводами та контролером. Настилання струмини на опуклу поверхню призводить до стабілізації її розвитку завдяки додатковому розрідженню. Це призводить до розширення діапазону регулювання витрати без порушення схеми руху повітря. У результаті усувається потреба автоматичної зміни геометричної форми повітророзподільника.

Відсутність рухомих елементів, приводів і контролерів знижує капітальні вкладення, підвищує надійність системи та зменшує витрати електроенергії на автоматизацію

Розглянемо можливість регулювання витрати в запропонованій схемі організації повітрообміну (рис. 2). Для цього дослідимо режими експлуатації зали при витраті повітря 50 % від номінальної.

Витраті повітря 50 % відповідає 39,77 % від розрахункової кількості людей з урахуванням незмінної мінімальної витрати повітря на одиницю площі зали. Теплонадходження до робочої зони зменшуються відповідним чином.

Як показало моделювання, схема циркуляції повітря в приміщенні залишається коректною (рис. 3). Повітря верхньої зони (хоча і у незначній кількості) підмішується до струмини. Тому температура на виході з сопел має бути знижена до 285,15 К (12°C). При витісняючій вентиляції ця температура була б вищою через менше перемішування. Температура та швидкість повітря в робочій зоні відповідають вимогам [9]. При цьому геометрична форма і розміри повітророзподільника залишилися без змін порівняно з даними [6].

Розглянемо режим найменших потреб у холоді – незначна кількість людей і відсутність теплонадходжень від сонячної радіації. Тоді теплонадходження до робочої зони не враховуються.

