

Київський політехнічний інститут

На правах рукопису

УДК 536.24, 6С2.99С:4, 639.36:82 (043.3)

Федорова Ольга Володимирівна

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ
ТЕПЛОМАСОПЕРЕНОСУ В ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

05.14.05 – теоретичні основи теплотехніки

А в т о р а ф е р а т
дисертації на здобуття вченого ступеню
кандидата технічних наук

Київ - 1993

Робота виконана у Київському торговельно-економічному інституті

Науковий керівник к.т.н., доц. В.М.Пахомов
Науковий консультант к.т.н., доц. М.В.Боровський

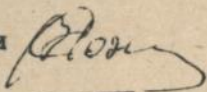
Офіційні опоненти
1. академік АНУ, Заслужений діяч науки і техніки України, д.т.н., проф. Є.П.Дибаз
2. к.т.н., доц. В.М.Минаковський

Провідна установа Інститут проблем енергозбереження АН України, м. Київ

Захист відбудеться 15 листопада 1993 р. о 15 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 068.14.07 у Політехнічному інституті за адресою: м. Київ, просп. Перемоги, 37, корпус 5, аудиторія 106.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Київського політехнічного інституту за адресою: м. Київ, просп. Перемоги, 37.

Автореферат роз'яснений "___" _____ 1993 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої ради  Г.П.РОЖАТИН

ЛННБ України ім.В.Стефаника



00815380 (P)

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ПРАЦІ

Актуальність теми. Одним з найважливіших умов швидкого становлення України як незалежної демократичної та членської держави є розв'язання енергетичної проблеми. Чільне місце у цій проблемі займає енергозбереження, особливо за рахунок зменшення теплових потоків через ізоляційні огороження опалюваних та охолоджуваних споруд.

Підвищення вартості енергії практично у всіх країнах, у тому числі високорозвинених, примушує з метою її заощадження підсилити теплозахисні властивості нових житлових, промислових, адміністративних будинків та холодильників, а також реконструювати холодильники, які мають вік більше як 15 - 20 років. Це ж стосується усіх видів транспортних рефрижераторів. Застосування органічних морозилів та пінопластів дає можливість зробити облегшені ізоляційні конструкції підвищеної щільності, зменшено, але не усунуто погіршення теплозахисних властивостей, головним чином за рахунок зволоження та старіння ізоляції. Так, за британськими багаторічними дослідженнями збільшення коефіцієнту теплопередачі через пінопластову конструкцію із ретельною гідро- та пароізоляцією становить не менш 7% на рік. Щодо кузовів наземного рефрижераторного транспорту, це погіршення за даними вчених ФРН становить 12% на рік.

Можна стверджувати: Україна має таку спадщину у енергетичній та інвестиційній політиці, що більш як третина усього палива, яке використовують на її території, викидається на вулицю у безвольному розумінні слова. Із неминучим переходом на спалювання місцевих видів палива ця частка буде збільшуватися за рахунок погіршення КПД котельних агрегатів. Тому зменшення теплових потоків через ізоляційні огороження на 2-3% приведе до заощадження 1% палива. Для холодильників зменшення теплопритоків до камер термічної обробки та зберігання харчових продуктів призводить також до зменшення усичування продуктів і збереження їх смакових та поживних властивостей.

Оскільки швидка реконструкція наявих ізоляційних огорожень та побудова нових із поліпшеними теплозахисними властивостями не є можливі із-за нестачі потужностей та коштів, актуальним стає удосконалення методів дослідження та прогнозування теплообміну у ізоляційних конструкціях. Ремонт ізоляції треба роби-

и вибірково, тому ці методи повинні бути локальними та ето-пресними. Цим вимогам задовольняє теллометрия - молода галузь теплофізики та метрології, успіхи якої на різноманітних ділянках наук та практиці значною мірою створені зусиллями вчених Києва. Участь автора у цих працях дозволила їй визначити нові можливості теллометрії щодо процесів перенесення теплоти та вологи у ізоляційних огородженнях, обґрунтувати їх теоретично та впровадити у практику.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної праці було створення методів одержання нової інформації про тепломасоперенесення у ізоляційних конструкціях за допомогою перфорованих теллометрів.

