

Експлуатація конденсаторів АХУ й енергозбереження

Температура конденсації є самоустановлюваним параметром, величина якого, з одного боку, залежить від безлічі факторів, починаючи від теплового навантаження, кліматичних умов і закінчуючи технічним станом обладнання та рівнем його експлуатації, а з іншого – визначає енергоємність штучного холоду

Ефективність холодильних систем, енергоємність холоду значною мірою визначається грамотною і добре організованою експлуатацією систем відведення теплоти конденсації. При цьому потрібно пам'ятати, що технічне обслуговування, яке все частіше виділяється окремим етапом, насправді є тільки етапом експлуатації, що охоплює організаційні і технічні заходи, спрямовані на підтримку надійності і готовності обладнання. До технічного обслуговування належать роботи з безпосереднього забезпечення працездатності обладнання у міжремонтний період (контроль, профілактика, поточний ремонт), а також конкретні заходи з технічної підготовки до експлуатації (регулювання, змащування тощо). Більша частина робіт з технічного обслуговування виконується без зняття і розбирання обладнання. Звісно, важко розділити експлуатацію і технічне обслуговування з урахуванням сформованих традицій організації технологічного процесу виробництва холоду. Сучасні тенденції спрямовані на те, що в традиційному розумінні експлуатація холодильних систем забезпечується обслуговуючим персоналом (машиністами), а роботи з технічного обслуговування повинні виконуватися спеціалізованими організаціями, забезпеченими спеціальним інструментом і обладнанням, додатково підготовленим персоналом, який

володіє технологіями та навичками виконання таких робіт, необхідними дозволами та ліцензіями. Світовий досвід підтверджує, що такий підхід до організації експлуатації АХУ економічно обґрунтований і дозволяє забезпечити більш досконале обслуговування холодильної установки, а отже, більш ефективно, безпечно та менш енергоємне виробництво холоду. Водночас виділення технічного обслуговування в окремий вид бізнесу в Україні поки що не знаходить широкого застосування з низки причин, насамперед через відсутність конкуренції на ринку надання послуг з технічного обслуговування промислового холодильного обладнання, що визначає необґрунтовано високу вартість порівняно із зарплатою штатного обслуговуючого персоналу АХУ. У результаті холодильні системи, як і раніше, експлуатуються й обслуговуються не на належному рівні, тож навіть добре спроектовані та обладнані установки іноді вражають високою енергоємністю холоду (і дуже часто через некваліфіковану експлуатацію саме конденсаторних відділень).

Експлуатація конденсаторних відділень промислових холодильних систем передбачає:

- включення і виведення на потрібний режим необхідної кількості конденсаторних апаратів, елементів систем оборотного водопостачання залежно від умов експлуатації, теплових навантажень тощо;
- підтримування оптимальних режимів роботи (P_s);
- відбирання та видалення із системи газів, що не конденсуються (див. журнал «Холод», 4'2004);
- виведення з експлуатації конденсаторів;
- підтримування в технічній справності обладнання, у т. ч. арматури, приладів КВПІА;
- очищення теплообмінних поверхонь від забруднень;
- роботи зі зниження корозійного впливу;
- роботи з технічного огляду.

Якість виконання всіх зазначених операцій безпосередньо визначає енергоємність холоду. Правда, якщо основна функція обслуговуючого персоналу полягає лише в контролі роботи компресорного обладнання і системи

охладження, то потенціал енергозбереження за рахунок правильної експлуатації конденсаторів реалізувати не можна.

З позицій вирішення задач енергозбереження бажані низькі температури конденсації. Однак це не означає, що великі витрати охолоджувального середовища для забезпечення низької t_c завжди створюють найбільш економічні умови роботи холодильної системи. Потужність, споживана електродвигунами вентиляторів або насосів для циркуляції охолоджувального середовища, зростає зі збільшенням витрати. Якщо витрата перевершує визначені межі, то зростання споживаної потужності не компенсується зменшенням потужності, споживаної компресорами, і збільшенням холодопродуктивності системи. Рационально вважається така витрата, при якій сумарні витрати енергії будуть мінімальними. Величини оптимальних перепадів температур між середовищами, що обмінюються теплотою, які визначають витрати і рекомендовані в науково-технічній літературі, можуть бути тільки орієнтиром для обслуговуючого персоналу. Це зовсім не означає, що вони підійдуть саме для вашої холодильної системи з індивідуальним схемним рішенням, графіком зміни теплових навантажень протягом доби (року), коефіцієнтом використання потужності обладнання, кліматичними умовами експлуатації тощо. Та й для яких умов рекомендуються оптимальні перепади? – відповіді теж немає.

