

А. Є. ДЕНИСОВА, Г. В. ЛУЖАНСЬКА, Л. В. ІВАНОВА, О. С. ЖАЙВОРОН, О. С. БОДЮЛ

ВДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ТЕПЛОЛОКАЛІЗАЦІЇ НА ЗАСАДАХ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

З метою досягнення енергозберігаючого ефекту запропоновано перекриття повітровипускного отвору по вертикалі в перемежуваному порядку, зменшуючи тим самим живий перетин для проходу повітря, знижуючи кількість необхідного повітря, значно скорочуючи витрати теплової енергії на систему тепlopостачання. При перекриванні повітровипускного отвору неізотермічний повітряний потік, що витікає розбивається на плоскі струмені, які зливаються в результуючий повітряний потік на певній відстані, що попереджує проникання холодного повітря в приміщення. Для підтвердження запропонованого рішення теоретичні та експериментальні дослідження аеродинамічних та теплових параметрів струменів виконані на пілотній установці, що дозволило встановити температурні і швидкісні поля потоків повітря в теплолокалізуючому пристрої. Підтверджено, що впливовими чинниками ефективності запропонованого рішення є геометричні розміри, швидкість і температура струменів, які зливаються, що визначає далекобійність результуючого повітряного потоку. На підставі результатів математичного моделювання і експериментальних досліджень встановлено зміни аеродинамічних та теплових параметрів струменів в просторі і часі, а також характер розподілу швидкості результуючого повітряного потоку, утвореного злиттям плоских неізотермічних струменів, на вході в опалювальне приміщення. В результаті досліджень виявлено, що зі збільшенням швидкості витікання струменя, збільшується далекобійність повітряного потоку і відповідно підвищується ефективність роботи системи теплолокалізації.

Ключові слова: повітряно-теплова завіса, плоский повітряний струмінь, результуючий потік, аеродинамічні та теплові параметри.

А. Е. ДЕНИСОВА, А. В. ЛУЖАНСКАЯ, Л. В. ИВАНОВА, О. С. ЖАЙВОРОН, Е. С. БОДЮЛ

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМ ТЕПЛОЛОКАЛИЗАЦИИ НА ПРИНЦИПАХ ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЯ

С целью достижения энергосберегающего эффекта предложено перекрывать воздуховыпускное отверстие по вертикали в перемежающемся порядке, что позволяет уменьшить живое сечение для пропуска воздуха, снижает количество необходимого воздуха и соответственно существенно сокращает расходы теплоты на систему теплоснабжения. При перекрывании воздуховыпускного отверстия вытекающий неізотермический воздушный поток, разбивается на плоские струи, которые сливаются на определенном расстоянии в результующий воздушный поток, что предупреждает проникновение холодного воздуха в помещение. Для подтверждения предложенного решения теоретические и экспериментальные исследования аэродинамических и тепловых параметров струй были выполнены на пилотной установке, что позволило установить поля температур и скоростей потоков воздуха в теплолокализующей системе. Установлено, что влияющими факторами эффективности предлагаемого решения являются геометрические размеры, скорость и температура сливающихся струй. На основании результатов математического моделирования и экспериментальных исследований установлено изменения аэродинамических и тепловых параметров струй в пространстве и времени, а также характер распределения скорости результующего воздушного потока, образованного слиянием плоских неізотермических струй, на входе в отапливаемое помещение. В результате исследований выявлено, что с увеличением скорости истечения струи, увеличивается дальность воздушного потока и соответственно повышается эффективность работы системы теплолокализации.

Ключевые слова: воздушно-тепловая завеса, плоский воздушный и результующий поток, аэродинамические и тепловые параметры.

A. E. DENYSOVA, G. V. LUZHANSKA, L. V. IVANOVA, O. S. ZHAIVORON, O. S. BODIUL

IMPROVEMENT OF THERMAL TRAPPING SYSTEMS ON THE PRINCIPLES OF ENERGY SAVING

One of the important directions of development of the energy sector is the development of energy-efficient systems and equipment, the application of which can reduce significantly the consumption of fuel and energy resources. In the cold period of the year the huge mass of outdoor air after the thermal trapping system enters the heated premises of public and industrial buildings. To prevent this, it's necessary to improve the thermal trapping systems installed in open external openings of buildings, in accordance the principles of energy saving technologies. In order to achieve an energy-saving effect it's proposed to overlap the air outlet vertically in interleaved order, that reduces the free cross-section for the passage of air, reduces the amount of required air and accordingly significantly reduces the heat consumption of heating system. When the air outlet is interleaved closed, the escaping non-isothermal air flow is broken into flat jets, which merge at a certain distance into resulting air flow, which prevents the penetration of cold air into the building. For confirmation of proposed solution, the theoretical and experimental studies of the aerodynamic and thermal parameters of the jets were carried out on a pilot plant, which made it possible to establish the fields of temperatures and air flow rates in the heat-trapping system. It is found that the factors influencing the efficiency of the proposed solutions are geometric dimensions, speed and temperature of merging jets, which determines the range of the resulting air flow. Based on the results of mathematical modeling and experimental studies, changes of aerodynamic and thermal parameters of jets in space and time, as well as the character of distribution of speed in the resulting air flow formed by the merger of flat non-isothermal jets at the entrance to heated room, are established. The merging of the jets into the resulting air flow takes place in the initial section, while the general direction of the flow remains parallel to the initial direction of the interacting jets. As a result of research, it is revealed that with increase of jet speed, the range of air flow increases and, accordingly, the efficiency of the thermal trapping system increases.

Keywords: air-thermal curtain, flat air jet, resulting flow, aerodynamic parameters, thermal parameters, energy saving.

Вступ. Актуальність впровадження енергозберігаючих технологій в Україні обумовлена значною залежністю економіки країни від імпорту паливно-енергетичних ресурсів, що суттєво гальмує процес становлення України як енергонезалежної держави.

