

Про конденсаторні відділення АХУ та енергозбереження

Досвід обстежень та енергетичного аудиту АХУ свідчить, що трапляються холодильні системи, де перевитрата електроенергії, обумовлена проблемами, пов'язаними з конденсаторними відділеннями, сягає 50% від нормативного споживання

Проектування й обладнання конденсаторних відділень

Усе частіше проектування холодильних систем (принаймні для комерційного холоду) розглядається фахівцями як складання дитячого конструктора. А якщо вмєш добре паяти і зварювати, користуватися програмним забезпеченням для вибору компонентів та обладнання, то успіх, здається, гарантований. Насправді не все так просто. Величезна кількість холодильних систем, змонтованих з таким підходом і на непрофесійному рівні, демонструє низьку ефективність, а їх власники і не здогадуються, що постраждали двічі: по-перше, при інвестуванні зайвих коштів в установку, а по-друге, за рахунок значних експлуатаційних витрат.

Неправильні технічні рішення, прийняті на етапах проектування та монтажу, звичайно супроводжують холодильну установку протягом усього життєвого циклу, і тому на цих етапах необхідно максимально врахувати накопичений досвід з обладнання й експлуатації конденсаторних відділень. Тим більше, що проведення грамотного ТЕО сьогодні «вийшло з моди», кваліфіковане, добротне проектування – рідкість, а тендер на постачання обладнання звичайно зводиться тільки до цінового конкурсу. Покупець повинен завжди наполягати на тому, щоб у тендерній пропозиції були зазначені не тільки витрати на придбання і транспортування обладнання, терміни постачання й інші умови комерційної угоди, але й витрати на монтаж, комплектацію схемного рішення (арматуру, трубопроводи, допоміжне обладнання, КВПіА), періодичне технічне обслуговування й експлуатацію протягом усього терміну роботи. Це єдиний шлях зробити правильний вибір. Важливо також упевнитися в реальній необхідності реконструкції чи обладнання нового конденсаторного відділення. Дуже часто вдосконалення існуючого вузла відведення тепла конденсації чи поліпшення його експлуатації дозволяють забезпечити надійну роботу холодильної системи з достатнім рівнем енер-

гетичної ефективності без значних інвестицій.

На що потрібно звернути увагу?

• На першому етапі проектування необхідно, насамперед, визначитися з типом конденсаторних апаратів – вибрати теплообмінник залежно від виду охолоджувального середовища.

Звичайно в промислових АХУ використовуються такі основні способи відведення тепла конденсації: повітряний, випарний, водяний та комбінований (повітряний і водяний).

У задачу цієї публікації не входить обговорення та порівняння конструктивних особливостей різних типів конденсаторів. Будемо вважати, що потенційно в проект можуть бути відібрані тільки найбільш досконалі конструктивні рішення кожного з типів. Але поновити дискусію про правильність вибору конденсаторів для виробничих АХУ, нагадати про існуючі доробки з цього питання необхідно. Підстава для цього – кількість помилок, які трапляються при обладнанні конденсаторних відділень і визначають значну енергоємність штучного холоду.

Небезпідставно вважається, що повітряні конденсатори доцільно застосовувати в холодильних установках різної продуктивності. Вони мають беззаперечні переваги у випадках гострого дефіциту води, наявності в ній великої кількості солей і різних домішок, а також при високій її собівартості для поповнення системи оборотного водопостачання, наприклад, коли вартість 1 м³ води вдвічі чи більше перевищує середню вартість 1 кВт·год електроенергії¹. Повітряні конденсатори мають і низьку незаперечних експлуатаційних переваг.

Відомо також, що найбільш інтенсивний теплообмін відбувається у пластинчастих і кожухотрубних конденсаторах. При ефективній роботі системи оборотного водопостачання ці типи апаратів забезпечують найнижчу температуру конденсації в літній період. Наприклад,

¹ Коган Б. Н., Генин Л. Л. Эффективность использования воздушных конденсаторов в крупных аммиачных холодильных установках // Холодильная техника, 1991. - № 2. - С. 20-21.