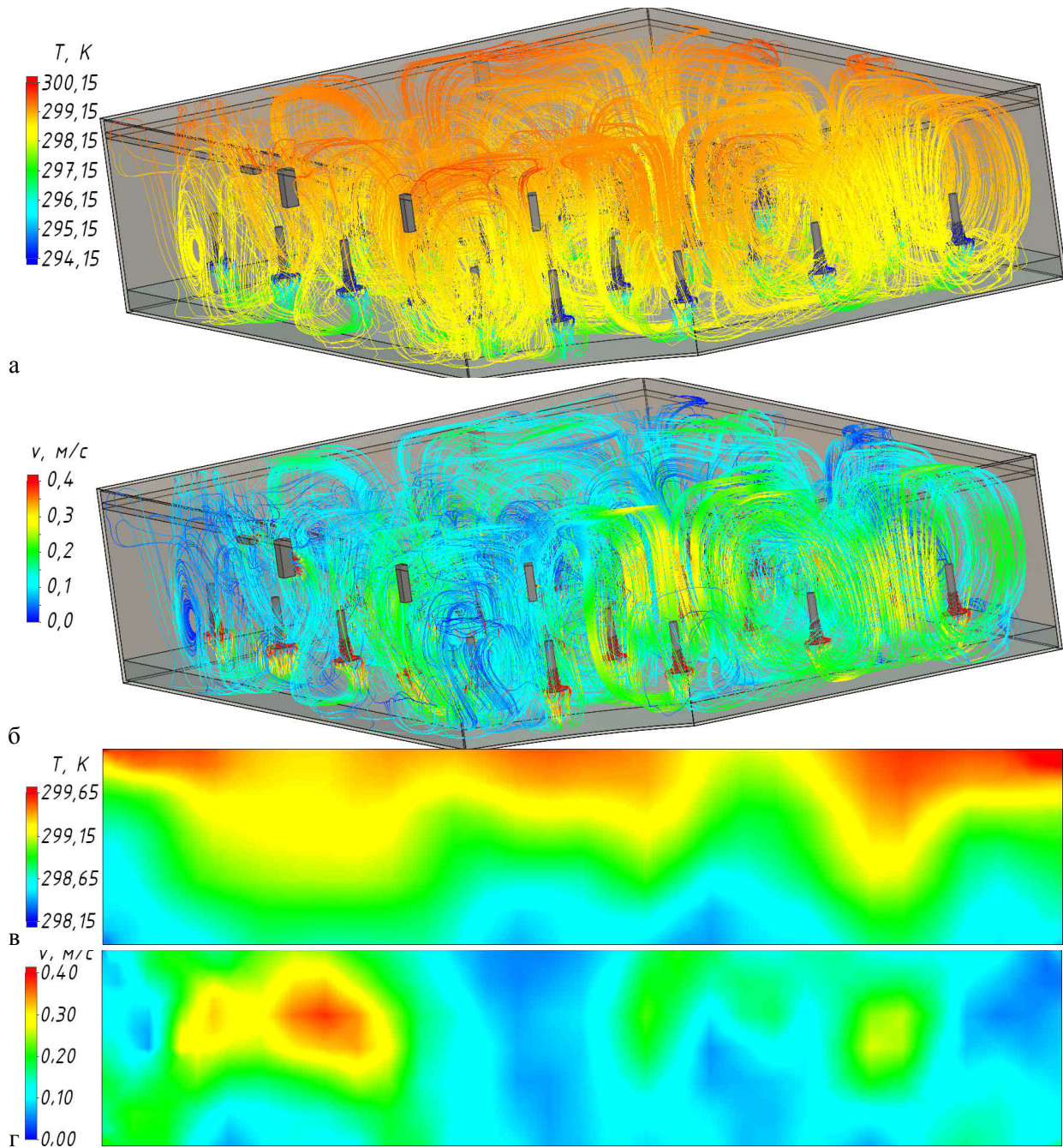


Рис. 3. Результати моделювання при витраті повітря 50 % розрахункової: а, б – лінії течії; в – поле температури T, K , у розрізі; г – те ж швидкості $v, m/c$

За вимогами [9] повітрообмін має підтримуватися на рівні 25 % або $5,4175 \text{ m}^3/\text{с}$ ($19500 \text{ m}^3/\text{год}$). Температура припливного повітря має бути знижена до $284,45 \text{ K}$ ($11,3 \text{ }^\circ\text{C}$). За результатами моделювання (рис. 4) схема циркуляції повітря в приміщенні залишається незмінною порівняно з рис. 3 без зміни геометричної форми повітророзподільних пристроїв.

Отже, настилення на опуклу поверхню дозволяє стабілізувати струмину завдяки протидії сил тиску архімедовим силам. Це надає широкі можливості використання подібних струмін при

енергоефективних вентиляції та кондиціонуванні повітря зі змінною витратою для подачі повітря до робочої зони або над нею. У такому разі достатнім є центральне регулювання вентилятора та, за потреби, регулювання відгалужень.

Висновки. Повітророзподільники типу ПЕС-Д дозволяють глибоко регулювати витрату повітря (мінімум до 25 %) без порушення циркуляції повітря. Це дозволяє мінімізувати потреби в автоматизації систем вентиляції та кондиціонування повітря зі змінною витратою повітря.

