

12. Bolotskikh N.S. Vodoponizhenie. Kharkov: Vishcha shkola. izd. pri Kharkovskom gosudarstvennom universitete, 1981. 144 s. vodoponizheniya s polistruynymi nasosami. Naukovyy visnyk budivnitstva. KHNUBA, KHOTV ABY, 2016. vyp. 85 (3). c. 234-241.
13. Bolotskikh N.S. Effektivnost rabocheho rezhima universalnykh ustanovok vakuumnogo

**Bolotskykh N.S., Bolotskykh N.N. DETERMINATION OF THE EFFICIENCY OF THE OPERATING MODE OF THE WATER-REDUCING INSTALLATION PUVV-5MEA IN DIFFERENT CONDITIONS OF ITS APPLICATION.** The general view, description and main characteristics of the universal installation for local vacuum dewatering PUVV-5MEA are given, the most typical schematic diagrams of dewatering with the use of this installation during the construction and operation of buried and underground facilities are described, the main dependencies and calculation formulas are obtained for determining the efficiency of the operating mode of the installation in various conditions of its use.

**Key words:** installation of vacuum dewatering, poly-jet pump, operating mode, wellpoints, drive station.

doi.org/10.29295/2311-7257-2018-101-3-166-176

УДК 697.4

**Болотських М.М., Болотських М.С.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

*(вул. Сумська, 40, Харків, 61002, Україна; e-mail: [tgytyer@gmail.com](mailto:tgytyer@gmail.com); [orcid.org/000-0003-0756-7264](https://orcid.org/000-0003-0756-7264), [orcid.org/000-0002-7756-6550](https://orcid.org/000-0002-7756-6550))*

## **СТВОРЕННЯ ТЕПЛООВОГО КОМФОРТУ В РОБОЧИХ ЗОНАХ ПРИМІЩЕНЬ З ІНФРАЧЕРВОНИМ ОБІГРІВОМ**

Наведено показники, що характеризують навколишнє середовище людини в робочій зоні приміщення, що обігрівається, показано їх вплив на формування теплового комфорту; сформульовані основні умови для отримання оптимального теплового комфорту в робочих зонах приміщень; отримані залежності для визначення значень ефективної температури і інтенсивності опромінення при використанні різних типів і моделей інфрачервоних обігрівачів; дані рекомендації з вибору допустимих значень інтенсивності опромінення людей, що знаходяться в робочих зонах приміщень, з метою виключення можливості несприятливого впливу на їх організми; запропонована методика вибору і розрахунку параметрів інфрачервоних систем обігріву приміщень, що дозволяє забезпечувати в їх робочих зонах оптимальний тепловий комфорт відповідно до затверджених державних санітарних норм при мінімальних витратах енергоресурсів; приведена блок-схема цієї методики та надано рекомендації щодо її подальшого практичного використання.

**Ключові слова:** інфрачервоне опалення, тепловий комфорт, інтенсивність випромінювання, ефективна температура, алгоритм методики вибору та розрахунку систем інфрачервоного обігріву.

**Вступ.** У світовій практиці для обігріву приміщень різного призначення широко застосовуються інфрачервоні обігрівачі [1,2]. Їх робота заснована на використанні принципу теплового випромінювання. Таке випромінювання є природним процесом, при якому тепло передається від тіла з вищою температурою до тіла з низькою температурою в формі електромагнітних хвиль. Під впливом електромагнітного випромінювання в приміщенні нагріваються поверхні предметів (підлоги, обладнання) і люди, що знаходяться в зоні прямої дії системи променистого обігріву. В подальшому від них нагрівається повітря і в робочій зоні приміщення формується відповідний температурний режим.

Світовими компаніями, фірмами та підприємствами випускається велика кількість різних типів, моделей і марок інфрачервоних обігрівачів. У ХНУБА на базі ретельного аналізу і узагальнення цих обігрівачів складена їх досить детальна класифікація, опублікована в [1]. Інфрачервоні обігрівачі по виду використовуваної енергії діляться на: електричні, газові, парові або водяні (термопанелі), рідкопаливні та твердопаливні. За призначенням вони поділяються на побутові та промислові, а по величині температури випромінюючої поверхні на низькотемпературні, середньотемпературні і високотемпературні. По

довжині хвилі електромагнітного випромінювання вони поділяються на три групи: довгохвильові ( $\lambda = 50 \div 200$  мкм), середньохвильові ( $\lambda = 2,5 \div 50$  мкм) і короткохвильові ( $\lambda = 0,74 \div 2,5$  мкм). Газові обігрівачі в свою чергу діляться на відкриті («світлі») і закриті трубчасті («темні» і «супертемні»). За допомогою всіх згаданих вище інфрачервоних обігрівачів можна забезпечувати надійний обігрів практично будь-яких приміщень.

Інфрачервоні обігрівачі мають ряд дуже істотних переваг в порівнянні з іншими традиційними приладами та пристроями, наприклад, конвективними і повітряними, зокрема: можливість економії до 35-45% енергоресурсів; швидкий обігрів приміщення; можливість забезпечення комфортного для людини мікроклімату в робочій зоні; застосування в більшості випадків програмованого терморегулювання з урахуванням змін температури зовнішнього повітря і необхідності підтримки в приміщенні заданої температури; надійність і безпека в роботі; простота в монтажі та обслуговуванні; довговічність і економічність і ряд інших. В умовах зростаючого дефіциту і зростання вартості енергоресурсів згадані вище переваги інфрачервоних обігрівачів сприяють подальшому розширенню сфери їх застосування.