Одним з основних елементів будь-якої аміачної холодильної установки (АХУ) є конденсатор. Його технічні характеристики, грамотність використання й експлуатації багато в чому визначають не тільки інвестиційну складову, але й енергетичну ефективність (журнал «Холод», 2-4'2004) та компактність холодильної системи, впливають на зношення деталей компресорів, що також досить важливо. Як правило, кількість конденсаторів у складі будь-якої промислової АХУ значно менша від кількості випарників. Отже, помилки проектування й експлуатації конденсаторних відділень (КВ) визначають значну частку перевитрати електроенергії при виробництві штучного холоду. Наприклад, для типового м'ясокомбінату продуктивністю 100 тонн/змін загальна перевитрата електроенергії тільки через неправильну експлуатацію конденсаторів АХУ може досягти 2,7÷3,8 млн. кВт·год/рік.

Причини, які визначають перевитрату електроенергії, можна розділити на три категорії за такими критеріями:

- конструкції апаратів, помилки проектування й обладнання конденсаторних відділень;
- технічне обслуговування;
- експлуатація та керування.

для умов м. Києва вона може бути $30\pm 32\text{ }^{\circ}\text{C}$. У випадку використання повітряних конденсаторів звичайно приймають перепад температур конденсації та зовнішнього повітря $10\pm 12\text{ }^{\circ}\text{C}$, при цьому розрахункова літня температура конденсації буде значно вищою і в середньому за добу становитиме $\sim 35\pm 37\text{ }^{\circ}\text{C}$, а в години максимальної дії сонячної радіації – вище $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Природно, що підвищення температури конденсації визначає зростання енергоспоживання холодильною установкою.

Таким чином, напрошується висновок, що застосування повітряних конденсаторів для АХУ має тільки одну важливу перевагу: цілком виключається використання води для відведення тепла конденсації, тобто немає потреби в системі оборотного водопостачання (насосна станція, градирні, бризкальні басейни, резервуари тощо), за винятком необхідності її використання для охолодження компресорів.

Однак було б зовсім неправильно робити висновки про енергетичні витрати АХУ з повітряними конденсаторами, керуючись тільки літніми експлуатаційними характеристиками її роботи. У кожному конкретному випадку річну витрату електроенергії холодильної установки при використанні тих чи інших типів конденсаторів слід визначати шляхом підсумовування місячних (добових) витрат, враховуючи дійсні теплові навантаження в розрахунковий період і реальні кліматичні умови роботи. Підтвердженням цього є огляд результатів досліджень конденсаторних відділень, висновки яких досить суперечливі. Так, наприклад, проведений теоретичний аналіз¹ роботи систем конденсації на базі повітряних і водяних конденсаторів (АХУ, $Q_0 \sim 3,5\text{ МВт}$) показав, що

¹ Коган Б. Н., Генин Л. Л. Эффективность использования воздушных конденсаторов... С. 20-21.

при використанні повітряних апаратів перевитрата електроенергії за рік може скласти $59620\text{ кВт}\cdot\text{год}$, що становить тільки близько 1,5% загальної кількості електроенергії, яка витрачається на роботу обладнання АХУ при використанні кожухотрубних конденсаторів у поєднанні із системою оборотного водопостачання. Річна витрата води у разі використання повітряних конденсаторів зменшиться на 123992 м^3 на рік (чи в середньому на 344 м^3 на добу)¹. Те, що при виборі того чи іншого типу конденсаторних апаратів необхідно не тільки враховувати їхні енергетичні показники, а й виконувати техніко-економічне обґрунтування роботи всієї АХУ, підтверджується також висновками і рекомендаціями дослідження², в рамках якого проведено порівняльний аналіз конкурентоспроможних типів конденсаторів:

- водяного, кожухотрубного з плівковою вентиляторною градирнею;
- повітряного, ребристого, суцільностаєвої конструкції;
- випарного.

