

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΞΗΡΗΣ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ - ΜΙΑ ΓΕΝΙΚΗ ΑΝΑΣΚΟΠΗΣΗ

Είναι γεγονός ότι στην αμμωνία κυριαρχεί στο σύστημα της υπερπλήρωσης. Τούτο διότι οι φυσικές και θερμοδυναμικές της ιδιότητες "ταιριάζουν" καλύτερα με την υπερπλήρωση και το αποτέλεσμα είναι η αποδοτικότερη (και πιθανά απλούστερη) λειτουργία. Από την άλλη πλευρά, δεν μπορούμε να αγνοήσουμε το γεγονός ότι οι σύγχρονες τάσεις της νομοθεσίας τείνουν αυστηρές για συστήματα μεγάλης πλήρωσης αμμωνίας, λόγω της αυξημένης επικινδυνότητας αυτού του ρευστού. Τούτο βεβαίως δεν σημαίνει ότι ο χρήστης πρέπει να απορρίψει την υπερπλήρωση. Απλά πρέπει να τηρεί κάποια σχεδιαστικά και λειτουργικά μέτρα. Από την άλλη πλευρά έχουμε την ξηρή εκτόνωση, η οποία εξ ορισμού έχει πολύ χαμηλότερη πλήρωση. Υπάρχουν όμως κάποια εγγενή στην αμμωνία προβλήματα στην ξηρή εκτόνωση που παραδοσιακά την κατέστησαν ανεπιθύμητη, ειδικά σε εφαρμογές πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Τα τελευταία όμως χρόνια, η επιστημονική κοινότητα έκανε μεγάλες προσπάθειες να ξεπεράσει αυτά τα προβλήματα και να καταστήσει ελκυστική την λύση της ξηρής εκτόνωσης στη βιομηχανική ψύξη και σε οποιεσδήποτε χαμηλές θερμοκρασίες.

ΑΜΜΩΝΙΑ ΚΑΙ ΞΗΡΗ ΕΚΤΟΝΩΣΗ

Τα συστήματα αμμωνίας κατά παράδοση κάνουν χρήση της αρχής της υπερπλήρωσης, με τροφοδοσία των εξατμιστών από την κάτω πλευρά του στοιχείου. Η αμμωνία εισέρχεται στο στοιχείο από το χαμηλότερό του σημείο και κινείται ανοδικά "γεμίζοντας" το στοιχείο, μέχρι να εξέλθει (σαν μίγμα υγρού - αερίου) από το ανώτερο σημείο. Τα στοιχεία εναλλάκτη αυτού του συστήματος τυπικά σχεδιάζονται με μεγάλη διάμετρο, πράγμα που σημαίνει μεγάλο σχετικά εσωτερικό όγκο στοιχείου. Ο συνδυασμός της τροφοδοσίας από κάτω και της μεγάλης διαμέτρου καταλήγει σε μεγάλο ποσοστό πλήρωσης, της τάξης του 80% του εσωτερικού όγκου των στοιχείων.

Οι τελικοί χρήστες των συστημάτων αμμωνίας ενδιαφέρονται για όσο γίνεται μικρότερες ποσότητες πλήρωσης αμμωνίας για τους εξής λόγους:

- ❖ Η αμμωνία είναι επικίνδυνο ρευστό (κλάση B2 κατά ASHRAE) και δημιουργεί ανησυχία όταν κυκλοφορεί σε χώρους όπου υπάρχουν άνθρωποι και προϊόντα.
- ❖ Η τήρηση των κανονισμών ασφάλειας στα κυκλώματα αμμωνίας είναι δαπανηροί, με ταχέως ανερχόμενο κόστος όσο μεγαλώνει η ποσότητα πλήρωσης.
- ❖ Σε πολλές χώρες υπάρχουν διατάξεις που επιβάλλουν τυπικές διαδικασίες, όπως μελέτη επικινδυνότητας από ένα σημείο πλήρωσης και πάνω (π.χ. 4500 kg στις ΗΠΑ και 450 kg ειδικά στη Καλιφόρνια).

- ❖ Όσο αυξάνει η ποσότητα πλήρωσης αυξάνουν και τα ασφάλιστρα έναντι κινδύνων διαρροής.