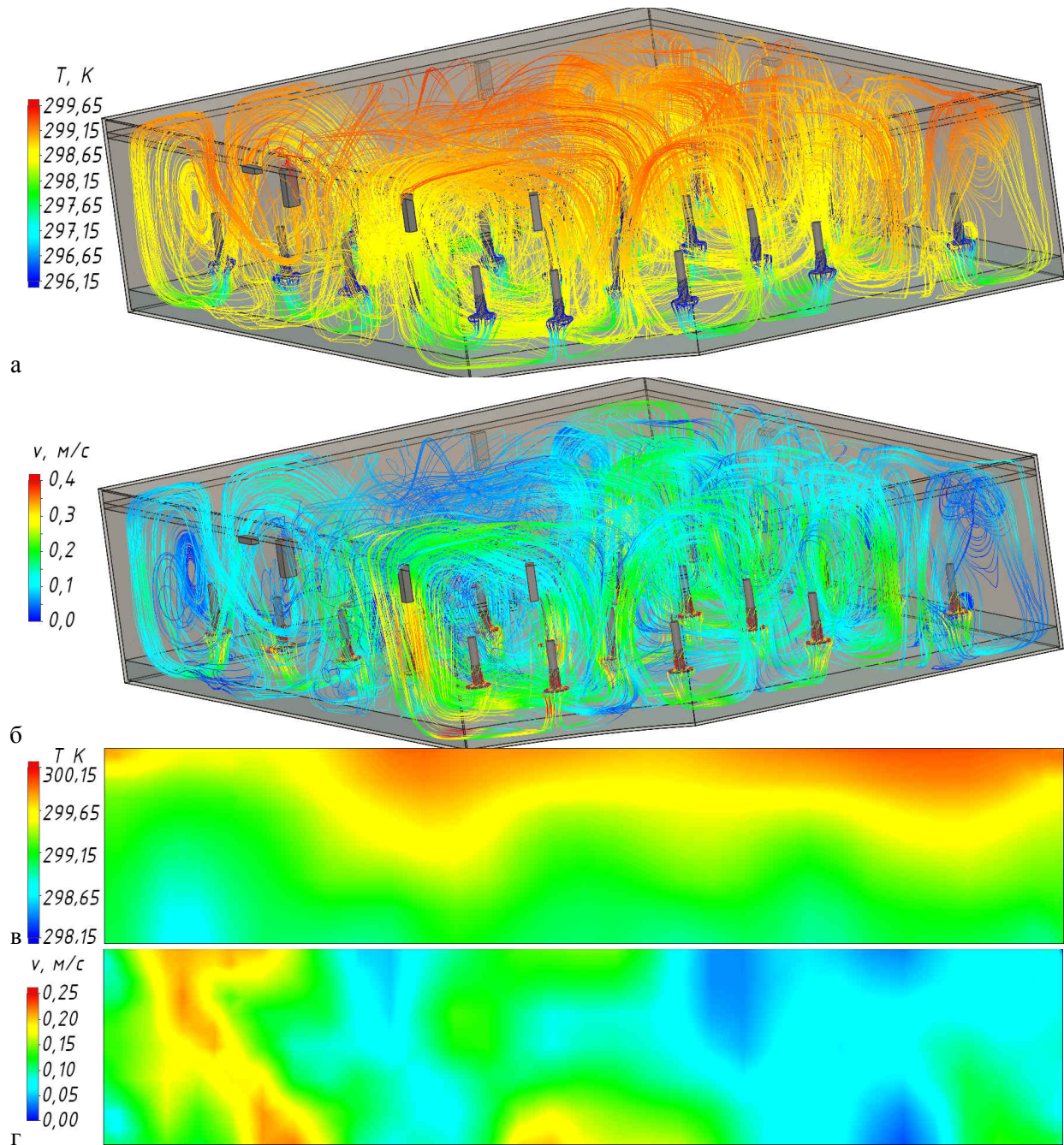


Рис. 4. Результати моделювання за відсутності людей:
а, б – лінії течії; в – поле температури T, K , у розрізі; г – те ж швидкості $v, m/c$

Література

1. Цілі сталого розвитку: Україна: Національна доповідь 2017 / Міністерство економічного розвитку і торгівлі України. Київ: United Nations Ukraine, 2017. 174 с. URL: https://issuu.com/mineconomdev/docs/sdgs_nationalreportua_web
2. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. Відомості Верховної Ради. 2017. №33. С. 359. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
3. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель: Наказ Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України від 11.07.2018 № 169. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text>
4. New report: District energy can decarbonize the EU heating and cooling sector [Electronic Resource]. December 5, 2019. URL: <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/cf/new-report-district-energy-can-decarbonize-the-eu-heating-and-cooling-sector/>
5. Bennis A. Experiments and Large-Eddy Simulations of Lobed and Swirling Turbulent Thermal Jets for HVAC's Applications / A. Bennis, H. Fellouah, A. Khelil., L. Loukarfi, H. Naji // Journal of applied fluid mechanics. – 2020. – Vol. 13. – No. 1. – pp. 103-117. <https://doi.org/10.29252/jafm.13.01.29970>

