

14-10-23

ΕΝΑΛΛΑΚΤΙΚΕΣ ΚΑΙ ΒΙΩΣΙΜΕΣ ΛΥΣΕΙΣ ΑΝΤΙ ΤΗΣ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗΣ ΜΕ ΑΜΜΩΝΙΑ

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

Κάθε ψυκτικό κύκλωμα έχει τυπικά τρία ευαίσθητα σημεία που υπονομεύουν την απόδοσή του και αποτελούν «πονοκέφαλο» για τον μελετητή. Τούτα είναι (α) το παρασιτικό αέριο (flash gas) που σχηματίζεται στην εκτονωτική βαλβίδα και μειώνει την ποσότητα του «χρήσιμου» υγρού που εισέρχεται στον εξατμιστή, (β) ο συντελεστής θερμικής μεταφοράς του εναλλάκτη εξατμισμού, που «φτωχαίνει» όσο περισσότερο αέριο περιέχει (όπως για παράδειγμα στην περιοχή της υποχρεωτικής υπερθέρμανσης στη ξηρή εκτόνωση) και (γ) η μείωση της ικανότητας του συμπιεστή από τις πτώσεις πίεσης στη γραμμή αναρρόφησης και την υπερθέρμανσή της από το περιβάλλον. Όλα αυτά τα προβλήματα εξομαλύνονται με τη μέθοδο της υπερπλήρωσης. Μολαταύτα, οι ενδιαφερόμενοι συχνά διστάζουν να το εφαρμόσουν, είτε λόγω «φόβου» για τους κινδύνους διαρροής σε χώρους παραγωγής, είτε από νομοθετικούς περιορισμούς, η ικανοποίηση των οποίων ανεβάζει σημαντικά το κόστος. Άλλο ένα πρόβλημα είναι η περιορισμένη τεχνογνωσία γύρω από την αμμωνία, που οφείλεται στην (παρελθούσα) επικράτηση των αλογονανθράκων.

Μια παραδοσιακή προσέγγιση για τον περιορισμό της ποσότητας αμμωνίας είναι η χρήση δευτερεύοντος ρευστού μονής φάσης, δηλαδή γλυκόλης, η οποία κυκλοφορεί στους χώρους παραγωγής και ψύχεται σε πρωτεύον κύκλωμα αμμωνίας που περιορίζεται μόνο στο μηχανοστάσιο. Η γλυκόλη όμως δεν μπορεί να εξυπηρετήσει πολύ χαμηλές θερμοκρασίες¹. Μια άλλη προσπάθεια είναι οι μονάδες αμμωνίας πολύ χαμηλής πλήρωσης. Το ερώτημα ή το δίλημμα που προκύπτει στον υποψήφιο επενδυτή από αυτούς τους προβληματισμούς, είναι να επιλέξει το εγγυημένα αποδοτικό (και παραδοσιακό) σύστημα υπερπλήρωσης με αμμωνία ή να καταφύγει σε άλλες λύσεις; Η απάντηση, κατά την άποψη του γράφοντος, είναι ότι η επιλογή, τουλάχιστον στα συμβατικά συστήματα, μπορεί να είναι στην πλευρά της «εγγυημένης» απόδοσης (υπερπλήρωση αμμωνίας), εφόσον υπάρχει εγγυημένη τεχνογνωσία σχεδιασμού, κατασκευής και λειτουργίας που ικανοποιεί τη νομοθεσία και προσφέρει ασφάλεια. Υπάρχουν όμως εναλλακτικές λύσεις για εκείνους που «φοβούνται»; Η απάντηση είναι ναι: Μια «έξυπνη» λύση είναι η συνεργασία της αμμωνίας με το άλλο, ευρέως πλέον διαδομένο φυσικό αέριο, το διοξείδιο