Η προφανής μέθοδος μείωσης της ποσότητας πλήρωσης είναι η υιοθέτηση της (παραδοσιακής) μεθόδου της ξηρής εκτόνωσης αντί της υπερπλήρωσης. Έτσι, η ποσότητα πλήρωσης μπορεί να μειωθεί 30 - 50 φορές. Για παράδειγμα, η ποσότητα πλήρωσης σε ένα τυπικό και καλοσχεδιασμένο σύστημα υπερπλήρωσης είναι 2,8 kg/KWR (kilowatt of refrigeration). Με εφαρμογή ξηρής εκτόνωσης (περιλαμβανομένων βεβαίως μιας σειράς περίπλοκων μέτρων βελτίωσης) η ποσότητα μπορεί να μειωθεί μέχρι 0,06 kg/KW. Είναι όμως τόσο απλή η υποκατάσταση της υπερπλήρωσης από την ξηρή εκτόνωση στην αμμωνία; Η απάντηση είναι όχι, ειδικά στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες. Παραδοσιακά η ξηρή εκτόνωση στην αμμωνία χρησιμοποιείται με κάποια επιτυχία μόνο για σχετικά ψηλές θερμοκρασίες εξάτμισης, μεγαλύτερες των -7°C . Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες προβάλλουν έντονα κάποια προβλήματα που υπονομεύουν την απόδοση της ξηρής εκτόνωσης της αμμωνίας, που τυπικά είναι:

- ❖ Η μορφολογία του μίγματος υγρού - αερίου εντός του εξατμιστή.
- ❖ Η μορφολογία διανομής του εκτονωμένου μίγματος με τους παραδοσιακούς διανομείς.
- ❖ Η επίδραση της παρουσίας του νερού στη ξηρή εκτόνωση αμμωνίας.
- ❖ Η επίδραση της παρουσίας του λαδιού στη ξηρή εκτόνωση αμμωνίας.
- ❖ Η ευαισθησία επιστροφής υγρού στην αναρρόφηση του συμπιεστή όταν το σύστημα υφίσταται απότομες αποκλίσεις από την κατάσταση ισορροπίας.
- ❖ Ο σχηματισμός flash gas (παρασιτικού αερίου) στη γραμμή τροφοδοσίας υγρού ψηλής πίεσης (αναγκαιότητα υπόψυξης).
- ❖ Η μεγαλύτερη πιθανότητα δυσλειτουργίας της εκτονωτικής βαλβίδας σε σχέση με τα συνθετικά ρευστά, λόγω της πολύ μικρότερης σχετικά με άλλα ρευστά απαιτούμενης παροχής μάζας της αμμωνίας που προκύπτει από το μεγάλο της ψυκτικό αποτέλεσμα (μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης).

Στα επόμενα εξετάζουμε αναλυτικά αυτές τις ιδιαιτερότητες της ξηρής εκτόνωσης στην αμμωνία και τους τρόπους αντιμετώπισής τους για μια επιτυχή ξηρή εκτόνωση.

ΜΟΡΦΟΛΟΓΙΑ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΥΓΡΟΥ - ΑΕΡΙΟΥ ΕΝΤΟΣ ΤΟΥ ΕΞΑΤΜΙΣΤΗ

Σε έναν εναλλάκτη ξηρής εκτόνωσης πάντα η εκτόνωση γίνεται στην είσοδό του και προσάγεται μίγμα υγρού - αερίου. Η βέλτιστη ροή είναι η δακτυλιοειδής (annular), όπου ένα στρώμα υγρού καλύπτει τα εσωτερικά τοιχώματα του εναλλάκτη με το αέριο στον "πυρήνα". Για να επιτευχθεί αυτή η μορφολογία, απαιτούνται δυο προϋποθέσεις:

- ❖ Το υγρό να καταλαμβάνει ικανό ποσοστό της διατομής σε σχέση με το αέριο (ογκομετρική σύσταση μίγματος). Τούτο συμβαίνει όταν το υγρό έχει μικρή πυκνότητα (μεγάλο ειδικό όγκο) σχετικά με το αέριο.
- ❖ Το αέριο μέρος του μίγματος να διαθέτει ικανή (κινητική) ενέργεια, ώστε να "διασκορπίζει" το υγρό προς την περιφέρεια. Τούτο συμβαίνει πάλι όταν το αέριο είναι σχετικά "βαρύ", ήτοι έχει μεγάλη πυκνότητα σε σχέση με το υγρό.

