

УДК 697.957

Лабораторні дослідження структури газодинамічних потоків

Д. В. Гузик¹, В. О. Мілейковський², О. В. Череднікова³, М. І. Сопільник⁴, О. В. Приймак⁵

¹к.т.н., доц. Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна, guzikd64@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2130-951X

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

³к.т.н., доц. Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка», м. Полтава, Україна, al.chered108@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4684-9870

⁴студент. Національний університет «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка», maxim007@i.ua

⁵д.т.н., проф. Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ, Україна, 02oprymak@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9515-9879

Анотація. У статті ставиться питання необхідності вдосконалення конструкції та рекомендацій з установки витяжних вентиляційних пристроїв. Зроблено аналіз останніх досліджень та публікацій, що були присвячені розгляду теоретичних й практичних аспектів руху газодинамічних потоків в системах вентиляції і висвітлені в працях як вітчизняних так і зарубіжних вчених. Наведені головні вимоги до витяжних вентиляційних пристроїв. Розглянуто різні пристрої витяжної вентиляції. Сформульовані цілі і необхідність проведення експериментів з дослідження впливу насадок на формування руху повітря біля них. Представлено конструкцію стенду на якому проводилися досліди в лабораторії кафедри теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики Національного університету «Полтавська політехніка ім. Юрія Кондратюка». Наведено результати стендових випробувань різноманітних вентиляційних насадок на аеродинамічні та акустичні показники. Проведені досліди, зроблено їх аналіз та порівняння. Зроблені основні висновки за результатами проведених лабораторних експериментів. Доведена необхідність і перспективи подальших досліджень з поставлених питань.

Ключові слова: витяжна вентиляція, витяжні пристрої, гідрогазодинаміка, спектр всмоктування, шумові характеристики.

Вступ. У наш час застосування систем вентиляції та кондиціонування повітря є однією з найголовніших умов життя і праці людини. Задача спеціалістів у цій галузі полягає в забезпеченні допустимих чи комфортних умов перебування людини в приміщенні, тобто створенні певного мікроклімату.

Актуальність дослідження. На сьогодні робота систем вентиляції та кондиціонування повітря, тобто створення певних умов в побуті і на робочому місці, є невід'ємною частиною життя людей. Необхідний мікроклімат призводить до підвищення продуктивності праці та ефективності відпочинку та поліпшення психоемоційного стану.

Для створення певних параметрів мікроклімату в побуті і на виробництві сьогодні масово використовуються установки примусової подачі або видалення повітря. Устаткування цих систем дозволяє не тільки видаляти з приміщень виробничі шкідливості, але й за необхідності, очищати витяжне повітря за допомогою фільтрів. Також при нагнітанні, можливо очищати, охолоджувати або нагрівати повітря, що подається до приміщення. З точки зору ефективної роботи витяжних систем цікавим аспектом їхньої роботи є розгляд питання

формування повітряних потоків саме біля всмоктувального отвору залежно від типу, марки пристрою та місця його розташування відносно стелі або вертикальної поверхні.

Останні дослідження та публікації. Механічна вентиляція має на порядки вищу ефективність, аніж природна [1]. Саме тому на сьогодні перевагу віддають саме механічній вентиляції.

Питання руху повітря в приміщенні внаслідок роботи систем вентиляції та кондиціонування повітря в останній час було присвячено чимало робіт як і вітчизняних [2, 3], так і закордонних [4] авторів. Питаннями пов'язаними з формуванням повітряних потоків біля різноманітних припливних пристроїв також ретельно займалися закордонні [5, 6] та українські вчені [7,8].

Цікавим є і розгляд питання руху газодинамічних потоків біля приймальних отворів витяжних систем вентиляції. Від геометричних характеристик приміщення, місця розташування приймального отвору, його типу, ступеню відкриття та інших чинників залежить ефективність роботи систем і, як наслідок, якість повітря в приміщенні. Крім того, в умовах сьогодення все частіше серед вимог до роботи системи

забезпечення мікроклімату висувається й питання забезпечення встановлених норм шуму, що генерують ці системи.

