

Η ΛΥΣΗ: ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΨΥΞΗΣ ΜΕ ΦΥΣΙΚΑ ΑΕΡΙΑ ΚΑΙ ΛΙΓΗ ΑΜΜΩΝΙΑ

2-3-19

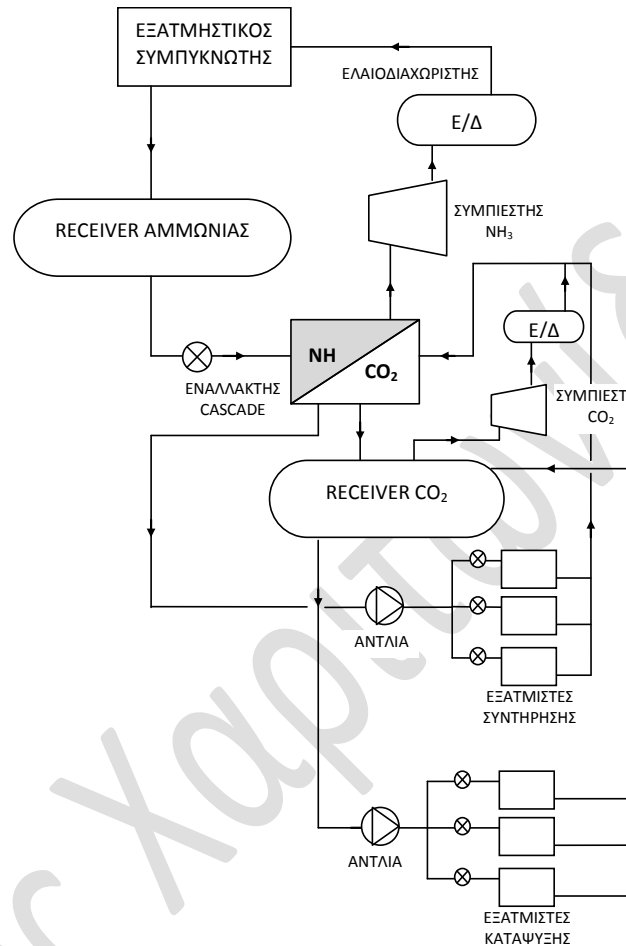
Σύμφωνα με τον κανονισμό 517/2014 ΕΕ τα συνθετικά ψυκτικά ρευστά (που στη κυριολεξία κατακλύζουν την παραγωγή ψύξης) ουσιαστικά καταργούνται από 1/1/2020 ή σε κάποιες περιπτώσεις από 1/1/2022 [1]. Η βιομηχανική και εμπορική ψύξη αντιμετωπίζει αυτή τη στιγμή μια πρόκληση, τι πρέπει να κάνει ο επενδυτής μιας νέας μονάδας. Η απάντηση είναι επιλογή φυσικών αερίων, που ουδένα υφίστανται νομοθετικό περιορισμό. Το παρόν άρθρο παρουσιάζει μια λύση με φυσικά αέρια. Το αποδοτικότερο φυσικό αέριο είναι η αμμωνία, από την άλλη πλευρά όμως υπάρχει η φοβία της ψηλής επικινδυνότητας. Στο άρθρο αυτό παρουσιάζεται μια λύση όπου συνεργάζονται τα δυο δημοφιλέστερα φυσικά αέρια, η αμμωνία (NH_3) και το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), σε τρόπο ώστε να ελαχιστοποιείται η μάζα της αμμωνίας και να "χαλαρώνει" ο φόβος. Πρόκειται για το κλιμακοειδές σύστημα αμμωνίας - διοξειδίου (cascade).

