

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ ГАЗУ У ВОДЯНИХ ХОЛОДИЛЬНИКАХ ШЛЯХОМ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ТЕПЛООБМІНУ

В. Д. Шологон

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 42157,
e-mail: public@nuing.edu.ua

Розглядаються питання підвищення глибини охолодження газового потоку після компримування на компресорних станціях магістральних газопроводів шляхом використання апаратів водяного охолодження, які в умовах середньої кліматичної смуги виявляють вищу ступінь інтенсивності охолодження порівняно з повітряними холодильниками. Для забезпечення нормальних умов роботи водяних теплообмінників в умовах компресорних станцій пропонується спеціальна обробка води. Створено відповідні пристрої і системи для магніто-акустичного безреагентного способу підготовки води для охолодження газу в теплообмінниках. Апробація роботи установок підготовки води, проведена в умовах Ужгородської компресорної станції, показала їх високу ефективність.

Ключові слова: температура, водяні холодильники газу, інтенсифікація теплообміну, підготовка води.

Рассматриваются вопросы повышения глубины охлаждения газового потока после сжатия на компрессорных станциях магистральных газопроводов путем использования аппаратов водяного охлаждения, которые в условиях средней климатической полосы обнаруживают более высокую степень интенсивности охлаждения по сравнению с воздушными холодильниками. Для обеспечения нормальных условий работы водяных теплообменников в условиях компрессорных станций предлагается специальная обработка воды. Созданы соответствующие устройства и системы для магнитоакустического безреагентного способа подготовки воды для охлаждения газа в холодильниках. проведена Апробація роботи установок підготовки води, проведена в условиях Ужгородской компрессорной станции, показала их высокую эффективность.

Ключевые слова: температура, водяные холодильники газа, интенсификация теплообмена, подготовка воды.

The questions of increase of depth of cooling of gas stream are examined after a compression on the compressor stations of main gas pipelines by the use of vehicles of the aquatic cooling, which in the conditions of middle climatic bar find out more high degree of cooling intensity as compared to air refrigerators. For providing of normal terms of work of aquatic refrigerators in the conditions of the compressor stations the special treatment of water is offered. The proper devices and systems are created for the magnetoacoustic chemical-free method of preparation of water for cooling of gas in refrigerators. Approbation of work of options of preparation of water is conducted in the conditions of the Uzhgorod compressor station rotined their high efficiency.

Key words: temperature, aquatic refrigerators of gas, intensification of heat exchange, preparation of water.

Постановка проблеми. За видом теплоагента способи охолодження газу на компресорних станціях поділяються на дві групи: повітряне і водяне. Спосіб повітряного охолодження газу дістав широке розповсюдження завдяки простоті реалізації і обслуговування. Однак, в кліматичній зоні з високими температурами повітря в літній період він малоєфективний.

Спосіб повітряного охолодження газу завдяки високій теплоємності води (в порівнянні з повітрям - у 4 рази), та нижчих температурах порівняно з повітрям температура дає змогу досягти значної глибини охолодження газу при майже однакових енергетичних затратах. Суттєвим недоліком, що протидіє широкому застосуванню цього способу, є складність в обслуговуванні, зокрема в підготовці води як холодоагента. Жорстка вода з природних водойм і артезіанських свердловин за високих температур призводить до відкладання накипів на стінках труб, що знижує коефіцієнт теплопередачі від газу до води і вимагає частого очищення холодильників, що є трудомістким процесом. Тому для використання способу водяного охолодження газу в умовах компресорних станцій

необхідно розробити високоефективні методи обслуговування водяних холодильників газу[1].

Аналіз результатів досліджень. Одним з методів інтенсифікації теплообміну є запобігання відкладень накипу. Цей метод є найбільш перспективним, оскільки не вимагає відключення теплообмінних апаратів від технологічної лінії, їх розкриття та ручного очищення. Водночас він забезпечує постійну, максимально можливу, для даної конструкції апарату теплопередачу між теплоносіями.

Найбільш перспективними методами запобігання відкладенню накипу є безреагентні методи, засновані на фізичних впливах.

Магнітна обробка через відсутність дешевого способу видалення сольового шламу та інших механічних домішок з циркуляційної води отримала дуже обмежене застосування. Застосовується для зміни структури відкладень, але не виключає необхідності відключення теплообмінних апаратів їх технологічної лінії, їх розкриття та ручного очищення. Полегшує цей процес, але не виключає його.

