

НОРМАЛІЗАЦІЯ ВОЛОГОГО СТАНУ ПОВІТРЯ У СПОРУДАХ В ХОЛОДНИЙ ПЕРІОД РОКУ

Мікроклімат у будовах та приміщеннях, особливо у недостатньо опалювальних, дуже складний. Він залежить від конструкцій та матеріалу елементів споруди, режиму її експлуатації, кліматичної зони тощо. Значну небезпеку становить конденсація вологи з повітря на огороджуваних конструкціях [1], а, наприклад, у музеях на поверхнях витворів мистецтва. У випадках погіршення умов експлуатації опалювального обладнання і порушення санітарно-гігієнічних умов приміщення усе частіше зустрічаємося з конденсацією вологи з внутрішнього повітря. Так дослідження мікроклімату протягом року у Національному науково-дослідному реставраційному центрі України виявили випадки появи конденсату у приміщеннях та, що особливо насторожує, на музейних експонатах. Це відбувається у перехідний період року при відключенні мережі центрального опалення. Виміри температурно-вологісного режиму (рис. 1, 2) засвідчили значні коливання добової температури та високі показники відносної вологості повітря, наслідком чого стало випадання конденсату. Тому виникла потреба виконати термодинамічний та теплотехнічний аналіз різних варіантів прояву процесу конденсації вологи з внутрішнього повітря приміщень.

Причиною конденсації вологи з повітря приміщень можуть стати такі обставини:

- змішування затікаючого у приміщення холодного атмосферного і теплого внутрішнього повітря (варіант 1);
- зіткнення затікаючого у приміщення теплого зовнішнього повітря з холодною внутрішньою поверхнею стін, підлоги, поверхнею витворів мистецтва (варіант 2);
- охолодження внутрішнього повітря крізь стіни холодним атмосферним повітрям (варіант 3);
- насичення внутрішнього повітря вологою від фундаментів, підлоги та стін приміщення у період денного підвищення температури внутрішнього повітря за рахунок надходження теплоти з навколишнього середовища і подальшої конденсації вологи у холодну нічну годину внаслідок низької температури огороджуваних конструкцій (варіант 4).

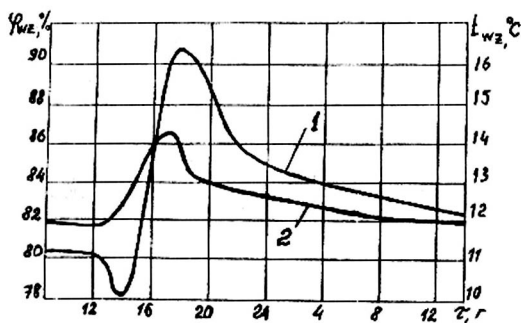
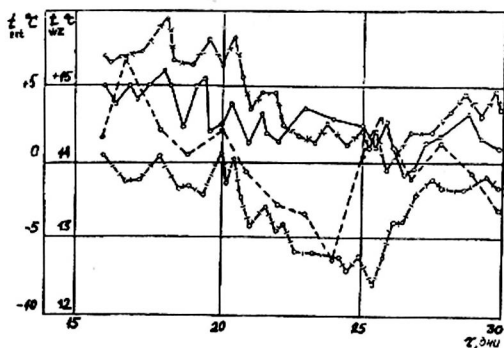


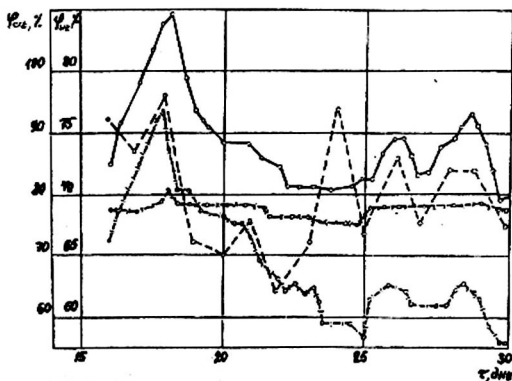
Рис. 1. Графіки зміни відносної вологості ϕ_{wz} (1) та температури t_{wz} (2) внутрішнього повітря під час проведення богослужіння у Кирилівській церкві (12⁰⁰ 7.04.96... 12⁰⁰ 8.04.96 р.)



а

Рис. 2. Графіки зміни:
а) температури зовнішнього t_{ext} і внутрішнього t_{wz} повітря;
б) відносної вологості зовнішнього ϕ_{ext} і внутрішнього ϕ_{wz} повітря у Кирилівській церкві (листопад 1995 р.)

- o - - - - - o зовнішнє повітря
- o — o — вітвар
- o - x - o - x - хрещельня
- o - | - o - барабан купола



б

Розглянемо процеси конденсації вологи більш уважніше.