Το σύστημα cascade προβλέπει ένα αυτόνομο κύκλωμα αμμωνίας (συνήθως ξηρής εκτόνωσης) περιορισμένο στο μηχανοστάσιο και ένα αυτόνομο κύκλωμα CO_2 (με συμπιεστή CO_2) το οποίο "διατρέχει" τους χώρους παραγωγής (ψυκτικούς θαλάμους, καταψύκτες κλπ). Τα δυο κυκλώματα "συναντώνται" στον εναλλάκτη cascade, χωρίς βεβαίως ανάμιξη των δυο ρευστών. Ο εναλλάκτης αυτός έχει διπλό ρόλο: (α) συμπυκνωτής για το CO_2 και (β) εξατμιστής για την αμμωνία. Έτσι για παράδειγμα, σε μια εφαρμογή πολύ χαμηλής θερμοκρασίας (π.χ. -45°C) και με ένα τυπικό $\Delta T = 5\text{K}$, η εξάτμιση του CO_2 γίνεται στους -50°C , η συμπύκνωση του CO_2 στους -10°C , η εξάτμιση της αμμωνίας στους -15°C και η συμπύκνωση της αμμωνίας σε μια τυπική θερμοκρασία 35°C . Παρ' όλες τις χαμηλές θερμοκρασίες, οι πιέσεις του CO_2 εξακολουθούν να είναι ψηλές για τα συμβατικά δεδομένα: 6,8 bar στους -50°C και 26,5 bar στους -10°C . Μολαταύτα, συστατικά σε αυτά τα επίπεδα πιέσεων είναι ευρέως διαδομένα, ακόμα και από τη "γκάμα" του R-410a (αντέχουν μέχρι 40 bar). Το πιο κρίσιμο συστατικό ενός τέτοιου συστήματος είναι ο εναλλάκτης cascade, ο οποίος πρέπει να είναι ενεργειακά αποδοτικός και ταυτόχρονα στιβαρός, ώστε να αποκλείεται η διαρροή του CO_2 στο κύκλωμα της αμμωνίας (το CO_2 έχει πάντα μεγαλύτερη πίεση από την αμμωνία)¹.

Μια τυπική εφαρμογή "διευρυμένου" συστήματος cascade, που συνδυάζει ζώνες συντήρησης και κατάψυξης και χρησιμοποιεί συμπιεστή CO_2 για τις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες και σύστημα άντλησης CO_2 για τις μεσαίες θερμοκρασίες φαίνεται στο επόμενο σχήμα [2]. Οι εξατμιστές συντήρησης τροφοδοτούνται με άντληση κατευθείαν από τον εναλλάκτη cascade χωρίς συμπιεστή (η θερμοκρασία εκεί του CO_2 είναι βολική για συντηρήσεις), ενώ οι

¹ Μια τέτοια διαρροή θα σχηματίσει στερεά άλατα ανθρακικού αμμωνίου στο κύκλωμα της αμμωνίας, τα οποία "μπλοκάρουν" την κυκλοφορία.

εξατμιστές κατάψυξης τροφοδοτούνται με υπερπλήρωση από το receiver χαμηλής πίεσης CO₂, του οποίου η πίεση διατηρείται χαμηλά με συμπιεστή CO₂, ο οποίος καταθλίβει στον εναλλάκτη cascade.



Κεντρικό συνδυασμένο σύστημα cascade με συμπιεστή CO₂ στις καταψύξεις και δευτερεύον ρευστό CO₂ στις συντηρήσεις.

Ακολουθούν μερικές χρήσιμες παρατηρήσεις:

- ❖ Στους εξατμιστές συντήρησης αντλείται ένα ποσοστό από το υγροποιημένο CO₂ κατευθείαν από τον εναλλάκτη cascade. Ο λόγος ανακυκλοφορίας δεν χρειάζεται να είναι τόσο μεγάλος, όσο στην αμμωνία. Αρκεί λίγο μεγαλύτερος του 1. Ο λόγος είναι ότι στο CO₂ το αέριο είναι "βαρύ" και μπορεί εύκολα να "σκορπίσει" το υγρό στην εσωτερική επιφάνεια του εναλλάκτη, σε αντίθεση με το "αδύνατο" αέριο της αμμωνίας. Έτσι μειώνεται το μέγεθος του εξατμιστή και της αντλίας.