У кожному конкретному випадку й у будь-який момент необхідно прогнозувати енергоємність холоду в режимі реального часу, тобто виконувати розрахунок оптимальних режимів експлуатації холодильної установки за фактичними показниками, що їх визначають, з наступним коректуванням режимів. Сучасний рівень розвитку електронної техніки, засобів вимірювання та керування дозволяє реалізувати такий підхід. Але через високу вартість індивідуального програмного забезпечення, засобів і приладів вимірювання та автоматики на сьогоднішній день системи керування такого рівня економічно доцільні тільки для холодильних установок великої хо-

лодопродуктивності або для систем масового серійного виробництва. Вирішуючи задачі енергозбереження як при експлуатації конденсаторних відділень без систем автоматизованого керування, так і при їх розробці, потрібно враховувати нагромаджені досвід численних досліджень, використовувати їх результати критично, без «сліпого запозичення». У зв'язку з цим необхідно відзначити такі важливі фактори, які допоможуть спеціалістам забезпечувати розумну енергоємність штучного холоду:

1. Кількість конденсаторів у схемному рішенні промислової холодильної системи традиційно менша від числа споживачів холоду (випарників). Отже, неправильна експлуатація конденсаторних апаратів у таких системах спричиняє перевитрати значної частки електроенергії. Конденсаторні відділення АХУ заслуговують на увагу не менше, ніж компресорні агрегати.

2. Конденсатори розраховують і підбирають відповідно до пікових навантажень і розрахункової температури навколишнього середовища. Однак більшу частину часу обладнання працює при значно нижчій температурі та меншому тепловому навантаженні. У результаті конденсатор буде працювати з неповним «ступенем використання», середньорічне значення якого, різне для холодильних систем, залежить від типу та призначення АХУ і звичайно складає 10–60%. Корисне використання тепла конденсації (утилізація) ще більше знижує ступінь використання апаратів. Отже, потрібно розумно зіставляти реальні теплові навантаження на конденсатори і витрати енергії на забезпечення роботи апаратів й створення оптимальних P_k/P_o .

3. Холодильна установка являє собою систему взаємодіючих зворотних зв'язків, тобто

їй властива небезпека самозбудних коливань. Система керування (обслуговуючий персонал) повинна адекватно реагувати на зміну параметрів конденсації, тобто певним чином змінювати інші параметри системи – не надто повільно і не надто швидко. Наприклад, теплове навантаження на установку зменшується, але конденсатор продовжує працювати на проектну потужність. Тиск (температура) конденсації та густина пари почнуть знижуватися, а отже, і масова продуктивність компресора, що буде прямувати (наближатись) до рівноваги з продуктивністю конденсатора. Як правило, у такому випадку в керуванні – регулюванні витрати охолоджувального середовища та його отримання на потрібному температурному рівні – немає необхідності, але воно виправдане з метою економії енергії на його подачі. Інший приклад: температура охолоджувального середовища знижується, продуктивність конденсатора перевищує теплове навантаження. У такому випадку керування роботою конденсаторного відділення також потрібне тільки для економії енергоресурсів, які витрачаються на переміщення охолоджувального середовища.

4. Взагалі є лише кілька методів керування роботою конденсаторів:

- зміна витрати охолоджувального середовища відповідно до P_k чи температури рідкого холодильного агента на виході з апаратів;
- підтримання визначеного P_k ;
- зміна P_k відповідно до температури охолоджувального середовища.

5. Перевитрата електроенергії при експлуатації конденсаторів визначається безліччю причин, які можна згрупувати у такий спосіб:

- ті, що визначають зниження продуктивності апаратів, а отже, підвищений P_k ;

- ті, що визначають надмірну (необгрунтовану) витрату енергії для забезпечення роботи конденсаторів.

