

УДК 664.8.047

Ю. Снежкін, Д. Чалаєв, В. Шаврін, Н. Дабіжа
Інститут технічної теплофізики НАН України

ТЕПЛОВОЛОГІСНА І БАКТЕРИЦИДНА ОБРОБКА ПОВІТРЯ РОЗЧИНАМИ НЕОРГАНІЧНИХ СОЛЕЙ

© Снежкін Ю., Чалаєв Д., Шаврін В., Дабіжа Н., 2002

Проаналізовано відомі водні розчини неорганічних солей на предмет їхнього застосування для тепловологісної та бактерицидної обробки повітря в системах кондиціонування повітря й обробки сушильного агента в установках для зневоднювання рослинної сировини, зокрема харчових продуктів. Запропоновано установки для цілорічного тепло- та холодопостачання житлових і виробничих приміщень з використанням низькотемпературних джерел теплоти і водних розчинів неорганічних солей, а також двозонна сушильна установка для зневоднювання термолабільних матеріалів.

This paper provides the analysis of known water solutions of inorganic salts for the purpose for their application for thermohumidity and bactericidal air processing in systems of air conditioning and for processing of the drying agent in plant for dehydration of vegetative raw materials, including foodstuffs. The plant for all-year-round heat and cold supply of inhabited and industrial premises, using low-temperature heat sources and water solutions of inorganic salts, as well as a two-zone dryer dehydrating thermolabile materials are suggested.

Тепловологісна і бактерицидна обробка повітря розчинами неорганічних солей – це комплексний процес, при якому відбувається перенесення теплоти і маси. Інтенсивність потоків маси та теплоти залежить від градієнтів потенціалів перенесення. Потік теплоти залежить від градієнта температури, а потік маси – від градієнта концентрації чи парціального тиску пари рідини, причому процеси тепло- і масопереносу взаємно впливають один на одного.

При розгляді тепло- і масообміну стосовно до процесів тепловологісної обробки повітря особливий інтерес представляє стан середовища на межі розділу “повітря-рідина”. Від різниці потенціалів перенесення між поверхнею рідини і масою повітря, а також між поверхнею і масою рідини залежить інтенсивність тепло- і масообміну і відповідно інтенсивність зміни стану повітря.

Масообмінний напір взаємодії повітря і рідини визначається різницею парціальних тисків водяної пари в повітрі і над поверхнею рідини. При однакових температурах парціальний тиск водяної пари над розчинами органічних солей нижчий, ніж над чистим розчинником (водою) і визначається концентрацією і видом розчиненої речовини, а також ступенем дисоціації молекул.

Як сорбенти, тобто речовини, здатні поглинати водяну пару в системах тепловологісної обробки повітря, сушарках та абсорбційних термотрансформаторах, як правило, застосовують водні розчини LiCl , CaCl_2 , MgCl_2 , LiBr , LiI та інші. Огляд властивостей водних розчинів та оцінка термодинамічної ефективності їх використання наведено в [1, 2, 3]. Широко застосовуються водні розчини неорганічних солей в абсорбційних термотрансформаторах для отримання штучного холоду, підвищення температурного потенціалу низькотемпературних теплоносіїв та одночасного виробництва теплоти та холоду.

Найкращі показники з погляду сорбційних та теплофізичних властивостей має водний розчин LiBr , але він використовується лише в закритих та вакуумних системах. У відкритих системах при безпосередньому контакті з повітрям для кондиціювання приміщень LiBr не застосовується внаслідок невідповідності санітарно-гігієнічним нормам та значної корозійної активності водного розчину в присутності кисню, який знаходиться в повітрі, до більшості конструкційних матеріалів навіть при невеликих температурах.

У відкритих системах застосовують водні розчини LiCl , CaCl_2 та LiI . Водні розчини цих солей не шкідливі для здоров'я людини і санітарно-гігієнічні служби дозволяють їх використання в системах кондиціювання, крім того, вони помірковано агресивні до конструкційних матеріалів, значно дешевші порівняно з бромистим літієм.

Водний розчин хлористого кальцію найдешевший, нетоксичний і давно відомий сорбент, але його теплофізичні властивості не дають змоги отримати малі парціальні тиски водяної пари, що обмежує його використання в системах тепловологісної обробки повітря і він застосовується лише як холодоносії в системах штучного охолодження.

