

Очищення теплообмінної поверхні конденсаторів

Про вплив температури конденсації холодильного агенту на енергоємність штучного холоду докладно говорилося в попередніх публікаціях (див. журнал «Холод», 4, 5, 6'2004). Очищенню поверхонь теплообміну від забруднень необхідно окремо приділити увагу, насамперед тому, що забруднення, які визначають енергоємність холоду і надійність холодопостачання, виникають незалежно від бажань експлуатаційників і з ними рано чи пізно доводиться боротися всім

Утворення шару відкладень на поверхнях теплообміну конденсаторів спричиняє багато небажаних явищ: істотне зниження інтенсивності теплопередачі, збільшення гідравлічних опорів і витрати енергії, виникнення корозії і, як наслідок, збільшення встановленої площі поверхні та подорожчання конструкції теплообмінних апаратів і конденсаторних відділень. Не можна забувати, що проблема забруднень актуальна не тільки для конденсаторів, але й для теплообмінних сорочок компресорів, маслоохолоджувачів, переохолоджувачів, апаратів випарного охолодження води та ін.

Очищення повітряних конденсаторів від забруднень, як правило, легко розв'язується, а для апаратів, що використовують системи оборотного водопостачання, ця проблема вирішується значно складніше.

З присутніми у воді частинками, волокнами, листям, тополиним пухом, трісками, мулом, окалиною, іржею тощо – можна легко боротися за допомогою організації зворотного промивання (реверсування потоку охо-

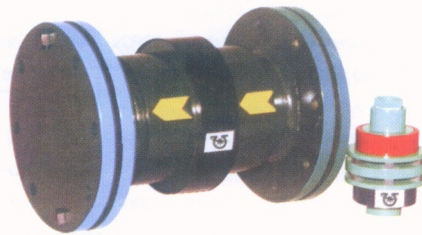


Рис. 1. МГД резонатор НВО «Оріон»

лоджувальної рідини) або встановлення сітчастих фільтрів. Реверсування потоку вимагає влаштування зворотних петель, збільшення кількості арматури, трубопроводів, обсягів монтажних робіт, ускладнює схеми обв'язки обладнання і внаслідок цього дуже рідко використовується на практиці. Сітчасті фільтри з розміром чарунки від 0,5 до 1,5 мм зустрічаються значно частіше, їх бажано встановлювати перед насосами, які також потребують захисту від забруднень. Розмір чарунки залежить від якості води і необхідного ступеня її очищення. Сітки фільтрів із дрібними чарунками не обов'язково є кращим рішенням. Вони краще захищають апарати, але проблема очищення просто переноситься на фільтр, який необхідно часто виводити з експлуатації та очищати. З іншого боку, занадто велика чарунка зсуває проблему очищення в конденсатори. Таким чином, якщо фільтр легкодоступний і є обвідний шлях для охолоджувальної рідини, а конденсатор увесь час повинен підтримуватись у робочому стані, необхідно встановлювати сітку з дрібними чарунками, і навпаки.

Важливу роль у розробці заходів із запобігання утворенню відкладень відіграє організація надійного хімічного контролю основних показників якості води (робочого середовища). Обробка води потребує спеціальних знань, особливо обробка з метою боротьби з біологічними забрудненнями. Очисні рідини можуть бути небезпечні як для людини, так і для матеріалів апаратів.

Для боротьби з біологічними обростаннями можуть, наприклад, застосуватись такі хімічні реактиви:

- *хлорофеноли*, ефективні проти широкого спектра мікроорганізмів;
- *перманганат калію* – сильний окислювач, що руйнує всі органічні речовини;
- *біхромат* або *хромат натрію* переважно застосовується як інгібітор корозії, крім того, є окислювачем і руйнує мікроорганізми;
- *сульфат міді* використовувати не можна, якщо можливий контакт із низьковуглецевою сталлю;
- *четвертинні аміачні сполуки* – органічні сполуки, у яких один або кілька атомів водню в молекулі NH₃ замінені органічною групою;
- *хлор*, винятково ефективний проти всіх видів мікроорганізмів, причому до нього не виробляється стійкість;
- *озон (O₃)* – газ, що активно реагує з органічними речовинами і знищує всі типи мікроорганізмів. Стійкість до O₃ не виробляється.