Вказані способи дозволяють експлуатувати теплообмінну апаратуру без зупинки її на очи-

щення, вигідно відрізняються від відомих низькою вартістю і простотою реалізації.

Завдання досліджень. Розроблення загального підходу до проблеми ефективного охолодження газу після компримування у водяних теплообмінниках з використанням методів інтенсифікації теплообміну.

Виклад основного матеріалу. Суть низькочастотного акустичного способу полягає в тому, що в порожнині теплообмінного апарату (в теплоносії з боку утворення відкладень) збуджується низькочастотне акустичне поле частотою $5 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^4$ Гц.

Механізму процесу запобігання виникненню відкладень і накипу можна дати таке пояснення.

Звукова хвиля в напрямку поширення несе з собою визначену енергію, викликаючи в озвучуваному середовищі виникнення областей підвищеного тиску і розрідження. Зустрічаючи на своєму шляху перешкоду у вигляді зростаючого кристала, частки мулу або піску, органічного добрива і т.д. вона віддає їй частину своєї енергії, збуджуючи в ній коливальний рух [2].

Таким чином, кристалізація та утворення відкладень у потоці рідини при озвучуванні її низькочастотним акустичним полем супроводжується низкою явищ, кінцева дія яких зводиться до запобігання виникненню процесів адгезії кристалів і твердих частинок механічних домішок, що випали із води, з приведенням їх у коливальний рух і подальшим винесенням за межі теплообмінного апарату.

Узагальнюючи викладене, слід зазначити, що попри хороші результати, отримані у ході промислових випробувань низькочастотного акустичного способу на Ужгородській компресорній станції, він має один істотний недолік. При значній жорсткості циркуляційної води (вище 7 мг-кв/л), так як і швидкості води в трубках трубного пучка теплообмінника (нижче 0,7 м/с), застосування цього способу викликає більше проблем, оскільки для забезпечення ефективного очищення теплообмінної поверхні доводиться застосовувати досить потужне акустичне поле амплітудою понад $5 \cdot 10^{-3}$, а це небажано з огляду на можливе порушення герметизації трубної поверхні теплообмінних апаратів [3, 4, 5].

Тому низькочастотний акустичний спосіб запобігання виникненню відкладень можна рекомендувати тільки там, де жорсткість води незначна (відкладення спотерігаються у вигляді шламу), а швидкість води в трубах трубного пучка теплообмінника не нижча 0,7 м/с.

Дослідження в галузі магнітної обробки води і результати досліджень про можливість застосування низькочастотного акустичного поля, що вводиться у внутрішньотрубну водяну порожнину теплообмінних апаратів, для запобігання утворенню відкладень на теплообмінній поверхні апаратів лягли в основу розробленого магніто-акустичного способу запобігання виникненню відкладень.

Суть способу полягає в тому, що вода перед подачею в теплообмінні апарати обробляється електромагнітним полем певних параметрів, а по внутрішньотрубній водяній порожнині теплообмінних апаратів збуджується акустичне поле звукової частоти. Використовується явище, при якому з води, обробленої електромагнітним полем, на теплообмінній поверхні відкладення утворюються не у вигляді накипу, а у вигляді пухкого шламу, який разом з іншими механічними домішками води приводиться акустичним полем у зважений стан і виноситься потоком рідини за межі теплообмінних апаратів.

Лабораторні дослідження дали підставу зробити такі висновки.

1. Спосіб ефективний для будь-якого складу води як за солемістом, так і за кількістю механічних домішок.

2. Ефективність запобігання процесам адгезії між частинками механічних домішок, сольового шламу та теплообмінною поверхнею в діапазоні частот від $5 \cdot 10^3$ до $5 \cdot 10^4$ Гц не залежить від частоти акустичного поля, що вводиться в порожнину теплообмінного елемента, і знаходиться в прямій залежності від його потужності.

3. З підвищенням потужності акустичного поля адгезія послаблюється.

4. У випадку забезпечення коефіцієнта магнітної обробки $K < 50$ і потужності акустичного поля не менше 1 Вт/м^2 за швидкості потоку води через контрольну трубку не менше 0,7 м/с забезпечуються умови повного запобігання утворенню відкладень.

Спосіб може бути рекомендований для систем охолодження, коефіцієнт магнітної обробки води яких (визначений кристало-оптичним методом) менше 50%, витрата циркуляційної води в системі невелика, а швидкість потоку в трубках трубного пучку теплообмінників не менше 1 м/с.