- ❖ Οι εξατμιστές κατάψυξης λειτουργούν και αυτοί με χαμηλό λόγο ανακυκλοφορίας. Τροφοδοτούνται όμως από το receiver CO₂, το οποίο διατηρείται στην απαιτούμενη πίεση που απαιτείται για τις θερμοκρασίες των καταψύξεων με τον συμπιεστή CO₂.
- ❖ Στην είσοδο κάθε εξατμιστή υπάρχει ηλεκτρονική βαλβίδα ρύθμισης της πίεσης στο επιθυμητό επίπεδο (το υγρό τροφοδοσίας είναι υπόψυκτο λόγω προσθήκης πίεσης από την αντλία).
- ❖ Το μίγμα υγρού - αερίου της αναρρόφησης των καταψύξεων οδηγείται στο receiver CO₂, απ' όπου αναρροφάει ο συμπιεστής CO₂ και καταθλίβει στον εναλλάκτη cascade. Η κατάθλιψη αυτή συγκλίνει με την αναρρόφηση των εξατμιστών συντήρησης συστήματος άντλησης (ίδιες πιέσεις).
- ❖ Οι πολύ καλές ιδιότητες θερμικής μεταφοράς του CO₂, ειδικά στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, οι μικρές πτώσεις πίεσης σε όρους θερμοκρασίας και ο μεγάλος λόγος πυκνοτήτων αερίου προς υγρό (σχετικά πολύ βαρύ αέριο) οδηγούν σε μικρότερα συστατικά (σωλήνες, δοχεία, συμπιεστές, αντλίες), μικρότερους λόγους κυκλοφορίας και μικρότερους εναλλάκτες cascade.
- ❖ Αν γίνει επιλογή μεθόδου απόψυξης με θερμό αέριο, απαιτείται πρόσθετος για αυτό το σκοπό συμπιεστής, ο οποίος προσφέρει αέριο με δυνατότητα συμπύκνωσης σε τουλάχιστον 10° C, ήτοι πίεση της τάξης των 45 bar. Η πίεση σχεδιασμού αυτού του τμήματος είναι τουλάχιστον 52 bar. Η μέθοδος αυτή όμως επιβαρύνει και το κύκλωμα (ποσότητα πλήρωσης) αμμωνίας, αφού το φορτίο της απόψυξης τελικά καταλήγει στον εναλλάκτη cascade.
- ❖ Στους συμπιεστές CO₂ συνηθίζονται δυο τύποι λαδιού, το PAO (Polyalphaolefin) και το POE (Polyolester). Στο τελευταίο, το μοναδικό ουσιαστικό μειονέκτημα είναι η ψηλή προσέλκυση του νερού [2].

Η θεωρητική ποσότητα πλήρωσης αμμωνίας ενός τέτοιου συστήματος μπορεί να φτάσει μέχρι το 10% ενός τυπικού συστήματος υπερπλήρωσης αμμωνίας. Σύμφωνα με [2], μια συντηρητική εκτίμηση είναι 0,77 kg/KW (ενώ το τυπικό σύστημα υπερπλήρωσης αμμωνίας έχει πλήρωση περίπου 2,9 kg/KW), με δυνατότητα μείωσης μέχρι 0,51 kg/KW. Στην ίδια αναφορά, προτείνεται προϋπολογισμός συνολικού συντελεστή ενεργειακής απόδοσης (COP) 1,41 (ίδιος με του τυπικού συστήματος υπερπλήρωσης αμμωνίας). Αναφέρεται όμως, ότι σε εφαρμογές πολύ χαμηλών θερμοκρασιών ο COP του cascade βελτιώνεται. Ο λόγος είναι ότι στις εφαρμογές αυτές αξιοποιούνται κατά μέγιστο τα χαρακτηριστικά των δυο ρευστών: Οι συμπιεστές αμμωνίας είναι πιο αποδοτικοί σε ψηλές θερμοκρασίες και οι συμπιεστές CO₂ σε χαμηλές.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Κανονισμός (ΕΕ) αριθ. 517/2014 ΤΟΥ Ευρωπαϊκού Κοινοβουλίου και του Συμβουλίου της 16ης Απριλίου 2014 για τα φθοριούχα αέρια του θερμοκηπίου και για την κατάργηση του κανονισμού (ΕΚ) αριθ. 842/2006.
2. White Paper "Low Ammonia Charge Refrigeration Systems for Cold Storage", Terry L. Chapp, for the International Association of Refrigerated Warehouses and the International Association for Cold Storage Construction, 2014.