Автори цієї роботи² враховували, що при заданому тепловому навантаженні температура конденсації визначається площею поверхні й ефективністю роботи конденсаторів. Як критерії зіставлення приймали зведені витрати, витрати електроенергії та свіжої води.

При виконанні розрахунків розглядалось лише те обладнання, робота якого безпосередньо пов'язана з роботою конденсаторів. Ефективність систем відведення тепла конденсації оцінювалась для двох рівнів температур кипіння і, відповідно, для двох варіантів

² Гоголин А.А., Медникова Н. М., Косой О. В., Потапчик Г. Н. О выборе экономичного типа конденсатора холодильной установки для различных климатических зон // Холодильная техника, 1979. - № 6. - С. 11-16.

холодильних систем. Оскільки витрата електроенергії, споживаної електродвигунами компресорів, вентиляторів конденсаторів і градирень АХУ, залежить від параметрів атмосферного повітря, автори² виконали її розрахунок для одинадцяти міст різних кліматичних зон. Дослідження показали, що в усіх кліматичних зонах, крім зони із сухим і жарким кліматом (у дослідженні – м. Ашхабад), річна витрата електроенергії повинна бути мінімальною при використанні повітряних конденсаторів. Так, для умов міст Таллінн, Омськ, Москва використання повітряного конденсатора замість водяного кожухотрубного з градирнею за теоретичними розрахунками забезпечить економію 300 тис. кВт·год електроенергії на рік (25%) у розрахунку на одну холодильну установку холодопродуктивністю 370 кВт ($t_0 = -15\text{ }^{\circ}\text{C}$) і 200 тис. кВт·год (12%) у розрахунку на установку з тією ж продуктивністю при $t_0 = -40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

За витратою електроенергії холодильні системи з випарним конденсатором займають проміжне положення між АХУ з повітряними й АХУ з кожухотрубними (пластинчастими) конденсаторами та градирнею. За зведеними витратами випарний конденсатор має деякі переваги: в усіх кліматичних зонах витрати виявляються на 20% нижчими, ніж при використанні кожухотрубного апарата з градирнею, звідси, якщо порівнювати обладнання одного рівня технічної досконалості.

Як і слід було очікувати, повітряний конденсатор виявився не вигідним для регіонів із жарким, особливо сухим кліматом. Але в інших зонах його застосування, незважаючи на деяке збільшення зведених витрат (5%), цілком виправдовується скороченням річного споживання електроенергії при постійному протягом року тепловому навантаженні. У

випадку організації серійного виготовлення повітряних конденсаторів вітчизняним виробником, коли, можливо, їх вартість помітно знизиться, використання таких апаратів для АХУ буде виправдане й економічно.

Усі розрахунки у зазначеній роботі² були виконані авторами для постійного теплового навантаження, що властиво далеко не всім підприємствам. Для багатьох виробництв, пов'язаних із заготівлею сировини і виробництвом харчових продуктів, характерна сезонна зміна теплового навантаження на холодильну установку. Якщо в порядку першого наближення прийняти, що в період з грудня по лютий теплове навантаження на холодильну установку знижується на ~50%, то річна витрата електроенергії при використанні повітряного конденсатора дорівнюватиме річній витраті електроенергії при використанні випарного конденсатора. А якщо, наприклад, холодильна система забезпечує роботу плодоовочесховища і в літній період, і в зимовий період практично не експлуатується, то всі наведені вище висновки втрачають свою обґрунтованість.

Складність прийняття правильного рішення щодо вибору типу конденсатора визначається ще й тим, що важко забезпечити надійну роботу АХУ з повітряними конденсаторами при температурі повітря навколишнього середовища близько 35÷40 °С. Звичайно установки проектується на розрахункову температуру і при більш екстремальних режимах експлуатації не можуть забезпечити технологічний процес холодом навіть незалежно від його енергоємності, якщо не мають значного запасу потужності. Але ж «технологія – первинна», і ніяка економія енергії не може бути виправдана та обґрунтована, якщо порушується регламент технологічного процесу.