Природні та штучні припливні та витяжні вентиляційні системи повинні відповідати наступним санітарно-гігієнічним вимогам:

- створювати в робочій зоні приміщень нормовані метеорологічні умови праці (температуру, вологість і швидкість руху повітря);
- видалення з приміщень шкідливих газів, парів, пилу та аерозолів;
- не подавати до приміщення забрудненого повітря ззовні або шляхом засмоктування забрудненого повітря з суміжних приміщень;
- бути доступними для управління та ремонту під час експлуатації;
- не створювати на робочих місцях протягів чи різкого охолодження;
- не створювати під час експлуатації додаткових незручностей (наприклад, шуму, вібрацій, потрапляння опадів).

У приміщенні або відкритому просторі, з якого примусово видаляється повітря, виникає своєрідний повітряний потік, який називають всмоктувальною струминою. Умовою її виникнення є різниця між атмосферним тиском і розрідженням повітря в площині всмоктувального отвору. Під дією цієї різниці тисків навколишнє повітря з усіх напрямків рухається до всмоктувального отвору. З наближенням до нього швидкість, м/с, і прискорення, м/с², зростають.

Через будь які замкнуті поверхні, які охоплюють всмоктувальний отвір, протікає однакова витрата повітря, яка дорівнює витраті повітря в отворі. Якщо стік повітря до всмоктувального отвору розвивається на відстані від твердих поверхонь, то ніщо не гальмує вільний рух потоку повітря.

Кожна частинка потоку в своєму русі зближується з сусідніми але не переганяє і не відстає від них у напрямку руху всмоктування його в круглий, квадратний чи прямокутний отвори. Це – важлива особливість даного потоку і дозволяє застосувати до нього залежності теоретичної аеродинаміки для потенціальних течій.

Іншою особливістю є те, що потік діє в порівняно обмеженій області поблизу всмоктувального отвору. Експериментально досліджена структура повітряного потоку під час всмоктування його в круглий, квадратний і прямокутний отвір.

З рис. 1 [1] видно, що на відстані одного діаметра швидкість повітря становить біля 7 %

від швидкості в отворі. Ізотахи розподілення швидкості дещо витягнуті і подібні до дуг еліпса. Спектр всмоктування біля отворів квадратної форми мало відрізняється від спектра біля круглого отвору. Зона дії отворів прямокутної форми більша, ніж отворів квадратної чи круглої форми.

У своїх дослідженнях С. С. Жуковський визначив зміну швидкості, яка формується залежно від його форми (рис. 2). У наш час в арсеналі проєктувальника з'явився ряд нових приймальних пристроїв. Фірми-виробники у багатьох випадках не надають майже ніякої інформації щодо формування спектрів всмоктування на вході в ці пристрої. Майже відсутні данні виробників цих пристроїв щодо шумових характеристик, які змінюється, наприклад, при зміні (регулюванні) площі живого перерізу приймального пристрою. Ці характеристики в загальному випадку слід визначати експериментально.

Формування цілей статті. Метою даної роботи є дослідження формування газодинамічних потоків повітря біля приймальних отворів сучасних витяжних вентиляційних систем, а також визначення їхніх шумових характеристик.

Основна частина. Для досліджень обрано:

- «вільний вхід» повітря до повітропроводу з оцинкованої сталі діаметром 150 мм;
- решітка вентиляційна МВ 150 ПФс ПрАТ «Вентиляційні системи», Україна, м. Київ;
- анемостат А150 ВРФ ПрАТ «Вентиляційні системи», Україна, м. Київ.

Для проведення дослідів використано лабораторний стенд на базі металевих круглих повітропроводів з оцинкованої сталі зі шведським вентилятором моделі Systemair Svenge SE-73930 з регулятором швидкості (з 6 режимами), що змонтований у лабораторії кафедри «Теплогазопостачання, вентиляції та теплоенергетики» Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка» (рис. 3).

Лабораторні дослідження спектру всмоктування біля приймальних пристроїв проводилися шляхом візуальної фіксації за допомогою:

- панелі з оргскла з закріпленими на ній різнокольоровими прапорцями на шарнірній осі для, «вільного» їхнього обертання (рис. 4);
- металевої «рамки» з закріпленими на ній синтетичними нитками діаметром 0.75 мм (рис. 5).

Звуковий тиск зменшується зі збільшенням відстані від джерела звуку і залежить від акустичних характеристик приміщення та місця знаходження джерела звуку (рис. 6).