Протинакипна і протикорозійна обробки води повинні застосовуватись, коли карбонатна жорсткість води більше 4 мг-екв/л, вміст заліза в ній більше 0,3 мг/л (у перерахуванні на Fe), сумарний вміст хлоридів і сульфатів – вище 50 мг/л, значення індексу Ланжельє J ≥ 0,5. Відомо, що найкращі результати з усунення накипоутворення досягаються за умови використання реагентної та іонної обробки води. Однак ці методи неприйнятні для холодильних систем через громіздкість обладнання, значні капіталовкладення й експлуатаційні витрати, потребу у кваліфікованому персоналі. Крім то-

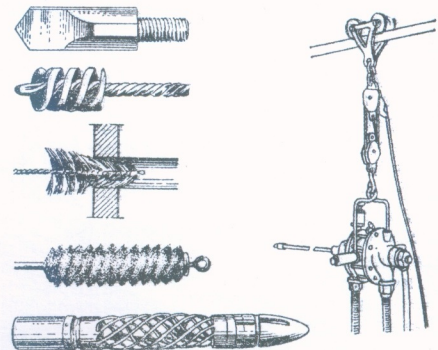


Рис. 2. Інструмент, що застосовується для механічного очищення трубчастих теплообмінників

го, для обробки води використовують безреагентні методи. Найбільшого поширення набули магнітний та ультразвуковий методи. Вони не потребують громіздких споруд та досить прості в експлуатації.

Сутність магнітної обробки води полягає в тому, що воду пропускають через зазор між полюсами магніту, піддаючи дії магнітного поля. При магнітній обробці хімічний склад води, що проходить через магнітне поле, не змінюється, вода не зм'якшується, не фільтрується, у ній залишаються всі солі жорсткості, інші розчинні речовини, гази та механічні частинки. Перетинаючи магнітний потік, вода набуває деяких нових фізичних властивостей і частково втрачає накипоутворювальні здатності. Зокрема, протинакипний ефект магнітної обробки обумовлений появою у воді численних колоїдних утворень, які можуть стати зародками кристалів карбонату кальцію. Присутність у робочому середовищі величезного числа таких центрів кристалізації сприяє виділенню карбонату кальцію в об'ємі середовища, а також спричиняє уповільнення росту кристалів. Таким чином, перенесення кристалізації накипоутворювачів у товщу води сприяє запобіганню їх відкладенням на поверхнях теплообміну, а утворений осад у вигляді шламу легко змивається потоком води й відокремлюється у фільтрах, чи відстійниках. Ефективність магнітної обробки залежить від напруженості магнітного поля, кількості карбонатної зависі, швидкості руху середовища через магнітне поле. За дослідними даними, оптимальна швидкість протікання води зна-

ходиться в межах $1 \pm 1,5$ м/с, напруженість магнітного поля – $8 \cdot 10^4 \div 12 \cdot 10^4$ А/м.

При значному вмісті заліза магнітна обробка повинна застосовуватися у поєднанні зі знезалізненням.

Слід зазначити, що рідина, яка пройшла магнітну обробку, з часом втрачає свої властивості, тому вона як у циркуляційному, так і в розбірному контурі повинна піддаватися періодичному намагнічуванню. Для підвищення надійності протинакипної магнітної обробки необхідно здійснювати контроль за вмістом завислих речовин у циркулюючій воді.

В СРСР випускалися електромагнітні апарати конструкції ВТИ ЭМА 15–50 продуктивністю 15, 25 і 50 т/год, а також АМО-25-У4 продуктивністю 25 т/год. У цих апаратах кількість котушок була від 6 до 1, максимальна напруженість магнітного поля в робочому зазорі – від $16 \cdot 10^4$ до $24 \cdot 10^4$ А/м.

На ринку України в напрямку поширення цього методу працює НВО «Оріон», що випускає магнітогідродинамічні (МГД) резонатори циліндричні на постійних магнітах типу МГДР-ПМЦ (ТУ В 244865.001-99). Ці пристрої дозволяють обробляти $0,14 \div 570$ м³/год рідини (рис. 1). У результаті обробки вода, як відзначалося вище, змінює свої властивості, що дозволяє запобігти накипоутворенню на теплообмінних поверхнях, очистити поверхні від існуючих відкладень, а отже, знизити енергоємність холоду, збільшити тривалість роботи апаратів між ремонтно-профілактичними зупинками.