Από τον ως άνω συλλογισμό, καταλήγουμε ότι για να υπάρχει αποτελεσματικό "βρέξιμο" της εσωτερικής επιφάνειας του εξατμιστή (δακτυλιοειδής ροή), απαραίτητη προϋπόθεση είναι το ρευστό να έχει σχετικά μεγάλο λόγο πυκνότητας αερίου προς πυκνότητα υγρού. Ατυχώς, η αμμωνία εδώ υστερεί και στα δυο σημεία σε σχέση με τα λοιπά αέρια, όπως φαίνεται στον επόμενο πίνακα.

ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑ ΚΟΡΕΣΜΟΥ -25° C				
ΡΕΥΣΤΟ	ΠΥΚΝΟΤΗΤΕΣ		ΛΟΓΟΣ ΠΥΚΝ/ΤΩΝ	ΤΙΜΗ ΛΟΓΟΥ ΜΕ ΒΑΣΗ ΤΟ CO ₂ (100%)
	ΑΕΡΙΟΥ	ΥΓΡΟΥ		
	(α)	(β)	(α)/(β)	
R-134a	5,51	1373,40	0,0040	9,6%
R-404a	12,80	1238,60	0,0103	24,8%
NH ₃ (R-717)	1,30	671,53	0,0019	4,7%
CO ₂ (R-744)	43,88	1054,20	0,0416	100,0%

Συγκριτικός πίνακας τιμών λόγου "ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΑΕΡΙΟΥ / ΠΥΚΝΟΤΗΤΑ ΥΓΡΟΥ" για διάφορα ψυκτικά ρευστά.

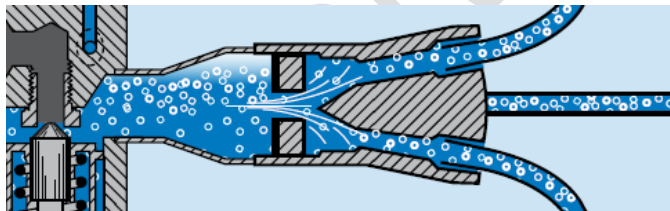
Το χαρακτηριστικό του μικρού λόγου των πυκνοτήτων αερίου / υγρού στην αμμωνία καταλήγει στην κατάληψη ενός μικρού μόνο ποσοστού της διατομής από υγρό κάτω κάτω και μια μορφολογία στρωματοποιημένης - "τεμπέλικης" ροής, όπου το μεγαλύτερο ποσοστό της εσωτερικής επιφάνειας παραμένει ξηρό. Το αποτέλεσμα βεβαίως είναι ο χαμηλός συνολικός συντελεστής θερμικής μεταφοράς. Οι διορθωτικές ενέργειες που έχουν δοκιμαστεί και προτείνονται για την επαναφορά αποτελεσματικής ξηρής εκτόνωσης στην αμμωνία, ακόμα και σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, είναι οι εξής:

- ❖ Διαμόρφωση της εσωτερικής επιφάνειας με δικτυωτές αυλακώσεις (wick structure). Η υγρή αμμωνία "σκαρφαλώνει" στις αυλακώσεις με το μηχανισμό της τριχοειδούς ανύψωσης και διαβρέχει το σύνολο της εσωτερικής επιφάνειας. Ταυτόχρονα αυξάνεται και το εσωτερικό εμβαδόν της διατομής.
- ❖ Επιλογή πιο αγώγιμου μετάλλου για την κατασκευή του εξατμιστή σε σχέση με το γαλβανισμένο χάλυβα. Αφού ο χαλκός αποκλείεται στην αμμωνία (προσβάλλεται), απομένει το αλουμίνιο. Η θερμική αγωγιμότητα του αλουμινίου είναι πάνω από

τετραπλάσια σε σχέση με τον γαλβανισμένο χάλυβα και 12,6 φορές πάνω από τον ανοξείδωτο.