До недоліків магнітно-акустичного способу слід віднести наступне:

1) непридатність його у разі, коли підніткова і циркуляційна вода погано піддаються магнітній обробці;

2) незастосовність його в разі низької швидкості потоку води через трубки трубного пучка теплообмінників.

Ці недоліки відсутні в розробленому безреагентному способі попередження відкладень з видаленням їх за межі системи охолодження.

В цьому способі, як і в магніто-акустичному, використовується магнітна обробка води перед подачею її в теплообмінний апарат і збудження низькочастотних акустичних коливань в потоці води, що протікає через теплообмінники.

Особливістю цього способу є те, що потужність акустичного поля застосовується набагато (майже на порядок) нижча, ніж в магніто-акустичному. Акустична потужність вибирається такою, щоб забезпечити пухкий стан відкладень. Інший особливостей є те, що періодично (кожні 3-4 дні) протягом 0,25-2 хвилин

охолоджуючу воду з теплообмінного апарату зливають, тобто вихідний патрубок теплообмінного апарату з боку охолоджуючої води з'єднують з атмосферою.

Періодичне з'єднання виходу теплообмінного апарату з атмосферою створює умови для різкого збільшення швидкості потоку теплоносія і винесення з ним за межі системи охолодження відкладень, що випали на теплообмінну поверхню.

Враховуючи, що надлишковий тиск на вході в теплообмінні апарати зазвичай становить від 0,3МПа до 0,5МПа, а перепад тиску від 0,05 МПа до 0,2МПа, неважко підрахувати, що з'єднання виходу теплообмінного апарату з атмосферою викликає збільшення швидкості потоку рідини по ньому у 2–3,3 рази. Створюються сприятливі умови для винесення відкладень. Теплообмінна поверхня очищається.

У цьому способі відпадає необхідність у підтримуванні частки відкладень в теплообмінному апараті в підвищеному стані. Досить ввести акустичне поле, акустична потужність якого була б достатньою для перешкодження процесу адгезії частинок шламу між собою і між ними та теплообмінною поверхнею. Тобто достатньо для забезпечення пухкого стану відкладень.

За цим способом забезпечується постійне самоочищення циркуляційною водою (винесення за межі системи охолодження частинок сольового шламу або піску, інших механічних домішок).

Концентрат відкладень (шламу) видаляється з теплообмінних апаратів і за допомогою жолобів самопливом подається у відстійник. Вода, що відділилася у відстійнику, подається насосом в чашу градинки.

Ще однією особливістю способу є те, що магнітній обробці піддається не циркуляційна, а підпиткова вода системи охолодження. Причому перед магнітною обробкою вода піддається одночасно обробкою вакуумом і акустичним полем, а після неї – вакуумуванню в присутності теплового та магніто-акустичного полів. Такий комплекс безреагентних впливів на підпиткову воду забезпечує переведення накипоутворювачів (іонів), що знаходяться в ній, у важкорозчинні солі і солі, що випадають в осад до того як вони разом з циркуляційною водою потраплять в порожнину теплообмінних апаратів. Тобто безреагентний вплив на підпиткову воду запобігає процесу кристалізації цих солей на теплообмінній поверхні – усуває основну причину формування накипу.

На основі лабораторних і промислових досліджень для реалізації способу в промислових умовах була розроблена установка попередження виникненню відкладень в теплообмінній апаратурі компресорних станцій. Установка включає у себе апарати магнітної обробки води, акустичні випромінювачі і блок автоматичного управління роботою установки.

В залежності від способу, що застосовується для попередження відкладень, апарат магнітної обробки встановлюють на підпитковій і (або) циркуляційній лінії системи охолодження.

Акустичні випромінювачі встановлюються на кришках теплообмінних апаратів, їх кількість визначається в залежності від конструкції теплообмінних апаратів і вибираються таким чином, щоб «озвучуванню» була піддана вся трубна дошка теплообмінника.

Блок автоматичного управління встановлюється в приміщенні компресорного цеху або в будь-якому іншому приміщенні, де можлива експлуатація електронного обладнання звичайного виконання.

В установці для попередження відкладень використовувався розроблений апарат магнітної обробки рідини із сільфон ним компенсатором.

Для розробки технологічної схеми магніто-акустичного способу попередження відкладень в теплообмінних апаратах Ужгородської компресорної станції і для визначення вихідних даних, що необхідні при розробці експериментального зразку установки, що його реалізує, були вивчені технологічні схеми і режими роботи систем охолодження компресорних цехів станції.

Проведено дослідження з метою вивчення структури та складу відкладень на теплообмінних поверхнях, складу циркуляційних та підживлюючих вод.