6. Зниження продуктивності конденсаторного відділення, що спричиняє перевитрату електроенергії, може статися з таких причин:

1) Наявність у системі газів, що не конденсуються (див. журнал «Холод», 4'2004).

2) Зменшення активної поверхні теплообміну за рахунок підтоплення конденсаторів рідким холодильним агентом:

- через помилки проектування і монтажу (див. журнал «Холод», 5'2004);

- через недостатнє відкриття вентиля зливного трубопроводу (деякі конструкції арматури мають малі прохідні перерізи, у яких застрягають уламки, окалина, металеві частинки тощо);

- через невідрегульований прохідний переріз зрівнювальної лінії між лінійним ресивером і конденсатором («Холод», 5'2004);

- через надлишок холодильного агента в системі, свідченням чого є велике переохолодження рідкого NH_3 .

3) Зниження коефіцієнта тепловіддачі з боку холодильного агента через утворення плівки мастила на поверхні теплообмінника («Холод», 5'2004) або через нагромадження продуктів розкладання мастила при його нагріванні в компресорах вище температур розкладання.

4) Зниження коефіцієнта тепловіддачі з боку охолоджувального середовища через його недостатню витрату.

Більшість повітряних і випарних конденсаторів постачається їх виробниками з умонтованими вентиляторами. Витрата і швидкість руху охолоджувального середовища для таких апаратів підібрані на максимальну продуктивність, тому недостатня витрата може бути лише результатом безвідповідальності персо-

налу, його низької кваліфікації або відсутності коштів на відновлення вентиляторів (насосів), що вийшли з ладу. Досить часто випарні і повітряні конденсатори (ВК і ПК) провідних виробників світу комплектуються двошвидкісними вентиляторами, що дозволяє регулювати і знижувати енергоспоживання установок у цілому. Звичайно економія електроенергії при експлуатації ПК досягається «ввімкненням/вимкненням» вентиляторів. При цьому енергоспоживання знаходиться у прямій залежності від часу роботи електродвигунів. При температурі повітря нижче 20 °С можливе відключення окремих вентиляторів ПК, а в зимовий період при незначних навантаженнях конденсатори можуть експлуатуватися й без увімкнених вентиляторів. Застосування декількох вентиляторів у ПК та їх періодичне вимкнення при розумному підході також дозволяють забезпечити істотне зниження енергоспоживання. Вентилятори ПК можуть працювати за графіком ввімкнення залежно від тиску конденсації або температури навколишнього середовища. При зменшенні витрати повітря на 50% потужність конденсатора знижується всього на 25%, а потужність на валу вентилятора (енергоспоживання) – до одної восьмої максимуму. Великий інтерес виявляється до використання безступеневого (плавного) регулювання числа обертів вентиляторів за допомогою сучасних тиристорних або частотних перетворювачів. Термін окупності таких пристроїв за рахунок зниження енергоспоживання становить уже менше трьох років і на тлі тривалої експлуатації конденсаторного обладнання є доволі прийнятним. Крім того, при експлуатації повітряних конденсаторів у період пікових навантажень і за несприятливих умов, наприклад, при температурі зовнішнього повітря вище 30 °С, додатково рекомендується використовувати розпилення води чи зрошувальні пристрої, чим забезпечується охолодження повітря, іноді на 5÷9 °С. Це також дозволяє знизити температуру конденсації NH_3 і витрату електроенергії. Потрібно також пам'ятати старі рекомендації стосовно того, що у південних регіонах рекомендується використовувати ПК із верхнім розташуванням вентиляторів, у північних – класичне компонування, з нижнім.

При експлуатації випарних конденсаторів дуже важливо забезпечувати рекомендовану технічною документацією витрату циркулюючої води. Для контролю доцільно встановлювати витратоміри на лінії циркуляції, а також контролювати тиск води перед форсунками й ефективність їх роботи. При температурах

зовнішнього повітря нижче 0 °С і температурах конденсації вище 15 °С рекомендується організувати роботу ВК зі зрошуванням теплообмінної поверхні водою, інакше перевитрата електроенергії може зрости в два рази порівняно з теоретично можливою. При незначних теплових навантаженнях ВК можуть працювати і як повітряні.