**Постановка проблеми і зв'язок її із важливими науковими чи практичними завданнями.** Інфрачервоні системи дозволяють не тільки обігрівати приміщення, але і дають можливість створювати в їх робочих зонах для працюючих людей комфортні мікрокліматичні умови, які можна порівняти з природними, тобто забезпечувати необхідну для них теплову комфортність. Під теплової комфортністю розуміється суб'єктивне відчуття людини, задоволеної оточуючими його кліматичними умовами. Природно, що однакові кліматичні умови навколишнього середовища різними людьми можуть сприйматися по різному. Тому неможливо одночасно створити в робочій зоні приміщення комфортні умови, які підходять абсолютно для всіх людей, які перебувають в ньому. Ймовірно, це можна забезпечити тільки для більшості з них.

При роботі людини в його організмі постійно виробляється і передається навколишньому середовищу теплота. При цьому організм людини прагне підтримувати постійну внутрішню температуру (36,6 °C). Для цього людина має систему терморегуляції, що дозволяє йому пристосовуватися до змін температури навколишнього його середовища в невеликому інтервалі. При низькій або високій температурі навколишнього середовища нормальне теплове становище людини порушується і організм переохолоджується або перегрівається, так як в приміщенні мають місце дискомфортні теплові умови. Тому тепловий комфорт залежить перш за все від величини параметрів, що характеризують навколишнє середовище людини, а також від його фізичної активності та виду одягу. Оптимальне для організму людини поєднання цих параметрів і формує для нього комфортне середовище в робочій зоні, тобто в просторі опалювального приміщення, обмеженому по висоті 2 м над рівнем підлоги. За рахунок прямого поглинання енергії людина, що знаходиться в робочій зоні приміщення з інфрачервоним обігрівом, відчуває більш високу температуру в порівнянні з температурою навколишнього його повітря. Цю температуру відчуття в технічній літературі називають по різному (ефективною температурою, результуючою температурою, температурою тепловідчуття, температурою комфорту). При подальшому викладанні матеріалу в цій статті приймаємо термін «ефективна температура».

Тепловий комфорт в робочих зонах приміщень з інфрачервоним обігрівом досягається тільки за умови формування в них сприятливого мікроклімату. У зв'язку з розширенням сфери застосування інфрачервоних систем опалення питання формування теплового комфорту в робочих зонах приміщень набувають все більшої актуальності. Але, на жаль, доводиться констатувати те, що не дивлячись на проведені рядом вчених і організацій фундаментальні і прикладні дослідження в цій області ще не створена єдина, експериментально перевірена методика їх вибору і розрахунку, що забезпечує отримання на практиці оптимального теплового комфорту в робочих зонах різних приміщень.

**Аналіз останніх досліджень і досягнень.** Дослідженням питань формування теплового комфорту в робочих зонах приміщень, опалювальних різними способами, присвячений ряд робіт, наприклад, [3-7]. Кожен з авторів цих робіт використовував різні підходи до оцінки теплового комфорту і визначення параметрів, що характеризують цей комфорт. В.Н. Богословським [3] сформульовані умови комфортності, при дотриманні яких людина, перебуваючи в межах робочої зони приміщення, відчуває тепловий комфорт. Цінність розроблених ним формул і методики визначення відповідних параметрів досить велика, тому що вони найбільш повно враховують закономірності променистого теплообміну. Разом з тим доводиться констатувати і те, що безпосереднє їх використання при розрахунках розподілу променистого тепла по поверхнях приміщень досить трудомістким навіть при використанні комп'ютерних технологій. Запропонована методика досить складна і розроблена для певних типів нагрівальних приладів, параметрів теплоносія і т.д. Тому застосування їх для практичних розрахунків часто не представляється можливим.

А.І. Сканаві [4] побудовані графіки залежності температури повітря ( $t_b$ ) від середньої температури внутрішніх поверхонь приміщення ( $t_{cp}$ ), що показують зону теплового комфорту для людини, що виконує легку роботу при інфрачервоному і конвективному опаленні. Ці графіки дуже важливі для зіставлення параметрів теплового комфорту при двох видах опалення: конвективному і інфрачервоному. Використання ж їх при проектуванні і експлуатації інфрачервоних систем опалення можливо тільки для отримання орієнтовних значень температур ( $t_b$  і  $t_{cp}$ ), які в подальшому шляхом виконання докладних розрахунків повинні бути уточнені.

Представляє безперечний інтерес методика оцінки впливу теплового випромінювання на людину, запропонована Фангером [5, 6]. Їм складено діаграми, що дозволяють визначати температури повітря та радіаційної температури, швидкість і відносну вологість повітря, що забезпечують стан теплового комфорту людини при різних ступенях тяжкості виконуваної ними роботи і різного термічного опору одягу. Критерієм оцінки комфортності теплового середовища при розробці цієї методики Фангером прийняті суб'єктивні оцінки тепловідчуття випробовуваних. На жаль, в цій методиці не вказані нижній і верхній межі можливих поєднань радіаційної температури і температури повітря. Крім того, відсутні відомості про проведені натурних випробуваннях, які б підтверджували можливість її використання при розрахунках інфрачервоного опалення різних за висотою і внутрішньої площі приміщень.

Для визначення параметрів теплової комфортності при проектуванні інфрачервоного опалення різних приміщень компанією CARLIEUKLIMA (Італія) [7] запропоновані лінії комфортності, отримані ними на базі узагальнення великої кількості теоретичних і експериментальних досліджень. Ці лінії комфортності в користуванні досить прості і зручні. З їх допомогою можна швидко визначати температури, при яких настає відчуття комфортності.

Описані вище підходи і методики оцінки теплового комфорту в робочих зонах приміщень, опалювальних інфрачервоним способом, безумовно, дуже важливі. Ними можна користуватися при вирішенні ряду задач проектування та організації інфрачервоного опалення різних приміщень. Разом з тим слід мати на увазі і те, що вони комплексно не враховують всі показники, що характеризують мікроклімат в приміщеннях, що обігріваються, а також санітарно-гігієнічні вимоги до повітря в робочій зоні, сформульовані в різних діючих в країні нормативних документах. В кінцевому підсумку ще не створена методика вибору і розрахунку оптимальних параметрів теплового комфорту в робочих зонах приміщень, що обігріваються інфрачервоним способом, при мінімальних енерговитратах.