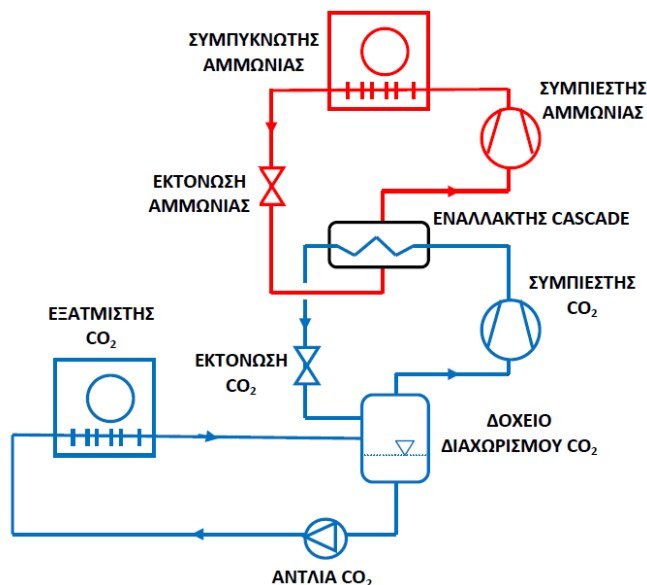
¹ Τούτο οφείλεται στην αύξηση του ιξώδους του διαλύματος της γλυκόλης - νερού, λόγω αύξησης της συγκέντρωσης της γλυκόλης για να μην παγώνει το διάλυμα στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, ενώ ταυτόχρονα αυξάνεται η πυκνότητα και όσο πυκνώνει το διάλυμα μειώνεται και η ειδική του θερμότητα (ανάγκη αύξησης της παροχής). Όλα αυτά προκαλούν μεγάλη πτώση πίεσης και αύξηση του κόστους άντλησης.

του άνθρακα (CO_2). Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή μερικών λύσεων που εκμεταλλεύονται τα ευεργετήματα της υπερπλήρωσης, με αποκλειστική χρήση των δυο φυσικών αερίων.

ΑΠΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ CASCADE

Η λογική στο σύστημα cascade είναι η ύπαρξη δυο *ανεξάρτητων* ψυκτικών κυκλωμάτων, ενός χαμηλού (όπου υπάρχει και ο εξατμιστής παραγωγής ωφέλιμης ψύξης) και ενός ψηλού (όπου μπορεί να μην παράγεται άμεσα ωφέλιμη ψύξη). Ο προορισμός του ψηλού κυκλώματος είναι να προσφέρει το «ψυχρό» περιβάλλον για τη συμπύκνωση του CO_2 . Τούτο γίνεται στον εναλλάκτη cascade, στον οποίο γίνεται σύζευξη των δυο κυκλωμάτων, χωρίς βεβαίως τούτα να αναμιγνύονται. Τούτος ενεργεί σαν εξατμιστής για το ψηλό κύκλωμα και σαν συμπυκνωτής για το χαμηλό. Είναι λογικό, το CO_2 να είναι «βολικό» για το χαμηλό κύκλωμα, δεδομένου ότι στις χαμηλές θερμοκρασίες ξεπερνάται το ενδογενές του μειονέκτημα του χαμηλού κρίσιμου σημείου (31°C), «μετριάζονται» οι πιέσεις του (οπότε είναι εφικτή η χρήση συμβατικών υλικών) και αναδύονται τα σημαντικά του πλεονεκτήματα σε απαιτήσεις πολύ χαμηλών θερμοκρασιών (έχει δυνατότητα εξάτμισης μέχρι -55°C). Η αμμωνία με τις εξαιρετικές της θερμοδυναμικές ιδιότητες είναι το πλέον κατάλληλο αέριο για το ψηλό κύκλωμα, ειδικά στη βιομηχανική ψύξη. Αν μάλιστα αναλογιστούμε, ότι το ψηλό κύκλωμα είναι «compact» και περιορίζεται μόνο στο μηχανοστάσιο, απαλλασσόμεθα και από το άγχος της επικινδυνότητας (η αμμωνία κατατάσσεται σε επικινδυνότητα B2L κατά ASHRAE), αφού η παρουσία της περιορίζεται στο μηχανοστάσιο και σε ένα σχετικά μικρό κύκλωμα, συχνά «άριστης» βιομηχανοποιημένης κατασκευής. Φυσικά, το σύστημα cascade είναι πιο περίπλοκο στη κατασκευή και ως εκ τούτου ακριβότερο. Τούτο όμως μετριάζεται σημαντικά λόγω των εν γένει μικρότερων μεγεθών συστατικών που απαιτούνται για το CO_2 (δίκτυα - συμπιεστές). Σε μεγάλες εγκαταστάσεις χαμηλών θερμοκρασιών είναι μάλιστα πιθανό να προκύψει οικονομικότερη κατασκευή σε σχέση π.χ. με διβάθμιο αμμωνίας. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η εγκατάσταση και όσο χαμηλότερες οι θερμοκρασίες, τόσο «κερδίζει πόντους» το cascade CO_2 .