Для реалізації цієї мети автор розв'язала завдання:

- провела аналіз методів досліджень та прогнозування тепломасообміну за цих умов;
- формалізувала найбільш поширені математичні моделі тепломасоперенесення в ізоляції і на їх основі одержала формули для визначення ефективних тепломасообмінних характеристик (ТМК); перерішила ці формули та відповідні методи експериментально;
- удосконалила стандартний метод теллометрії ізоляційних огорожень;
- розробила методику дослідження компонентів тепломасообміну по товщині ізоляції та з її поверхні;
- теоретично обґрунтувала теллометричний метод визначення вологомасового потоку ізоляції, провела роботу по оптимізації параметрів телловологомірів;
- розробила та реалізувала методику дослідження динаміки теплоперенесення через зовнішню стіну камери зберігання морожених продуктів;
- розробила та взяла участь у реалізації методики масових випробувань огорожень на розподільних холодильниках;
- пов'язала тепломасообмін через огороження та на поверхні харчових продуктів, що зберігаються при різних температурах, термодинамічним методом;
- обґрунтувала метод проектування ізоляційних конструкцій із однаковою густиною теплового потоку через окремі елементи, складала інші практичні рекомендації.

Методи досліджень. Аналітичні методи використовували для формалізації математичних моделей тепломасопереносу, розробили обґрунтування нових методик досліджень. Первинну інформацію про густину теплового потоку, температуру та її перепад одержували за допомогою прецизійних самописних та цифрових приладів. На одній лабораторній установці первинні сигнали за допомогою спеціального пристрою подавалися до ПЕОМ IBM PC/AT. Обчислення ефективних ТМХ проводили на ЕОМ.

Нові наукові результати:

- формули для визначення ефективних ТМХ у типових теплових режимах експлуатації ізоляції;
- дослідження ТХ за схемою діалога експериментальної установки та ПЕОМ;
- методики досліджень компонентів теплообміну по товщині ізоляції та з її поверхні;
- обґрунтування теплотричного методу визначення вологістості ізоляції *in situ*;
- теорема про мінімізацію теплових потоків через різні елементи ізоляційної конструкції;
- пов'язання теплообміну через ізоляцію та на поверхні продуктів, що зберігаються, термодинамічним методом.

Наукові положення, що їх автор вносить як захист:

1. Застосування перфорованих тепломірів при теплотехнічних випробуваннях ізоляції дає можливість зняти збудження у ході теплообміну, досліджувати компоненти теплового потоку.
2. Комбінування двох теплотричних елементів із різним ступенем перфорації дозволяє визначити вологість ізоляційного матеріалу без відбирання проби.
3. Ізоляцію треба розподіляти по окремих елементах конструкції так, щоб густина теплового потоку через них була однаковою.

Практична значущість та реалізація результатів досліджень.

- розроблені та реалізовані лабораторні установки по визначенні ТМХ ізоляційних матеріалів за схемок діалога із ЕОМ: ТМХ
- одержані дані про температурні та вологісні залежності *ТМХ* видів ізоляційних матеріалів;
- розроблені конструкції тепловологомірів, які кваліфіковані як гвізді;
- проведені масові теплотричні випробування ізоляційних сло-

роджень розподільчих та промислових холодильників, складено практичні рекомендації:

- Науково-дослідним інститутом будівельних конструкцій (м. Київ) використані методики автора при дослідженні тепломасообміну та сушіння ізоляційних панелей.

Апробація праці та публікації. Основн. положення дисертації були предметом доповідей та обговорення на XIII науково-технічній конференції молодих учених та спеціалістів ІІІ АНУ (1988), наукових конференціях КТБІ (1989, 1992) та КТЛХП (1989), II та III міжреспубліканських школах-семінарах молодих вчених "Актуальні проблеми теплофізики та фізичної гідрогазодинаміки" (Алушта, 1987, 1989), IX Всесоюзній теплофізичній школі (Тамбов, 1988), міжнародному семінарі "Термометрія ізоляційних огорожень" (Бсхорн, ФРН, 1991).

До матеріалів дисертації в 10 наукових публікацій та одне авторське свідчення на винахід.

Обсяг та структура праці. Дисертаційна праця складається із вступу, чотирьох глав, висновків, бібліографії та додатків. Основний матеріал викладено на 139 сторінках машинописного тексту, ілюстровано рисунками та таблицями. Бібліографія містить 105 найменувань вітчизняних та зарубіжних авторів.

ЗМІСТ ПРАЦІ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження. Наведені нові наукові результати та основні наукові положення, що їх автор вносить на захист. Доказана практична значущість праці, результати її впровадження у дослідну та виробничу практику.