Переваги методу магнітної обробки полягають у простоті й відносно невеликих інве-

стиціях та експлуатаційних витратах. Однак цей метод не запобігає біологічним забрудненням, і тому його необхідно застосовувати у поєднанні з хімічною обробкою.

Сутність ультразвукового методу полягає в тому, що у водяному просторі теплообмінника збуджуються ультразвукові коливання за допомогою магнітострикційних перетворювачів, установлених на корпусі теплообмінника. Накипоутворюючі солі, знаходячись у робочому середовищі у завислому стані, під дією ультразвукових коливань інтенсивно кристалізуються і випадають у вигляді нерозчинного шламу, концентруючись у нижній частині теплообмінного апарата. Тому для запобігання утворенню «вторинних» відкладень необхідно по можливості здійснювати постійне чи періодичне видалення шламу.

Незважаючи на використання методів протинакипної обробки робочих середовищ, цілковито запобігти утворенню відкладень у конденсаторах та інших теплообмінниках холодильних систем не вдається. Для деяких типів апаратів, наприклад пластинчастих конденсаторів, відкладення товщиною 0,5 мм уже вважаються гранично допустимими.

Про ступінь забруднення поверхні конденсатора можна судити з підвищення тиску конденсації (P_k). Але підвищення P_k може бути пов'язане з цілою низкою інших причин. Наприклад, з наявністю неконденсатів у холодильній системі або змінами умов експлуатації апаратів чи холодильної установки в цілому. Фактична періодичність очищення поверхонь повинна визначатися теплотехнічними та гідравлічними показниками їхньої роботи, що

залежать від конкретних умов експлуатації. Необхідність очищення теплообмінника, наприклад, у системах теплопостачання визначається збільшенням його гідравлічного опору в 1,5 рази. Загальноприйнятих та обґрунтованих рекомендацій для апаратів холодильних систем у літературі немає, і це обумовлено безліччю причин. Під час експлуатації конденсаторів для контролю гідравлічного опору повинні регулярно зніматися показання манометрів, установлених на вході в теплообмінник і виході з нього. Вимірювання слід проводити при максимальних витратах води приблизно через кожні три місяці експлуатації.

Для визначення ступеня забруднення теплообмінної поверхні та складання режимної карти необхідне проведення теплотехнічних випробувань конденсаторів. За результатами саме таких випробувань, а також із досвіду експлуатації конкретних апаратів у конкретних умовах визначається періодичність їх очищення.

При коефіцієнті експлуатаційної ефективності $\beta = 0,7$ потрібне очищення поверхонь теплообміну. Коефіцієнт ефективності знаходять за формулою

$$\beta = \frac{K_{\text{сп}}}{K_t},$$

де $K_{\text{сп}}$ – фактичний експлуатаційний коефіцієнт теплопередачі; K_t – теоретичний коефіцієнт теплопередачі.

На додаток до цих рекомендацій необхідно зазначити, що оцінку відкладень можна провести й візуально при частковому розбиранні конденсатора (іншого апарата), а також вимірюванням внутрішнього об'єму трубок (пластин) за об'ємом води, що їх заповнює. Крім цього ступінь забруднення може контролюватися за зміною температур охолоджувального середовища в апаратах за умови постійного теплового навантаження на холодильну систему шляхом зіставлення зафіксованих показників із величинами накопиченої бази даних про такі зміни в різних умовах і режимах експлуатації установки. Як еталон при порівнянні вибирають теплогідравлічні характеристики незабрудненого конденсатора або іншого теплообмінного апарата.

Існують три основні способи очищення теплообмінників: механічний, хімічний і тепловий. Вибір способу очищення залежить від багатьох факторів і визначається, насамперед, матеріалом поверхні, кількістю і хімічним складом відкладень.

Механічне очищення апаратів. Для механічного способу очищення потрібно розби-

рати апарат. Це пов'язане з великою витратою часу і є основним недоліком цього способу.

Найбільш розповсюджений метод очищення за допомогою різних різальних наочечників, металевих щіток, головок, йоржів і шарошок (рис. 2). Гарними результатами відзначається прочищення труб із застосуванням гнучкого сталевого троса. Для обертання інструмента використовуються різні привідні механізми. Ефективність очищення підвищується, якщо одночасно з роботою перерахованих інструментів у канали апарата подається водоповітряна суміш. Недоліки методу механічного очищення – трудомісткість, можливість ушкодження антикорозійних покриттів та утворення насічок, які в подальшому служать осередками інтенсивного накипоутворення або корозії.