Перспективність вживання водного розчину йодистого літію в системах кондиціювання та отримання штучного холоду також малоймовірна внаслідок найменшої серед галогенідів термічної стабільності літію.

Особливий інтерес і практичну цінність для кондиціювання, повітряного опалення та тепловологісної обробки сушильного агента в процесах збезводнення та збереження різноманітних матеріалів, передовсім харчових продуктів та сільськогосподарської сировини, становить водний розчин хлористого літію. Основні його переваги: можливість одержання повітря з остаточним вологовмістом до 1 г/кг; здатність осушувати повітря при температурах до мінус 50 °С, теплотехнічна універсальність, що обслуговується, у межах температур від -15 до +50 °С і відносної вологості від 5 до 100%; бактерицидна дія розчину і його безпека для людини (повітря, оброблене цим розчином, має високий ступінь стерилізації, в осушеному повітрі вміст мікроорганізмів знижується на 97%); здатність абсорбувати шкідливі запахи та помірна ціна, що дає істотну економію в первинних витратах порівняно з іншими сорбентами. З недоліків водного розчину хлористого літію слід визнати малу розчинність, та значну в'язкість, що змушує коло застосування.

Для збільшення розчинності водних хлоридних розчинів і, як наслідок, розширення сфери їх застосування запропоновано [3] в бінарні системи $\text{LiCl} - \text{H}_2\text{O}$, $\text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$, та в їх суміші $\text{LiCl} - \text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ вводити добавки нітратів літію та магнію (LiNO_3 , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$). Додавання нітрат-іонів у різноманітних комбінаціях солей не тільки збільшує їх загальну розчинність, але й сприяє зниженню корозійної активності в межах температур розчину до 130 °С, при збільшенні температури можливий і негативний ефект. Найбільш дослідженим та перспективним слід вважати розчин $\text{LiCl} - \text{LiNO}_3 - \text{H}_2\text{O}$. Термодинамічні властивості цього розчину наведені в роботах [4,5].

Здатність розчинів неорганічних солей знаходиться в рідкому стані при негативних температурах дає змогу виконувати тепловологісну обробку повітря в будь-яку пору року і широко використовується при кондиціюванні та повітряному опаленні приміщень.

Застосування розчинів солей дає змогу в одноступінчатому апараті одержати повітря необхідних параметрів. Крім того, уявляється можливим осушувати повітря без застосування холодильних установок, а також використовувати апарати без посереднього контакту розчину і повітря як інструмент для ефективного застосування низькопотенційних джерел теплоти.

Особливість використання розчинів солей у системах з контактними апаратами полягає у тому, що під час обробки повітря змінюється не тільки температура, але і концентрація розчину. У зв'язку з цим установка тепловологісної обробки повітря повинна містити пристрій для відновлення робочої концентрації розчину. При зменшенні

концентрації розчину, що відбувається внаслідок поглинання розчином вологи з повітря, необхідна регенерація. Вона може бути здійснена або випаровуванням надлишкової вологи, або методом десорбції – масообміном підігрітого розчину із зовнішнім сухим повітрям. При підвищенні концентрації, що відбувається внаслідок переносу вологи від розчину до повітря, для відновлення робочої концентрації необхідно додати в систему воду для компенсації вологи, що випарилася.

Безсумнівною перевагою установок для тепловологісної обробки повітря розчинами неорганічних солей є можливість організації регенерації розчинів з використанням низькопотенційних теплоносіїв, вторинних і поновлюваних джерел енергії.

Принципова схема установки для тепловологісної обробки повітря з використанням низькопотенційної теплоти наведена на рис.1. Установка призначена для зволоження і нагрівання повітря в холодний період року, а також його осушення.

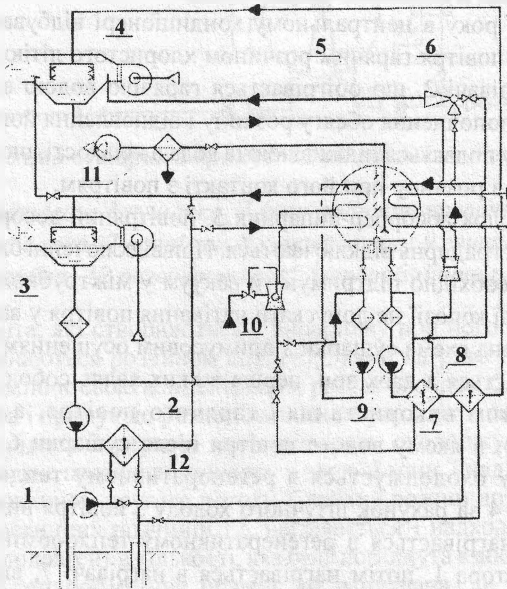


Рис. 1. Схема установки для тепловологісної обробки повітря:

1 – геотермальне джерело; 2 – теплообмінник; 3 – центральний кондиціонер; 4 – повітряний десорбер; 5 – випарник; 6 – адсорбер; 7 – нагрівач; 8 – рекуперативний теплообмінник; 9 – циркуляційний насос; 10 – система підживлення холодоагента; 11 – система повітровидалення; 12 – запірні та регулююча арматура

При використанні як сорбенту в установці водного розчину хлористого літію досягається супутній позитивний ефект – бактерицидна обробка повітря, тому що водний розчин хлористого літію має відповідні властивості і застосовується для бактерицидної обробки повітря в лікувальних медичних установах.

Робота установки в теплий час року.

Тепле вологе повітря надходить у центральний кондиціонер 3, де охолоджується, осушується і збеззаражується при контакті з водним розчином хлористого літію, що надходить із трубного простору випарника 5, де охолоджується, віддаючи теплоту киплячому

на зовнішній поверхні труб холодоагенту. Пари холодоагента з випарника надходять в адсорбер 6, де поглинаються водним розчином хлористого літію, який змінює свою концентрацію і нагрівається. Тепло абсорбції відводиться оборотною водою в доквілля, а слабкий розчин циркуляційним насосом 9 через рекуперативний теплообмінник 8 направляється в нагрівач 7, де нагрівається, використовуючи теплоту термального джерела 1, а потім відновлює первісну концентрацію в повітряному десорбері 4. З повітряного десорбера міцний розчин крізь рекуперативний теплообмінник повертається в абсорбер і піддон центрального кондиціонера. Отже, розчинний цикл замикається. Холодоагент у випарнику підживлюється водою через спеціальну систему підживлення 10. Наявність повітря і газів, що не конденсуються, в абсорбері різко знижує інтенсивність абсорбції водяної пари розчином сорбенту, тому для видалення їх з розчину, що надходить в абсорбер, і холодоагенту, що надходить у випарник, передбачена система повітровилучення 11.

Робота установки в опалювальний період.

У холодний час року в центральному кондиціонері відбувається тепловологісна і бактерицидна обробка повітря гарячим розчином хлористого літію. Розчин нагрівається в теплообміннику – нагрівачі 2, що обігрівается гарячою водою від низькопотенційного джерела теплоти. Для поповнення обсягу розчину і відновлення його робочої концентрації в циркуляційну систему подається підживлююча вода в кількості, що дорівнює масі водяних парів, які вилучаються з розчину при його контакті з повітрям.

У зимовий час блок абсорбер-випарник 5, повітряний десорбер 4, рекуперативний теплообмінник, а також градирня відключаються. При відключенні блока абсорбер-випарник 5 на зимовий період необхідно підтримувати вакуум у міжтрубному просторі блока і для запобігання інтенсивної корозії не допускати натікання повітря у вакуумну частину блока.

На рис. 2 наведена схема сушарки з примусовим осушенням теплоносія.

Сушарка складається з двох зон, перша з яких являє собою звичайну конвекційну сушарку з одноразовим використанням гарячого повітря, а друга має замкнутий циркуляційний контур, в якому вологе повітря після сушарки 6 прямує в спеціальний пристрій, де спочатку охолоджується в регенеративному теплообміннику 5, потім у вологовідокремлювачі 4 за рахунок штучного холоду з повітря вилучається зайва волога. Збезводнене повітря нагрівається в регенеративному теплообміннику 5 і надходить на всмоктування вентилятора 1, потім нагрівається в нагрівачі 7, використовуючи теплоту конденсації теплового насоса і знов, маючи первинний тепловологісний потенціал прямує до сушарки 6. Утилізована теплота сконденсованої у вологовідокремлювачі вологи сприймається холодоагентом, який циркулює у випарнику теплового насоса.

Перегрітий холодоагент прямує до випарника, де кипить і охолоджується до заданої температури, яка визначається точкою роси збезводненого повітря, яке покидає вологовідокремлювач.