Варіант 1. Характерний при змішуванні потоків повітря високої відносної вологості ϕ при будь-яких температурах. При малих ϕ поява процесу конденсації залежить від співвідношення температур потоків повітря. Як правило, варіант має місце у холодний період року при значних відмінах у температурах внутрішнього та зовнішнього повітря при вентиляції чи інфільтрації холодного атмосферного повітря у опалювальні та неопалювальні приміщення з високим значенням відносної вологості у повітрі. Тобто визначається як умовами експлуатації приміщень, так і відбувається природним шляхом. Найдоцільнішим для запобігання випаданню конденсату є необхідне опалення приміщень, у тому числі із створенням в них надмірного тиску повітря.

Приклад 1. У приміщенні об'ємом 100 м^3 при температурно-вологісних параметрах повітря $t_{\text{вн}} = 25^\circ\text{C}$ і $\phi = 0,8$ та зовнішнього повітря $t_3 = 0^\circ\text{C}$ і $\phi = 0,9$ при кратності циркуляції $0,5$ згідно з $I-d$ діаграмою вологого повітря можливе випадання вологи у кількості $0,4 \text{ г}$ на 1 кг сухого повітря. Загальна кількість конденсату може скласти до 48 г за годину; за добу — $0,576 \text{ кг}$, за тиждень $\sim 4 \text{ кг}$.

Варіант 2. Можливий при періодичному вентиляванні чи інфільтрації теплого атмосферного повітря (перехідний період року) у приміщення з холодними стінами та підлогою. Особливо виражений у підвальних та напівпідвальних приміщеннях із заохолодженням підпіллям.

Приклад 2. У приміщення об'ємом 100 м^3 поступає атмосферне повітря з параметрами $t_3 = 20^\circ\text{C}$, $\phi = 1,0$. Нехай у теплообмінних процесах бере участь частина цегляної огороженої конструкції об'ємом $V = 1 \text{ м}^3$ з температурою 10°C (у дійсності значення V більше). Тоді кількість теплоти, яку віддає повітря для прогріву цієї кількості цегли від 10 до 20°C , дорівнює:

$$Q = c_o \cdot \rho_{\text{ц}} \cdot V \cdot \Delta t = 0,887 \text{ кДж/(кг} \cdot \text{град)} \cdot 1800 \text{ кг/м}^3 \times \\ \times 1 \text{ м}^3 \cdot (20 - 10)^\circ\text{C} = 15800 \text{ кДж.}$$

Хай уся ця теплота Q надходить за рахунок теплоти конденсації вологи (найгірший випадок). Кількість конденсату $G_{\text{к}}$ складе:

$$G_{\text{к}} = Q/r = 15800/2200 = 7,15 \text{ кг} \quad (r = 2200 \text{ кДж/кг}).$$

Згідно з $I-d$ діаграмою вологого повітря та розрахунків кількість теплого повітря, з якого випаде конденсат, дорівнює 790 м^3 . Нехай конденсація вологи відбувається у нічний час протягом 10 годин. Можливі два випадки:

Перший — у приміщення поступає повітря із сусідніх кімнат. Тоді у годину повинно припливати 79 м^3 ; за 10 годин — 790 м^3 , що є допустимим для приміщення об'ємом 100 м^3 . При цьому на поверхні приміщення може випасти шар конденсату товщиною (припустимо площа поверхні $F = 200 \text{ м}^2$)

$$\Delta = G_{\kappa} / (\rho_{\kappa} \cdot F) = 7,15 / (999,7 \cdot 200) = 0,028 \text{ мм.}$$

На погано зволожуваних поверхнях товщина конденсату місцями буде значно більшою.

Другий випадок. Припливу чи інфільтрації повітря немає. Охолоджується тільки те повітря, що знаходиться у кімнаті. При зниженні температури повітря з 10 до 20°C згідно з *I-d* діаграмою вологого повітря може випасти конденсат у кількості:

$$G'_{\kappa} = V_{\text{пр}} \cdot \rho_{\text{п}} \cdot \Delta d = 100 \text{ м}^3 \cdot 1,247 \text{ кг/м}^3 \cdot 7,5 \text{ г/кг} = 0,953 \text{ кг.}$$

Варіант 3. Можливий у опалювальних та неопалювальних приміщеннях при недостатньому термічному опорі огорожувальних конструкцій та пов'язаний з досягненням внутрішньою поверхнею конструкції температури точки роси. Особливо небезпечний при дифузії вологи крізь підлогу чи огорожувальні конструкції, випаровування її у приміщення за рахунок теплоти приміщення та подальшої конденсації на охолоджувальних поверхнях та речах. Нормалізація вологісного стану може бути проведена за рахунок тепло- та гідроізоляції огорожувальних конструкцій.