Сучасні ВК звичайно обладнуються двошвидкісними високоефективними вентиляторами. Це дозволяє підтримувати оптимальний P_k у залежності від температури навколишнього середовища за мокрим термометром, використовуючи сухий і зрошувальний режим роботи теплообмінної секції з різними об'ємами циркуляції повітря (вентилятор вимкнений, режим низької циркуляції, режим інтенсивної циркуляції).

При експлуатації конденсаторів з водяним охолодженням їхня ефективність визначається не тільки витратою охолоджувального середовища (найчастіше води), а й ефективністю роботи системи оборотного водопостачання, тобто ще й температурою води на вході в апарати. На відміну від ВК і ПК, для яких продуктивність вентиляторів кваліфіковано визначає виробник, необхідна витрата охолоджувального середовища вибирається на етапі проектування для найнесприятливіших умов і максимальних навантажень. Але так уже повелося в останні десятиріччя, що автоматичне регулювання витрати води на водяні конденсатори в промислових холодильних системах не застосовується. Тобто традиційно вважається, що при зниженні навантаження на конденсатор немає необхідності у зниженні витрати води, оскільки можна компенсувати зайві витрати електроенергії на забезпечення роботи конденсаторів (системи оборотного водопостачання) за рахунок зниження тиску конденсації. Не змінило сформовану традицію і широке застосування сучасного насосного обладнання з частотним регулюванням продуктивності. Водночас результати деяких досліджень промислових холодильних систем підтверджують доцільність регулювання витрати води на конденсатори залежно від змін теплового навантаження (холодопродуктивності холодильної установки). За результатами таких досліджень застосування регулювання дозволяє знизити питоме споживання електроенергії в середньому на 2,5% (~40 тис. кВт·год/рік електроенергії для АХУ холодопродуктивністю 525 кВт). Очевидна економічна доцільність, на перший погляд, насправді вимагає серйозних економічних та

інженерних розрахунків для її підтвердження в кожному окремому випадку.

5) Зниження коефіцієнта теплопередачі через забруднення теплообмінної поверхні. Погіршення теплопередачі залежить від складу забруднень, їхньої товщини. Наприклад, коефіцієнт теплопровідності накипу дорівнює 1,2÷1,4 Вт/(м·К), що в ~40 разів менше теплопровідності сталевих труб. Таким чином, будь-які забруднення визначають зниження теплових характеристик конденсаторів, а отже, підвищення P_k , що, у свою чергу, визначає енергетичну ефективність холодильної системи, енергоємність холоду. Відомо, що утворення на трубах випарного конденсатора водяного каменю товщиною 1,5 мм призводить до підвищення температури конденсації NH_3 на 2,8 °С, що спричиняє збільшення питомої витрати електроенергії від 10 до 15%. А наростання водяного каменю товщиною в 1 мм на внутрішній поверхні труб вертикального кожухотрубного конденсатора й утворення масляної плівки ($\delta = 0,1$ мм) на їхній зовнішній поверхні в 3 рази знижують коефіцієнт теплопередачі. Крім цього, відкладення прискорюють корозію, зменшують прохідні перерізи трубопроводів, каналів, «живі» перерізи теплообмінників, що обумовлює підвищення гідравлічних опорів систем циркуляції охолоджувальних середовищ і відповідну їм перевитрату електроенергії на привід насосів (вентиляторів).

Поверхня теплообміну вважається забрудненою, коли на ній накопичується значна кількість відкладень, які спричиняють зниження теплопередачі. Відкладення можуть бути у вигляді кристалів, осадів, продуктів корозії. Процес відкладення залежить від температури поверхні, швидкості руху потоку рідини та її складу, геометрії потоку, матеріалу, з якого виготовлені поверхні, та їх стану.