Наведений огляд результатів досліджень розвіює ілюзії про те, що є однозначна відповідь на питання, яке часто ставиться, та ще й у некоректній формі: «Який тип конденсатора необхідно використовувати для виробничих АХУ?»

Неможливо зробити висновок про переваги тієї чи іншої системи відведення тепла конденсації без конкретно обговорених умов і режимів її експлуатації. У кожному конкретному випадку необхідно виконувати інженерні й економічні розрахунки, якщо, звичайно, вас цікавить вартість експлуатації АХУ і ви не хочете платити більше, ніж це необхідно.

На вибір типу конденсаторних апаратів впливають також фактори, які на енер-

гоємність холоду й ефективність установки мають непрямий вплив, але в цілому дуже важливі:

- накопичений досвід і традиції фахівців підприємств, їхні довірчі відносини з поставальниками обладнання;
- наявність і ефективність роботи регіональних представництв виробників обладнання;
- інвестиційні наміри;
- вимоги до компактності апаратів та інтенсивності процесів теплообміну;
- аміакоємність холодильної системи;
- потенційна небезпека об'єкта;
- мінімальний вплив на навколишнє середовище;
- тип компресорного обладнання та режими його експлуатації;
- доступність, невисока ціна та якість води як охолоджувального середовища;
- можливість збільшення потужності холодильної системи та розширення конденсаторного відділення у майбутньому;
- наявність виробничих площ.

Кожний із зазначених факторів важливий і заслуговує на окреме обговорення, але в рамках однієї публікації це неможливо.

• **На другому етапі** важливо правильно визначити теплове навантаження на конденсаторні апарати й умови їх експлуатації. Розрахунок і підбору конденсаторів, як правило, повинен передувати розрахунок циклу холодильної машини, що виконується на максимальне навантаження і несприятливі умови роботи. Якщо визначені холодопродуктивність, температура кипіння, схемне рішення холодильної системи і температура конденсації, то виконати теоретичний розрахунок теплового навантаження нескладно.

Проектна температура конденсації традиційно визначається розрахунковими відносною вологістю і температурою зовнішнього повітря, яку розраховують за залежністю

$$t_p = 0,4 \cdot t_{a,m} + 0,6 \cdot t_{ср,m},$$

де $t_{ср,m}$ – середня температура о 13 годині найбільш жаркого місяця, °С; $t_{a,m}$ – температура абсолютного максимуму, °С.

Як і раніше, $t_{ср,m}$ і $t_{a,m}$ рекомендується визначати за СНиП II – А. 6-72 «Строительная климатология и геофизика». Останнім часом усе частіше лунає критика на адресу застарілої НТД і відзначається зміна кліматичних умов, але такі заяви більшою мірою емоційні, ніж обґрунтовані. Наприклад, за даними СНиП для м. Києва $t_{a,m} = 25,6$ °С, середня температура за рік – 7,2 °С, середня

температура за січень – мінус 5,9 °С, а за даними метеорологічних спостережень у 2003 році в м. Києві зареєстровані 25,4; 7,7 та мінус 8,7 °С, відповідно. Розходження існує, але для задач проектування це не принципово. Якщо значення t_p буде прийняте заниженим, то ймовірні випадки, коли теплове навантаження на холодильну систему перевищить потужність установки, а в результаті – не тільки енергетичні втрати, а й порушення паспортних технологічних режимів. Для м. Києва розрахункова температура:

$$t_p = 0,4 \cdot 39 + 0,6 \cdot 25,6 \approx 31 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Але якою повинна бути обрана розрахункова температура конденсації з метою вирішення задач енергозбереження, якщо температура навколишнього середовища змінюється протягом року, амплітуда добових коливань температури, наприклад, у липні складає 10,8 °С, максимальне значення коливань – 18,4 °С, а протягом 39 годин на рік температура повітря перевищує розрахункову на кілька градусів?! А якщо до цих міркувань додати можливу дію сонячної радіації на апарати, тепловий вплив конденсаторного відділення на мікроклімат місця його розташування, то питання про температуру конденсації виявиться ще більш складним. Ставлячи це питання, ми, природно, цікавимося не абсолютною величиною t_c , а різницею температур між середовищами, що обмінюються теплотою. Складність задачі полягає в тому, що температура конденсації визначається не тільки температурою навколишнього середовища, а й відносною вологістю. Очевидно, що відповідь на поставлені питання не тільки енергетична задача, більшою мірою вона економічна. І сьогодні немає загальновизнаних, доступних методик її швидкого розв'язання. Опоненти можуть сказати, що вони знають про програми оптимізаційного вибору «випарник – конденсатор», «конденсатор – градирня – насос» фірми *Alfa Laval*, які дозволяють максимально оптимізувати теплоенергетичні характеристики обладнання у заданих умовах роботи і градацію апаратів, що випускаються. Але немає впевненості в тому, що оптимізаційна задача розв'язується з метою енергетичного вдосконалення, а не комерційного, такі програми розраховані тільки на обладнання конкретного виробника, та й користуватися ними без спеціальної підготовки складно, принаймні для розрахунків та оптимізації пластинчастих теплообмінників.

• **На третьому етапі** важливо визначити коефіцієнт запасу потужності апаратів (іноді його називають коефіцієнтом забруднення).

² Гоголин А.А., Медникова Н. М., Косой О. В., Потапчик Г. Н. О выборе экономического типа конденсатора... С. 11-16.

Тому що паралельне використання випарних, повітряних, кожухотрубних, пластинчастих, а також одноступінних конденсаторів різних марок через відмінні гідравлічні характеристики з боку холодильного агента і коефіцієнти теплопередачі призводить до істотного зниження ефективності їх роботи. Втрата ефективності не можна попередньо спрогнозувати розрахунками і врахувати запасом потужності. Завважте, що навіть номінально однакові конденсатори на практиці можуть значно відрізнятися. Адже по-різному може розподілятися пара, мастило, що захоплюється потоком аміаку, більш імовірно потрапить у перший по ходу конденсатор, охолоджуване середовище може містити неоднаково розподілені забруднення, важко відрегулювати витрати охолоджуваного середовища тощо. Це призводить до різних перепадів тиску в конденсаторах, які повинні компенсуватися, наприклад, створенням стовпа рідини на виході. Тобто збільшення перепаду тисків компенсується стовпом рідини на низхідній ділянці трубопроводу. Так, для пластинчастих конденсаторів характерний $\Delta P = 10$ кПа, що відповідає стовпу рідкого аміаку 1,5 м. Якщо перепад висоти між конденсатором і стовпом рідини недостатній, конденсат може блокувати частину теплообмінної поверхні, внаслідок чого знизиться продуктивність апарата, підвищиться P_k , а, можливо, виявиться нестача рідкого аміаку в лінійному ресивері, що призведе ще й до збільшення дійсної аміакоємності всієї холодильної системи. Якщо лінія зливання конденсату велика (за діаметром трубопроводу) для підтримки стійкого стовпа рідини, він утвориться всередині труб (каналів). Це нестала ситуація: стовп утворюється (аміак «зависає», що для малоаміакоємних систем із повітряними і випарними конденсаторами є великою проблемою), раптово зливається (переповнення лінійного ресивера), знову утворюється і т. д. У будь-якому разі втрачатиметься продуктивність апаратів, збільшуватиметься P_k , а отже, енергоємність холоду. Другий варіант компенсації – застосування регулювальних клапанів, які створюють додаткові перепади тисків. Однак важко збалансувати належним чином ΔP на інтуїтивному рівні в ручному режимі керування роботою конденсаторів, та ще й з різкозмінними тепловими навантаженнями на апарати.

2. Максимально рівні гідравлічні характеристики з боку холодильного агента для окремих апаратів з урахуванням їх об'єздки. Для цього використовують або «симетричну схему об'єздки», або «тротрубну схему»:

перший за подачею – останній за зливанням, або правильний вибір діаметрів трубопроводів і регулювальну арматуру.