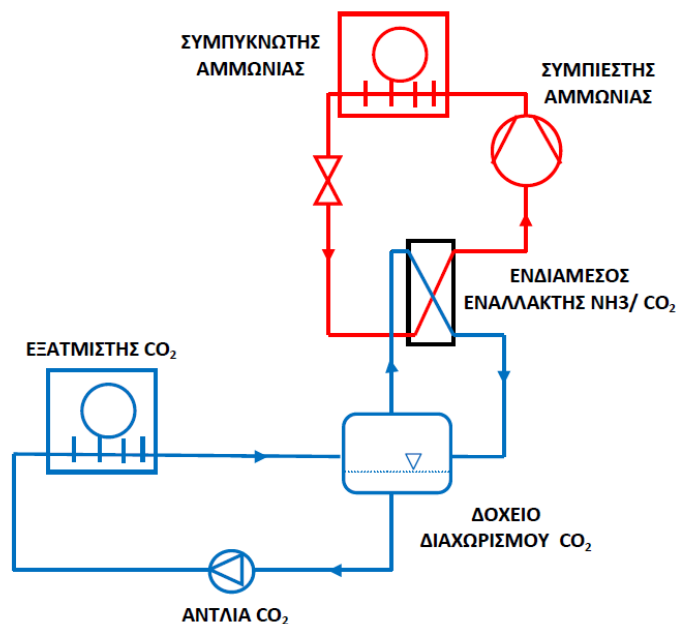
Στη ζώνη της εξάτμισης CO_2 και στις μεγάλες (βιομηχανικές) εγκαταστάσεις, είναι προτιμότερο να γίνεται χρήση της μεθόδου *υπερπλήρωσης* με αντλία, αφού με το σύστημα αυτό μεγιστοποιείται η απόδοση του εναλλάκτη (συντελεστής συνολικής θερμικής μεταφοράς U). Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένα σχηματικό διάγραμμα βιομηχανικού συστήματος cascade με υπετροφοδοτούμενο εναλλάκτη.



Σχήμα 1: Σχηματικό διάγραμμα απλού συστήματος cascade με υπετροφοδοτούμενο εναλλάκτη.

ΑΠΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΜΕ ΕΜΜΕΣΗ ΨΥΞΗ CO₂

Το CO₂ αποτελεί ελκυστική λύση σαν ρευστό έμμεσης ψύξης, λόγω των καλύτερων χαρακτηριστικών θερμικής μεταφοράς και του χαμηλού κόστους άντλησης (μικρό ιξώδες). Στα συστήματα αυτά δεν υπάρχει συμπιεστής στο κύκλωμα CO₂, παρά μόνο αντλία. Το CO₂ συμπυκνώνεται στην ίδια πίεση με αυτήν που εξατμίζεται: Ο εναλλάκτης τροφοδοτείται με 100% υπόψυκτο υγρό, η παραγωγή ψύξης γίνεται με εξατμισμό μέρους του υγρού (ισοβαρική και ισόθερμη μεταβολή) και στην έξοδο του εναλλάκτη υπάρχει μίγμα υγρού - αερίου, το οποίο προσάγεται (μέσω του δοχείου διαχωρισμού με θερμοσιφωνική δράση) στον ενδιάμεσο εναλλάκτη cascade, όπου ταυτόχρονα εξατμίζεται το πρωτεύον ρευστό (π.χ. αμμωνία) σε θερμοκρασία χαμηλότερη (π.χ. κατά 5 K) από τη θερμοκρασία του CO₂. Έτσι το CO₂ συμπυκνώνεται και προσάγεται (πάλι) στο δοχείο διαχωρισμού σε υγρή μορφή, απ' όπου τροφοδοτείται η αντλία και ο κύκλος συνεχίζεται. Να σημειωθεί, ότι σε ένα τέτοιο σύστημα έμμεσης ψύξης μπορούμε εύκολα να πετύχουμε θερμοκρασίες βαθιάς κατάψυξης, πράγμα που είναι δύσκολο στα διαλύματα γλυκόλης, όπου η μεγάλη περιεκτικότητα σε γλυκόλη για να μην παγώνει το διάλυμα οδηγεί σε μεγάλο ιξώδες και μεγάλη πτώση πίεσης / κόστος άντλησης. Το σύστημα καθίσταται ελκυστικό, λόγω της πολύ μικρής ποσότητας (επικίνδυνης) αμμωνίας. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένα τέτοιο σύστημα.