Забруднення можуть утворюватися як безпосередньо всередині теплообмінника, так і потрапляти до нього ззовні. Однак ступінь осадження твердих частинок на поверхні теплообміну залежить від характеру матеріалу, його структури і шорсткості (чистоти обробки) тільки в початковий момент, коли поверхня чиста. Уже при незначних утвореннях крихких відкладень на поверхні (пластині) тверді частинки (піщинки, окалина) починають прилипати до поверхні, створюючи додаткові центри кристалізації.

Забруднення поверхні властиве всім типам апаратів, але великою проблемою воно є для водяних і випарних конденсаторів, які використовують воду.

Сучасні холодильні системи з водяними конденсаторами практично всі обладнані системами оборотного водопостачання. Для їх підживлення використовується водопровідна й артезіанська вода. Відкритий контур систем припускає випаровування частини води, у результаті чого підвищується концентрація солей (іноді вона на порядок вище, ніж у воді підживлювання) та потрапляння в систему інших забруднень – листя, тополиного пуху тощо. В оборотній воді накопичується пил і корозійноактивні гази з атмосферного повітря. У деяких регіонах концентрація пилу сягає величин більше 3 мг/м³. У результаті отримується досить брудна, корозійноактивна рідина, яка у подальшому спричиняє цілу низку експлуатаційних та енергетичних проблем. У той час як для систем оборотного водопостачання конденсаторних відділень рекомендується вода з такими показниками: загальна жорсткість – 2÷6 мг-екв/кг; вільна вуглекислота – 10÷100 мг-екв/кг; рН – 6,5÷8; каламутність – 2÷5 мг/кг; наявність заліза – 0,1÷0,3 мг/кг.

Забруднення розподіляють на два основні типи: які призводять до падіння тиску і до забруднення поверхні. Третій тип, відкладення твердих частинок, може одночасно впливати і на гідравлічний опір, і на теплопередачу.

Перший тип забруднень менш небезпечний. Присутні у воді сторонні частинки (волокна, листя, тріски, іржа) захаарцують окремі вузькі місця системи, падіння тиску збільшується, але теплопередача не змінюється, поки зростання гідравлічного опору не позначиться на витраті охолоджувального середовища. З таким видом забруднень легко боротися зворотним промиванням (реверсування потоку рідини) або за допомогою сітчастих фільтрів з розміром чарунки 0,5÷1,5 мм (залежить від якості води).

Коли поверхня забруднюється, продуктивність конденсатора погіршується, але гідравлічний опір не змінюється, принаймні у початковий період. Традиційно виділяють такі забруднення:

- **Липкі продукти** – мастильні матеріали.
- **Водорості**. У певну пору року, особливо влітку, вода може містити велику кількість водоростей. Великі водорості затримуються сітчастим фільтром, а дрібні можуть проходити через конденсатор, не порушуючи його роботу. Однак дрібні водорості нерідко спричиняють ускладнення: крім погіршення теплообміну колонії водоростей на стінках можуть стати центрами точкової корозії. Якщо оборотна вода не обробляється, градірня створює винятково сприятливі умови для розмноження

водоростей. У закритих системах водопостачання водорості відсутні, тому що для росту їм потрібне світло. Водорості потрапляють у конденсатор тільки ззовні, тому такому забрудненню, принаймні теоретично, завжди можна запобігти фільтруванням та обробкою води.

- **Бактерії**. На відміну від водоростей вони можуть рости скрізь і не затримуються сітчастими фільтрами. Тому росту бактерій у сприятливих для них умовах запобігти неможливо.

Деякі бактерії отримують енергію, перетворюючи наявні у воді сульфати в сірчану кислоту, яка спричиняє корозію. Інші завоюють залізо з розчинених солей або з окислів й утворюють в'язку масу, що покриває стінки. Є види, які живляться сполуками азоту і фосфору, вони створюють плівку слизу на поверхнях теплообмінника. Оскільки конденсатор – це найтепліша ділянка в системі, він є дуже сприятливим середовищем для розмноження бактерій. Вода може виглядати зовсім чистою, але містити бактерії, що робить цей тип забруднення особливо підступним і важким для виявлення.

- **Грибки**. Вони діють подібно до бактерій, але звичайно їх складніше усувати. Головна проблема, яку створюють грибки, це не погіршення теплообміну або пошкодження технологічного обладнання, а руйнування дерев'яних частин градірні.