3. Оптимальну кількість апаратів. Очевидно, що з економічної точки зору необхідно прагнути до зменшення кількості конденсаторів. За умовчанням прийнято, що краще мати два-три апарати, тому що з одним промислова холодильна система має невисокий ступінь експлуатаційної надійності. Існуючі градації конденсаторів дозволяють це реалізувати. Не допускається робота паралельно встановлених шести і більше повітряних або випарних конденсаторів (див. п. 1), що призводить до зниження їхньої ефективності. У тих випадках, коли необхідна кількість апаратів значна (наприклад, через габаритні розміри з урахуванням можливості транспортування) і неможливо використовувати конденсатори більшої продуктивності, необхідно перейти до використання апаратів з більш інтенсивним теплообміном.

4. Використання додаткового «групового» масловіддільника на лінії подачі пари аміаку. Це майже правило. В аміачних системах нерозчинне мастило і його присутність позначається на роботі конденсаторів значно менше, ніж на роботі випарників. Температура в конденсаторах вища, в'язкість мастила менша, а сила тяжіння та зусилля зсуву під дією потоку аміаку спрямовані в один бік. Отже, у конденсаторі немає небезпеки накопичення мастила. Існує думка, що мастило в конденсаторі навіть підвищує інтенсивність процесу конденсації, тому що частинки мастила можуть розглядатися як центри конденсації, а замаслена поверхня труб не схильна змочуватися конденсатом, що визначає краплинний режим конденсації, який має значно вищий коефіцієнт теплопередачі. Але не можна допустити потрапляння мастила у випарну систему, тому встановлення масловіддільника в конденсаторному відділенні настійно рекомендується.

5. Правильність прокладання трубопроводу зливання рідкого аміаку з конденсаторів у лінійний ресивер:

- трубопровід не повинен мати «мішків» із можливістю утворення гідравлічних затворів (за винятком випадків, коли гідрозатвори спеціально передбачаються схемним рішенням) і повинен бути якомога коротшим;
- вентиля на зливній лінії рекомендується встановлювати на вертикальних ділянках трубопроводів на відстані не менше 300 мм від зливного патрубку конденсатора. Якщо

це неможливо забезпечити, то на горизонтальних ділянках їх розташовують таким чином, щоб шток вентиля також був у горизонтальній площині;

- діаметр зливного трубопроводу рекомендується вибирати за умови, щоб максимальна швидкість руху рідкого аміаку не перевищувала 0,5 м/с;
- загальний колектор збирання конденсату з декількох апаратів необхідно монтувати з ухилом не менше 5% у бік лінійного ресивера;
- важливо, щоб з кожного апарата конденсат зливався окремою вертикально розташованою ділянкою трубопроводу, мінімальна довжина якої до верхньої твірної колектора повинна становити ~1 м. Її варто збільшувати з урахуванням опору встановленої арматури (орієнтовно 0,4 м на один ventиль).

6. Правильність вибору лінійного ресивера і зрівнювальної лінії (ЗЛ) з конденсатором (боротьба з підтопленням випарних, повітряних і пластинчастих конденсаторів). Дуже рідко зустрічаються промислові холодильні системи без лінійного ресивера (ресивера високого тиску). Практично всі ресивери, що використовуються у вітчизняних аміачних холодильних системах, за своєю конструкцією – ресивери «прохідного типу» з верхнім підведенням рідини, тобто конденсат постійно проходить через посудину з «вільним» зливанням у неї, й у зливній трубі за умови правильного вибору її діаметра не може створюватись і підтримуватись стовп рідини. Вважається, що в таких схемах ЗЛ з конденсаторами, як правило, не потрібна. На нашу думку, це справедливо тільки для малих холодильних систем і систем безпосереднього дроселювання. Якщо ЗЛ не буде, то підвищений тиск на вході повинен компенсуватися стовпом рідини в каналах (трубах) конденсатора. Як відзначалося вище, такий стовп рідини блокує частину теплообмінної поверхні, зменшує продуктивність, а отже, підвищує тиск конденсації й енергоємність холоду.

