

ΕΞΑΤΜΙΣΤΕΣ ΞΗΡΗΣ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ

ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

Για δεδομένη ψυκτική ικανότητα (ήτοι ρυθμό απομάκρυνσης θερμότητας), ο εξατμιστής χαρακτηρίζεται από δυο παραμέτρους λειτουργίας, που επηρεάζουν την ενεργειακή του συμπεριφορά:

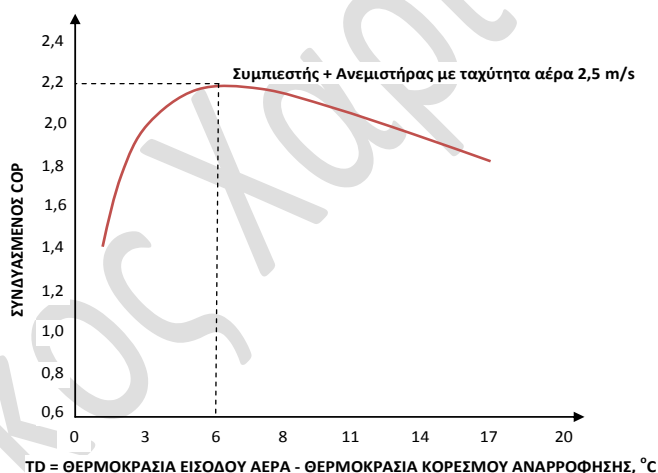
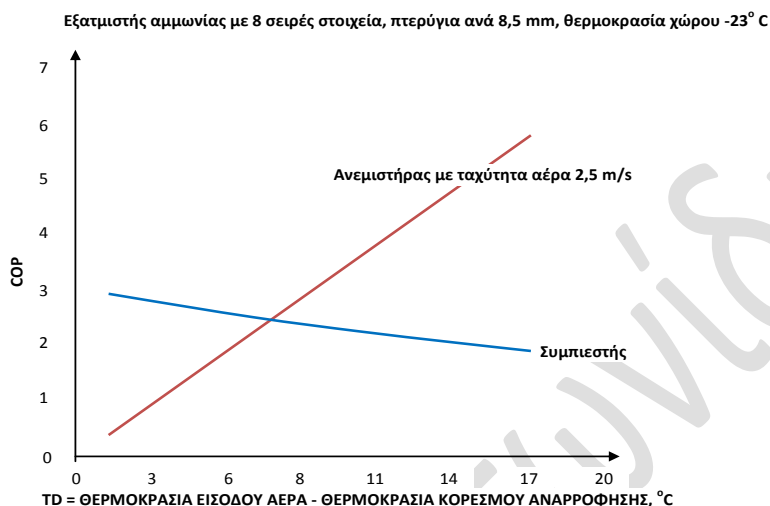
1. Τη διαφορά θερμοκρασίας TD μεταξύ αέρα στην είσοδο του εξατμιστή και ρευστού (θερμοκρασία κορεσμού εξάτμισης). Για παράδειγμα, αν η θερμοκρασία εξάτμισης για αμμωνία είναι -26°C και η θερμοκρασία του αέρα που εισέρχεται στον εξατμιστή (ουσιαστικά η θερμοκρασία του χώρου) -19°C , $TD = -19 - (-26) = 7\text{ K}$.
2. Την παροχή μάζας του αέρα που διέρχεται από τον εξατμιστή (με τη βοήθεια των ανεμιστήρων).