Перша глава присвячена аналізу методів досліджень та розрахунку тепломасопереносу в ізоляційних конструкціях опалюваних та охолоджуваних промислових будівель. Механізм перенесення субстанції (теплота та волога) розглянуто із залученням класичних праць Ж.Б. Фур'є, К.-Л. Бертолле, Е.Маха та ін. Математичні моделі процесів тепломасообміну всередині ізоляції на їх сучасному рівні обґрунтовані працями Г.Карслоу, О.Б.Ликова, Ю.О. Іл'їнського, М.М.Беляєва, А.О.Рячкова. Головна теза, що є на озброєнні дослідників та проєктувальників ізоляційних конструкцій -

процесу перенесення теплоти та вологи можна розглядати окремо, а вплив масопереносу на теплоперенос ураховувати через вплив вологиємості на ефективні теплофізичні характеристики (ТФХ) ізоляції – дозволяє спрощувати дуже складні математичні моделі сукупного тепломасоперенесення до рівня формул інженерних розрахунків та обчислень на ЕОМ. Аналіз результатів використання цих формул показує прийнятність цієї тези.

Експериментальне вивчення процесів перенесення в ізоляції найдоцільніше робити шляхом прямого вимірювання потенціалів та потоків. Ідея доцільної стінки, що її запропонував для вимірювання теплових потоків К.Христіансен ще у XIX с., для обстеження ізоляції впровадив Е.Шмідт 70 років тому, а у 1949 році К.Ф. Фокін застосував при визначенні опору теплопередачі у сільськогосподарських будинках. Широкого розвитку ця ідея набула за останні 30 років в зв'язку із розробкою О.А.Герашенко та його учнями у Академії наук України малогабаритних малоенергійних тепломірів, на базі яких з теплофізики та метрології була вилучена окрема наука теллометрія. Її методи та прилади широко застосовуються у різних галузях науки та життя, серед них і при випробуванні ізоляційних огорожень. У 1982 році "Метод вимірювання густини теплових потоків, що проходять через захисні конструкції" був затверджений як ГОСТ 25380-82, робочою як обов'язковий для виконання.

Для визначення вологоємості ізоляції та парціального тиску водяної пари у її порах є кілька непрямих методів, для потоків вологи через ізоляційну конструкцію – донедавна майже не було. Праці В.Г.Федорова у галузі тепломасометрії харківських виробників показали можливість визначати густину потоку маси теллометричними засобами, якщо у місці вимірювань відбувається фазове перетворення вологи. Ці роботи можуть бути основою для створення методик вимірювання масообмінних характеристик ізоляції та густини потоку вологи за допомогою тепломірів з великою дифузійною проникністю.

В.М.Пахомов запропонував поєднати теллометричні методи із методами термодинаміки, зокрема методикою К."Ідеаліст" визначення зон дифузії та конденсації водяної пари в ізоляційних конструкціях. Таким чином, у Києві створені умови для вирішення наукової проблеми, яку можна назвати "Тепловологометрія з змія-

лінійних конструкцій". Над цією проблемою працюють також Л.Р.Декуша, В.О.Вінogradов-Салтиков, А.О.Глуздань, Л.П.Івач, Р.Б.Іванов, О.В.Ковал'ов, за допомоги "словом і ділом" автор висловлює їм щирою подяку.

У другій главі наведені результати удосконалень автором методів досліджень тепломасообмінних характеристик ізоляційних огорожень. Відповідно згаданій іще тезі наголошено зроблено на комплексному вимірюванні транспортних ТЕМ - теплопровідності λ , об'ємній теплоємності c_0 , температуропровідності a та теплової активності b - в умовах експлуатації ізоляційних огорожень або максимально до них наближених. Теоретичною основою цього удосконалення є формалізація математичних моделей тепломасопереносу в огороженнях, тобто рішення диференціальних рівнянь з умовами однозначності, що є найбільш ймовірними, з метою виведення розрахункових формул для ефективних ТЕХ ізоляції.

Ці формули одержані для монотонних режимів перенесення теплоти при діянні на стіну постійного джерела теплоти, а також також випадків діяння джерела температури: постійна температура поверхні ізоляції, постійна температура оточуючого повітря та лінійне змінення температури із часом. Наведено формули для монотонних збурень в узагальненому вигляді:

$$\lambda = \frac{q_2 t}{2\Delta t} \varphi_m \quad (1)$$

$$c_0 = \frac{q_2 - q_1}{v \lambda} \psi_m \quad (2)$$

Доправки φ_m та ψ_m у випадках діяння джерел теплоти, а також якщо температура повітря змінюється лінійно:

$$\varphi_m = 1 + \frac{q_1}{q_2}; \quad \psi_m = 1 \quad (3)$$

При постійних температурах на поверхні ізоляції або оточуючого повітря за межами пристінного шару

$$\varphi_m = 1 - \frac{x_1 x_2}{1 - \frac{6a}{m} - (x_1^2 - x_1 x_2 + x_2^2)}; \quad \psi_m = \frac{1}{1 + \frac{mt^2}{12a}} \quad (4)$$