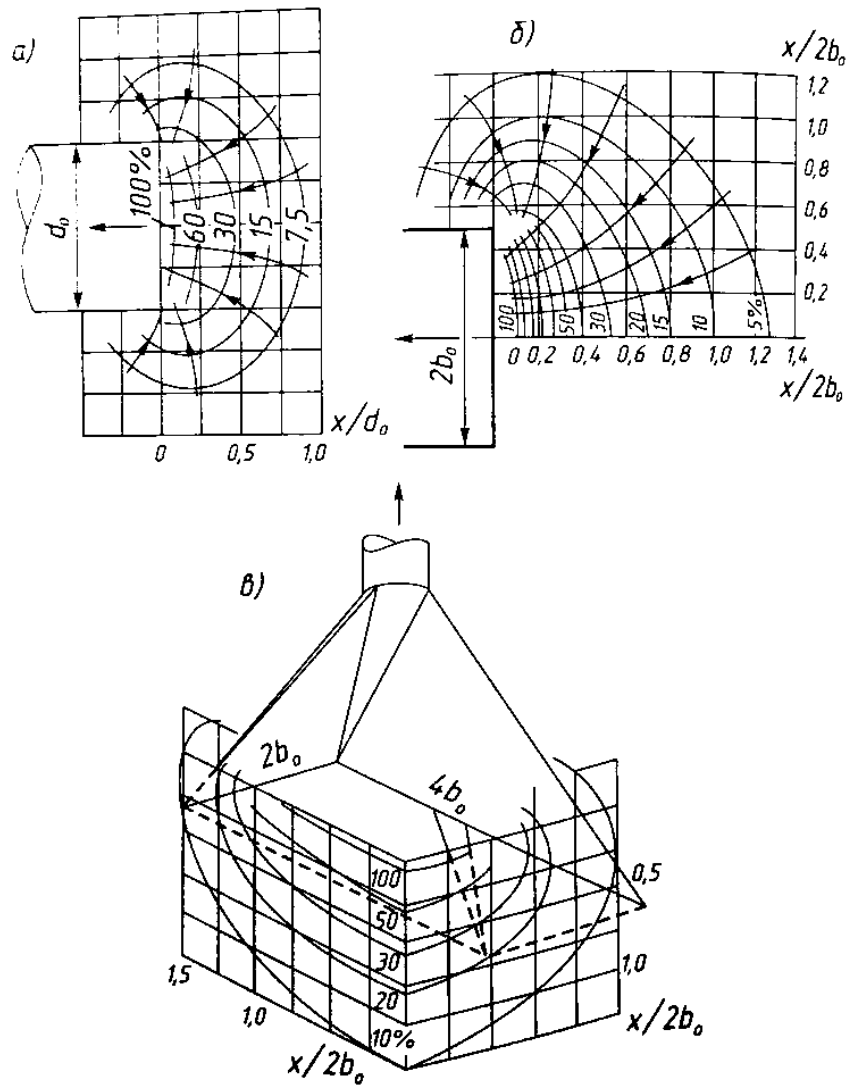


Рис. 1. Структура формування повітряних потоків біля всмоктувальних отворів [1]

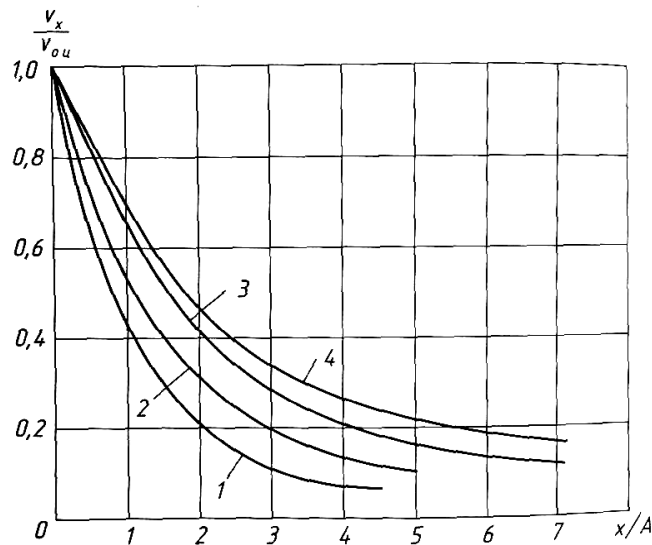


Рис. 2. Зміна відносної швидкості для різної форми всмоктувального отвору
 1 – круглого отвору, 2 – прямокутного з співвідношенням 1:10, 3 – прямокутного з співвідношенням 1:2, 4 – плоского з співвідношенням 1:80.