**Метою цього** дослідження є забезпечення оптимального теплового комфорту в робочих зонах приміщень і зниження витрат енергоресурсів при їх інфрачервоному обігріві.

**Завданням дослідження** є отримання необхідних залежностей і розробка методики вибору і розрахунку параметрів інфрачервоних обігрівачів, що забезпечують необхідний тепловий комфорт в робочих зонах приміщення при мінімальних енерговитратах.

**Основна частина дослідження.** Завдання вибору типу, моделі, марки і кількості інфрачервоних обігрівачів для різних приміщень є досить складним і трудомістким. Для її успішного рішення необхідно дотримуватися таких базових принципів: сумарна теплова потужність інфрачервоного обладнання в приміщенні повинна відповідати величині загальних теплових втрат; значення параметрів, що характеризують мікроклімат в робочій зоні приміщення (температура, відносна вологість і швидкість руху повітря), повинні бути оптимальними, а величина інтенсивності інфрачервоного опромінення - допустимою; реалізація на практиці цих принципів повинна здійснюватися тільки за умови забезпечення мінімальних енергетичних і фінансових витрат на опалення приміщення.

Вихідним моментом при виборі і розрахунку системи інфрачервоного обігріву приміщення є визначення загальних тепловтрат (Р<sub>общ.</sub>). Ці тепловтрати складаються найчастіше з втрат: шляхом теплопровідності (Р<sub>т</sub>) через огорожувальні конструкції (стіни, підлоги, двері і дах); на нагрівання повітря, що надходить в приміщення за рахунок вентиляції (Р<sub>в</sub>) і можливої інфільтрації через огорожувальні конструкції (Р<sub>в<sup>н</sup></sub>). Величини Р<sub>т</sub>, Р<sub>в</sub> і Р<sub>в<sup>н</sup></sub> визначаються за відомими залежностями, опублікованими в технічній літературі, наприклад, в [8]. Загальна теплова потужність системи інфрачервоного обігріву (Н<sub>общ.</sub>) повинна відповідати цим тепловтратам, тобто Н<sub>общ.</sub> = Р<sub>общ.</sub> Відповідно до отриманих значень Н<sub>общ.</sub> з урахуванням характеристики приміщення (площі, висоти стелі, стану огорожувальних конструкцій, призначення і т.д.), а також наявних енергетичних, фінансових та інших можливостей, вибирають типи, моделі або марки інфрачервоних обігрівачів. При виборі кількості обігрівачів враховуються не тільки їх потужності, а й можливість покриття променями обігрівачів площі від всіх обігрівачів і, відповідно, забезпечення рівномірного розподілу променистого теплового потоку при різних висотах їх установки в приміщенні. З урахуванням вище викладених рекомендацій складається декілька можливих варіантів розміщення обігрівачів в приміщенні для подальшого аналізу і розрахунку.

Одним з найважливіших етапів розрахунку систем інфрачервоного обігріву приміщень є перевірка дотримання діючих санітарно-гігієнічних норм. Основним документом, який нормує параметри мікроклімату в робочій зоні приміщення, в даний час в Україні є ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» [9]. Згідно цих норм мікроклімат в робочій зоні характеризується: температурою (t<sub>в</sub>, °С), відносною вологістю (φ<sub>в</sub>, %) і швидкістю руху повітря на робочому місці (V<sub>в</sub>, м/с), інтенсивністю теплового (інфрачервоного) випромінювання (q, Вт/м<sup>2</sup>) і температурою внутрішніх поверхонь в робочій зоні (стіни, підлоги, стелі, екранів і т.д.) (t<sub>п</sub>, °С). У санітарних нормах вказані оптимальні і допустимі значення t<sub>в</sub>, φ<sub>в</sub> і V<sub>в</sub>, а також допустимі значення інтенсивності теплового опромінення працюючих людей [q] в залежності від величини опромінюваної поверхні їх тіла (не більше 25%, від 25 до 50%, 50% і більше).

Тепловий комфорт в робочій зоні можливий тільки в разі забезпечення в ній оптимальних значень параметрів повітря і допустимої величини інтенсивності опромінення, тобто при виконанні наступних умов

$$t_{в} = t_{в}^{opt}, \varphi_{в} = \varphi_{в}^{opt}, V_{в} = V_{в}^{opt} \text{ і } q \leq [q], \quad (1)$$

де  $t_{в}^{opt}$ ,  $\varphi_{в}^{opt}$  і  $V_{в}^{opt}$  – відповідно, оптимальні значення температури, відносною вологості і швидкості руху повітря, °С, % і м/с; q – значення інтенсивності теплового випромінювання, Вт/м<sup>2</sup>.

Інтенсивність теплового випромінювання (поверхнева щільність лучистого теплового потоку) в загальному випадку визначається за виразом

$$q = \frac{Q_{n-ч}}{F_ч}, \quad (2)$$

де  $Q_{n-ч}$  – кількість тепла, що передається випромінюванням від нагрітої поверхні інфрачервоного обогрівача на поверхню людини, що піддається опромінюванню, Вт;  $F_ч$  – площа поверхні тіла людини, що піддається опромінюванню, м<sup>2</sup>.

У людини, яка знаходиться в робочій зоні приміщення, за рахунок температур повітря і лучистої добавки формується ефективна температура. Ця температура ( $t_{эф}$ ) представляє собою

$$t_{эф} = t_{в}^p + t_{л}, \quad (3)$$

де  $t_{в}^p$  – розрахункова температура повітря в приміщенні, °С;  $t_{л}$  – добавочна температура, що утворюється лучистим (інфрачервоним) потоком, °С.