Температуропровідність a та теплову активність b зручніше обчислювати з вихідних формул $a = \lambda (c_0)^{-1}$; $b = (\lambda c_0)^{1/2}$, та оскільки a входить до формул (4), для неї одержана формула

$$a = \frac{m(q_2 x_1^5 - q_1 x_2^3)}{\epsilon(q_2 x_1 - q_1 x_2)} \quad (5)$$

У формулах (1)-(5) q_1 та q_2 - точні значення густини теплового потоку на обох поверхнях досліджуваного шару ізоляції; t_1 та t_2 - відповідні температури, $\Delta t = t_2 - t_1$; $v = \partial t / \partial r$ - швидкість змінення середньої температури шару з часом; x_1 та x_2 - координати поверхонь шару, $l = x_2 - x_1$. Темп охолодження (чи нагрівання) m визначається для двох близьких моментів часу τ' та τ'' вимірюванням відповідних $\frac{1}{t}$ або q :

$$m = \frac{\ln \frac{(t_2 - t_1)'}{(t_2 - t_1)''}}{\tau'' - \tau'} = \frac{\ln \frac{q_1'}{q_1''}}{\tau'' - \tau'} = \frac{\ln \frac{q_2'}{q_2''}}{\tau'' - \tau'} \quad (6)$$

Формалізацію рішень диференційного рівняння проведено також для гармонічних збурень з боку джерела теплоти (q та поверхні стінки) або температури оточуючого повітря. Узагальнені формули:

$$\lambda = \frac{i}{\epsilon q \Delta t} \Psi_r; \quad c\varphi = \frac{\epsilon q}{\omega l \Delta t} \Psi_r \quad (7)$$

де поправка для джерела температури

$$\Psi_r = \frac{q_1}{\operatorname{tg} B_1 - 1} - \frac{q_2}{\operatorname{tg} B_2 - 1}; \quad \Psi_r = 2 \Psi_r \quad (8)$$

а для джерела теплоти

$$\Psi_r = \frac{i}{2} (q_{12} \operatorname{ctg} C_1 - q_1 \operatorname{ctg} C_1); \quad \Psi_r = 2 \Psi_r \quad (9)$$

У формулах (7)-(9) ϵq - зсув по фазі коливань густини теплового потоку між поверхнями x_1 та x_2 ; $\epsilon q = i \sqrt{\omega / 2\lambda}$; $\omega = 2\pi / \tau_0$ - кругова частота, τ_0 - період коливань. Кутами B та C знаходять зрівнянь

$$B = \omega \tau - \epsilon_0 \frac{x \epsilon q}{\lambda^2}; \quad C = B - \frac{\pi}{4} \quad (10)$$

де ϵ_0 - зсув по фазі коливань температури поверхні стінки із $\epsilon_0 = 0$ (на цю поверхню діє гармонічне збурення)

$$\epsilon_0 = \operatorname{arctg} \left(1 + \frac{\alpha}{\lambda} \sqrt{\frac{a \tau_0}{\epsilon_1}} \right)^{-1} \quad (11)$$

Той факт, що у формулах для ϵq та ϵ_0 входять шукані ТБУ λ та ω , не мусять провадити до ітерацій при обчисленні λ чи $c\varphi$, бо обидва зсуви по фазі визначаються експериментально,

скільки ψ та t вимірюються безперервно. Зручніше це робити для максимумів функцій чи при переході їх через нуль.

При гармонічних збуреннях особливі значення набувають теплова активність t та коефіцієнт тепловосвоєння досліджуваного прошарку ізоляції $S = hV\tau_0$, тому була одержана формула для їх визначення, вводячи при дії будь-якого з джерел

$$b = \frac{1}{\Delta t \omega^{1/2}} \varphi r \quad (12)$$

Для визначення ефективних ТФХ та їх залежностей від температури чи вологості найзручнішим є монотонний режим, коли джерело тепла або температура оточуючого середовища змінюється лінійно з часом, бо за цих умов густина тепловотоку на будь-якій ізотермі шару є постійною, а температура є лінійною функцією часу. Це дає можливість не лише найпростіше обчислювати ТФХ, але й автоматизувати лабораторні установки.

За участю автора було створено три лабораторних установки по втязчальному ТФХ ізоляційних матеріалів, одну з них було автоматизовано шляхом опосередкування із персональним ЕОМ IBM PC/AT. На цих установках було досліджено залежність ТФХ від t та вологості u для кількох видів теплової ізоляції, для двох нових пінопластів в роботі наведені результати дослідів та ічтерполяційні формули основних ТФХ.