Рис. 3. Загальний вид стенду для проведення досліджень

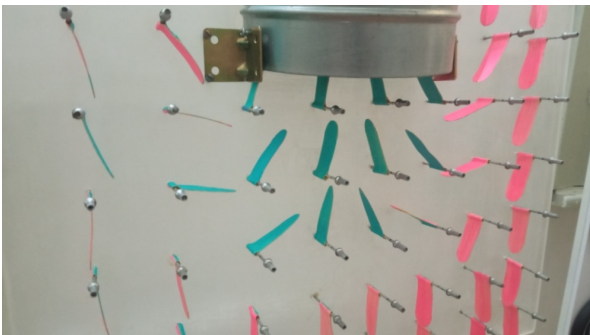


Рис.4. Візуалізація повітряних потоків за допомогою панелі з оргскла та флажків

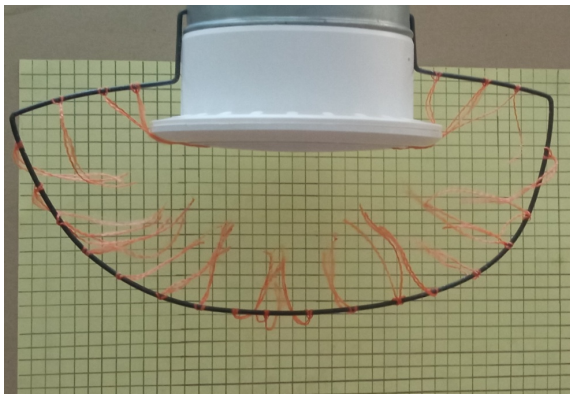


Рис. 5. Візуалізація повітряних потоків за допомогою металевої «рамки» з нитками

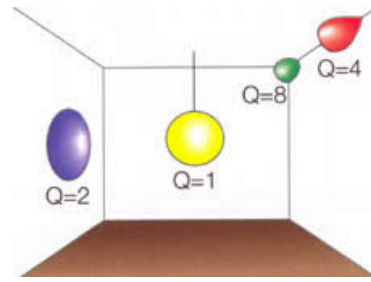


Рис. 6. Коефіцієнти направленості шуму для різних положень джерел шуму у приміщенні:
 $Q=1$ – у центрі приміщення, $Q=2$ – на стіні та стелі,
 $Q=4$ – у торці стелі та стіні, $Q=8$ – у кутку

На рівень звукового тиску, створюваного джерелом шуму, в першу чергу впливають: рівень звукової потужності джерела, коефіцієнт спрямованості, відстань до джерела та звукопоглинальні характеристики приміщення.

Окремий експеримент проводився для визначення рівня шуму, дБ, який утворювався при проходженні повітря крізь відповідний приймальний отвір і змінювався залежно від ступеня його відкриття.

При проведенні експериментів у кожному досліді визначався динамічний тиск на прямій ділянці вертикального повітроводу діаметром 150 мм, на якому залишався вільний вихід або встановлювалися приймальні пристрої. Кожна серія випробувань передбачала проведення дослідів на шести швидкостях вентилятора. Для анемостата досліди повторювалися при чотирьох положеннях регульовального диска – 5, 10, 15 і 20 обертів. Це давало можливість змінювати площу живого перерізу для проходу повітря через цей пристрій.

Вимірювання динамічного тиску здійснювалося електронним мікроманометром ММЦ-200 (рис.7) з пневмометричною трубкою № 8. Після визначення динамічного тиску $P_{дин}$, Па, визначалася швидкість руху повітря та його витрата в живому перерізі повітрязабірного пристрою. Досліди проведено при температурі повітря 15 °С. Густина повітря становить 1,226 кг/м³.

Результати досліджень (рис. 8-10, табл. 1-6) показують такі особливості:

- візуально простежується наявність «застійних зон» за деяких положень (ступеню відкриття) анемостата;
- вентиляційна решітка забезпечує рівномірний розподіл спектру всмоктування повітря за всіх режимах роботи вентилятора;
- шум від анемостата А150 ВРФ збільшується при зменшенні площі живого перерізу для проходу повітря, а при суттєвому її зменшенні навіть виникає дискомфорт унаслідок недопустимого рівня шуму.