Західнонімецькою фірмою «Шванк» [10, 11] для визначення цієї добавочної температури запропонована формула

$$t_{л} = 0,0716 \cdot q, \quad (4)$$

де 0,0716 – емпіричний коефіцієнт, м<sup>2</sup>·°С/Вт.

З урахуванням (4) формула (3) приймає вигляд

$$t_{эф} = t_{в}^p + 0,0716 \cdot q. \quad (5)$$

При оптимальних значеннях параметрів повітря в робочій зоні  $t_{г}^{opt} = t_{эф}$  або з урахуванням (5)

$$t_{г}^{opt} = t_{в}^p + 0,0716 \cdot q. \quad (6)$$

З огляду на те, що величина  $q$  в різних точках робочої зони приміщення, що обігривається системою інфрачервоних приборів, неоднакова при розрахунку ефективної температури доцільно приймати максимальні значення сумарної інтенсивності випромінювання, т.е.  $q = q_{сум}^{max}$ . На початковому етапі розрахунку і вибору системи інфрачервоного обігріву  $q_{сум}^{max}$  є невідомою величиною, тому її значенням доводиться задаватися з урахуванням вимог ДСН 3.3.6.042-99, т.е.  $q_{сум}^{max} = [q]$ . У зв'язку з цим вирази (6) можуть бути записані у вигляді

$$t_{в} = t_{г}^{opt} = t_{в}^p + 0,0716[q], \quad \varphi_{в} = \varphi_{г}^{opt}, \quad V_{в} = V_{г}^{opt} \text{ и } q \leq [q]. \quad (7)$$

Для вибраних раніше типів і моделей інфрачервоних обігривачів, а також схем їх розміщення в приміщенні, проводять розрахунки інтенсивності випромінювання ( $q$ ) в декількох найбільш характерних точках робочої зони. При наявності в схемі декількох обігривальних приладів розрахунок інтенсивності опромінювання проводять окремо від кожного який бере участь в теплообміні обігривача, а потім отримані значення  $q$  з використанням принципу суперпозиції підсумовуються окремо для кожної прийнятої точки робочої зони. Аналіз цих даних дозволяє виявити точки робочої зони приміщення, в яких мають місце максимальні значення сумарної інтенсивності опромінювання ( $q_{сум}^{max}$ ).

Слід мати на увазі те, що деякі типи інфрачервоних обігривачів, наприклад, електричні плівкові, термопанелі і ін. мають малі значення температур випромінюючих поверхонь і, відповідно, інтенсивностей опромінювання. Тому для таких систем інфрачервоного обігріву вести перевірочні розрахунки з використанням формули  $q \leq [q]$  не має ніякого практичного сенсу.

Безумовно, для різних типів, моделей і конструкцій інфрачервоних обігривачів розрахункові формули для визначення інтенсивності опромінювання неоднакові. Покажемо це на прикладі найбільш широко поширених в практиці обігріву приміщень інфрачервоних

обігрівачів двох умовних груп: 1 - «точкових» (наприклад, газових відкритих або електричних панельних); 2 - «лінійних» (наприклад, газових трубчастих).

На рис. 1 представлена розрахункова схема теплообміну між поверхнями «точкового» (електричного панельного) інфрачервоного обігрівача і голови людини, що знаходиться в робочій зоні приміщення.

Для такої розрахункової схеми, після відповідних перетворень формули Стефана-Больцмана, з використанням прийомів стереометрії, отримана [12] залежність для визначення інтенсивності опромінення голови людини у вигляді

$$q = \frac{1,8\Delta x^2 F_n}{R^4} \left[ \left( \frac{t_n + 273}{100} \right)^4 - 92 \right], \quad (8)$$

де  $F_n$  – площа поверхні випромінювання панелі,  $m^2$ ;  $t_n$  – температура поверхні панелі, що випромінює,  $^{\circ}C$ ;  $R$  – відстань між центрами поверхонь панелі та голови людини,  $m$ . Величина  $R$  визначається з виразу  $R^2 = \Delta x^2 + \Delta y^2 + \Delta z^2$ .

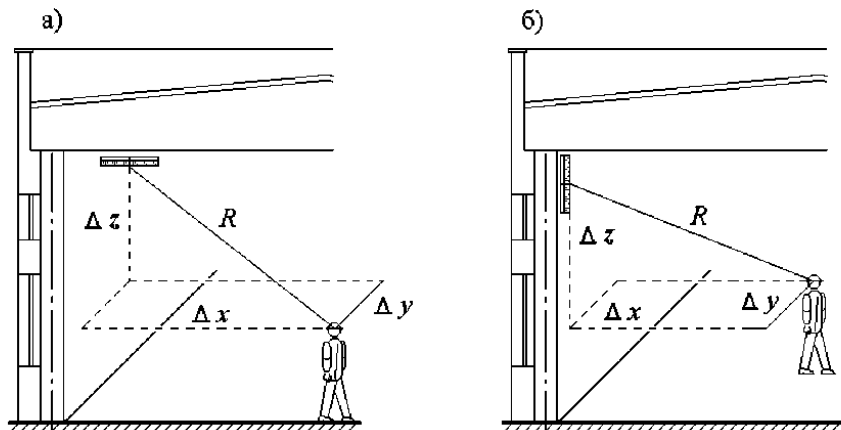


Рис. 1. Схема для визначення інтенсивності опромінення голови людини, що знаходиться в робочій зоні приміщення, що обігрівається за допомогою панельного електричного інфрачервоного обігрівача при його: а) - горизонтальній підвісці; б) - вертикальній підвісці;

$R$  - відстань від центру обігрівача до голови людини,  $m$ ;  $\Delta x$ ,  $\Delta y$  і  $\Delta z$  - відповідно, поздовжнє, поперечне і вертикальне відстані від голови людини до центру обігрівача,  $m$ .