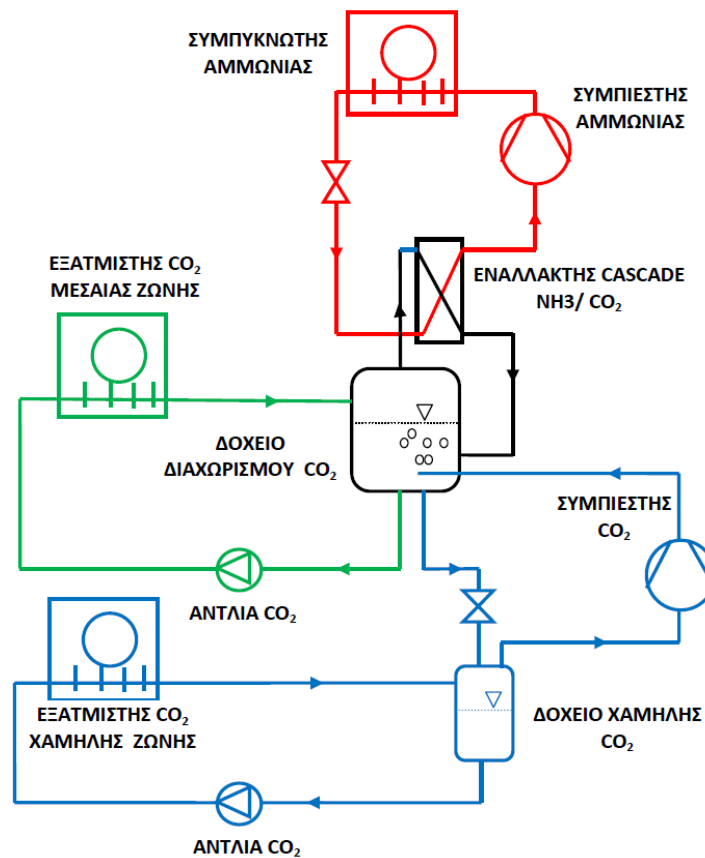
Σχήμα 2: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος cascade με έμμεση ψύξη με αντλία.

Λόγω της πλήρους έλλειψης λαδιού, ο εξατμιστής παρουσιάζει ελαφρά καλύτερο συντελεστή θερμικής μεταφοράς, σε σχέση με το σύστημα που φέρει συμπιεστή στη χαμηλή πλευρά. Στο τελευταίο, έστω και μια μικρή ποσότητα λαδιού που παρασύρεται στον εξατμιστή, του μειώνει το συντελεστή θερμικής μεταφοράς κατά 1 - 3%.

ΑΝΑΜΙΚΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ CASCADE ΜΕ ΔΥΟ ΖΩΝΕΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ

Τα δυο προηγούμενα συστήματα εξυπηρετούν μόνο μια θερμοκρασιακή ζώνη εξάτμισης. Υπάρχει η δυνατότητα εξυπηρέτησης δυο θερμοκρασιακών ζωνών εξάτμισης με ανάμικτο σύστημα cascade. Στη ζώνη μεσαίας θερμοκρασίας γίνεται έμμεση ψύξη με CO₂ και στη ζώνη χαμηλής θερμοκρασίας με χρήση συμπιεστή CO₂. Ένα τέτοιο σύστημα, όταν εξυπηρετεί ζώνη πολύ χαμηλής θερμοκρασίας (π.χ. θαλάμους -28 C ή καταψύκτες -40 C) μπορεί να είναι αποδοτικότερο ακόμα και από τα συστήματα αμιγούς αμμωνίας, λόγω των σχετικών ενδογενών πλεονεκτημάτων του CO₂ στις πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

Στη βιομηχανική ψύξη τα συστήματα είναι μεγάλα και αναλώνουν πολύ ενέργεια. Για το λόγο αυτό συμφέρει η επιλογή των υπερπληρωμένων εναλλακτών που προσφέρουν βελτιωμένη θερμική μεταφορά, άρα εξοικονόμηση μέσω μεγαλύτερων αναγκαίων θερμοκρασιών αναρρόφησης. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένα ανάμικτο σύστημα cascade, με υπερπληρωμένους εναλλάκτες και στις δυο ζώνες.



Σχήμα 3: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος cascade με δυο θερμοκρασιακές ζώνες. Όλοι οι εναλλάκτες είναι CO₂ με σύστημα υπερπλήρωσης.

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

Νίκος Χαριτωνίδης «ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΨΥΞΗΣ – ΘΕΡΜΑΝΣΗΣ ΚΑΙ ΑΜΜΩΝΙΑ», 2020.