Україна задовольняє свої потреби в природних енергоресурсах за рахунок власного видобутку приблизно на 45%. Тому фактор енергозбереження є одним із визначальних для енергетичної стратегії нашої країни.

© Денисова А.Є., Лужанська Г.В., Іванова Л.В., Жайворон О.С., Бодюл О.С., 2020

Процеси економічного зростання в Україні, раціоналізації її енергетичного балансу потребують значного технічного і технологічного переозброєння, структурних змін в господарських комплексах країни, зменшення залежності від імпорту паливно-енергетичних ресурсів.

Одним з головних напрямків подолання енергетичної кризи, забезпечення оздоровлення економіки є енергозбереження. Це дієвий шлях значної економії паливно-енергетичних ресурсів та являє собою діяльність, спрямовану на раціональне використання та економне витрачання первинної та перетвореної енергії і природних енергетичних ресурсів в національному господарстві, реалізується з використанням технічних, економічних і правових методів. Одним з найбільш ефективних і масштабних напрямів енергозбереження є галузеве енергозбереження за такими основними напрямками, як впровадження нових енергозберігаючих технологій та обладнання; удосконалення існуючих технологій та обладнання; скорочення витрат енергоносіїв.

Аналіз стану питання. Відкриті дверні отвори будівель і споруд муніципального сектора в холодний та перехідний періоди року призводять до значних втрат теплоти, які можуть обчислюватися сотнями кіловат [1, с. 206]. Вихолодження приміщень тим більше, чим більше відкритих дверних прорізів. При цьому, чим вище температура повітря всередині будівлі, тим з більшою швидкістю холодне зовнішнє повітря надходить в приміщення. Внаслідок цього, значні маси холодного повітря, як більш важкі, заповнюють робочу зону приміщення.

Витрата повітря залежить від [2, с.5]; [3, с.121]; [4, с.15]; [5, с.23]; [6, с. 18]:

- різниці тисків всередині і ззовні будівлі;
- різниці температур всередині і ззовні будівлі;
- швидкості вітру відносно дверного отвору.

Значні маси зовнішнього холодного повітря в зимовий період надходять в опалювальні приміщення будівель, збільшуючи витрати теплоти на системи мікроклімату для створення комфортних умов для людей в цих приміщеннях. Це спричиняє значні перевитрати паливно-енергетичних ресурсів.

Найбільш вагомими чинниками енергозбереження є питомі показники тепловтрат при теплопостачанні будинків громадського та промислового призначення [7, с. 27]; [8 с. 61]. Основним напрямком енергозбереження для цих будинків є оптимальне використання режимів роботи теплового обладнання та пристроїв систем вентиляції і мікроклімату.

Для запобігання проникнення холодного повітря в будинки використовують спеціальні пристрої теплолокалізації – системи повітряно-теплових завіс [9, с. 49]; [10 с. 14].

Системи теплолокалізації захищають відкриті отвори будівель штучно сформованим повітряним

струменем, який спрямовують поперек проникаючого крізь двері і ворота зовнішнього холодного потоку повітря.

Згідно з нормативними вимогами повітряні завіси використовують в таких випадках [9, с. 49]:

– при постійно відкритих прорізах у зовнішніх стінах будівель;

– біля воріт і прорізів у зовнішніх стінах будинків, які не мають тамбурів і відчиняються більше п'яти разів та не менше ніж 40 хв. за робочу зміну, в регіонах з розрахунковою температурою зовнішнього повітря мінус 15 °С і нижче;

– біля зовнішніх дверей вестибюлів будинків громадського та промислового призначення в залежності від розрахункової температури зовнішнього повітря і числа людей, які проходять крізь двері протягом однієї години, а саме, взимку при температурі від –15 °С до –20 °С, коли крізь вхідні двері проходять більше 400 осіб.

Повітряно-теплові завіси використовуються для розділення приміщень з різною температурою повітряного середовища по різні боки вхідних дверей і воріт. Як правило, зовнішні прорізи будинків громадського та промислового призначення є досить габаритними, отже повітряні завіси є досить енергоємними пристроями [11, с.70]; [12, с. 24]. В деяких випадках витрати теплоти при роботі повітряно-теплових завіс навіть перевищують витрати теплоти на опалення будівлі. Отже, збільшення енергетичної ефективності пристроїв теплолокалізації дозволить досягти суттєвого енергозберігаючого ефекту, що необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації систем теплопостачання будівель громадського та промислового призначення.

При роботі повітряно-теплових завіс штучно сформована захисна повітряна маса, змішується як з зовнішнім повітрям, так і з повітрям всередині приміщення. При цьому розподіл температур і швидкості повітря по перетину штучного струменя є нерівномірним. Існуючі методи розрахунку повітряно-теплових завіс недосконалі, зокрема не містять системної інформації щодо характеру розподілу потоків повітря в площині зовнішнього прорізу. Внаслідок цього виникають труднощі урахування розподілу поля температур і епюри швидкостей повітряного струменя, що витікає зі щілин повітродозподільного отвору.

Питання конструювання раціональних теплолокалізуючих пристроїв для будинків громадського та промислового призначення вимагає системного підходу до досліджень на засадах енергозберігаючих технологій-

Основні конструктивні елементи повітряної завіси – це повітропровід для рівномірної роздачі повітря, який забезпечений щілиновидною насадкою з направляючими пластинами, що розташовані по всій його довжині.

Повітря, яке виходить із повітророзподільного отвору, утворює плоский струмінь [13, с. 22]. Насадка пов'язана повітроводами з вентилятором та калорифером, який використовується у разі потреби.

Штучна повітряна завіса формується порівняно вузьким струменем теплового потоку повітря, що надходить зі сторони щільного отвору, під певним кутом назустріч холодному зовнішньому потоку повітря, і є плоским неізотермічним струменем, який виникає на межі двох зустрічних повітряних середовищ, які мають різну температуру. Перепад тисків повітря з двох сторін штучного струменя повітряної завіси, спричиняє зміну його траєкторії, а саме, відбувається відхилення осі струменя від початкового напрямку.