- **Відкладення піску та ін.** Пісок, пилові частинки тощо можуть затримуватися на вході в конденсатор, але тільки при дуже низькій швидкості потоку.

- **Накип**. Деякі неорганічні солі, особливо сульфат кальцію (CaSO₄), мають зворотну залежність розчинності від температури, тобто їхня розчинність знижується з підвищенням температури. Тому при контакті холодної води з теплою поверхнею в конденсаторі ці солі відкладаються на поверхні теплообміну. Чистий сульфат кальцію дуже погано розчиняється. Очистити від нього поверхню важко чи практично неможливо. На щастя, інший компонент накипу – карбонат кальцію (CaCO₃) легко розчиняється розведеними кислотами.

Швидкість відкладення накипу залежить від складу і концентрації цих солей, рН і температури. Накип рідко утворюється, якщо температура стінки нижче 45 °С.

Основними показниками води, що характеризують її накипоутворювальні та корозійні властивості, є загальна жорсткість і лужність, водневий показник рН, індекс стабільності Райднера (або індекс Ланжелє). У процесі експлуатації конденсаторів на їхніх поверхнях утворюються різні відкладення, тому важливо не тільки оцінити товщину шару відкладення, але й мати дані про можливість появи твердої фази та швидкість її росту.

Надійним кількісним критерієм процесу накипоутворення може служити розрахунок значення індексу Ланжелє. Наприклад, для води, що має індекс насичення в межах $0 < J < 0,5$ при нагріванні до $70\text{ }^\circ\text{C}$, утворення відкладень відбувається зі швидкістю не більше $0,20\text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. У цьому випадку теплообмінники (трубчасті) після річної експлуатації не потребують очищення. Вода, що характеризується значеннями $1 > J \geq 0,5$, має інтенсивність накипоутворення в межах $0,2-0,5\text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$. Природні води, що мають інтенсивність накипоутворення вище $0,5\text{ г}/(\text{м}^2 \cdot \text{год})$, характеризуються $J > 1$ і відносяться до середовищ з високою накипоутворювальною здатністю.

Вода із вмістом солей карбонату кальцію утворює тим більше відкладень і є тим більш агресивною, чим вища її температура.

У приграничному шарі, де вода нагрівається майже до температури стінки, відбуваються основні процеси порушення рівноваги у воді: утворення нерозчинних кальцієвих солей, що збільшується з підвищенням температури (особливо $> 60\text{ }^\circ\text{C}$), які здатні утворювати накип; розчинення вуглекислого газу і виділення кисню, що спричиняють корозію.

Отже, здатність утворювати накип і спричиняти корозію визначається найвищою температурою, до якої нагрівається вода.

При виникненні твердої фази основним її компонентом є карбонат кальцію (CaCO_3). Процес утворення CaCO_3 може бути представлений декількома стадіями:

Стадія 1. Дифузія реагентів Ca^{2+} і HCO_3^- з води в напрямку поверхні розділу накипу та рідини.

Стадія 2. Хімічна реакція на поверхні розділу накипу, внаслідок якої утворюються CO_3^{2-} і CO_2 .

Стадія 3. Кристалізація CaCO_3 на поверхні накипу.

Стадія 4. Дифузія продукту реакції, тобто розчиненого CO_2 , від поверхні реакції в напрямку маси води.

Таким чином, параметрами, які визначають швидкість відкладання накипу, є склад води, температура поверхні і режим руху робочих середовищ (число Рейнольдса).

Швидкість утворення первісного шару накипу і швидкість його подальшого росту визначаються взаємодією декількох кінетичних процесів: утворенням центрів кристалізації, дифузією, хімічною реакцією і молекулярним упорядкуванням кристалічної решітки накипу.

Дослідження різних відкладень у теплообмінниках показали, що утворення центрів кристалізації на теплообмінній поверхні відбувається з нерівномірною швидкістю, а це обумовлює утворення нерівномірного шару накипу.