На рис. 2 представлена розрахункова схема теплообміну між поверхнями «лінійного» трубчатого інфрачервоного газового обігрівача і голови людини, що знаходиться в робочій зоні приміщення.

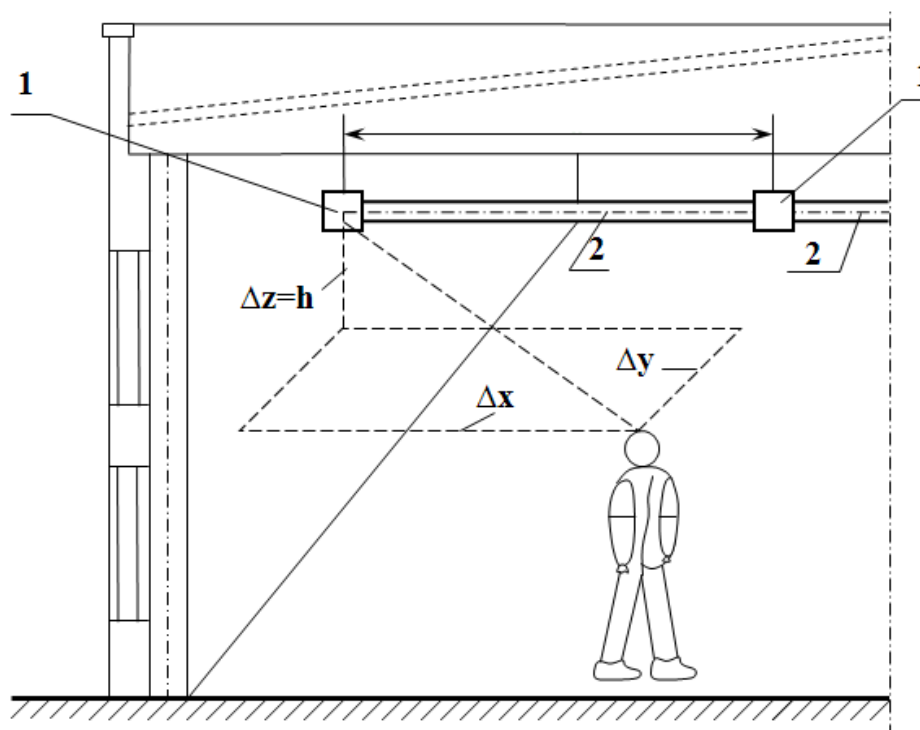


Рис. 2. Схема для визначення інтенсивності опромінення голови людини, що знаходиться в робочій зоні приміщення, що обігривається за допомогою «лінійного» трубчастого інфрачервоного газового обігрівача: 1 - газові пальники; 2 - тепловипромінюючі труби з рефлекторами;  $L$  - довжина випромінюючої труби (відстань між сусідніми пальниками), м;  $h$  - висота підвіски обігрівача, яка відлічується від рівня голови людини, м;  $\Delta X$  - поздовжня відстань від голови людини до точки приєднання газового пальника до випромінюючої труби обігрівача, м;  $\Delta Y$  - поперечне відхилення голови людини від осі обігрівача, м;  $\Delta Z$  - вертикальна відстань від рівня голови людини до рівня підвіски обігрівача, м.

Для трубчатих газових інфрачервоних обігрівачів величина інтенсивності випромінювання в робочій зоні описується інтегралом у вигляді [13]

$$q = \int_0^x \frac{1,8 \cdot S^x \cdot L \left[ \left( \frac{t_1(X') + 273}{100} \right)^4 - 92 \right]}{[h^2 + \Delta Y + (\Delta X - LX')^2]^2} \cdot h(h \cdot \cos \alpha + \Delta Y \cdot \sin \alpha) \cdot dx', \quad (9)$$

де  $X' = \frac{l}{L}$  – відносна текуча координата;  $l$  – текуча координата вздовж осі обігрівача, м;  $L$  – довжина випромінюючої труби обігрівача, м;  $S^x$  – ширина відбивача, м;  $h$  – висота підвіски обігрівача, що відраховується від рівня голови людини, м;  $\alpha$  – кут нахилу обігрівача, град;  $\Delta X$  – продольна відстань від голови людини до точки під'єднання пальника до випромінюючої труби обігрівача, м;  $\Delta Y$  – поперечне відхилення голови людини від осі обігрівача, м. Рішення цього інтеграла з використанням пакета програм чисельного інтегрування за методом Сімпсона в системі MATLAB 7 дозволило ХНУБА розробити відповідну комп'ютерну програму для розрахунку інтенсивності опромінення і знаходження її максимального значення на рівні голови людини в робочій зоні уздовж осі обігрівача. Виконані розрахунки з використанням цих формул дозволяють встановити точки робочої зони приміщення з максимальними значеннями  $q_{\text{сум}}^{\text{max}}$ .

Наприклад, на рис. 3 представлена поверхня розподілення інтенсивності випромінювання на рівні голови людини при використанні інфрачервоного трубчастого газового обігрівача ADRIAN-RAD типу AL220, випускаемого фірмою ADRIAN в м. Банска Бистріца (Словаччина). Діаметр та довжина випромінюючої труби цього обігрівача складають, відповідно, 101,6 мм і 9,8 м. Витрата природного газу –  $2 \text{ L}^3/\text{г}$ . При розрахунках висота

підвіски обігрівача прийнята рівною 5 м, а температура продуктів згорання на початку випромінюючої труби прийнята рівною 800°C.