Мета. Шляхом математичного моделювання і

експериментальних досліджень удосконалення схемно-конструктивних особливостей теплолокалізуючих пристроїв та виявлення чинників, що впливають на ефективність роботи повітряно-теплової завіси, з метою зменшення теплових втрат і теплового навантаження на систему тепlopостачання будівлі, відповідно.

Методи дослідження. Для підвищення ефективності роботи систем теплолокалізації необхідно виконати числове моделювання та експериментальні дослідження теплових і аеродинамічних параметрів системи, а саме, особливостей розподілу швидкостей і зміни надлишкових температур при різних способах перекривання перерізу повітророзподільного отвору по вертикалі в перемежованому порядку (рис.1).

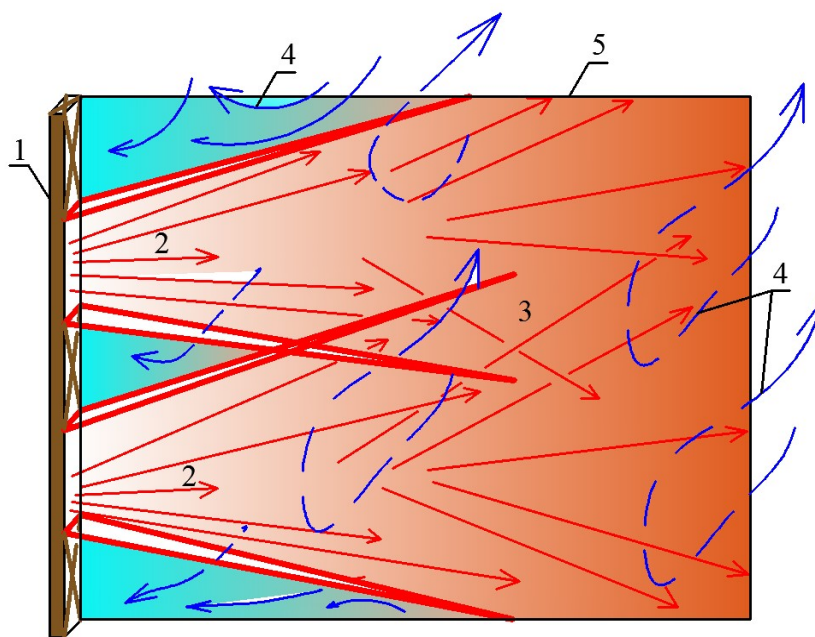


Рис. 1 – Схема руху штучного повітряного потоку системи теплолокалізації:

- 1 – повітророзподільний щільний отвір, перемежований по вертикалі; 2 – плоский неізотермічний струмінь повітря; 3 – результуючий потік повітря після змішання; 4 – холодне зовнішнє повітря; 5 – проріз будівлі

Необхідно відзначити, що процеси, які відбуваються в досліджуваному пристрої, в науковій літературі описані не систематизовано, теоретичні дослідження, як правило, не підтверджені експериментально.

Новизна наших пропозицій полягає у вдосконаленні схемно-конструктивних характеристик повітряно-теплової завіси, а саме, пропонується удосконалити теплообмінні і аеродинамічні параметри повітророзподільного отвору щільності шляхом перекриття її по вертикалі в перемежованому порядку.

Вказане здатне призвести до вдосконалення параметрів розподілення швидкостей і поля надлишкових температур при злитті повітряних потоків, що необхідно встановити експериментальним шляхом.

Отже, необхідно виконати експериментальні дослідження теплових і аеродинамічних процесів, які відбуваються в повітряно-тепловій завісі, при зміні схемно-конструктивних характеристик повітророзподільного отвору щільності.

Для аеродинамічних випробувань була створена пілотна установка повітряно-теплової завіси.

Для визначення полів швидкостей і розподілення надлишкових температур в діапазоні від +8 °С до -18 °С (температура холодної п'ятиденки, для м. Одеси) на діючому стенді, принцип діє якого представлено на рис. 2, були виконані експериментальні дослідження. Повітряно-теплова завіса встановлена у зовнішнього отвору 1. Нагріте в калорифері 4, повітря подається по повітроводам 16 вентилятором 3. Витікання повітря здійснюється з щільного

повітророзподільного отвору коробки 2, який перекривається в перемешованому порядку.

Для виконання вимірювань швидкості установка забезпечена термоанемометром 13 з можливістю визначення напрямку швидкості і температури з вбудованим вимірювальним зондом 11 і координатною сіткою 6 для розподілу точок замірів. Вимірювання кількості повітряного струменя здійснювалося камерної діафрагмою 8, з'єднаної з U-подібним дифманометром 17.

Регулювання кількості повітря відбувалось засувкою 7. Вимірювання температури потоку проводилося спиртовим термометром 5 з шкалою розподілу $0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ і термоанемометром-термометром – позиція 13.

Повний аеродинамічний опір пристрою визначався за показаннями дифманометра.

Перед початком експериментальних досліджень проводилося калібрування термоанемометра і установка перемешованих щілинних отворів для створення повітряного потоку, що витікає і досліджується. Шляхом встановлення координатної сітки по зрізу повітророзподільного отвору чи в необхідному перетині, визначалася кількість точок, які підлягають виміру.

Після включення вентилятора і калорифера виконувалися виміри швидкості і надлишкової температури в заданому перетині, після чого

координатна сітка переносилася на наступну відстань, до іншого перетину для вимірювань.

Для визначення особливостей поля швидкостей і температур експериментальні дослідження проводились в три етапи:

– дослідження ефективності роботи повітряно-теплової завіси при різних схемно-конструктивних характеристиках щілинного повітророзподільного отвору;

– визначення параметрів полів температур і швидкості, які утворені при взаємодії повітряних струменів;

– дослідження відносної швидкості і температури повітряного потоку, утвореного при взаємодії повітряних струменів.