Варіант 4. Значну роль відіграє дифузія вологи у приміщення, яка може бути пов'язана з високою вологістю ґрунту, підлоги та огорожувальних конструкцій. Механізм прояву простий. Волога дифундує у приміщення, випаровується у повітря за рахунок цієї теплоти у період денного підвищення температури, а в холодну годину внаслідок низької температури огорожувальних конструкцій, конденсується на їх поверхнях. Основні засоби нормалізації вологості у повітрі приміщень: зневоднювання місцевості біля будови, гідроізоляція, вдосконалення огорожувальних конструкцій.

Таким чином, основними факторами конденсації вологи в середині приміщень:

- є недостатня тепло- та гідроізоляція огорожувальних конструкцій; відсутність належного опалення у приміщеннях; нерегульована вентиляція приміщень. До цього слід додати недостатнє застосування сучасних технічних засобів для запобігання конденсації вологи і підтримки належного мікроклімату приміщень.

Нормалізацію вологого стану повітря у приміщеннях треба проводити завжди. У таблиці наведені основні сучасні заходи, які треба використовувати у приміщеннях для запобігання конденсації вологи з повітря. Знаком “+” відзначені заходи, які запобігають випадання вологи з повітря.

Таблиця

Заходи для запобігання конденсації вологи у приміщеннях

№ пп.	Заходи для запобігання конденсації вологи	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4
1	Організована вентиляція приміщень	+	+	+	±
2	Гідроізоляція огорожувальних конструкцій	–	–	–	+
3	Теплоізоляція огорожувальних конструкцій	–	+	+	–
4	Опалення загальне	+	+	±	±
5	Опалення місцеве	+	+	–	+
6	Кондиціонування повітря	+	+	±	±
7	Осушка повітря	+	+	+	±
8	Акумуляування теплоти	–	+	–	+

Розглянемо заходи по запобіганню випадання конденсату.

Організована вентиляція приміщень. У холодний період року в приміщення поступає нагріте атмосферне повітря. По-перше, позитивно вирішується варіант 1. По-друге, цей процес є аналогом повітряного опалення (позитивно вирішується варіант 2, а у деяких випадках і варіант 3). При цілодобовій подачі теплого повітря позитивно вирішується варіант 4. Системи та обладнання повітряного опалення, їх використання добре відомі.

Гідроізоляція огорожувальних конструкцій. Повинна проводитися та ремонтуватися своєчасно. Найважливіша її роль при запобіганні варіанта 4. Їх рішення, конструкція та матеріали теж добре відомі [1].

Теплоізоляція огорожувальних конструкцій. Засоби теплоізоляції, конструкції, матеріали відомі. Усі приміщення повинні враховувати якість теплоізоляції для запобігання досягнення температури точки

роси на внутрішніх поверхнях огорожувальних конструкцій. Позитивно вирішується варіант 2 та 3.

При зберіганні речей у неопалювальних приміщеннях для захисту їх від процесів добової зміни температури у повітрі та конденсації вологи вони можуть бути складені у теплоізольовані шафи, що дає змогу знизити темп та рівень її охолодження. Внаслідок чого при підвищенні температури на їх поверхні випадає менша кількість конденсату, але все ж випадає.

Опалення загальне. Опалення приміщень нормалізує в них температурно-вологісний режим. Для остаточного позитивного вирішення варіантів 3 та 4 потрібна надійна тепло- та гідроізоляція огорожувальних конструкцій.

Опалення місцеве. Мається на увазі, місцевий підігрів повітря у приміщенні. Має позитивний вплив, особливо при підігріві повітря у шафах, де зберігаються речі. Доцільним є використання електричних підігрівачів.

Кондиціонування повітря. Засіб аналогічний організованій вентиляції приміщень. Частково вирішує питання забезпечення оптимальних умов зберігання музейних цінностей. Як правило, мають місце менші градієнти температур у повітрі.

Осушування повітря. Нормалізує вологісні параметри внутрішнього повітря, можлива слабка проява варіанта 4. В якості осушувачів можуть бути використані повітроохолоджувачі холодильних машин, у яких повітря осушується при охолодженні нижче температури точки роси, абсорбційні та адсорбційні осушувачі повітря [2, 3, 4]. Останні потребують регенерації сорбенту. Відома адсорбційна установка [2], що призначена для сушіння приміщень різного призначення продуктивністю по повітрю 1000 м³/год. При цьому маса силікагелю 112 кг, максимальна продуктивність по волозі 10 кг/год, загальна вологоємність 50 кг. Маса обладнання 200 кг. Сорбційне сушіння повітря перспективне при використанні її для приміщень малого об'єму та шаф.