6. Корбут В. П. Повітродозподілення опуклими напівобмеженими струминами при вентиляції з постійною витратою повітря / В. П. Корбут, В. О. Мілейковський // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. – 2021. – Вип. 36. – С. 34-47.
7. Москвітїна А. С. Техніко-економічне та екологічне обґрунтування використання систем зі змінною витратою повітря для адміністративних будівель / А. С. Москвітїна, М. О. Шишина, М. С. Корчмінський // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. – 2021. – Вип. 37. – С. 45-62.
8. Szczepanik-Scislo T., Schnotale J. An Air Terminal Device with a Changing Geometry to Improve Indoor Air Quality for VAV Ventilation Systems // *Energies*. – 2020. – Vol. 13. – ArticleID: 4947. – 20 p. <https://doi.org/10.3390/en13184947>
9. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [Чинний від 01.01.2014]. Київ: Укрархбудінформ, 2013. V, 141 с. (Державні будівельні норми України).

References

1. *Tsili staloho rozvytku: Ukraina: Natsionalna dopovid 2017* / Ministerstvo ekonomichnoho rozvytku i torhivli Ukrainy. Kyiv: United Nations Ukraine, 2017. 174 с. URL: https://issuu.com/mineconomdev/docs/sdgs_nationalreportua_web
2. *Pro enerhetychnu efektyvnist budivel: Zakon Ukrainy vid 22.06.2017 № 2118-VIII*. Vidomosti Verkhovnoi Rady. 2017. №33. С. 359. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>
3. *Pro zatverdzhennia Metodyky vyznachennia enerhetychnoi efektyvnosti budivel: Nakaz Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy vid 11.07.2018 № 169*. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text>
4. *New report: District energy can decarbonize the EU heating and cooling sector* [Electronic Resource]. December 5, 2019. URL: <https://www.danfoss.com/en/about-danfoss/news/cf/new-report-district-energy-can-decarbonize-the-eu-heating-and-cooling-sector/>
5. Bennia A., Fellouah H., Khelil A., Loukarfi L., Naji H. ‘Experiments and Large-Eddy Simulations of Lobed and Swirling Turbulent Thermal Jets for HVAC’s Applications.’ *Journal of applied fluid mechanics*. Vol. 13. No. 1. pp. 103-117. URL: <https://doi.org/10.29252/jafm.13.01.29970>
6. Korbut V. P., Mileikovskiy V. O. ‘Povitrorozpodilennia opuklymy napivobmezhenymy strumynamy pry ventyliatsii z postiinoiu vytratou povitria.’ *Ventylitsiia, osviltennia ta teplohapostachannia*. 2021. Vyp. 36. P. 34-47
7. Moskvitina A. S., Shyshyna M. O., Korchminskiy M. S. ‘Tekhniko-ekonomichne ta ekolohichne obgruntuvannia vykorystannia system zi zminnoiu vytratou povitria dlia administratyvnykh budivel.’ *Ventylitsiia, osviltennia ta teplohapostachannia*. 2021. Vyp. 37. С. 45-62
8. Szczepanik-Scislo T., Schnotale J. ‘An Air Terminal Device with a Changing Geometry to Improve Indoor Air Quality for VAV Ventilation Systems.’ *Energies*. 2020. Vol. 13. ArticleID: 4947. 20 p. URL: <https://doi.org/10.3390/en13184947>
9. *Opalennia, ventylitsiia ta kondytsionuvannia*. DBN V.2.5-67:2013, Ukrarkhбудінформ, 2013.