Визначальними факторами, що впливають на ефективну роботу повітряно-теплових завіс, є комплекс аеродинамічних параметрів: швидкість і температура витікання; геометричні параметри струменів, що витікають та результуючого повітряного потоку після змішання; дальобійність результуючого струменя, тобто відстань від повітророзподільного щілинного отвору.

В результаті експериментальних досліджень отримано графік злиття плоских неізотермічних струменів в результуючий (змішаний) повітряний потік в залежності від ширини щілинного отвору і початкової швидкості потоку (рис. 3).

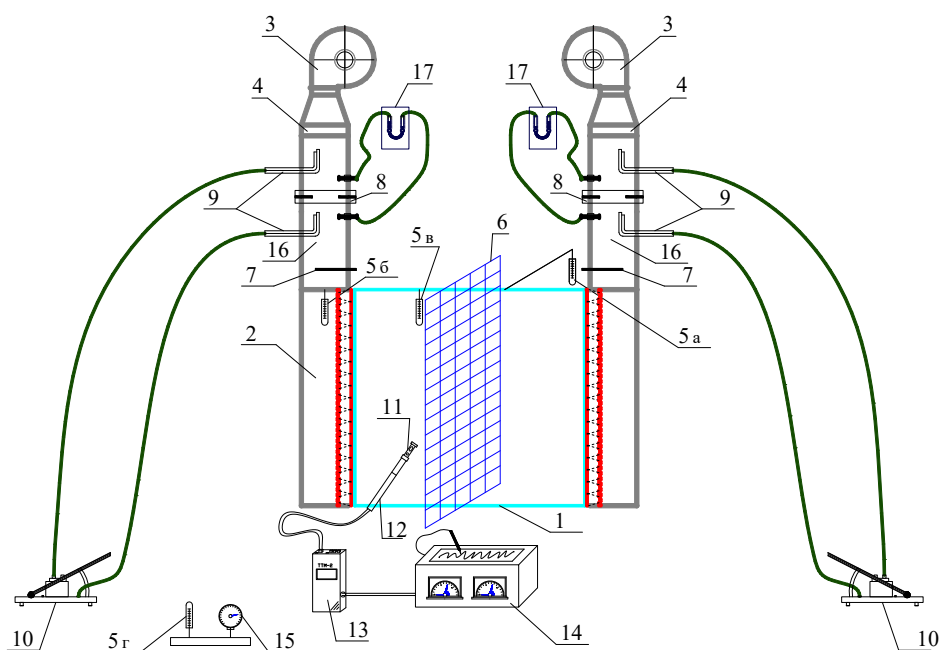


Рис. 2 – Пілотна установка теплолокалізуючого пристрою:

1 – проріз будівлі; 2 – короб завіси з перемешованими щілинами; 3 – вентилятор; 4 – калорифер; 5 – термометр: 5 а – зовнішнього повітря; 5 б – повітря, що витікає; 5 в – змішаного повітряного потоку; 6 – координатна сітка; 7 – засувка; 8 – діафрагма; 9 – трубка Піто; 10 – мікро анемометр; 11 – зонд; 12 – термоскопічна трубка; 13 – термоанемометр; 14 – самописець; 15 – барометр; 16 – повітропровід; 17 – U-подібний манометр

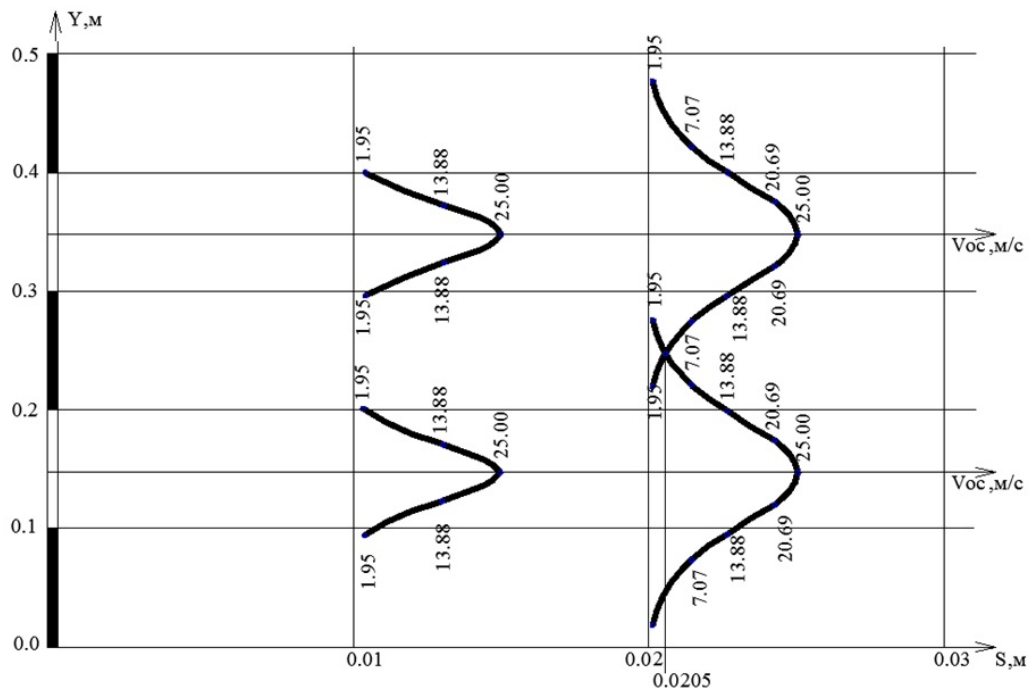


Рис. 3 – Змішування плоских струменів в результуючий потік повітря:
 X – вісь відстані по горизонталі в сторону відкритого зовнішнього прорізу будівлі, м; Y – вісь відстані по вертикалі в сторону в щілинних отворів, м; V_{oc} – вісь швидкості повітряного потоку, м/с

По осі X представлено відстань від місця витікання повітряних струменів по вертикалі в бік відкритого зовнішнього прорізу будівлі по горизонталі; по осі Y відкладено розміри щілинних отворів у вертикальній площині; по осі V_{oc} – швидкість плоского неізотермічного струменя в залежності від відстані від місця витікання по горизонталі і відповідно від відстані по вертикалі в профільних перетинах потоку.