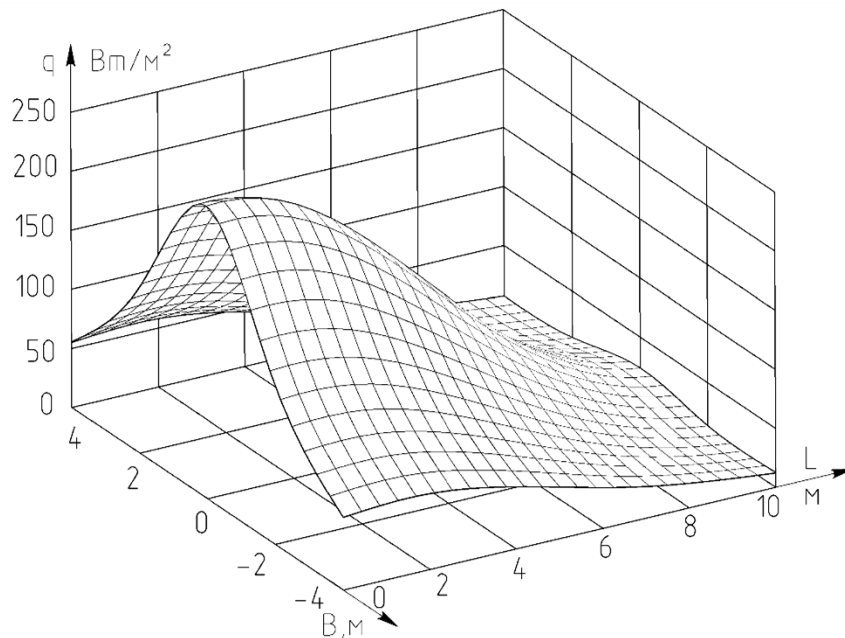


Рис. 3. Поверхня розподілу інтенсивності опромінення на рівні голови людини при роботі інфрачервоного трубчастого газового обігрівача.

Аналіз цієї поверхні показує те, що інтенсивність опромінення в межах зони впливу трубчастого інфрачервоного газового обігрівача істотно змінюється. Максимум інтенсивності опромінення голови людини ( $q^{max}$ ) знаходиться в точці робочої зони, розміщеної на лінії, паралельної вісі обігрівача на відстані приблизно 2 м від місця підключення газової горілки до випромінюючої труби.

Дуже відповідальним етапом подальшого розрахунку систем інфрачервоного обігріву приміщень є встановлення величини допустимого значення інтенсивності опромінення  $[q]$ . З одного боку ця величина нормується в ДСН 3.3.6.042-99 в залежності від величини опромінюваної поверхні тіла людини, що знаходиться в робочій зоні приміщення. З іншого боку Інститутом медицини праці АМН України [14] доведено, що на організм людини впливає не тільки інтенсивність опромінення, а й довжина хвилі електромагнітного випромінювання. Цим інститутом розроблені рекомендації по вибору допустимих значень інтенсивності опромінення в залежності від довжини хвилі з урахуванням теплозахисту використовуваного спецодягу, при опроміненні передньої частини поверхні тіла людини (25-50%), з максимумом енергії опромінення на його грудях.

Для виключення можливості появи випадків несприятливого впливу інфрачервоного опромінення на організм людини ці рекомендації і висновки, безумовно, необхідно враховувати при розрахунках систем інфрачервоного обігріву приміщень, особливо при використанні обігрівачів із середньо- і короткохвильовим електромагнітним випромінюванням.

Тому, обрані по ДСН 3.3.6.042-99 значення  $[q]$  в необхідних випадках слідє коректувати в залежності від величини максимальної довжини хвилі випромінювання. Отримані значення  $q_{сум}^{max}$  та  $[q]$  співставляються. Доцільним варіантом є  $q_{сум}^{max} \leq [q]$ , а у випадку  $q_{сум}^{max} > [q]$  розрахунки повторюються. При цьому вносяться відповідні корективи в першочергово вибрані типи, моделі, кількість або схеми розміщення обігрівачів у приміщенні. Після досягнення дотримання умови  $q_{сум}^{max} \leq [q]$  уточнюється температура тепловідчуття людини, яка повинна знаходитися в межах оптимальних величин, що регламентуються



ДСН [9]. У випадку недотримання цієї умови вносяться відповідні корективи в прийняті вихідні данні и весь розрахунок повторюється.

Вище було вказано на те, що виконання норм ДСН 3.3.6.042-99 повинне здійснюватися тільки за умови забезпечення мінімальних енерговитрат на обігрів. Внаслідок необхідності реалізації цієї вимоги розрахунки систем інфрачервоного обігріву часто є багатоваріантними. Залежно від характеристики приміщення і ряду можливих інших факторів послідовність розрахунку може бути дещо змінена. Незалежно від послідовності розрахунків і необхідності розгляду великої кількості можливих варіантів обігріву приміщень в кінцевому підсумку необхідно домагатися того, щоб запроєктована система інфрачервоного обігріву забезпечувала на практиці оптимальні (комфортні) параметри мікроклімату в робочій зоні приміщення відповідно до вимог ДСН 3.3.6.042-99 при мінімальних витратах електроенергії.

На рис. 4 наведена блок-схема алгоритму методики вибору і розрахунку систем інфрачервоного обігріву приміщень.

Реалізація перших п'яти пунктів цієї схеми (на малюнку представлені світлими прямокутниками) здійснюється з використанням широко відомих опублікованих в технічній літературі формул і методик, наприклад, [8], а починаючи з шостого пункту (на малюнку прямокутники затемнені) - [10, 12 та 13]. Ця блок-схема дозволяє виконувати необхідні розрахунки для отримання в приміщенні комфортних (оптимальних) параметрів повітря, а також значень інтенсивності опромінення нижче допустимих, і вибирати інфрачервоні системи обігрівачів з мінімальною необхідною потужністю. За рахунок цього можуть бути істотно скорочені витрати енергоресурсів на обігрів приміщення. Цей алгоритм методики апробовано під час проектування нових та реконструкції існуючих систем інфрачервоного обігріву приміщень виробничого і побутового призначення.