Основна функція ЗЛ – повернення пари аміаку в конденсатор, якщо холодильний агент у ресивері нагрівається й випарується. У зимовий період можливий зворотний потік: холодний конденсат охолоджує пару, що перетікає з входу в конденсатор і нагріває аміак у ресивері. Це призводить до втрати продуктивності установки. Ефект втрати потужності відбувається й у літній період, коли діаметр ЗЛ завищений, точніше, втрати тиску в конденсаторі значно

вищі від втрат у зрівнювальній лінії. Свідченням цього буде температура поверхні зрівнювальної труби, яка у такому випадку значно вища від температури поверхні зливного трубопроводу. В такому разі ЗЛ повинна бути повністю закрита або прикрита до вирівнювання зазначених температур. Виходячи з викладеного небезпідставною є точка зору фахівців, які вважають, що для конденсаторів змішувального типу (випарних і повітряних) ЗЛ необхідно підключати зверху до зливного патрубка конденсатора, а не до вхідного колектора. Якщо пара аміаку утворюється в «прохідному ресивері» без ЗЛ, вона повертається в лінію зливання й конденсується в нижній частині конденсатора. Невеликі об'єми такої пари конденсатор може прийняти, однак великі об'єми можуть створити «конденсатну пробку» у нижній частині теплообмінника в найбільш напружений час. Ці «пробки» – явище нестає, особливо за наявності газів, що не конденсуються, які перешкоджають їх створенню, оскільки конденсат переохолоджується

без зниження тиску. Таким чином, «пробки» можуть викликати «підвішування» рідкого аміаку, пульсацію потоку і, як наслідок, призводити до втрати продуктивності конденсаторів. Необхідно вжити заходів, щоб тиск у лінійному ресивері був нижчий за тиск у конденсаторі.

Якщо конструкцією лінійного ресивера або його обов'язкою передбачене зливання конденсату під шар рідини (буферний ресивер чи ресивер «прохідного типу» з нижнім підведенням рідини), то лінія зливання завжди заповнена конденсатом, у ній може утворюватися стовп рідини, а газу, що не конденсується, у такому випадку не потрапляють у лінійний ресивер. У таких схемах ЗЛ обов'язкова, лінійний ресивер має бути встановлений значно нижче конденсатора та немає необхідності в обладнанні U-подібних петель і спеціальних гідрозатворів на лінії зливання аміаку.

Оскільки більша частина лінійних ресиверів, що використовуються, за конструкцією «прохідного типу» з верхнім підве-

денням рідини, з метою підвищення ефективності роботи конденсаторів пропонується встановлення U-подібних петель на зливних лініях конденсату або гідрозатворів у вигляді спеціальних «зрівнювальних» посудин, що перетворює схему КВ та лінійний ресивер у гібрид. Особливо актуальним таке рішення є в тих випадках, коли кілька апаратів працюють з одним лінійним ресивером. У такому випадку з лінійного ресивера теж не можна випускати газу, що не конденсується, і його необхідно з'єднати зрівнювальною лінією з конденсатором. У сучасних схемних рішеннях КВ функції гідрозатвора може виконувати ресивер термосифонної системи охолодження мастила гвинтових компресорних агрегатів. «Зрівнювальну» посудину встановлюють таким чином, щоб мінімальна довжина вертикальних ділянок зливного трубопроводу від патрубка конденсатора до верхньої твірної посудини складала ~1 м, її слід збільшувати з урахуванням опору встановленої арматури. Вертикальні трубопроводи приєднують-

ся до горизонтального колектора, що у свою чергу приєднується до «зрівнювальної» посудини (гідрозатвора) нижче точки підключення переливного трубопроводу до ресивера. Цим забезпечується гідрозатор і можливість компенсації ΔP у конденсаторах стовпом рідини на вертикальних ділянках трубопроводів без підтоплення апаратів. Робочий об'єм посудини повинен дорівнювати сумарному об'єму рідини в усіх стояках. Посудина повинна бути обладнана ЗЛ і трубопроводом для відбору масла (див. принципову схему, журнал «Холод», 5'2003).