В ході виконання експерименту виконано дослідження, що пов'язані з визначенням впливу зміни живого перетину щілинних повітророзподільних отворів для витікання повітря, шляхом варіювання геометричних розмірів, на далекобійність результуючого повітряного потоку, утвореного після змішування струменів, і його швидкість, відповідно.

Визначено оптимальні параметри повітророзподільного отвору, при якому розміри щілини становлять 200 x 100 мм, при цьому плоскі струменя зливаються в результуючий потік на відстані 2,2 см на початковій ділянці формування струменя, що перешкоджає утворенню холодних зон для проривів зовнішнього повітря в опалювальні приміщення будівель громадського і промислового призначення. В результаті злиття і взаємодії струменів утворюється неізотермічний плоский потік, який повністю перекриває відкритий зовнішній отвір, тим самим підвищуючи ефективність роботи теплолокалізуючої установки, зменшуючи споживання теплової енергії та удосконалює роботу системам тепlopостачання будівлі.

Виконаємо дослідження температурних і швидкісних полів витікання плоских повітряних неізотермічних струменів, що злилися в єдиний повітряний потік засобами математичного моделювання.

Отримання адекватної картини фізичного процесу, тобто зміна фізичних параметрів в просторі і часі, можливо в результаті його математичного моделювання [14, с. 40].

Моделювання аеродинамічних та теплових параметрів досліджуваних струменів повітряно-теплової завіси досліджуваних виконувалося з використанням програмного модуля SolidWorks Flow Simulation, заснованого на методі кінцевих елементів.

Основними етапами реалізації математичної моделі з використанням можливостей SolidWorks Flow Simulation є:

- створення 3D-моделі течії;
- препроцесорна обробка для генерування кінцево-елементної сітки розрахункової області течії;
- накладення граничних умов;
- постпроцесорна обробка результатів моделювання з візуалізацією полів швидкостей і температур.

Шляхом застосування математичного апарату, отримано візуалізацію фізичного процесу та встановлено зміну аеродинамічних та теплових параметрів в часі та просторі (зміну і розподіл швидкості та температури результуючого повітряного потоку, утвореного при злитті плоских неізотермічних струменів повітря, на вході в опалювальне приміщення будівлі.

При цьому, рух повітряних струменів моделюється за допомогою рівнянь Нав'є-Стокса, які описують в нестационарній постановці закони збереження маси, імпульсу і енергії повітряного середовища.

Крім того, використані рівняння стану компонентів доквілля та емпіричні залежності в'язкості компонентів навколишнього середовища від температури. Для моделювання турбулентних течій рівняння Нав'є-Стокса осереднювалось по числу Рейнольдса. В результаті рівняння мають додаткові члени – напруги по числу Рейнольдса, а для замикання системи рівнянь в SolidWorks використані рівняння переносу кінетичної енергії турбулентності і дисипації з використанням *k-ε* моделі турбулентності [15, с. 79]; [16 с. 124], бо потік, що витикає з повітророзподільних отворів відрізняється створенням вихорів і появою турбулентності, тому для моделювання використана *k-ε* модель турбулентності, яка найбільш подібна до реального процесу.

При математичному моделюванні використана покращена *k-ε* модель турбулентності – *k-ε* "Realizable", яка звичайно використовується для дослідження струменів. Ця модель застосовується, коли необхідно максимально наближено до реальних умов змоделювати процес течії.

Процес генерування кінцево-елементної сітки об'єкта дослідження є найбільш трудомістким кроком препроцесорної обробки, бо від якості згенерованої сітки елементів залежать результати математичного моделювання.

Залежно від складності об'єкта дослідження кінцево-елементна сітка може бути структурованою і неструктурованою. У нашому дослідженні використовувалася неструктурована кінцево-елементна сітка, основною перевагою якої є властивість дрібно розташовуватися навколо об'єктів різної форми.

Постпроцесорна обробка є фінальним етапом даного аналізу. Вона включає візуалізацію результатів, отриманих шляхом математичного моделювання аеродинамічних процесів в системі теплолокалізації.

Використанні рівняння можна представити у вигляді:

- рівняння руху:

$$\rho \frac{\partial \vec{g}}{\partial t} = -\nabla P + \nu \nabla^2 \vec{g}$$

де ρ – густина повітря;

\vec{g} – векторне поле швидкостей;

∇ – оператор Гамільтона;

P – тиск.

- рівняння нерозривності:

$$\nabla \cdot \vec{g} = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

де $\frac{\partial u}{\partial x}, \frac{\partial v}{\partial y}, \frac{\partial w}{\partial z}$ – градієнти швидкості у напрямках x, y, z .

У даній моделі використалося також «внутрішнє завдання»: повітря, подавалось крізь систему прямокутних отворів з розмірами 100 x 200 мм із варіюванням швидкості вхідного потоку у межах 5 ... 15 м/с, тиск у приміщенні приймався 200 Па з урахуванням роботи системи вентиляції, температура зовнішнього повітря варіювалася у межах мінус 25 ... мінус 5 °С, вітрове навантаження (вплив швидкості руху зовнішнього повітря) змінювалось у межах 1 ... 5 м/с. Температура повітря в приміщенні приймалася рівною 20 °С, температура повітря, що подається, у завісі варіювалася у межах 30 ... 50 °С.

На рис. 4 показаний загальний вигляд моделі теплолокалізуючого пристрою, створеної засобами SolidWorks Flow Simulation.