Рис. 7. Визначення динамічного тиску мікроманометром ММЦ-200

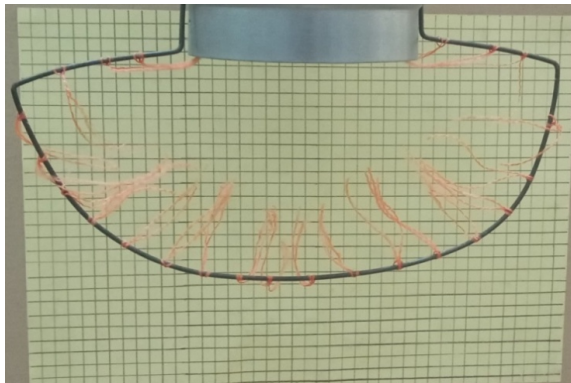


Рис. 9 Дослідження «вільного входу» повітря в повітропровід з режимом швидкості №6.

Таблиця 1

Результати випробувань «вільного входу»

Режим	Динамічний тиск $P_{дин}$, Па	Швидкість V , м/с	Витрата L , м ³ /год
1	0,7	1,07	65
2	1	1,28	78
3	1,6	1,62	99
4	4,4	2,68	164
5	8,2	3,66	224
6	10,9	4,22	258

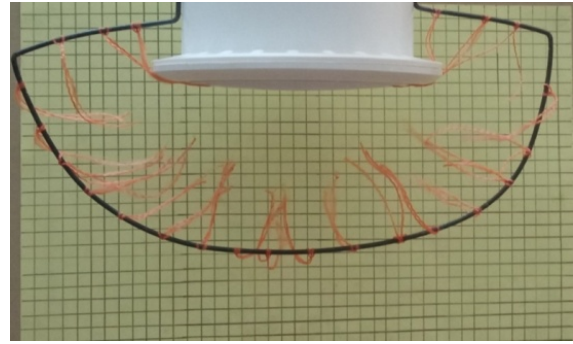


Рис. 10. Дослідження формування повітряних потоків біля анемостата А150 ВРФ.

Таблиця 2

Результати вимірювань вентиляційної решітки МВ 150 ПФС

Режим	Динамічний тиск $P_{дин}$, Па	Швидкість V , м/с	Витрата L , м ³ /год
1	10	4,04	247
2	22	5,99	367
3	32	7,23	442
4	57	9,64	590
5	127	14,39	881
6	10,9	15,06	922

Таблиця 3

Результати вимірювань анемостату у 1 положенні (ступінь відкриття 5 обертів регулюючого диску анемостата)

Режим	Динамічний тиск $P_{дин}$, Па	Швидкість V , м/с	Витрата L , м ³ /год
1	0,7	1,07	65
2	1	1,28	78
3	1,6	1,62	99
4	4,4	2,68	164
5	8,2	3,66	224
6	10,9	4,22	258

Таблиця 4

Результати вимірювань анемостату у 2 положенні (ступінь відкриття 10 обертів регулюючого диску анемостата)

Режим	Динамічний тиск $P_{дин}$, Па	Швидкість V , м/с	Витрата L , м ³ /год
1	0,7	1,07	65
2	1	1,28	78
3	1,6	1,62	99
4	4,4	2,68	164
5	8,2	3,66	224
6	10,9	4,22	258

Таблиця 5

Результати вимірювань анемостату у 3 положенні (ступінь відкриття 15 обортів регулюючого диску анемостата)

Режим	Динамічний тиск $P_{дин}$, Па	Швидкість V , м/с	Витрата L , м ³ /год
1	0,7	1,07	65
2	1	1,28	78
3	1,6	1,62	99
4	4,4	2,68	164
5	8,2	3,66	224
6	10,9	4,22	258

Таблиця 6

Результати вимірювань анемостату у 4 положенні (ступінь відкриття 20 обортів регулюючого диску анемостата – повне використання живого перерізу)

Режим	Динамічний тиск $P_{дин}$, Па	Швидкість V , м/с	Витрата L , м ³ /год
1	0,7	1,07	65
2	1	1,28	78
3	1,6	1,62	99
4	4,4	2,68	164
5	8,2	3,66	224
6	10,9	4,22	258

Висновки. Аналіз отриманих результатів досліджень стендових випробувань різних приймальних вентиляційних отворів показує, що:

- для окремих положень (ступеню відкриття) анемостату марки А150 ВРФ ПрАТ «Вентиляційні системи» візуально спостерігається наявність «застійних зон»;
- вентиляційна решітка МВ 150 ПФС виробництва цієї ж фірми забезпечує рівномірний розподіл спектру всмоктування повітря на всіх режимах роботи вентилятора, що застосовувались;
- генерування шуму анемостата А150 ВРФ посилюється при зменшенні площі живого перерізу для проходу повітря, а при суттєвому її зменшенні навіть виникає дискомфорт унаслідок перевищення допустимого рівня шуму.