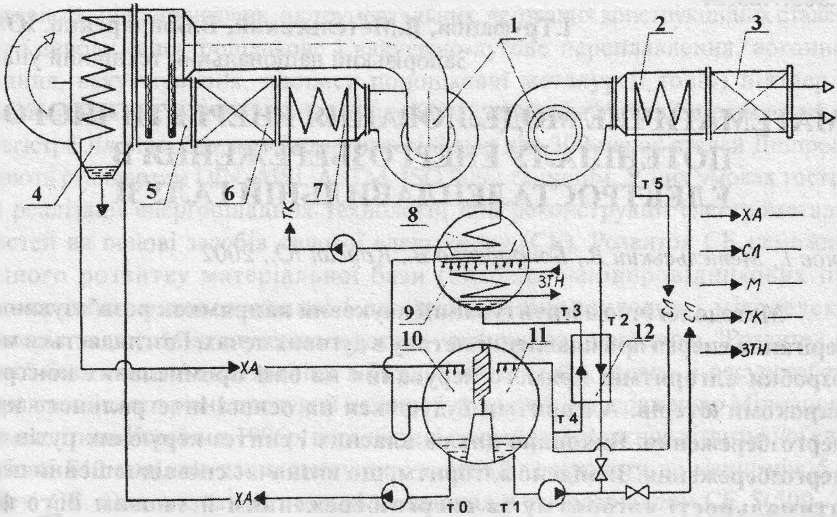


Рис. 2. Схема сушарки з примусовим осушенням теплоносія:

1 вентилятор; 2 нагрівач; 3 сушарка; 4 вологовідокремлювач; 5 регенеративний теплообмінник; 6 сушарка; 7 нагрівач; 8 конденсатор; 9 генератор; 10 випарник; 11 абсорбер; 12 регенеративний теплообмінник розчинів

Пари холодоагента, які створюються у випарнику при його кипінні, підводяться до абсорбера 11, де поглинаються розчином сорбенту, який нагрівається за рахунок теплоти сорбції холодоагента і змінює свою концентрацію, розбавляючись. Слабкий гарячий сорбент вилучається з абсорбера і прямує до розподільника, де розділяється на два потоки, перший з яких прямує до нагрівача 2 першої зони сушарки, охолоджується, віддаючи тепло атмосферному повітрю, яке прямує до сушарки з першої зони, і надходить до змішувача, де змішується з міцним розчином другого потоку. Слабкий розчин другого потоку проходить регенеративний теплообмінник розчинів 12, нагрівається і надходить в генератор 9, де з нього випаровується холодоагент в кількості, яка була поглинута в абсорбері. Міцний сорбент через регенеративний теплообмінник прямує до змішувача, де змішується зі слабким розчином першого потоку, а змішаний розчин надходить на зрошення абсорбера. Пари холодоагента з генератора 9 прямують до конденсатора 8, де конденсуються, віддаючи теплоту конденсації теплоносію, який нагріває повітря в нагрівачі 7 перед сушаркою 6. Рідкий конденсат холодоагента з піддона конденсатора повертається до випарника. Так замикається контур циркуляції як холодоагента так і сорбенту в тепловому насосі.

Запровадження такої схеми дасть змогу значно скоротити витрати первинної енергії на вилучення 1 кг вологи при використанні теплової енергії та становить менш ніж 3200 кДж/кг. Найдоцільнішим є використання вторинних енергоресурсів. Споживання електроенергії на внутрішні потреби сорбційного теплового насоса незначні і не перевищують 0,025 кВт на 1 кВт теплової потужності або 0,016 кВт на 1 кг вилученої вологи.

1. Бадьількес И.С. Рабочие вещества и процессы холодильных машин. -М. 1962.
2. Wilhelm Niebergall. Sorptions-kaltemaschinen/. - Springer- Verlag Berlin Heidelberg New York, 1981.
3. Абсорбционные преобразователи теплоты / И.И. Орехов, Л.С. Тимофеевский, С.В. Караван. - Л. 1989.
4. Исследование термодинамических свойств многокомпонентных растворов для абсорбционных холодильных машин / О.А. Пинчук, И.И. Орехов, Л.С. Тимофеевский и др. // Холодильная техника, 1982. № 6. С.36-38.
5. Караван С.В., Орехов И.И. Термодинамические критерии оценки работоспособности веществ абсорбционных холодильных машин // Холодильная техника. 1982, № 11. С. 32-34.