**Висновки та перспективи подальших досліджень.** Формування теплового комфорту при інфрачервоному опаленні залежить від величин параметрів, що характеризують мікроклімат в робочій зоні приміщення: температури, відносної вологості, швидкості руху повітря і інтенсивності опромінення.

Для досягнення теплового комфорту в робочих зонах приміщень, опалювальних інфрачервоним способом, необхідно, щоб значення температури, відносної вологості та швидкості руху повітря були оптимальними, а інтенсивності опромінення меншими або рівними допустимим величинам, зазначеним у ДСН [9].

При розрахунках і проектуванні систем інфрачервоного опалення різних приміщень у всіх випадках необхідно прагнути до забезпечення теплового комфорту в їх робочих зонах при мінімальних витратах енергоресурсів. Виконання цієї вимоги можливо при дотриманні умов (6) і використанні при розрахунках залежностей і методології, викладеної в цій статті.

Розроблена блок-схема алгоритму методики вибору і розрахунку систем інфрачервоного обігріву приміщень різного призначення дозволяє в кінцевому підсумку забезпечувати в робочих зонах оптимальні (комфортні) параметри мікроклімату відповідно до норм ДСН [9] при мінімальних витратах енергоресурсів. Цей алгоритм рекомендується для використання при виконанні інженерних розрахунків в практиці проектування інфрачервоного обігріву приміщень різного призначення.

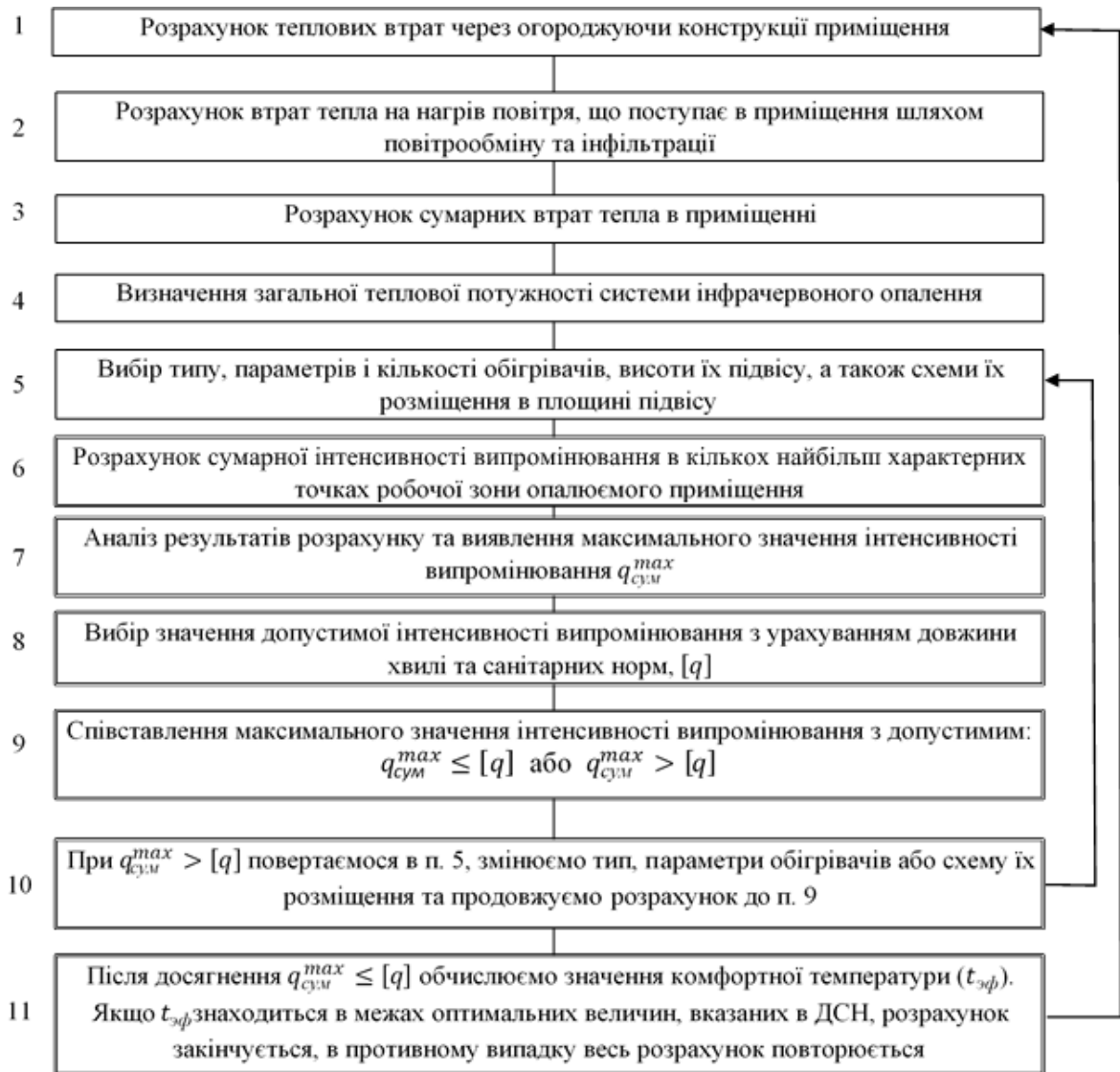


Рис. 4. Блок-схема алгоритму методики вибору і розрахунку систем інфрачервоного обігріву приміщень.