Η ενεργειακή συμπεριφορά του εξατμιστή συνοψίζεται ως εξής:

- ❖ Για δεδομένη θερμοκρασία χώρου και δεδομένη πίεση συμπύκνωσης, όσο μειώνεται το (αναγκαίο) TD τόσο ανεβαίνει και η απαιτούμενη θερμοκρασία εξάτμισης, ήτοι η πίεση αναρρόφησης του συμπιεστή, άρα μειώνεται ο λόγος συμπίεσης. Όπως γνωρίζουμε, η συνθήκη αυτή οδηγεί σε αύξηση του COP του συμπιεστή.
- ❖ Αν εξετάσουμε την ικανότητα του εξατμιστή από την πλευρά του αέρα, τούτη ισούται με $Q = m \cdot c \cdot \varepsilon \cdot TD$, όπου m η παροχή μάζας του αέρα που διέρχεται από τον εξατμιστή, c η ειδική θερμότητα του αέρα και ε ο συντελεστής απόδοσης του εναλλάκτη¹. Αν υποθεθεί ότι το ε παραμένει πρακτικά σταθερό, για να παραμένει σταθερή η ικανότητα όταν μειώνεται το TD (ήτοι αύξηση πίεσης αναρρόφησης εφόσον η θερμοκρασία του χώρου είναι σταθερή) πρέπει ταυτόχρονα να αυξάνεται σε ίση αναλογία η παροχή μάζας του αέρα m . Αυτή η αύξηση (είτε με αύξηση των στροφών είτε με προσθήκη ανεμιστήρα) προφανώς οδηγεί σε αύξηση της απορροφώμενης ισχύος από τους ανεμιστήρες, άρα σε μείωση του "τοπικού" COP του εξατμιστή. Από την άλλη πλευρά, η αύξηση της πίεσης αναρρόφησης σημαίνει αύξηση του COP του συμπιεστή. Αντίστροφα, όταν μειώνεται η παροχή του αέρα (αύξηση τοπικού COP εξατμιστή), για διατήρηση σταθερής ικανότητας πρέπει να αυξάνεται το TD (ήτοι μείωση πίεσης αναρρόφησης εφόσον η θερμοκρασία του χώρου είναι σταθερή, άρα μείωση COP συμπιεστή).

¹ Αν $T_{ΕΙΣ}$ είναι η θερμοκρασία εισόδου του αέρα (χώρου), $T_{ΕΞ}$ εξόδου, m η παροχή μάζας του αέρα, c η ειδική θερμότητα, Q η ικανότητα εναλλάκτη, $T_{ΚΟΡ}$ η θερμοκρασία του ρευστού, $TD = T_{ΕΙΣ} - T_{ΚΟΡ}$ και ε ο συντελεστής απόδοσης, ισχύουν: $Q = m \cdot c \cdot (T_{ΕΙΣ} - T_{ΕΞ})$ και $\varepsilon = (T_{ΕΙΣ} - T_{ΕΞ}) / TD \rightarrow T_{ΕΙΣ} - T_{ΕΞ} = \varepsilon \cdot TD$. Από αυτά συνάγεται ότι $Q = m \cdot c \cdot \varepsilon \cdot TD$.

Όσον αφορά το (συνολικό) COP του συστήματος, από τα παραπάνω συνάγεται ότι υπό καθεστώς απαίτησης σταθερής ικανότητας, υπάρχει μια αντίστροφη πορεία (trade off) του COP συμπιεστή και COP εξατμιστή στις μεταβολές του TD. Με δεδομένο εξατμιστή και δεδομένη παροχή μάζας αέρα (ή ισοδύναμα δεδομένη ταχύτητα εξόδου αέρα από τη μονάδα), υπάρχει μια συγκεκριμένη TD όπου μεγιστοποιείται ο COP του συστήματος.



Συσχετισμός TD εξατμιστή με COP συμπιεστή, COP ανεμιστήρα εξατμιστή και συνδυασμένου COP συστήματος.

