

30-6-20

ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΦΥΣΙΚΩΝ ΡΕΥΣΤΩΝ

Νίκος Χαριτωνίδης, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Master of Engineering Univ. of Sheffield, Γενικός Διευθυντής ΨΥΓΕΙΑ ΑΛΑΣΚΑ AEBTE & CRYOLOGIC EE.

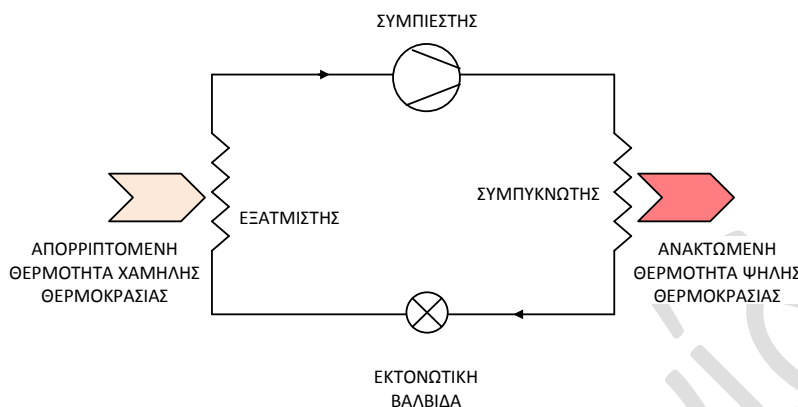
Οι θερμικές κατεργασίες είναι συνυφασμένες με τη βιομηχανική παραγωγή. Πράγματι, σε μια μεταποιητική διαδικασία, είναι το πιο πιθανό να έχουμε από τη μια πλευρά ανάγκες θερμότητας για την ολοκλήρωση διεργασιών και από την άλλη αποδιδόμενη θερμότητα, σαν "κατάλοιπο" θερμικών ή ψυκτικών διεργασιών (waste heat). Μια ψυκτική εγκατάσταση διαθέτει εξ ορισμού ένα σημείο απόρριψης θερμότητας: Τον συμπυκνωτή ή τον ψύκτη αερίου στα transcritical συστήματα. Είναι λογική σκέψη, να αναρωτηθεί κανείς κατά πόσο μπορεί η αποδιδόμενη θερμότητα να επαναχρησιμοποιηθεί σε θερμικές διεργασίες, είτε σαν αυτούσια πηγή είτε με επικουρικό χαρακτήρα. Τούτο είναι απόλυτα εφικτό, με τη μόνη δυσκολία ότι η θερμοκρασία του ρευστού της αποδιδόμενης θερμότητας είναι συνήθως χαμηλή (χαμηλότερη από τη θερμοκρασιακή ανάγκη της παραγωγικής διεργασίας) και δεν μπορεί να επιτευχθεί "γέφυρα θερμότητας". Το πρόβλημα αυτό έρχεται να λύσει η αντλία θερμότητας με "ανάταση" της θερμοκρασίας. Η αμμωνία είναι το πιο διαδομένο ψυκτικό ρευστό στις αντλίες θερμότητας βιομηχανικής χρήσης, ενώ τα τελευταία χρόνια μεγάλη ανάπτυξη παρουσιάζουν και τα transcritical συστήματα CO₂ ή ακόμα και συνεργασίες φυσικών ρευστών σε κλιμακωτά συστήματα (cascade), όπως αμμωνία / υδρογονάνθρακες.

ΑΝΤΛΙΕΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΧΡΗΣΗΣ

Σε πολλές βιομηχανικές διεργασίες, υπάρχουν ανάγκες θέρμανσης ρευστών σε υψηλή θερμοκρασία, ενώ ταυτόχρονα υπάρχει απορριπτόμενη θερμότητα από άλλες διεργασίες. Η απλή λογική οδηγεί στην ανάκτηση της απορριπτόμενης θερμότητας προς επίτευξη των αναγκών θέρμανσης. Ανακύπτει όμως ένα θεμελιακό πρόβλημα: Η θερμοκρασία στο σημείο της απορριπτόμενης θερμότητας είναι (συνήθως) χαμηλότερη από τη θερμοκρασία που επιθυμούμε να θερμάνουμε το ρευστό. Έτσι, σύμφωνα με το δεύτερο θερμοδυναμικό αξίωμα, είναι αδύνατη η ροή θερμότητας από το "ψυχρό" προς το "θερμό". Όπως γνωρίζουμε, τέτοια ροή θερμότητας μπορεί να γίνει μόνο με προσθήκη μηχανικού έργου. Το σκοπό αυτό ακριβώς εκτελεί η αντλία θερμότητας: Απορροφάει θερμότητα από μια δεξαμενή πηγής σχετικά χαμηλής θερμοκρασίας (heat source) μέσω της εξάτμισης ενός ψυκτικού ρευστού¹, ανεβάζει

¹ Η θερμοκρασία εξάτμισης είναι λίγο χαμηλότερη από τη θερμοκρασία της δεξαμενής πηγής ώστε να γίνει η μεταφορά θερμότητας προς το ρευστό.