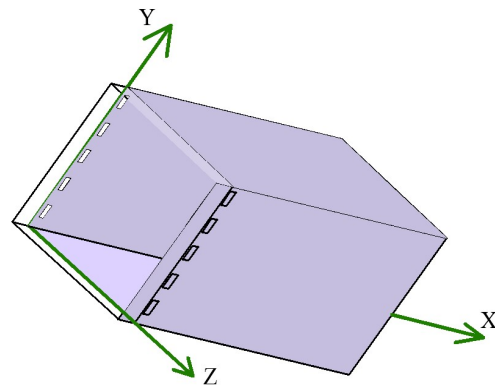


Рис. 4 – Модель повітряно-теплової завіси з перемешкованими отворами

В результаті досліджень при різних швидкостях витікання і температурах отримано, що найбільш небезпечна температурна зона, з точки зору прориву холодного повітря в приміщення, утворюється в центральній частині.

При збільшенні швидкості подачі повітря в завісі відбувається більш повна локалізація приміщення.

Внаслідок виникнення збурень за торцями щільних отворів зі збільшенням відстані від точки витікання відбувається більш плавний рух, що свідчить про зменшення гальмування і втрат тиску на тертя і більш рівномірному рух, утвореного результуючого повітряного потоку на початковій ділянці струменя (рис. 5–7).

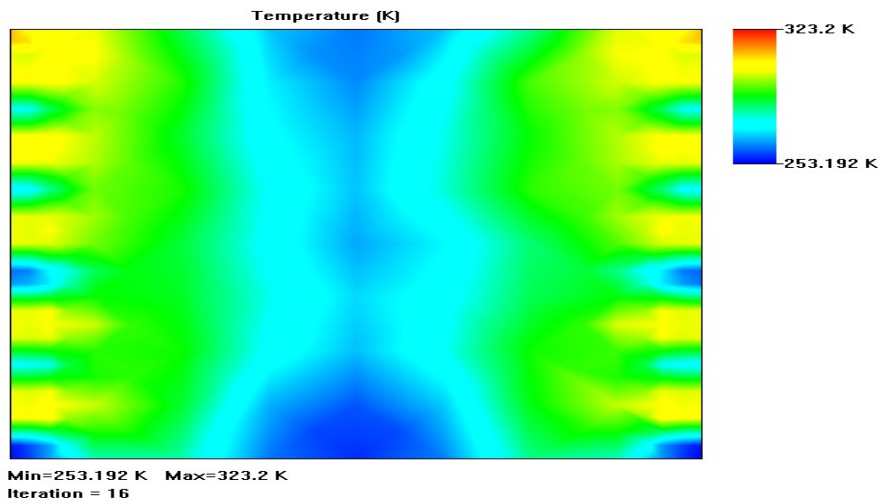


Рис. 5 – Поле температур на вході в приміщенні при температурі зовнішнього повітря мінус 15 °С і температурі повітря в щілинному насадку 30 °С.

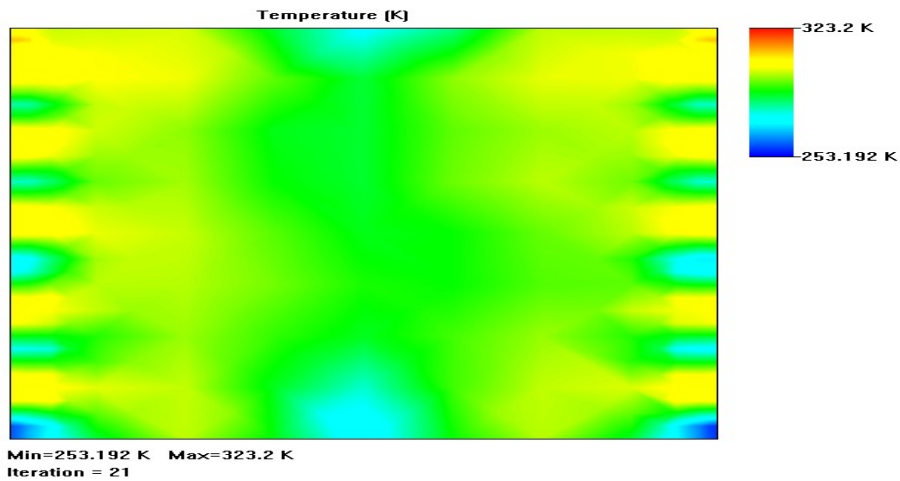


Рис. 6 – Поле температур на вході в приміщенні при температурі зовнішнього повітря мінус 15 °С і температурі повітря в щілинному насадку 40 °С.

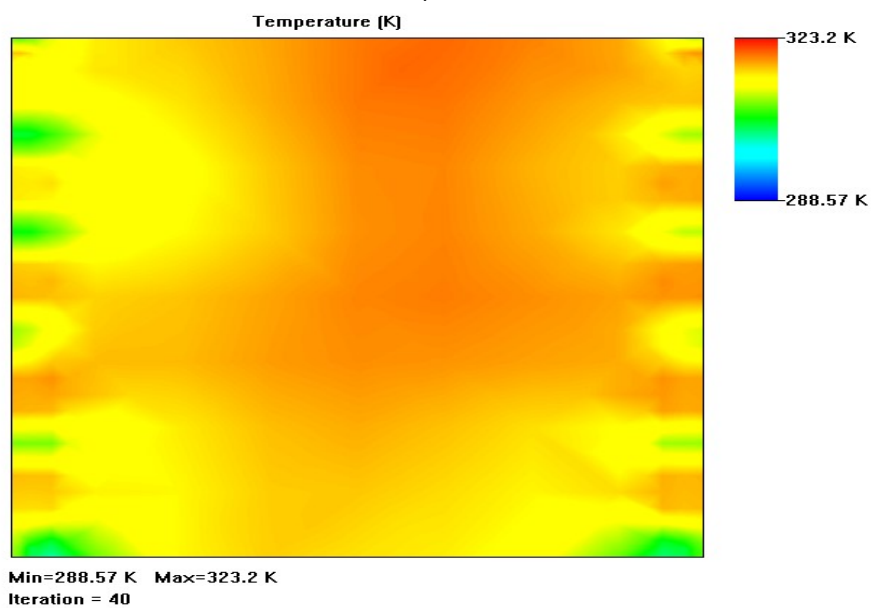


Рис. 7 – Поле температур на вході в приміщенні при температурі зовнішнього повітря мінус 15 °С і температурі повітря в щілинному насадку 50 °С.