Подальші дослідження і розробки доцільно продовжувати в напрямку вдосконалення запропонованої методології розрахунку і формування на практиці теплового комфорту з урахуванням специфіки різних приміщень, що обігріваються, а також використовуваних для цих цілей інфрачервоних обігрівачів.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Болотских Н.Н. Основы выбора и расчета систем инфракрасного обогрева помещений. Науковий вісник будівництва, Харків: ХНУБА, ХОТВ АБУ, 2018. Т. 92. № 2. с. 251- 258.
2. Молька В. Инфраизлучатели. Три «Э» в отоплении промышленных помещений. Словакия, 2005. 127 с.
3. Богословский В.Н. Тепловой режим помещения. М.: Стройиздат, 1979. 248 с.
4. Сканава А.И. Отопление. 2-е изд. М.: Стройиздат, 1988. 416 с.
5. Fanger P.O. Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation. ASHRAE Transaction, 1967. vol. 73.
6. Fanger P.O. Thermal comfort. Me Grow Hill Book Co. New York, 1973. 244 p.
7. Излучение. Техническое руководство. CARLIEUKLIMA, Италия. URL: [www.carlieuklima.it](http://www.carlieuklima.it).
8. Система потолочного отопления на базе электрических длинноволновых обогревателей. БИЛЮКС – отопление суперэкономичное. URL: <http://bilux.ua>.
9. «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» ДСН 3.3.6.042-99. Постанова

- Державного санітарного лікаря України від 1 грудня 1999 р., № 42. 11 с.
10. Болотских Н.Н. Совершенствование методики расчета систем инфракрасного панельного электрического отопления помещений. Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. 2017. вип. 89 (3). с. 141-147.
  11. Родин А.К. Газовое лучистое отопление. Л.: Недра, 1987. 197 с.
  12. Шумилов Р.Н., Толстова Ю.И., Поммер А.А. Совершенствование методики расчета лучистого отопления. Материалы международной научно-технической конференции «Теоретические основы теплогазоснабжения и вентиляции». М.: Изд. МГСУ, 2005. С. 107- 112.
  13. Болотских Н.Н. Совершенствование методики расчета систем отопления газовыми трубчатыми инфракрасными нагревателями. Науковий вісник будівництва. Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2009. вип. 54. с. 76-91.
  14. Гвозденко Л.А. Обоснование допустимых нормативов облученности инфракрасным излучением в зависимости от его спектрального состава. Медицина труда и промышленная экология. Киев: Институт медицины труда АМН Украины, 1999. № 12. с.13-18.
  5. Fanger P.O. Calculation of thermal comfort: introduction of a basic comfort equation. ASHRAE Transaction, 1967. vol. 73.
  6. Fanger P.O. Thermal comfort. Mc Grow Hill Book Co. New York, 1973. 244 p.
  7. Izluchenie. Tekhnicheskoe rukovodstvo. CARLIEUKLIMA, Italiya. URL: [www.carlieu-klima.it](http://www.carlieu-klima.it).
  8. Sistema potolchnogo otopleniya na baze elektricheskikh dlinnovolnovykh obogrevatelej. BILYUKS – otoplenie superekonomichnoe, URL: <http://bilux.ua>.
  9. "Sanitarni normi mikroklimatu virobnychih primishchen" DSN 3.3.6.042-99. Postanova Derzhavnogo sanitarnogo likarya Ukraini vid 1 grudnya 1999 r., № 42. 11 s.
  10. Bolotskih N.N. Sovershenstvovanie metodiki rascheta sistem infrakrasnogo panel'nogo elektricheskogo otopleniya pomeshchenij. Naukovij visnik budivnictva, Harkiv: HDTUBA, HOTV ABU. 2017. vip. 89 (3). s. 141-147.
  11. Rodin A.K. Gazovoe luchistoe otoplenie. L.: Nedra, 1987. 197 s.
  12. SHumilov R.N., Tolstova YU.I., Pommer A.A. Sovershenstvovanie metodiki rascheta luchistogo otopleniya. Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnichejskoj konferencii "Teoreticheskie osnovy teplogazosnabzheniya i ventilyacii". M.: Izd. MGSU, 2005. S. 107-112.
  13. Bolotskih N.N. Sovershenstvovanie metodiki rascheta sistem otopleniya gazovymi trubchatymi infrakrasnymi nagrevatelyami. Naukovij visnik budivnictva. Harkiv: HDTUBA, HOTV ABU, 2009. vip. 54. s. 76-91.
  14. Gvozdenko L.A. Obosnovanie dopustimyh normativov obluchennosti infrakrasnym izlucheniem v zavisimosti ot ego spektral'nogo sostava. Medicina truda i promyshlennaya ekologiya. Kiev: Institut mediciny truda AMN Ukrainy, 1999. № 12. s.13-18.

REFERENCES:

**Bolotskykh N.N., Bolotskykh N.S. CREATION OF THERMAL COMFORT IN WORKING ZONES OF APARTMENTS WITH INFRA-RED HEATING.** Indexes over, characterizing a surrounding a man environment in the working zone of the heated apartment, are brought, their influence is shown on forming of thermal comfort; basic terms are set forth for the receipt of optimal thermal comfort in the working zones of apartments; dependences are got for determination of values of effective temperature and intensity of irradiation at the use of different types and models of infra-red heaters; given to recommendation on the choice of the assumed values of intensity of irradiation of people being in the working zones of apartments, with the purpose of exception of possibility of the unfavorable affecting their organisms; methodology of choice and calculation of parameters of the infra-red systems of heating of apartments, allowing to provide in their working zones an optimal thermal comfort in accordance with the ratified state sanitary norms at the minimum charges of elecpower resources, a flow-chart over of this methodology is brought and recommendations are given on her further practical use.

**Keywords:** infra-red heating, thermal comfort, intensity of irradiation, effective temperature, algorithm of methodology of choice and calculation of the systems of the infra-red heating.