Хоча є очевидним, що процес відкладення є функцією часу, яка починається з нуля і є надалі деякою псевдоасимптотичною або лінійною залежністю, при розрахунку площі поверхні конденсатора термічний опір відкладення приймається постійним, при цьому не береться до уваги той факт, що в початковий момент часу поверхні чисті і працюють в умовах, що різко відрізняються від умов кінцевого періоду експлуатації. Оскільки звичайно конденсатори розраховані на кінцевий термічний опір забруднення, їхні розміри трохи завищені, що може стати однією з причин виникнення умов для утворення центрів кристалізації, наприклад CaCO_3 .

Відкладення, які утворюються на поверхнях конденсаторів, відносяться до так званих «низькотемпературних». Основними компонентами таких відкладень є карбонат кальцію, а також окисли заліза, сульфат кальцію та силікати. Карбонатні відкладення можуть бути у вигляді густого шару, що прилип до поверхні, і мати темно-сірий, коричневий або темно-коричневий колір, можуть мати шарувату будову чи лежати крихкою масою, слабо скріпленою з поверхнею металу.

Відкладення, які містять сульфат кальцію і силікат кальцію, характеризуються великою твердістю, густиною і значним зчепленням зі стінкою.

У пластинчастих конденсаторах коефіцієнти теплопередачі звичайно в 2–2,5 рази вищі порівняно з трубчастими, тому вплив відкладень у них буде більш значним.

7. Необґрунтована витрата електроенергії для забезпечення роботи систем конденсації (у т. ч. оборотного водопостачання для водяних конденсаторів) – це людський фактор, обумовлений або низькою кваліфікацією і незрозумінням принципів одержання холоду, або безвідповідальністю і шкідництвом персоналу. При проведенні одного з обстежень АХУ був зафіксований такий випадок: для відведення тепла конденсації одного постійно працюючого двоступінчастого агрегату АД-130 ($t_0 = -30\text{ }^\circ\text{C}$) з 11 установлених (дані з журналу конденсаторного цеху) в експлуатації знаходилося конденсаторне відділення, що покривало теплоту конденсації з 12-кратним запасом. При цьому для забезпечення його роботи були задіяні: насос з установленою потужністю 30 кВт, вен-

тилятори випарних конденсаторів (~108 кВт установленої потужності). Перевитрата електричної енергії складала 70÷80 кВт·год/год. Помітна величина, щоб не звернути на неї уваги. Такий приклад не рідкість. Обслуговуючий персонал дуже часто не може зіставити за продуктивністю окремі елементи АХУ між собою, що обумовлює марне витрачання енергії. На підприємствах немає реальних стимулів для професійного росту та підвищення відповідальності працівників, а отже, і для заощадження електроенергії.

8. Необхідно завжди прагнути до зниження теплового навантаження на конденсатори, що дозволить установленому обладнанню забезпечувати більш низькі значення P_k , а отже, меншу енергоємність холоду. Для цього слід вживати таких заходів, як:

- відведення теплоти перегрітої пари NH_3 у рідинних форконденсаторах з максимальною утилізацією низькопотенціального тепла теплоносія;

- підтримування у доброму технічному стані компресорного обладнання і забезпечення оптимальних умов його експлуатації.

9. Оскільки енергоємність холоду визначається температурою навколишнього середовища, рекомендується, у міру можливості, експлуатувати холодильну установку в більш «привабливих для енергетиків» умовах, тобто в період доби з більш низькими температурами повітря.

10. Дуже часто наднормативне споживання електроенергії відбувається після проведення реконструкції або модернізації компресорних відділень холодильних систем, коли в результаті виконаних робіт установлена холодопродуктивність компресорного обладнання істотно збільшена, а обладнання «старого» конденсаторного відділення дозволяє забезпечити конденсацію холодильного агента, щоправда, уже при більш високих, але ще припустимих тисках.

У цій статті стисло викладені ті основні моменти, на які необхідно звертати увагу при експлуатації систем конденсації, якщо ви бажаєте розумно витратити електричну енергію при виробництві штучного холоду, а отже, зберігати свої кошти і робити внесок в охорону навколишнього середовища. У наступній публікації буде розглянуто методи боротьби із забрудненнями й очищення поверхонь теплообміну конденсаторів АХУ.

Ю. О. Желіба, к. т. н., доцент ОДАХ