Висновки та перспективи подальшого розвитку даного напрямку. В результаті аналізу узагальнених результатів математичного моделювання та експериментальних досліджень, що виконані на пілотній установці теплолокалізації, спрямованих на визначення поля швидкостей і температур повітряного потоку, що витікає з повітророзподільної насадки теплолокалізуючого пристрою, можна зробити такі висновки :

– удосконалено конструкцію повітророзподільного отвору системи теплолокалізації шляхом перекриття його по вертикалі в перемежованому порядку, що призводить до енергозберігаючого ефекту;

– визначено оптимальні розміри щілинних отворів 200 x 100 мм для витіку плоских неізотермічних струменів, що попереджує проникнення холодного зовнішнього повітря, забезпечуючи роботу системи на засадах енергозбереження;

– визначено оптимальну відстань, де відбувається злиття плоских неізотермічних струменів, які витікають з повітророзподільного щілинного отвору, формуючи результуючий повітряний потік на мінімальній відстані 2,2 см від щілинного отвору, що забезпечує підвищення ефективної роботи повітряно-теплової завіси;

– встановлено оптимальні умови формування результуючого струменя на початковій ділянці розвитку плоского неізотермічного струменя, що дозволяє сформувати повітряний потік, який повністю перекриває зовнішній отвір, запобігаючи виникненню холодних зон і перешкоджаючи проникненню холодного зовнішнього повітря в опалювальні приміщення будинків громадського та промислового призначення;

– розроблено конструкцію системи теплолокалізації зі зменшеним живим перетином для руху повітря, шляхом перекриття щілинного повітророзподільного отвору в перемежованому порядку по вертикалі, що дозволило зменшити витрату повітря, яке подається на повітряно-теплову завісу, і призводить до скорочення витрати теплоти на систему теплопостачання, відповідно зменшуючи споживання паливно-енергетичних ресурсів.

Список використаних джерел

1. Ананьев В.А., Балуева Л.Н., Гальперин А.Д., Городов А.К., Еремін М.Ю., Звягинцева С.М., Мурашко В.П., Седых И.В. Системы вентиляции и кондиционирования. Теория и практика. Евроклимат-2003. – 416 с.
2. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Влияние внешних условий и внутренних факторов защищаемого объекта на работу струйного заграждения. Специальность 05.14.04 Промышленная теплоэнергетика. Мирошниченко Людмила Олеговна. М., 2007. – 20 с.

3. Гримитлин А.М., Стронгин А.С. Воздушные завесы для зданий и технологических установок: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2018. – 136 с. – (Учебники для вузов. Специальная литература).
4. Лужанская А.В., Зайцев О.Н., Аэродинамика воздушно-тепловых завес в промышленных зданиях и сооружениях (монография). Научное издание к 50-ти летию НАПКС – Симферополь: НАПКС, СОНАТ 2009. – 184 с, ISBN 9668111-56-7
5. Григорьев А.Ю., Григорьев К.А., Брайнин А.Я. Экспериментальное исследование аэро- и термодинамических процессов в проемах, оборудованных тепловыми завесами // Вестник Международной академии холода. 2014. № 1. С. 23–26.
6. Вовк Н. Промышленные воздушные завесы-важные особенности // AW Therm №1 сичень-лютий 2020. № 1. – С. 18–21.
7. O. Klymchuk, A. Denysova, A. Mazurenko, G. Balasarian, A. Tsurcan. Construction of methods to improve operational efficiency of an intermittent heat supply system by determining conditions to employ a standby heating mode // (2018) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 6. – 8 (96), pp. 25–31
8. Klymchuk O., Denysova A., Balasarian G., Ivanova L., Bodiul O. Enhancing efficiency of using energy resources in heat supply systems of buildings with variable operation mode // EUREKA, Physics and Engineering. 2020. № 3, pp. 59–68.
9. ДБН В.2.5-67:2013 Опалення, вентиляція та кондиціонування/Мінрегіон України, К., 2013. 113 с.
10. ДБН В.2.2-9:2018 Громадські будинки та споруди / Мінрегіон України, Київ, 2019. – 47 с.
11. Кустиков Г.Г., Таран М.А., Ускова О.И. Воздушная завеса повышенной эффективности // Омский научный Вестник №3 (143) 2015. – С. 70–73
12. Григорьев А.Ю., Рубцов И.А. Аэро- и термодинамические процессы в проемах, оборудованных тепловыми завесами // Вестник Междун. академии холода. 2011. № 4. – С. 24–26.
13. Лужанская А.В. Оценка эффективности работы теплолокализирующих устройств // Холодильная техника та технологія. Том 53. Випуск 4. – Одесса: ОНАХТ. 2017. – С. 21–25.
14. Лужанская А.В., Коваль П.П., Фокин А.С., Греку И.Н. Повышение эффективности теплозащиты зданий и сооружений // Энергоэффективные технологии в мѣському будівництві та господарстві: матеріали VII Міжн. Наук.-практ. Конф. 17–18 травня 2018 р. – Одеса: ОДАБА, 2018. – С.39–43.
15. SolidWorks. Компьютерное моделирование в инженерной практике / Алямовский А. А., Собачкин А. А., Одинцов Е. В., Харитонович А. И., Пономарев Н. Б. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 800 с.
16. ТОВАЖНЯНСЬКИЙ Л.Л., БУХКАЛО С.І., ДЕНИСОВА А.Є. та ін. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах (інноваційні заходи): Підручник. – К.: ЦНЛІ, 2016. – 470 с.