Відбір проб відбувався щомісячно в одних і тих же точках системи:

- 1) підживлююча вода після насоса;
- 2) вода із чаші градинні;
- 3) вода перед подачею в теплообмінний апарат;
- 4) вода після теплообмінного апарату.

Особлива увага була приділена вмістові вільної вуглекислоти, оскільки від нього значною мірою залежить ефективність магнітної обробки води. Із цих же точок, із збереженням умов герметичності і виключенням контакту із атмосферою, одночасно із проведенням відбору проб проводились контрольні обробки води електромагнітним полем. Отримані результати дозволили розробити технологічні схеми обробки електромагнітним і низькочастотним акустичним полями.

Для забезпечення рівності надлишкового тиску в герметичному кожусі випромінювача надлишкового тиску у водяній порожнині теплообмінного апарату нами розроблений автоматичний регулятор, розробка якого була викликана тим, що ручне регулювання не забезпечило повної реалізації всіх можливостей запропонованої конструкції випромінювача. У зв'язку з неточністю і великою інерційністю ручного регулювання товщину мембрани довелося б прийняти не на порядок менше, щоб уникнути її розриву в момент зміни надлишкового тиску в циркуляційній системі (при включенні в роботу або відключення одного з циркуляційних насосів), або запуску в роботу, або відключення теплообмінних апаратів. Крім того, у разі аварійної зупинки циркуляційних насосів системи охолодження неодмінно відбувся б розрив мембран і вихід з ладу акустичних випромінювачів.

Література

З метою забезпечення максимальної інтенсифікації теплообміну за мінімальних енерговитрат на живлення установки попередження відкладень в теплообмінних апаратах проведено налаштування на оптимальний режим роботи апаратів магнітної обробки води та акустичних випромінювачів.

Налаштування акустичних випромінювачів здійснюється у такий спосіб:

а) встановлюється номінальний струм живлення вібраторів.

б) встановлюється тривалість роботи, періодичність включення в роботу і час між включеннями.

Впроваджена на Ужгородській компресорної станції установка для запобігання відкладень в теплообмінних апаратах компресорного цеху № 2 суттєво вплинула на техніко-економічні показники виробництва.

На Ужгородській компресорній станції в цеху № 2 застосована система охолодження газу з використанням як теплоносія оборотної води. Її охолодження здійснюється у вентиляторних градирнях. Ця система справедливо вважається однією з найбільш ефективних. Однак тут же зазначається, що до якості циркуляційної води в таких системах висуваються підвищені вимоги.

Висновки

Через незадовільну якість циркуляційної води в теплообмінних апаратах цеху № 2 відбувалося інтенсивне утворення відкладень, які періодично (один раз на квартал) видаляли шляхом індивідуального висвердлювання накипу з кожної трубки трубного пучка теплообмінника.

Промисловий експеримент з визначення ефективності магніто-акустичного способу запобігання відкладень і накипу показав, що температуру транспортованого газу можна знизити удвічі [6].

Крім збільшення пропускної здатності інтенсифікація теплообміну запропонованим способом викличе зниження експлуатаційних витрат по паливній складовій нагнітачів, поточні витрати на електроенергію та очищення холодильників.

1 Марков С. Ю. Экспериментальное исследование кинематических характеристик турбулентного неустановившегося напорного потока / С.Ю. Марков // Гидравлика и гидродинамика. – 1969. – Вып. 8. – С. 29-36.

2 Вольський Э.Л. Режимы работы магистрального газопровода / Э.Л. Вольский, И.М. Константинова. – М.: Недра, 1970. – 168 с.

3 Керування режимами газотранспортних систем / В.Я.Грудз, М.Т.Лінчевський, В.Б.Михалків [та ін.]. – К.: Укргазпроект, 1996. – 140 с.

4 Режимы газотранспортных систем / Є. І. Яковлев, О. С. Казак, В. Б. Михалків, В. Ф. Тимків, В. Я. Грудз. – Львів: Світ, 1993. – 170 с.

5 Тепловые режимы магистральных газопроводов / [Н.Е. Ходанович, Б.Д. Кривошеин, Р.Н. Бикчентай и др.] – М., Недра, 1971. – 216 с.

6 Трубопроводный транспорт газа / М.П. Ковалко, В.Я. Грудз, В.Б. Михалків [та ін.]. – К.: АренаЕКО, 2002. – 600с.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
21.11.12*

*Рекомендована до друку професором
В. Я. Грудзом*