Випускаються також серійні трубоочищувачі для трубчастих апаратів, які являють собою бормашину, що обертається за допомогою електро- чи пневмодвигуна з частотою до 2000 об/хв. Звичайно трубоочищувачі забезпечують можливість очищення труб довжиною до 12 м з різними розмірами головки бора і мають масу 25–30 кг. Труби довжиною від 1 до 12 м можуть бути очищені приблизно за 20 с, а пучок із 700–800 труб – приблизно за 4 год. Очищення здійснюється без хімічних добавок шляхом гідравлічної подачі свердильної головки, її обертання та впорскування води, що вимиває з труб відкладення, які видаляються.

Для механічного очищення теплообмінників широко використовуються гідравлічні методи. Так, розроблені й використовуються установки гідроочищення теплообмінників із внутрішніми діаметрами трубок 20, 30 і 50 мм. Вони пересувні, монтується на шасі автомобільного причепа і складаються з насоса високого тиску, бака, штанг із суміжними соплами, високонапірних шлангів, апаратури контролю. Застосовувані насоси високого тиску забезпечують тиск на виході більше 10 МПа (до 100 МПа) і мають подачу $6,3 \div 10 \text{ м}^3/\text{год}$, потужність електродвигуна – до 55 кВт. Суміжні сопла (насадки) мають від 3 до 9 отворів діаметром 1–3 мм, причому один розташований у центрі, а інші – з боків під різними кутами ($30 \div 45^\circ$). Струмін, вириваючись із центрального отвору, руйнує відкладення у центрі трубки, а бічні струмені очищують стінки трубки й виносять забруднення, що відмиваються, у напрямку, протилежному переміщенню насадки. Для збереження компактності струменя, а отже, його ефективності необхідно забезпечувати якомога більший коефіцієнт стиснення струменя $K = D/d$ (D –

внутрішній діаметр сопла, d – діаметр отворів у ньому). Компактність струменя поліпшується при ступені стиснення 9–10.

Численні конструкції гідроочисних апаратів звичайно розрізняються тільки за характеристиками насосів і конструкцією сопел. З огляду на простоту, доступність і ефективність гідравлічних методів очищення вони рекомендуються для широкого використання.

Хімічне очищення теплообмінників. Хімічне очищення вважається найбільш досконалим способом. При хімічному очищенні відкладення або руйнуються, або розчиняються чи емульгуються.

При хімічному очищенні трубчасті, пластинчасті та випарні конденсатори (інші теплообмінні апарати) не розбираються, що є основною перевагою цього методу. У деяких випадках, наприклад з боку міжтрубного простору, хімічне очищення є єдиною можливим способом видалення відкладень. Недолік способу полягає у впливі хімічного очисника на конструкційні матеріали поверхні теплообміну та прокладок.

Незважаючи на велику кількість різних хімічних очисників, вони в основному є кислотами, лугами, розчинниками та комплексонами.

При виборі типу хімікалії має бути відомий склад відкладень, який визначається при розкритті теплообмінника. Для видалення відкладень, що складаються тільки з карбонатів та окислів заліза, чутливих до значення водневого показника, застосовується інгібована 5-процентна соляна кислота, а також сульфамінова (лимонна) або конденсат низькомолекулярних кислот (НМК). Для видалення значних відкладень, що складаються з карбонатів та окислів заліза, а також складних відкладень доцільне застосування соляної кислоти з попереднім луженням розчинами їдкого натру, кальціюваної соди або їх суміші. (Застереження! Їдкий натр (NaOH) є небезпечним і для шкіри людини, спричиняє швидку корозію алюмінію. Концентровані кислоти дуже агресивні й вимагають обережного поводження).

Як інгібітори корозії можуть служити 0,5-процентний утробіт, каптакс, ОП-7 катапін та ін. Для гасіння піни, що утворюється у процесі очищення труб соляною кислотою, доцільно застосовувати піногасники, наприклад, фракції $C_5 - C_6$ синтетичних жирних кислот.

При видаленні відкладень, що містять кремній, у лужний розчин, а також у соляну кислоту необхідно додавати фтористі солі амонію або натрію.