Е натуральних умовах залежності $t(\tau)$ та $q(\tau)$ змінюються інакше, ніж маємо за умов однозначності, що є основою форми (1)-(12). Тому в роботі досліджено вплив відхилення від ідеалізованих умов на обчислення ТФХ. Як базу порівняння взято режим $q_i = \text{const}$, де i - номер прошарку. Відносна похибка змінення γ із часом $\frac{\partial q_i / \partial \tau}{q_i} = \dot{q}_i / q_i$, правило за аргумент, відносна похибка в обчисленні λ , тобто $\varepsilon_\lambda = (\lambda' - \lambda) / \lambda$, де λ та λ' - точне та наближене значення - за функцію. За верхню межу ε_λ було прийнято $\pm 0,4$, одержано симетричний функціональний зв'язок між \dot{q}_i / q_i та ε_λ . Для $\dot{q}_i / q_i = \pm 5 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{I}/\text{с}$ відносна похибка складає 3,5%, при додержанні стабільного температурного режиму в ізолюваному приміщенні \dot{q}_i / q_i повинно бути меншим за цю величину.

Третя глава присвячена розробці та вдосконаленню методів дослідження полів та потенціалів теплопереносу в ізоляції.

Наведено результати удосконалення стандартного методу вимірювання теплового потоку через оподоженья на замкненні фірми *Feinwerk- und Messtechnik* (ФРН): змінені конструкція та параметри тепломірів, збільшена їх кількість у одному приладі.

Розроблено методики дослідження компонентів тепломасообміну по товщині та з поверхні ізоляції. Основою цих методик є застосування тепломірів із великою дифузійною проникністю (так званих перфорованих), позначена стабільність їх роботи у різних температурних умовах. Комбінування двох тепломірів на одній ізоформі дало можливість розвинути метод теплометричного визначення дуже великої ТМХ - вологовмісту U , який є потегціалом мосопереносу. Цей метод було визнано як винахід (а.с.1578616). Теоретичні основи методу наведено для найпростішого тепловологоміру, коли поруч із тепломіром за допоміжну стінку правити прошарок ізоляції, на поверхнях якого вимірюють Δt за допомогою диференційної термобатареї. Її сигнал є пропорційним теплопровідності матеріалу λ_m , яка в свою чергу однозначно зв'язана із вологовмістом ізоляції U_m .

Відношення сигналів тепломіра ϵ_q та термобатареї $\epsilon_{\Delta t}$, тобто $K_\lambda = \frac{\epsilon_q}{\epsilon_{\Delta t}}$ можна вважати загальною градувальною характеристикою цього вимірювального блоку, оскільки для певних параметрів обох секцій маємо $K_\lambda = f(\lambda_m)$. Врахування залежності $\lambda_m = \psi(U_m)$ дає можливість перейти до часткової градувальної характеристики $K_u = \psi(U_m)$, тобто для конкретного ізоляційного матеріалу. В дисертації є графіки загальних характеристик для різних параметрів тепломірів і батарей, та часткові - для різних ізоляційних матеріалів.

Незручність практичного використання такого тепловологоміра у тому, що чутливість термобатареї є значно менша, ніж тепломіра. Підвищити її можна, якщо замість батареї взяти стрічки гіпертермоелементів, з яких виготовляють шаруваті, спіралі чи перфоровані тепломіри (на кордопій стрічці товщиною 0,1 мм навивають константановий дріт \varnothing 0,1 мм, який з одного боку стрічки вкритий міддю). З цих стрічок висотою 1...3 мм можна зробити решітку, щільно якої заповнити ізоляційним матеріалом. Теплопровідність ребра λ_p (тепломірної стрічки) решітки значно більша за λ_m , тому лінії теплового потоку будуть стягуватися з матеріалу ізоляції на ребро (ефект теплової лінії), сигнала

стрічки буде залежати від λ_p / λ_r , тобто знов від u_m .

теоретичних міркувань одержано формулу для k_λ щільного тепловологіміру

$$k_\lambda = A \left[a' + \frac{b'}{2} (1 + B \lambda_m) \right] \quad (13),$$

де $a' = \frac{\lambda}{a+b}$; $b' = \frac{b}{a+b}$ - відносні ширини ребра та щільна, A та B - константи, що залежать лише від параметрів тепломірної та вологомірної секцій.

Варіювання A , B , a' та b' змінює кут нахилу лінії $k_\lambda = f(\lambda_m)$, що дозволяє підбирати наочність приладу, себто оптимізувати щільний тепловологімір. Виготовлення та градування приладів підтвердило математичну модель теплопереносу у "системі з включеннями".

Теоретичне та експериментальне дослідження тепловологімірів дозволило реалізувати ідею В.М.Пахомова є поєднанні методів теплометрії та тепловологісної рівноваги, що були розроблені школою О.В.Ликова. Для вологомірної секції формується така сама гіпертегмопара, як для тепломірної секції, але замість епоксидного компаунда, вільний простір навколо неї заповнюється лорудатим сталонним матеріалом.