Перспективи подальших досліджень. У подальшому слід зробити спробу виведення аналітичних залежностей які б давали змогу аналізувати спектри повітряних потоків, що формуються біля приймальних всмоктувальних отворів різних типів.

Література

1. Мілейковський В. О. Аналітичні дослідження енергетичної ефективності природної вентиляції / В. О. Мілейковський, Г. М. Клименко // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання*. – 2016. – Вип. 20. – С. 39-45.
2. Жуковський С. С. Аеродинаміка вентиляції : навч. посіб. для вищих навч. закладів / С. С. Жуковський, В. Й. Лабай. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2003. – 370 с.
3. Возняк О. Т. Моделювання повітророзподілу в приміщенні у змінному режимі за допомогою моделі турбулентності Спаларта – Алмараса / О. Т. Возняк, І. Є. Сухолова // *Вісник Національного університету "Львівська політехніка"*. Теорія і практика будівництва. – 2016. – № 844. – С. 26-33.
4. Шепелев І. А. Аеродинаміка воздушных потоков в помещении / И. А. Шепелев. – Москва: Стройиздат, 1978. – 144 с.
5. Талиев В.Н. Аэродинамика вентиляции / В.Н. Талиев. – Москва: Стройиздат, 1979. – 295 с.
6. Alkheir M. Experimental study of the vortex organization in a rectangular impinging jet in the presence of self-sustained tones / M. Alkheir, H. N. Assoum, J. Hamdi, T. Mrach // *Energy Reports*. – 2022. – Vol. 8. – P. 1486-1492.
7. Корбут В. П. Використання взаємодії опуклих напівобмежених струмин при вентиляції зі змінною витратою повітря / В. П. Корбут, В. О. Мілейковський, В. Г. Дзюбенко, І. А. Саченко // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник*. – 2021. – Вип. 37. – С.7-12.
8. Корбут В. П. Повітророзподілення опуклими напівобмеженими струминами при вентиляції з постійною витратою повітря / В. П. Корбут, В. О. Мілейковський // *Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання: науково-технічний збірник*, 2021. – Вип. 36. – С.37-50.

References

1. Mileikovskiy V. O., Klymenko H. M. "Analytichni doslidzhennia enerhetychnoi efektyvnosti pryrodnoi ventyliatsii." *Ventylatsiia, osviltennia ta teplohazopostachannia*, vyp. 20, 2016, pp. 39-45.
2. Zhukovskiy S. S., Labai V. Y. *Aerodynamika ventyliatsii*. Vydavnytstvo Lvivskoi politekhniki, 2003.
3. Vozniak O. T., Sukholova I. Ye. "Modeliuvannia povitrorozpodilu v prymishchenni u zminnomu rezhymi za dopomohoiu modeli turbulentsnosti Spalarta – Almarasa." *Visnyk Natsionalnoho universytetu "Lvivska politekhnika"*. *Teoriia i praktyka budivnytstva*, no 844, 2016, pp. 26-33.

4. Shepelev I. A. *Aerodinamika vozдушnykh potokov v pomeshchenii*. Stroiizdat, 1978.
5. Taliev V. N. *Aerodinamika ventiliatsii*. Stroiizdat, 1979.
6. Alkheir M., Assoum H. H., Hamdi J., Mrach. T. “Experimental study of the vortex organization in a rectangular impinging jet in the presence of self-sustained tones.” *Energy Reports*, vol. 8, 2022, pp. 1486-1492.
7. Korbut V. P., Mileikovskiy V. O., Dziubenko V. H., Sachenko I. A. “Vykorystannia vzaiemodii opuklykh napivobmezhenykh strumyn pry ventyliatsii zi zminnoiu vytratoiu povitria” *Ventylitsiia, osviltennia ta teplo hazo-postachannia: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, vyp. 37, 2021, pp. 7-12.
8. Korbut V. P., Mileikovskiy V. O. “Povitorozpodilennia opuklymy napivobmezhenymy strumynamy pry ventyliatsii z postiinoiu vytratoiu povitria” *Ventylitsiia, osviltennia ta teplo hazo-postachannia: naukovo-tekhnichnyi zbirnyk*, vyp. 36, 2021, pp. 37-50.