Яким же повинен бути діаметр ЗЛ між лінійним ресивером і конденсатором? У рекомендаціях з проектування його пропонують вибирати залежно від продуктивності апаратів:

Q, кВт	100	200	400	600	800	1000	1600
dy, мм	25	32	40	50	60	65	80

Та для багатьох фахівців неприйнятний діаметр зрівнювальних ліній більше 50 мм. І з цим можна погодитися, якщо при експлуатації прохідний переріз зрівнювальної лінії не регулюється за допомогою арматури, тобто установка експлуатується без втручання обслуговуючого персоналу або її потрібно навіть захищати від некваліфікованого обслуговування.

7. Правильність визначення точок відбору суміші для відокремлення газів, що не конденсуються (див. журнал «Холод», 4' 2004).

8. Захист лінійного ресивера від дії сонячної радіації та інших джерел теплового випромінювання.

9. Виконання рекомендацій заводів-виробників щодо розміщення, технічного обслуговування й експлуатації конденсаторних апаратів. Для випарних і повітряних конденсаторів, пристроїв охолодження теплоносія необхідно врахувати мінімально припустимі відстані між апаратами, будівлями, майданчиками і навіть орієнтацію відносно сторін світу, які зазвичай зазначені в їхній технічній документації. Це дозволить уникнути негативного впливу на тиск конденсації й енергоспоживання АХУ мікроклімату (з температурою повітря на 1...4 °С вищою за звичайну), який створюється навколо конденсаторних апаратів. Технічна документація до апаратів завжди містить корисну інформацію. Так, наприклад, в інструкціях з установлення випарних конденсаторів, градижень, випарних охолоджувачів рідини фірми *Baltimor Aircoil* указується, що для забезпечення їх ефективної роботи необхідний напір перед форсунками повинен бути 1,4 м. в. ст. Не звертаючи увагу на те, що фірма *Baltimor*

Aircoil використовує в своїх апаратах мало-напірні форсунки, які забезпечують рівномірне зрошення поверхні теплообміну, майже завжди при обв'язці апаратів у проектах використовують високонапірні насоси, обумовлюючи цим значну перевитрату електроенергії на їхній привід. З позицій енергозбереження важливо також забезпечувати не тільки напір, але й паспортну витрату води через форсунки апарата, для чого достатньо правильно підібрати насоси або встановити витратоміри з метою регулювання об'ємів подачі води.

10. Правильність вибору й обладнання системи оборотного водопостачання (градижень, напірно-витратних характеристик насосів, діаметрів трубопроводів) для конденсаторів з водяним охолодженням. Для цього необхідно:

1) при проектуванні закладати таку витрату води, щоб її підігрівання в конденсаторі не перевищувало 5 ± 1 °С, а більш точно – відповідало можливостям водоохолоджувальних пристроїв (градижень) системи за визначених умов експлуатації;

2) для економії електроенергії передбачати можливість регулювання витрати води по кожному з апаратів;

3) швидкість руху води для визначення діаметрів трубопроводів і напірно-витратних характеристик насосів приймати в діапазоні $0,8 \div 1,2$ м/с;

4) передбачати можливість проведення очищення теплообмінної поверхні від різного виду забруднень і використання профілактичних засобів боротьби з ними.

11. Достатній рівень керування та контролю роботи конденсаторного відділення за допомогою сучасних засобів автоматики, КВП і приводу.

Таким чином, у цій статті розглянуті основні моменти, на які необхідно звертати особливу увагу при проектуванні й обладнанні конденсаторних відділень промислових холодильних систем, якщо ви не бажаєте мати низькоефективну «проблемну» установку і не хочете платити за штучний холод більше, ніж це можливо. Але навіть якщо ви старанно врахуєте всі вищенаведені рекомендації й обладнаєте конденсаторне відділення правильно – це ще не успіх. Погане технічне обслуговування і низький рівень експлуатації можуть значно збільшити енергоємність холоду. Але про це в продовженні.

Ю. О. Желіба, к. т. н., доцент ОДАХ