References (transliterated)

1. Anan'ev V.A., Balueva L.N., Gal'perin A.D., Gorodov A.K., Eremin M.Ju., Zvjaginцева S.M., Murashko V.P., Sedyh I.V. Sistemy ventiljacji i kondicionirovanija. Teorija i praktika. Evroklimat-2003. – 416 p.

2. Avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tehniceskix nauk. Vlijanie vneshnih uslovij i vnutrennih faktorov zashishhaemogo ob#ekta na rabotu strujnogo zagrazhdenija. Special'nost' 05.14.04-Promyshlennaja teploenergetika. Miroshnichenko Ljudmila Olegovna. M., 2007. – 20 p.
3. Grititlin A.M., Strongin A.S. Vozdushnye zavesy dlja zdaniy i tehnologicheskix ustanovok: Uchebnoe posobie. – SPb.: Izdatel'stvo «Lan», 2018. – 136 p. – (Uchebniki dlja vuzov. Special'naja literatura).
4. Luzhanskaja A.V., Zajcev O.N., Ajerodinamika vozdushno-teplovix zaves v promyshlennyx zdaniyax i sooruzheniyax (monografija). Nauchnoe izdanie k 50-ti letiju NAPKS – Simferopol': NAPKS, SONAT 2009. – 184 p, ISBN 9668111-56-7
5. Grigor'ev A.Ju., Grigor'ev K.A., Brajnin A.Ja. Jeksperimental'noe issledovanie ajero- i termodinamicheskix processov v proemah, oborudovannyx teplovymi zavisami // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda. 2014. No. 1, pp. 23–26.
6. Vovk N. Promyshlennye vodushnye zavesy-vazhnye osobennosti//AW Therm №1 sichen'-ljutij 2020. No. 1, – pp. 18–21.
7. O. Klymchuk, A. Denysova, A. Mazurenko, G. Balasarian, A. Tsurcan. Construction of methods to improve operational efficiency of an intermittent heat supply system by determining conditions to employ a standby heating mode // (2018) Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. Vol. 6. – 8 (96), pp. 25–31.
8. Klymchuk O., Denysova A., Balasarian G., Ivanova L., Bodiul O. Enhancing efficiency of using energy resources in heat supply systems of buildings with variable operation mode // EUREKA, Physics and Engineering. 2020, No. 3, pp. 59–68.
9. DBN V.2.5-67:2013 Opalennja, ventiljacija ta kondicionuvannja/Minregion Ukraïni, K., 2013. 113 p.
10. DBN V.2.2-9:2018 Gromads'ki budinki ta sporudi / Minregion Ukraïni, Kiïv, 2019. – 47 p.
11. Kustikov G.G., Taran M.A., Uskova O.I. Vozdushnaja zavesa povyshennoj jeffektivnosti // Omskij nauchnyj Vestnik No. 3 (143) 2015, – pp. 70–73
12. Grigor'ev A.Ju., Rubcov I.A. Ajero- i termodinamicheskije processy v proemah, oborudovannyx teplovymi zavesami // Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda. 2011. № 4, – pp. 24–26.
13. Luzhanskaja A.V. Ocenka jeffektivnosti raboty teplolokalizujushhix ustrojstv // Holodil'na tehnika ta tehnologija. Tom 53. Vipusk 4. – Odessa: ONAHT. 2017, – pp. 21–25.
14. Luzhanskaja A.V., Koval' P.P., Fokin A.S., Greku I.N. Povysenie jeffektivnosti teplozashhity zdaniy i sooruzhenij // Energoeffektivni tehnologii v mis'komu budivnictvi ta gospodarstvi: materiali VII Mezhdunarodnoj Nauk.-prakt. Konf. 17–18 travnja 2018 r. – Odesa: ODABA, 2018, – pp. 39–43.
15. SolidWorks. Komp'juternoe modelirovanie v inzhenernoj praktike / Aljamovskij A. A., Sobachkin A. A., Odincov E. V., Haritonovich A. I., Ponomarev N. B. – SPb.: BHV-Peterburg, 2005. – 800 p.
16. Tovazhnjanskij L.L., Bukhhalo S.I., Denisova A.E. ta in. Zagal'na tehnologija harchovoï promislivosti u prikladax i zadachah (innovacijni zahodi): Pidruchnik. – K.: CNL, 2016. – 470 p.

Надійшла (received) 19.10.2020

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Денисова Алла Євсївна (Денисова Алла Евсеевна, Denysova Alla Evsivna) – доктор технічних наук, професор, Одеський національний політехнічний університет, директор Українсько-польського інституту; м. Одеса, Україна;

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3906-3960> ;

e-mail: alladenysova@gmail.com.

Лужанська Ганна Вікторівна (Лужанская Анна Викторовна, Luzhanska Ganna Viktorivna) – кандидат технічних наук, доцент, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, м. Одеса, Україна;

ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3784-5926>;

e-mail: luzhanska@opu.ua

Іванова Лідія Володимирівна (Иванова Лидия Владимировна, Ivanova Lidia Volodymyrivna) – кандидат технічних наук, Одеський національний політехнічний університет, доцент кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, м. Одеса, Україна;

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0002-0752-6983>;

e-mail: lvivanova@opu.ua

Жайворон Оксана Сергїївна (Жайворон Оксана Сергеевна, Zhavoron Oksana Sergiivna) – аспірант, Одеський національний політехнічний університет, аспірант кафедри теплових електричних станцій та енергозберігаючих технологій, м. Одеса, Україна;

ORCID ID 0000-0001-6750-2388;

email: javoron.oksana@gmail.com

Бодюл Олена Станіславівна (Бодюл Елена Станиславовна, Bodiul Olena Stanislavivna) – кандидат технічних наук, Одеської національної академії харчових технологій, старший викладач кафедри інформаційних технологій та кібербезпеки, м.Одеса, Україна;

ORCID ID <https://orcid.org/0000-0001-9925-434x>;

e-mail: bodyulolena@ukr.net