Якщо прилад привесити у контакт із ізоляцією, яку досліджуємо, ця секція швидко стає вологою. Змінення u_e приводить до відповідного змінення λ_e , тобто знову приходимо до тепловологіміру, але тепер через відоме відношення $u_e / u_m = C_{me} / C_{mm}$, де C_m - вологоємність сталону чи матеріалу. За цих умов складена формула для часткового k_u

$$k_u = A \cdot B_1 \left[\lambda_0 + \left(u_m \frac{C_{me}}{C_{mm}} \right) r \right]^{1-m} \quad (14),$$

де A , B_1 - характеристики секцій; r , m - матеріалів; λ_0 - теплопровідність сухої ізоляції. На основі (14) можна градувати одержати $k_u = f(u_m)$ або $k_u = \varphi(r_m)$ з залежності від того, що переслідує досліджувач - визначити u_m чи C_{mm} .

Дослідним шляхом суціль одержані функції $k_u = f(u_m)$ для целюлози та гіпсу як еталонних матеріалів.

В четвертій главі наведено результати впровадження нових теплострічкових методик у досліджу та виробничу практику, а також результати сукупного використання методів теплометрії

і технічної термодинаміки для удосконалення досліджень та прогнозування теплоперепоносy в ізоляційних конструкціях

Методику дослідження компонентів тепломасообміну по товщині ізоляції було використано у лабораторних умовах при випробуванні фрагментів двошарової об'легшеної конструкції із сталевих листа та пінопласту ППФ товщиною 80 мм без пароізоляції. Від'ємні температури створювались за рахунок прерывчасті роботи компресора холодильної установки, змінччю частоти включень компресора було встановлено обернену до неї залежність глибини проникнення теплового бурення. Тепломіри мають значно більшу чутливість до збурень ніж термометри, звідси рекомендація будувати системи регулювання термостатів, приладів нагрівання чи охолодження не за температурою, а за її градієнтом чи густиною теплового потоку.

Методика визначення "сухої" та "вологої" складової теплового потоку із поверхні істяті дала можливість при випробуваннях у НДІБК грешарової (метал-пінопласт-деревоплита) стінки обчислити таксі густину потоку маси й швидкість сушіння ізоляції у "літній" період її експлуатації. Ці дослідження можуть бути підставою до поширення можливостей тепловологометрії, бо чутливі елементи реагують на потік вологи не лише внаслідок її випаровування у шарах, що відокремлюють ці елементи від оточуючого повітря, але й у значно глибших шарах ізоляції.

Для випробувань стінових панелей у натурних умовах співробітниками КТІХП за участю автора було створено шість вимірювальних блоків, що мали по товщині по сім тепломірів та по 22 термометри, тому для обробки дослідних даних довелося скласти програму на стаціонарну ЕОМ, що дозволяє обчислювати показові t, q, λ, ϵ також вологоємність u .

При підготовці до масових випробувань освітлених ізоляційних конструкцій розподільних та промислових холодильників стіна однієї морозильної камери (цегла, мінеральна вата) була оснащена двома вимірювальними блоками по сім тепломірів з термометрами. Стабільного режиму теплоперепоносy по товщині стіни не вдалось досягти у зимовий, весняний та літній періоди роботи із-за безперервного змінення температури повітря у камері на потреби виробництва від -30 до -4°C . За цих умов поверхневі вимірювання q не дають уяви про рівень q по товщині ізоляції.

тому було рекомендовано при часових випробуваннях суворо дотримувати постійної температури повітря у камерах.

Обстеження КТЕІ за участю автора шістьох холодильників у різних регіонах України показало, що опори теплопередачі для них нижче нормативних у 1,5...2 рази. Встановлено причини відхилення від проектів відносно товщини ізоляції, її ρ та λ , низька якість пароізоляції, механічне руйнування. Складено відповідні рекомендації по сутинню ізоляції, накладанню додаткового шару чи поггій заміні тепло- і пароізоляції. При цьому досягнуто істотного економічного ефекту за рахунок зменшення витрат на виробництво продукту та усунування м'яса.

Досвід дослідження тепломасообміну у ізоляційних конструкціях дозволив опрацювати деякі практичні рекомендації. На проектній стадії для опалюваних та охолоджуваних приміщень доцільніше виходити з умов однакової густини теплового потоку через елементи конструкцій, для яких температурний напір та граничні умови можна вважати однаковими. Для підтвердження цієї тези було складено і доведено теорему про мінімальну витрату ізоляційного матеріалу на замкнуту конструкцію.