Одним із компонентів хімічних очисників є сірчана кислота, однак у випадку виявлення у

відкладеннях сполук кальцію сірчану кислоту застосовувати не можна.

Сульфамінова кислота менш агресивна, ніж соляна, однак її не можна використовувати для очищення поверхонь конденсатора з мідних сплавів.

Через складність роботи з кислотами, вибору складу очисника багато виробників теплообмінників виготовляють спеціальні промислові фірмові препарати для видалення накипу й очищення теплообмінних поверхонь. Промислові препарати звичайно містять інгібітори для запобігання утворенню й уповільнення корозії та являють собою суміші різних компонентів, що діють на широкий спектр мікроорганізмів. Вони супроводжуються належними застереженнями, інструкціями з використання, правилами безпеки. Звичайні промислові миючі засоби також можуть бути використані для очищення поверхонь конденсаторів. Вони ефективно видаляють мастило, бактеріальний слиз, колонії водоростей тощо.

Існує метод відмивання відкладень за допомогою комплексонів, які є безпечними у користуванні, зручні при транспортуванні та зберіганні. Застосування комплексонів дозволяє практично цілковито розчинити відкладення без утворення нерозчинних частинок. На чистих поверхнях після відмивання спостерігається уповільнення процесу відкладень, що пов'язане з утворенням на поверхні металу захисної плівки. У процесі очищення необхідно підтримувати оптимальні швидкості руху реагентів (не менше 0,3 м/с) і води під час відмивання поверхонь (не менше 1,5 м/с).

Обробка поверхонь хімічними розчинами здійснюється по замкнутому контуру. Пересувна установка для очищення складається з металевої ємності, кислотостійких насоса з електродвигуном і гумових шлангів. У промивному контурі кислота підігрівається (за рахунок теплоносія) до 60–70 °С.

Технологічна операція промивання складається з таких етапів: циркуляція розчину кислоти (травлення), водяне відмивання на скидання, нейтралізація залишків кислоти розчином їдкого натру або кальцинованої соди, остаточне водяне відмивання на скидання. Для приготування робочого розчину в металеву ємність спочатку наливають визначену кількість води, потім кислоту, інгібітор (якщо його не було в кислоті), змочувач і піногасник. Час дії кислотного розчину визначається товщиною і складом забруднень і може бути визначений за припиненням виходу газів або за припиненням зміни концентрації кислоти в розчині при його циркуляції (у міру розчинення накипу концентрація розчину знижується, і для її відновлення в ємність додають концентровану кислоту). Після травлення відпрацьований розчин скидають у спеціальну ємність, а очищену поверхню промивають водою для видалення кислоти. Промивання припиняють, коли метилоранж набирає червоного кольору. Для повної нейтралізації кислоти та відновлення на поверхні металу захисної оксидної плівки здійснюється нейтралізація та пасивування, тобто обробка кальцинованою содою або тринатрійфосфатом 2-процентної концентрації.

Промивний контур необхідно відключити від магістральних трубопроводів засувками –

металевими заглушками. Слід також зняти цинкові протектори, арматуру та деталі, що містять кольорові метали.

У процесі хімічного очищення необхідно здійснювати постійний тепловий і хімічний контроль. Зокрема, визначати кислотність (лужність), концентрацію реагенту, кількість завислої речовини.

Теплове очищення ґрунтується на різкій зміні температури очищуваної стінки. Унаслідок різниці коефіцієнтів теплового розширення металевої труби і відкладень накип розтріскується і легко відокремлюється за допомогою струменя води та високонапірних насосів чи іншим способом. Застосування цього способу обмежується тільки випарними або давно забутими зрошувальними конденсаторами, оскільки для інших типів апаратів поява різких температурних напружень пов'язана з можливістю пошкодження конструкцій. Такий спосіб очищення відходить у минуле.

Наведений вище матеріал – це інформація про те, що для забезпечення ефективної роботи теплообмінних апаратів холодильних систем, розумної енергоємності штучного холоду та надійності холодопостачання необхідно здійснювати комплекс заходів із запобігання забрудненню теплообмінників та їх очищення.

*Ю. О. Желіба, к. т. н., доцент ОДАХ,
Д. А. Войтко, с.н.с., ОДАХ,
С. М. Єременко, ДП «Херсонський ЕТЦ
Держнаглядохоронпраці»*