УДК 697.92

Использование взаимодействия выпуклых полуограниченных струй при вентиляции с переменным расходом воздуха

В. П. Корбут¹, В. А. Милейковский², В. Г. Дзюбенко³, І. А. Саченко⁴

¹ д.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, predsedatel@emw.kiev.ua, ORCID: 0000-0002-4560-5463

² д.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, v_mil@ukr.net, ORCID: 0000-0001-8543-1800

³ к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, vdziubenko@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2468-2555

⁴ к.т.н., доц. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, vdziubenko@gmail.com, ORCID: 0000-0002-3716-0249

Аннотация. Подтверждена высокая стабильность схемы организации воздухообмена с подачей воздуха над рабочей зоной выпуклыми полуограниченными струями, которые взаимодействуют между собой, в условиях переменного расхода воздуха. Эта схема целесообразна в случаях, если невозможно подать воздух непосредственно в рабочую зону. Выполнено математическое моделирование организации воздухообмена с подачей воздуха над рабочей зоной в выставочном зале при вентиляции с переменным расходом во всём возможном диапазоне регулирования производительности. Благодаря силе разрежения, удерживающей струю на поверхности настиления, влияние сил гравитации значительно уменьшается. Это позволяет избежать автоматизации воздухораспределительных устройств для соблюдения схемы циркуляции воздуха в помещении гравитационными силами. Достаточно установить клапаны с приводами на ответвлениях сети воздуховодов. Таким образом, подтверждается экономическая выгода системы как на этапе создания, так и во время эксплуатации.

Ключевые слова: вентиляция, кондиционирование воздуха, выпуклая полуограниченного струя, организация воздухообмена.

UDC 697.92

The use of the interaction of convex wall jets for ventilation with variable air flow

V. Korbut¹, V. Mileikovskiy², V. Dziubenko³, I. Sachenko⁴

¹ Dr. Hab., Prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, predsedatel@emw.kiev.ua,
ORCID: 0000-0002-4560-5463

² Dr. Hab., Assoc. Prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, v_mil@ukr.net,
ORCID: 0000-0001-8543-1800

³ PhD., Assoc. Prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, vdziubenko@gmail.com,
ORCID: 0000-0003-2468-2555

⁴ PhD., Assoc. Prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, ilay19@ukr.net,
ORCID: 0000-0002-3716-0249

Abstract. The most energy efficient ventilation and air-conditioning is variable air flow (VAV) depending on the needs of a room. To avoid broken air circulation by gravitational forces, the most of air diffusers should change geometrical shape and sizes using additional automation of them. In contrast, high stability of a scheme of air exchange organization with air supply over a working zone by convex wall jets that interact with each other under conditions of variable air flow, is confirmed. This scheme is useful in cases where it is impossible to supply air directly to the working zone. Simulation of the air exchange organization in an exhibition hall of International Exhibition Centre in Kyiv with ventilation at a variable air volume (VAV) in the entire possible range of performance control has been performed. The floor area is 5258 m², the height is 19 m. The outdoor air-flow at design conditions (100 % load) is 21.667 m³/s (78000 m³/h). The minimum load corresponds to the absence of solar radiation and only some people in the room. The minimum air-flow is 25 % of the design one. The proposal air scheme is single-zonal using 24 diffusers PES-D-8-10/15-0,9 4 m above the floor and air removal from the upper zone. The air distributor have a diameter of a cylindrical surface and an inlet branch pipe of 8 dm (800 mm). There are 10 rows of nozzles at an angle $\pi/12$ (15 °) to the horizon on each distributor. The total area of the air outlet on them is equal to 0.9 of the cross-sectional area of the inlet pipes. Due to forces of the vacuum holding of jets on the wall surfaces, the influence of gravitational forces is significantly reduced. This avoids the automation of air distribution devices to stabilize the scheme of air circulation in the room by gravitational forces. It is enough to install valves with actuators on branches of a network of air ducts. Thus, the economic benefit of the system is confirmed both at the stage of installing and during operation.

Keywords: ventilation, air conditioning, convex wall jet, air exchange organization.

Надійшла до редакції / Received 04.01.2021