τη θερμοκρασία του ρευστού στο επιθυμητό επίπεδο μέσω συμπίεσης² - συμπύκνωσης - ψύξης αερίου και αποδίδει θερμότητα στο προς θέρμανση ρευστό (δεξαμενή απόδοσης - heat sink). Αυτή η "άντληση" της θερμότητας φαίνεται στο επόμενο σχήμα [1].



Σχήμα 1: Αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας.

Στο συμπιεστή απορροφάται ηλεκτρική ενέργεια, η οποία προστίθεται στο ρευστό με τη μορφή έργου συμπίεσης, πράγμα που ακριβώς του ανεβάζει τη θερμοκρασία. Η ποσότητα της αποδιδόμενης (χρήσιμης) θερμότητας προς την απορροφούμενη ηλεκτρική ενέργεια από το συμπιεστή είναι ο συντελεστής απόδοσης (COP) του συστήματος.

Η απορριπτόμενη θερμότητα μπορεί να προκύπτει από άλλες διεργασίες της βιομηχανικής μονάδας ή απλά να είναι ο αέρας του περιβάλλοντος, το νερό μιας λίμνης ή ένα κύκλωμα γλυκόλης που απορροφάει θερμότητα από μια γεώτρηση. Παραδείγματα δεξαμενών απορριπτόμενης θερμότητας (δεξαμενή πηγής για την αντλία θερμότητας) είναι το νερό που προέρχεται από "θερμές" διεργασίες, ο θερμός - υγρός αέρας που προέρχεται από διεργασία ξήρανσης - στεγνώματος και η απορριπτόμενη θερμότητα σε συμπυκνωτές - ψύκτες αερίου που εξυπηρετούν ψυκτικές ανάγκες. Παραδείγματα χρήσης της αποδιδόμενης θερμότητας (δεξαμενή απόδοσης για την αντλία θερμότητας) είναι η θέρμανση νερού ποικίλων διεργασιών, η θέρμανση χώρων, το ζεμάτισμα τροφίμων, η ξήρανση και η παστερίωση.

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΑΝΤΛΙΩΝ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ

Οι αντλίες θερμότητας μπορούν να διαχωριστούν στις εξής κατηγορίες:

1. Μηχανικές αντλίες θερμότητας συμβατικού κύκλου. Αυτές με τη σειρά τους διαχωρίζονται σε συστήματα ξηρής εκτόνωσης και συστήματα υπερτροφοδοτούμενου ή πλημμυρισμένου εξατμιστή (τα τελευταία πετυχαίνουν καλύτερο COP).

² Η θερμοκρασία συμπύκνωσης πρέπει να είναι λίγο ψηλότερη από τη θερμοκρασία της δεξαμενής απόδοσης, ώστε να γίνεται αποβολή θερμότητας από το ρευστό προς το ρεύμα χρήσης.

2. Μηχανικές αντλίες θερμότητας transcritical κύκλου CO₂.
3. Αντλίες θερμότητας της κατηγορίας ρόφησης (sorption heat pumps). Χρησιμοποιούνται ορολογίες, όπως absorption (απορρόφηση), adsorption (προσρόφηση), desorption (εκρόφηση) και resorption (επαναρρόφηση).
4. Υβριδικές αντλίες θερμότητας. Πρόκειται για συνδυασμό μηχανικής αντλίας και κατηγορίας ρόφησης, με στόχο το συνδυασμό των εκατέρωθεν πλεονεκτημάτων.

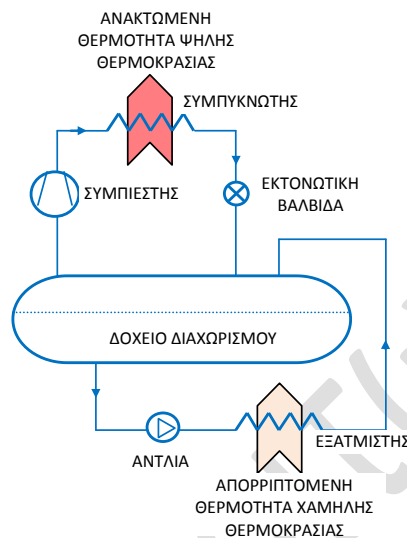
Επί του παρόντος, η πιο διαδομένη χρήση είναι στις μηχανικές αντλίες θερμότητας συμβατικού κύκλου. Επέρχονται όμως γρήγορες εξελίξεις και στις αντλίες transcritical κύκλου.

ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΑΝΤΛΙΑ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ ΣΥΜΒΑΤΙΚΟΥ ΚΥΚΛΟΥ

Είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη και εμπορικά βιώσιμη με τα σημερινά δεδομένα αντλία θερμότητας. Η αρχή λειτουργίας βασίζεται στην αφαίρεση θερμότητας από μια δεξαμενή πηγής μέσω της εξάτμισης του ψυκτικού ρευστού και άνοδο της πίεσης αυτού με συμπιεστή. Λόγω της ανόδου της πίεσης, ανέρχεται και η θερμοκρασία κορεσμού (πίεση - θερμοκρασία συμπύκνωσης). Η θερμότητα συμπύκνωσης αποδίδεται σε ένα ρευστό (δεξαμενή απόδοσης), η θερμοκρασία του οποίου ανεβαίνει τόσο περισσότερο, όσο μεγαλύτερη είναι η θερμοκρασία (πίεση) συμπύκνωσης. Ο συμπιεστής συνήθως κινείται με ηλεκτροκινητήρα. Ένας περαιτέρω διαχωρισμός είναι οι αντλίες θερμότητας με *κατευθείαν εκτόνωση* στον εξατμιστή και οι αντλίες θερμότητας με *υπετροφοδότηση εξατμιστή* και δοχείο διαχωρισμού. Το σύστημα κατευθείαν εκτόνωσης προβλέπει κατά τη διέλευση από την εκτονωτική βαλβίδα, μετατροπή ενός ικανού ποσοστού του υγρού σε αέριο. Το αέριο (flash gas) δεν παράγει χρήσιμη απορρόφηση θερμότητας. Το εναπομένον υγρό εξατμίζεται κατά τη διαδρομή του στον εξατμιστή, αφαιρώντας (λανθάνουσα) θερμότητα και καταλήγει ελαφρά υπέρθερμο στην έξοδο του εξατμιστή - είσοδο του συμπιεστή. Η υπερθέρμανση αυτή είναι απαραίτητη για να μην εισέλθουν υγρές μάζες στο συμπιεστή. Η ικανότητα του συμπιεστή ελέγχεται από τη θερμοκρασία συμπύκνωσης ή τη θερμοκρασία του υπερκρίσιμου ρευστού στον κύκλο transcritical. Στο σχήμα 1 φαίνεται η αρχή λειτουργίας της αντλίας θερμότητας με κατευθείαν εκτόνωση.

Η απόδοση του συστήματος κατευθείαν εκτόνωσης μπορεί να βελτιωθεί με το σύστημα της υπετροφοδότησης με δοχείο διαχωρισμού. Ο εξατμιστής τροφοδοτείται μέσω αντλίας με πλεόνασμα υγρού. Η ποσότητα προς εξάτμιση αυξάνεται, ενώ η υπερπλήρωση βελτιώνει το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας. Στην έξοδο του εξατμιστή υπάρχει μίγμα υγρού - αερίου, το οποίο οδηγείται σε ένα δοχείο διαχωρισμού, από το επάνω μέρος του οποίου αναρροφάει (με ασφάλεια έναντι υγρού) ο συμπιεστής, με ασήμαντη υπερθέρμανση. Από το κάτω μέρος του δοχείου η αντλία ανακυκλώνει το υγρό στον εξατμιστή. Ένα πλεονέκτημα αυτού του

συστήματος σε σχέση με την ξηρή εκτόνωση είναι ότι μπορεί να χρησιμοποιούνται μικρότεροι εξατμιστές για την ίδια ικανότητα ή οι ίδιοι με ψηλότερη θερμοκρασία εξάτμισης. Από την άλλη πλευρά, απαιτείται η πρόσθετη εγκατάσταση αντλίας και δοχείου διαχωρισμού. Έτσι, τα συστήματα αυτά προτιμώνται για μεγάλες βιομηχανικές εγκαταστάσεις με ψυκτικό ρευστό στις περισσότερες περιπτώσεις την αμμωνία. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η αρχή λειτουργίας συστήματος υπετροφοδότησης με αντλία και δοχείο διαχωρισμού.



Σχήμα 2: Αρχή λειτουργίας μηχανικής αντλίας θερμότητας με αντλία, υπετροφοδότηση και δοχείο διαχωρισμού [1].

Μια παραλλαγή της μηχανικής αντλίας θερμότητας είναι όταν ο συμπιεστής, αντί να κινείται με ηλεκτροκινητήρα, κινείται με μηχανή καύσης αερίου. Εδώ έχουμε τη δυνατότητα εκμετάλλευσης της απορριπτόμενης θερμότητας από τα καυσαέρια και το σύστημα ψύξης της μηχανής και να βελτιώσουμε το COP [1]. Στην αναφορά [2] αναφέρεται ότι οι μηχανικές αντλίες θερμότητας αμμωνίας μπορούν να πετύχουν θέρμανση νερού μέχρι 98°C ³, ενώ βουτανίου μέχρι 125°C ⁴. Στην ίδια αναφορά αναφέρεται ότι πρόσφατη ανάπτυξη σε συμπιεστές αμμωνίας επιτρέπει πιέσεις κατάθλιψης μέχρι 60 bar και θερμοκρασίες κατάθλιψης μέχρι 190°C .

Αναφορές:

1. <http://www.industrialheatpumps.nl/en/>
2. O. Bamigbetan, T. M. Eikevik, P. Neksa, M. Bantle "Extending Ammonia High Temperature Heat Pump using Butane in a Cascade System", 7th IIR Conference: Ammonia and CO₂ Refrigeration Technologies, Ohrid, 2017.

³ Το κρίσιμο σημείο της αμμωνίας είναι 132°C .

⁴ Το κρίσιμο σημείο του Βουτανίου είναι 152°C .