Η πληροφορία που μας δίνει το παραπάνω σχήμα, για εξατμιστή αμμωνίας με 8 σειρές στοιχεία, πτερύγια ανά 8,5 mm, θερμοκρασία χώρου -23° C και ταχύτητα αέρα 2,5 m/s είναι ότι ο COP του συστήματος μεγιστοποιείται (2,2) όταν TD = 6 K. Κύρια σημεία είναι τα εξής:

- ❖ Ο συνδυασμένος COP επηρεάζεται ισχυρά από την ταχύτητα εξόδου του αέρα από τη μονάδα: Ο COP στα 2,5 m/s είναι περίπου 10% μεγαλύτερος από το COP στα 3,75 m/s και 20% μεγαλύτερος από το COP στα 5 m/s.
- ❖ Ο συνδυασμένος COP ceteris paribus αυξάνεται όσο αυξάνεται η απόσταση μεταξύ των πτερυγίων. Στοιχεία με απόσταση πτερυγίων 13 mm (2 FPI^2) έχουν μεγαλύτερο COP από στοιχεία με απόσταση πτερυγίων 8,6 mm (3 FPI), τα οποία έχουν μεγαλύτερο COP από τα αντίστοιχα με 6,5 mm (4 FPI).
- ❖ Η βέλτιστη τιμή TD αυξάνεται όσο αυξάνεται η ταχύτητα εξόδου του αέρα από τη μονάδα. Για παράδειγμα, στη μονάδα του παραπάνω σχήματος, για ταχύτητα 5 m/s η βέλτιστη τιμή TD είναι 9 K.
- ❖ Σε κάθε περίπτωση, ο συνδυασμένος COP μειώνεται γρήγορα όσο η τιμή TD πέφτει κάτω από 4 K.

Η επιλογή της βέλτιστης από ενεργειακή άποψη τιμής TD δεν σημαίνει κατ' ανάγκη και την οικονομικότερη λύση, διότι μπορεί να συνοδεύεται από ακριβότερη επένδυση. Η τελική επιλεγείσα τιμή TD εξαρτάται από την τιμή του ρεύματος και τις τιμές των συμπιεστών και των εξατμιστών (ελαχιστοποίηση συνολικού κόστους κύκλου ζωής).

Συμπερασματικά, προτείνεται επιλογή εξατμιστών με σχετικά χαμηλή ταχύτητα εξόδου αέρα (όχι μεγαλύτερη από 3 m/s) και σχετικά αραιά πτερύγια (πάνω από 8,5 mm κενό). Για ταχύτητες αέρα μεταξύ 2,5 και 3,75 m/s καλό είναι να επιλέγεται TD μεταξύ 6 και 8 K.

Η ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΗΣ ΤΙΜΗΣ TD ΣΤΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΕΚΤΟΝΩΤΙΚΗΣ ΒΑΛΒΙΔΑΣ

Στους εξατμιστές ξηρής εκτόνωσης η παροχή του ρευστού εντός του εξατμιστή ρυθμίζεται από την εκτονωτική βαλβίδα, σύμφωνα με ένα σήμα ελέγχου που αποστέλλεται από την έξοδο του εξατμιστή. Το σήμα αυτό είναι ο βαθμός υπερθέρμανσης του αερίου στην έξοδο. Η υπερθέρμανση αυτή θεωρητικά δεν μπορεί να ξεπεράσει τη τιμή TD. Στην πραγματικότητα είναι κατά 2 - 3 K μικρότερη από τη TD. Δεδομένου ότι η υπερθέρμανση είναι "αναγκαίο κακό", προφανώς το ζητούμενο είναι η ελαχιστοποίησή της, τηρουμένης της ασφάλειας έναντι υγρού στο συμπιεστή. Η απαιτούμενη υπερθέρμανση εξαρτάται από το τύπο της βαλβίδας και τη δυναμική του εξατμιστή. Υπάρχουν βασικά δυο τύποι εκτονωτικών βαλβίδων: Οι θερμοστατικές (Thermostatic Expansion Valve - TEV) και οι ηλεκτρονικές (Electronic Expansion Valve - EEV). Και οι δυο τύποι χρησιμοποιούν το βαθμό υπερθέρμανσης του αερίου στην αναρρόφηση σαν σήμα ελέγχου για τη ρύθμισή τους.