Якщо граничні умови є різними, пропонується змінити розраховану формулу для теплового навантаження конструкції в установленому режимі, скільки її треба розглядати як суму m ділянок, кожна з яких складається із n шарів з різними властивостями

$$Q = \sum_{j=1}^m q_j F_j = \Delta t \sum_{j=1}^m k_j F_j = \Delta t \sum_{j=1}^m \frac{F_j}{\frac{1}{\alpha_j} + \sum_{i=1}^n \frac{\delta_i}{\lambda_i} + \frac{1}{\alpha_b}} \quad (15)$$

Ефективна теплопровідність λ_i залежить від t_i , парціального тиску пари p_i , вологовмісту u_i чи льодовмісту Λ_i . Тому запропоновано поєднати поширений у будівельній теплофізиці ітераційний метод елементарних балансів із термодинамічними прийомами визначення зон фазових перетворень у стіні.

На кожному кроці ітерації треба визначити t_i , відповідний їй p_i , за критерієм сорбції-десорбції $-u_i$, за відомою функцією $\lambda_i = f(t_i, u_i)$ - визначити λ_i , а також обчислювати $(c\varphi)_i$:

$$(c\varphi)_i = [c_s + u_i c_v + (u_i - u_s) \frac{r}{t_i - t_s}] \rho_s \quad (16)$$

де C_a - теплоємність води (або льоду, тоді замість ρ треба ставити $\rho_{\text{льоду}}$); r - теплота конденсації або аблімації пари; штрихом позначені величини для наступного кроку.

Методи термодинаміки було використано також для пояснення впливу теплових потоків через ізоляційні холодильних камер на природні втрати харчових продуктів в процесі їх холодильної обробки чи зберігання. Побудовано в T -діаграмі цикл зміни станів охолоджуючого повітря у камері, одержав зв'язок між усушкою D та теплопрпливом Q .

$$D = Q \frac{\Delta t}{\Delta T} \quad (17).$$

Підраховано, що для усіх обстежених хлосодільників відношення Q/D коливається у дуже вузьких границях 27,7...27,8 МДж/кг. Оскільки теплота пароутворення для цих умов дорівнює 2,5 МДж/кг, маємо, що не менш як 3% теплопрпливів через огороження витрачається на усушку, ця величина, треба враховувати при обчисленнях холодильних установок.

Лабораторну установку для комплексного вимірювання ТФХ ізоляційних матеріалів було використано разом із КІТХЛ та Кьстенською вищою технічною школою (ФРН) для обґрунтування експрес-методу визначення кількості жиру у вершках на їх шляху від течка до маслозиробної машини. Встановлено єдиний функціональний зв'язок між жирністю X вершків, що були одержані із ГМЗ № 1 м. Київ та із заводу "Бітерфельд" (ФРН), та їх λ . Цей зв'язок відповідає моделі І.П.Філіппова для рідких органічних сумішей

$$\lambda = (0,525 + 0,00135 t) (1 - 0,72X) (1 - X) + (0,174 - 0,000155 t) (1,72 - 0,72X) X \quad (18).$$

Середнє квадратичне відхилення для λ з цієї формули не перевищує 3%, тому її можна покласти в основу експрес-методу контролю жирності молока та вершків у виробничих умовах.

ВИСНОВКИ

І. Аналіз літературних даних дав можливість обрати як базисну модель сукупного тепломасопереносу в ізоляційних конструкціях із роздільним віденням рівнярь перенесення теплоти та вологи (І.2.І), доцільність чого було підтверджено у дослідях.

2. Формалізація річниць теплопереносу із найбільш поширеними для ізоляційних огорожень умовами однозначності дозволила одержати формули для визначення ефективних теплофізичних характеристик ізоляції при її експлуатації та на лабораторних установках (2.1, узагальнені формули 2.54, 2.69, 2.70, 2.75, 2.76, 2.80).
3. Удосконалення стандартного теплотричного методу визначення теплопровідності ізоляції привело до можливості одночасно вимірювати основні теплофізичні характеристики матеріалів, вести дослідження у діалозі із ЕОМ (2.2.2, 2.2.4).
4. Удосконалення стандартного методу теплотрії ізоляційних конструкцій забезпечує підвищення інформативності та надійності випробувань (3.1).
5. Застосування перфорованих тепломірів при теплотехнічних випробуваннях істотно дає можливість зрести збурення у одні теплотеплопереносу, досліджувати компоненти теплового потоку (3.2).
6. Комбінування двох теплотричних елементів із різним ступенем перфорації дозволяє вивчати вологовміст ізоляційного матеріалу без відбору проби (3.3, а.с.1578616).
7. Ізоляцію треба розподіляти по окремих елементах конструкції так, щоб густина теплового потоку через них була однаковою (3.4.1).
8. Удосконалена конструкція тепломасоміру була впроваджена при визначенні густини потоку маси із поверхні ізоляції та швидкості її сушіння у літній період експлуатації (4.1.2).
9. Дослідження динаміч. температур та теплових потоків у зовнішній стіні морозильної камери допомогло скласти та впровадити рекомендації при масових випробуваннях розподільчих та промислових уолодильників (4.3).
10. Комбінування методів технічної термодинаміки та тепломасообміну дозволяє прогнозувати виникнення і розширення зон фазових переходів та накопичення вологи в ізоляційних конструкціях (4.4.2).
11. Цикл зміннястану вологого повітря у Іd-діаграмі може бути основою зв'язку процесів тепломасообміну в ізоляції та продуктах, що обробляються чи зберігаються у камері, а також прогнозування їх усушки (4.4.3).