Приклад 3. Шафа, ємністю 1 м³. За рахунок інфільтрації повітря, що відбувається внаслідок зміни атмосферного тиску і температури, нехай за добу у шафі змінюється 1м³ повітря. При температурі повітря 21 °С і відносній вологості $\phi = 0,8$, наприклад, силікагель може довести відносну вологість у шафах згідно з дослідними даними у середньому до $\phi = 0,5$. Тобто згідно з *I-d* діаграмою вологого повітря це складає 4 г вологи на один кг сухого повітря. При спорядженні шафи осушувальним патроном із силікагелю масою 2 кг і його спроможністю поглинути

40% вологи своєї маси, осушувальний патрон без регенерації може працювати 166 діб. У холодний період потребується провести одну чи дві регенерації сорбенту.

Акумулявання теплоти. Доцільно проводити при зберіганні речей у шафах. Акумулятор теплоти [5] не дозволить температурі повітря значно зменшуватися. При цьому і температура речей незначно зменшиться. При денному підвищенні температури на їх поверхні випаде менш конденсату. Якщо розвинути поверхню акумулятора, то конденсату випаде ще менше.

Приклад 4. Шафа теплоізолювана, ємністю 1 м^3 . Маса речей — 20 кг. Акумулятор-цегла, масою 80 кг. Поверхня речей та цегли по 2 м^2 . Початкова температура у шафі перед зниженням температури 20°C , відносна вологість повітря $\phi = 0,9$. Нехай у приміщеннях встановлюється мінімальна температура 10°C . Приймаємо для розрахунків температурний перепад між приміщеннями та шафою $\Delta t = 5^\circ\text{C}$. Нехай за умови експлуатації шафи та її конструкції можна прийняти коефіцієнт теплопередачі стінки шафи $K = 0,33 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град})$. Тоді кількість теплоти, що втрачає шафа, приблизно дорівнює:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t,$$

де F — площа поверхні шафи (нехай $F = 6 \text{ м}^2$, тобто шафа-куб з ребром 1 м), тоді

$$Q = 0,33 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{град}) \cdot 6 \text{ м}^2 \cdot 5^\circ\text{C} = 9,9 \text{ Вт}.$$

Охолодження відбувається 10 годин — шафа загалом втрачає теплоти: $10 \text{ год} \cdot 9,9 \text{ Вт} = 356 \text{ кДж}$.

Температура речей та акумулятора без урахування маси повітря (нехай, питома теплоємність акумулятора та речей однакова $c = 0,88 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$ зменшиться на

$$\Delta t_p = Q/[c(80 \text{ кг} + 20 \text{ кг}) + c_{\text{ш}} \cdot g_{\text{ш}}],$$

де $c_{\text{ш}}$ та $g_{\text{ш}}$ — питома теплоємність матеріалу шафи та її маса (хай $c_{\text{ш}} = 2,72 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})$) та $g_{\text{ш}} = 80 \text{ кг}$).

Маємо

$$\begin{aligned} \Delta t &= 356 \text{ кДж} [(0,88 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град})) \cdot 100 \text{ кг} + \\ &+ 2,72 \text{ кДж}/(\text{кг} \cdot \text{град}) \cdot 80 \text{ кг}] = 1,16^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Якщо замість цегли використати герметичні ємності з водою тієї ж маси, то $\Delta t = 0,62^\circ\text{C}$.

Згідно з *I-d* діаграмою вологого повітря при зниженні температури повітря на 1,16 °С, відносна вологість повітря підвищиться до значення 0,99 і конденсації вологи не відбудеться. При натіканні у шафу теплого денного повітря з параметрами $t = 20$ °С та вище та різних ϕ випадання конденсату на поверхні речей також не буде.

Таким чином, визначені обставини, що можуть спричинити до випадіння вологи з повітря у приміщеннях та будовах у холодний період року. Розглянуто заходи для запобігання випадання конденсату. Необхідний мікроклімат у приміщеннях можливий тільки при наявності загальноприйнятої системи опалення; організованої вентиляції приміщень та регламентованому режимі їх роботи. При порушеннях у роботі інженерних мереж є доцільним використання місцевого опалення та акумуляторів теплоти, особливо при зберіганні пам'яток культури та музейних цінностей. Перспективно проведення осушення повітря.

Використана література

1. Шпатель К. Диффузия и конденсация водяного пара в ограждающих конструкциях. — М.: Стройиздат, 1985. — 45 с.
2. Сыщиков В. И. Сорбционные осушители воздуха. — Л.: Стройиздат, 1969. — 89 с.
3. Поляков А. А. и др. Осушители воздуха технологических помещений. — М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1981. — 32 с.
4. Журавленко В. Я., Ракин О. И., Писарев В. Е. Исследование сорбционных свойств неорганических солей применительно к термотрансформаторам // Деп. В ГНТБ Украины от 07.09.93. — № 1839-Ук93.
5. Бекман Г., Гилли П. Тепловое аккумулирование энергии. — М.: Мир, 1987. — 271 с.