² Fins Per Inch

Η θερμοστατικές βαλβίδες υπολογίζουν την υπερθέρμανση μηχανικά μέσω ενός αισθητήρα θερμοκρασίας (βολβού) πλήρους ρευστού και μιας γραμμής επικοινωνίας (τριχοειδούς) πλήρους ρευστού, που επικοινωνεί το διαμέρισμα του βολβού με τον μηχανισμό της εκτονωτικής. Όσο αυξάνεται η θερμοκρασία του βολβού, τόσο αυξάνεται και η πίεση στην τριχοειδή γραμμή και τόσο αυξάνεται και η δύναμη ώθησης του μηχανισμού για άνοιγμα της βαλβίδας. Οι λεπτομέρειες εγκατάστασης και ρύθμισης δίνονται από τους κατασκευαστές. Το πλεονέκτημά τους είναι η απλότητα και το χαμηλό κόστος, ενώ το μειονέκτημα είναι ότι απαιτείται πρόσθετη (άχρηστη) υπερθέρμανση για να ξεπεραστεί η αντίσταση του τοιχώματος του βολβού και να "αισθανθεί" το ρευστό τη θερμοκρασία. Αυτή η αναγκαία προσαύξηση της υπερθέρμανσης είναι της τάξης των 3 K σε σχέση με την ηλεκτρονική και μειώνει την απόδοση.

Οι ηλεκτρονικές βαλβίδες βασίζονται στην τοποθέτηση δυο μετατροπέων θερμοκρασίας και πίεσης (temperature - pressure transducers) στην έξοδο του εξατμιστή, οι οποίοι στέλνουν ηλεκτρονικά σήματα σε controller. Ο τελευταίος "υπολογίζει" την υπερθέρμανση και ανάλογα ρυθμίζει το άνοιγμα - κλείσιμο της βαλβίδας. Η ίδια η βαλβίδα είναι εξελιγμένη, με βελτιωμένους μηχανισμούς κίνησης: Είτε είναι με κινητήρα (motorized) είτε του τύπου των παλμών (Pulse Width Modulating Valve). Το ποσοστό ανοίγματος της βαλβίδας ανταποκρίνεται με ψηλή ακρίβεια στις εντολές του controller, οι οποίες με τη σειρά τους είναι ψηλής ακρίβειας λόγω των ηλεκτρονικών αισθητήρων (transducers). Επιπρόσθετα, προφανώς δεν υφίσταται το μειονέκτημα της πρόσθετης υπερθέρμανσης που απαιτείται στη θερμοστατική βαλβίδα λόγω του εμποδίου του τοιχώματος του βολβού. Όλα αυτά οδηγούν σε μικρότερη απαιτούμενη υπερθέρμανση, που όπως αναφέραμε είναι της τάξης των 3 K μικρότερη από εκείνη που απαιτείται στη θερμοστατική βαλβίδα. Το μειονέκτημα της ηλεκτρονικής βαλβίδας είναι το ψηλότερο αρχικό κόστος.

Στον επόμενο βοηθητικό πίνακα δίνεται μια εκτίμηση του ελάχιστου TD και της ελάχιστης υπερθέρμανσης ανάλογα με το είδος της εκτονωτικής βαλβίδας.

ΤΥΠΟΣ ΕΚΤΟΝΩΤΙΚΗΣ	ΕΛΑΧΙΣΤΗ ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ TD °K	ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΗ ΡΥΘΜΙΣΗ ΥΠΕΡΘΕΡΜΑΝΣΗΣ °K
Θερμοστατική	9	6
Ηλεκτρονική	7	4,5

Προτεινόμενες ρυθμίσεις ελάχιστης TD και υπερθέρμανσης σε εξατμιστές ξηρής εκτόνωσης αμμωνίας.

ΠΗΓΕΣ

Νίκος Χαριτωνίδης, "Παραγωγή Ψύξης - Θέρμανσης και Αμμωνία", CRYOLOGIC ΕΕ, 2021.