12. Удосконалення комплексного методу визначення ефективних теплофізичних характеристик спричинилося до його впровадження при дослідженнях лабільних продуктів у науковій та учбовій практиці (2.2., 4.5)

ПУБЛІКАЦІЇ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Пахомов В.Н., Федорова О.В. Теплообмен в изоляции холодильников. У зб.: Тепло- и массообменные процессы в пищевой промышленности. - К.: УМК ВО, 1990, с. 29-34.
2. Федорова О.В., Пахомов В.Н., Боровський М.В. Вплив тепловологісного стану огорожень на ефективність експлуатації громислових холодильників. - Харчова та переробна промисловість, 1993, № 6.
3. Пахомов В.Н., Федорова О.В. Расчеты и прогнозирование теплозащитных свойств ограждений для производственных холодильников. У зб.: Проблемы энергобережения. Вып.4. - К.: Наукова думка, 1990, с.48-50.
4. Федорова О.В., Пахомов В.Н., Фрède М. Исследование связи между технологическими и теплофизическими характеристиками лабильных продуктов. У зб.: Развитие общественного питания в условиях рыночных отношений. - К.: КТЕІ, 1990, с.93-101.
5. Некоторые вопросы снижения потерь мясopодуlктов и сокращения эксплуатационных расходов на распределительных холодильниках оптовой торговли / Н.В.Горовский, Д.В.Алексеенко, Г.С.Терегин, О.В.Федорова. У зб.: Пути сохранения качества и снижения потерь товаров в торговле. К.: КТЕІ, 1990, с.25-31.
6. Приборы для комплексного определения теплофизических характеристик лабильных материалов. - У кн.: Приборы для теплофизических измерений. Каталог /Ред. А.А.Долинский.- К.: Реклама, 1986, с.42-43.
7. Тепломер. - У кн.: Приборы для теплофизических измерений. Каталог. /Ред. А.А.Долинский. - К.: Реклама, 1986, с.32. Перэдруковано у кн.: Приборы для теплофизических измерений. Каталог. /Укл. О.А.Герашенко, Т.Г.Грищенко.- К.: Чер, 1991, с.38.

8. Чахомов В.Н., Федорова О.В. та г. Установка для комплексного определения теплофизических характеристик влажных материалов. - Инф. листок о научно-техническом достижении № 89-151. - К.: Украининти, 1963, - 4 с.

9. Федорова С.В., Ткач Л.П. Талориметр для градуировки термомеров при низких температурах. - Инф. листок. - К.: Реклама, 1985. - 2 с.

10. Ткач Л. П. Федорова С.В., Сафонов В.С. Определение эффективных теплофизических характеристик изоляции низкотемпературных объектов в процессе эксплуатации. У кн.: Невейшие исследования в области теплофизических свойств (тези доп.). - Тамбов, ТИХМ, 1988, с.70.

11. Способ определения влажности капиллярно-пористых материалов в процессе теплообмена. - А.с. № 1578616/ О.В.Федорова, А.В.Ковалев, В.Н.Чахомов, В.И.Теличкун, С.Д.Дудко, А.А.Глузель. - Опубл. в Б.И., 1990, № 26.

С.В. Федорова

ФЕДОРОВА Ольга Володимирівна

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПРОГНОЗУВАННЯ
ТЕПЛОСМАСПЕЛЕНОСУ В ІЗОЛЯЦІЙНИХ КОНСТРУКЦІЯХ

Підп. до друку 07.10.93. Формат 60 x 84/16. Папір друк. Офс. друк.
Ум. друк. арк. 0,99. Ум. фарбо-відб. I, I2. Обл.-вид. арк. I, 0.
Тираж 100 пр. Зам. 381.

РВВ КІІІ Дільниця оперативного друку
253156, Київ-156, вул.Кіото, 19

AB 27.986