ΔΙΑΝΟΜΗ ΕΚΤΟΝΩΜΕΝΟΥ ΜΙΓΜΑΤΟΣ ΜΕ ΠΑΡΑΔΟΣΙΑΚΟΥΣ ΔΙΑΝΟΜΕΙΣ

Το ρευστό εξέρχεται από την εκτονωτική βαλβίδα στη μορφή του μίγματος, με σχετικά μικρή ποιότητα ατμού¹. Ένα πρόβλημα που πρέπει να αντιμετωπίζεται, είναι η ισοκατανομή του στα πολλαπλά στοιχεία του εξατμιστή. Τούτο παραδοσιακά γίνεται με την τοποθέτηση ενός διανομέα (distributor) μετά την εκτονωτική. Ο στόχος αυτού του συστατικού είναι πρώτα να καταστήσει το μίγμα ομοιόμορφο και κατόπιν να το ισομοιράσει μέσα από ειδικά σχεδιασμένες "ατομικές" διόδους στο κάθε στοιχείο. Η ομοιομορφία του μίγματος επιτυγχάνεται με απότομη αύξηση της ταχύτητάς του (ανάδευση υγρού - αερίου), μέσω της διόδου του από μικρή οπή (orifice). Στο σημείο αυτό έχουμε πτώση της πίεσης, της τάξης των 3 bar. Το ομοιόμορφο μίγμα που διαθέτει και ικανή κινητική ενέργεια διαμοιράζεται στα στοιχεία με διευκόλυνση που προκύπτει με τη διαμόρφωση "χοανοειδών" σχηματισμών στην είσοδό τους. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η αρχή λειτουργίας του διανομέα.



Αρχή λειτουργίας διανομής εκτονωμένου μίγματος στα στοιχεία εξατμιστή (Parker Hannifin Corporation).

Η πτώση της πίεσης που προκαλείται εντός του διανομέα δεν μειώνει την ικανότητα του συστήματος, αφού γίνεται σε σημείο που ούτως ή άλλως πρέπει να γίνει μείωση της πίεσης του ρευστού μέχρι το επιθυμητό επίπεδο λειτουργίας. Μολαταύτα, σε καθεστώς δεδομένης πίεσης συμπίκνωσης (αρχικής πίεσης ρευστού τροφοδοσίας), απομειώνει το διαθέσιμο απόθεμα πτώσης πίεσης κατά τη διέλευση από την κύρια εκτονωτική βαλβίδα², που όπως γνωρίζουμε απαιτεί ένα ελάχιστο πλαφόν πτώσης πίεσης

¹ Σαν ποιότητα μίγματος ορίζεται ο κατά μάζα λόγος αερίου προς υγρό. Έτσι ένα κορεσμένο αέριο έχει ποιότητα 100% ενώ ένα κορεσμένο υγρό 0%.

² Το διαθέσιμο αυτό απόθεμα είναι η διαφορά των πιέσεων συμπίκνωσης μείον εξάτμισης, μείον την πτώση πίεσης κατά τη διέλευση από το διανομέα. Συνεπώς όσο αυξάνεται η πτώση πίεσης στο διανομέα, τόσο αυξάνεται η επιτρεπόμενη διαφορά πιέσεων συμπίκνωσης μείον εξάτμισης. Με σχετικά χαμηλή πίεση συμπίκνωσης και / ή ψηλή πίεση εξάτμισης η βαλβίδα δυσλειτουργεί.

(διαφορικής) για να λειτουργεί σωστά. Τούτο καταλήγει στο ότι είναι πιθανή η απαίτηση της "τεχνητής" ανόδου της πίεσης συμπύκνωσης, πράγμα που υπονομεύει την ενεργειακή απόδοση του συστήματος.

Η πολύ μεγάλη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης της αμμωνίας καταλήγει σε μικρή παροχή μάζας ρευστού και συνεπώς μικρή διάμετρο οπής orifice, συχνά μόλις 1,6 mm. Τούτο όμως μπορεί να δημιουργεί προβλήματα, όπως βούλωμα της οπής από ακαθαρσίες και στραγγαλισμό της ροής του θερμού αερίου κατά την απόψυξη. Λοιπά μειονεκτήματα είναι η μεγάλη ευαισθησία στην υπόψυξη του υγρού, το μικρό λειτουργικό εύρος (50-125% της ονομαστικής ικανότητας) και η δυνατότητα εξυπηρέτησης κατά μέγιστο 15 παράλληλων στοιχείων.

Έχει προταθεί λύση, όπου ο διανομέας έχει τη μορφολογία δεξαμενής (tank distributor), με χαρακτηριστικά υποτυπώδους πτώσης πίεσης (0,14 - 0,28 bar), ουδεμία επιρροή από την υπόψυξη του υγρού, απαλοιφή κινδύνου βουλώματος με μηχανισμό διαχωρισμού και απομάκρυνσης λαδιού και ακαθαρσιών, μεγάλο λειτουργικό εύρος (0 - 700% της ονομαστικής ικανότητας), δυνατότητα εξυπηρέτησης μέχρι 48 παράλληλων στοιχείων και μηδενική παρεμπόδιση του θερμού αερίου.

ΠΗΓΗ

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