УДК 697.957

Лабораторные исследования структуры газодинамических потоков

Д. В. Гузик¹, В. А. Милейковский², А. В. Чередникова³, М. И. Сопильник⁴, О. В. Приймак⁵

¹к.т.н., доц. Национальный университет Полтавская политехника им. Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина, guzkd64@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2130-951X

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

³к.т.н., доц. Национальный университет Полтавская политехника им. Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина, al.chered108@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4684-9870

⁴студент. Национальный университет Полтавская политехника им. Юрия Кондратюка, г. Полтава, Украина, maxim007@i.ua

⁵д.т.н., проф. Киевский национальный университет строительства и архитектуры, г. Киев, Украина, 02opriymak@gmail.com ORCID: 0000-0002-9515-9879

Аннотация. В статье ставится вопрос о необходимости совершенствования конструкции и рекомендаций по установке вытяжных вентиляционных устройств. Проведен анализ последних исследований и публикаций, посвященных рассмотрению теоретических и практических аспектов движения газодинамических потоков в системах вентиляции и освещенных в трудах как отечественных, так и зарубежных ученых. Представлены главные требования к вытяжным вентиляционным устройствам. Рассмотрены методы вытяжной вентиляции. Сформулированы цели и необходимость проведения экспериментов по исследованию влияния насадок на формирование движения воздуха. Представлена конструкция стенда, на котором проводились опыты в лаборатории кафедры теплогазоснабжения, вентиляции и теплоэнергетики Национального университета «Полтавская политехника имени Юрия Кондратюка». Приведены результаты стендовых испытаний различных вентиляционных насадок на аэродинамические и акустические показатели. Проведены опыты, их анализ и сравнение. Выбран наиболее подходящий вариант вытяжной вентиляции. Сделаны основные выводы по результатам проведенных лабораторных экспериментов. Доказана необходимость и перспективы дальнейших исследований по поставленным вопросам.

Ключевые слова: вытяжная вентиляция, вытяжные устройства, hydrogasdynamics, exhaust spectrum, noise characteristics.

UDC 697.957

Laboratory Studies of the Structure of Gas Dynamic Flows

D. Guzik¹, V. Mileikovsky², A. Cherednikova³, M. Sopilnik⁴, O. Priymak⁵

¹ PhD, associate professor. National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine, guzikd64@ukr.net, ORCID: 0000-0003-2130-951X

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

³ PhD, associate professor. National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine, al.chednik108@gmail.com, ORCID: 0000-0003-4684-9870

⁴ student. National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava, Ukraine, maxim007@i.ua

⁵ Dr. Hab., prof. Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv, Ukraine, 02opriymak@gmail.com, ORCID: 0000-0002-9515-9879

Abstract. The article raises the question of the need to address the issues of improving the design and recommendations for installing exhaust ventilation devices. The analysis of recent studies and publications devoted to the consideration of theoretical and practical aspects of the movement of gas-dynamic flows in ventilation systems and covered in the works of both domestic and foreign scientists is carried out. The main requirements for exhaust ventilation devices are presented. Exhaust ventilation methods are considered. The goals and necessity of conducting experiments to study the influence of nozzles on the formation of air movement are formulated. The design of the stand is presented, on which experiments were carried out in the laboratory of the Department of Heat and Gas Supply, Ventilation and Heat Power Engineering of the National University "Poltava Polytechnic named after Yuriy Kondratyuk". The results of bench tests of various ventilation nozzles for aerodynamic and acoustic performance are presented. Experiments, their analysis and comparison were carried out. The most suitable variant of exhaust ventilation has been selected. The main conclusions are made based on the results of laboratory experiments. The necessity and prospects for further research on the issues raised are proved. The presence of "stagnant zones" for some positions (degree of opening) of the A150 brand of VRF of PJSC "Ventilation systems" is visually traced. Ventilation grille MV 150 PFS manufactured by the same company provides a uniform distribution of the suction spectrum of air in all modes of operation of the fan used. Noise characteristics of the A150 VRF anemostat increase with decreasing living cross-sectional area for air passage, and with its significant reduction, even discomfort occurs due to increased noise level.

Keywords: exhaust ventilation, exhaust devices, hydrodynamics, rangeofhood, noisecharacteristics.

Надійшла до редакції / Received 03.06.2021