

1-4-18

ΨΥΞΗ ΜΕ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗ ΧΩΡΙΣ ΝΟΜΟΘΕΤΙΚΟΥΣ ΠΕΡΙΟΡΙΣΜΟΥΣ

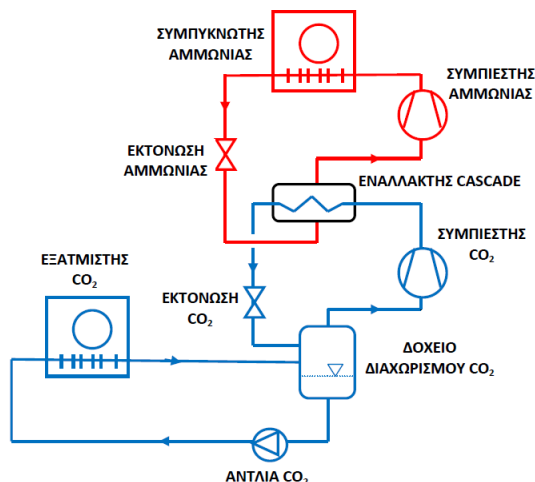
Νίκος Χαριτωνίδης (6955-067705, n.charito@cryologic.gr)

Γενικός Διευθυντής της ΨΥΓΕΙΑ ΑΛΑΣΚΑ ΑΕΒΤΕ (www.alaskanet.gr) και της CRYOLOGIC ΕΕ (www.cryologic.gr)

Κάθε ψυκτικό κύκλωμα έχει τρία ευαίσθητα σημεία που υπονομεύουν την απόδοσή του και αποτελούν "πονοκέφαλο" για το μελετητή. Τούτα είναι (α) τα 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 εξάτμισης, που "φτωχαίνει" όσο περισσότερο αέριο περιέχει (όπως για παράδειγμα με την υποχρεωτική υπερθέρμανση 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. Στις μεγάλες συμβατικές εγκαταστάσεις βιομηχανικής ψύξης το πιο αποδοτικό σύστημα είναι εκείνο με υπερπλήρωση αμμωνίας. 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 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 θερμοκρασίες. Μια άλλη προσπάθεια είναι οι μονάδες αμμωνίας πολύ χαμηλής πλήρωσης που παρουσιάστηκαν σε προηγούμενο τεύχος. Το ερώτημα ή το δίλημμα που προκύπτει στον υποψήφιο επενδυτή από αυτούς τους προβληματισμούς, είναι να επιλέξει το πιο αποδοτικό 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 βέλτιστης 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: Η συνεργασία της αμμωνίας με το άλλο, ευρέως πλέον διαδομένο φυσικό αέριο, το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂). Ακολουθεί συνοπτική περιγραφή μερικών λύσεων που εκμεταλλεύονται τα ευεργετήματα της υπερπλήρωσης, με αποκλειστική χρήση φυσικών αερίων.

ΑΠΛΟ ΣΥΣΤΗΜΑ CASCADE

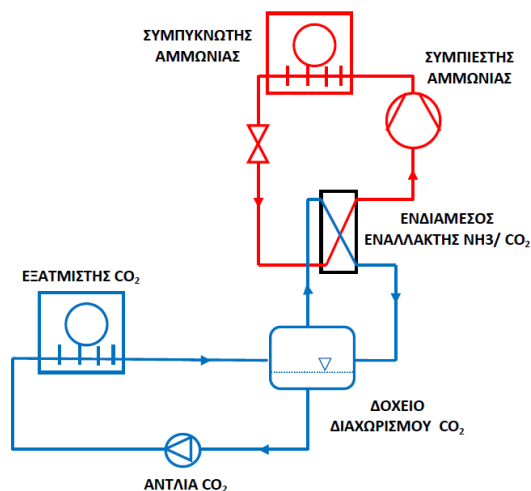
Η λογική στο σύστημα cascade είναι η ύπαρξη δυο *ανεξάρτητων* ψυκτικών κυκλωμάτων, ενός χαμηλού (όπου υπάρχει και ο εξατμιστής παραγωγής ωφέλιμης ψύξης) και ενός ψηλού (όπου μπορεί να μην παράγεται καν ωφέλιμη ψύξη). Ο προορισμός του ψηλού κυκλώματος είναι να προσφέρει το "ψυχρό" περιβάλλον για τη συμπύκνωση του CO₂. Τούτο γίνεται στον εναλλάκτη cascade, στον οποίο γίνεται σύζευξη των δυο κυκλωμάτων. Τούτος ενεργεί σαν εξατμιστής για το ψηλό κύκλωμα και σαν συμπυκνωτής για το χαμηλό. Είναι λογικό, το CO₂ 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 και είναι εφικτή η χρήση συμβατικών υλικών. Στο ψηλό κύκλωμα είναι φρόνιμο να επιλέγεται ένα φυσικό αέριο, ώστε να μη μας απασχολούν οι περιοριστικές νομοθεσίες των συνθετικών αερίων. 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, απαλασσόμεθα και από το άγχος της επικινδυνότητας (η αμμωνία κατατάσσεται σε επικινδυνότητα B2 κατά ASHRAE), αφού η παρουσία της περιορίζεται στο μηχανοστάσιο και σε ένα σχετικά μικρό κύκλωμα, συχνά 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 που απαιτούνται για το CO₂ (δίκτυα - συμπιεστές). Σε μεγάλες εγκαταστάσεις είναι μάλιστα πιθανό να προκύψει οικονομικότερη κατασκευή σε σχέση π.χ. με διβάθμιο αμμωνίας. Γενικά, όσο μεγαλύτερη είναι η εγκατάσταση, τόσο "κερδίζει πόντους" το cascade CO₂ [3]. Στη ζώνη της εξάτμισης CO₂ 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.

2. 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 εξάτμιση μέρους του υγρού και στην έξοδο του εναλλάκτη υπάρχει μίγμα υγρού - αερίου, το οποίο προσάγεται (μέσω του δοχείου διαχωρισμού με θερμοσιφωνική δράση) στον ενδιάμεσο εναλλάκτη, όπου ταυτόχρονα εξατμίζεται το πρωτεύον ρευστό (π.χ. αμμωνία) σε θερμοκρασία χαμηλότερη (π.χ. κατά 5K) 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 μεγάλες πτώσεις πίεσης / κόστος άντλησης. Το σύστημα καθίσταται ελκυστικό, λόγω της πολύ μικρής ποσότητας (επικίνδυνης) αμμωνίας. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένα τέτοιο σύστημα.

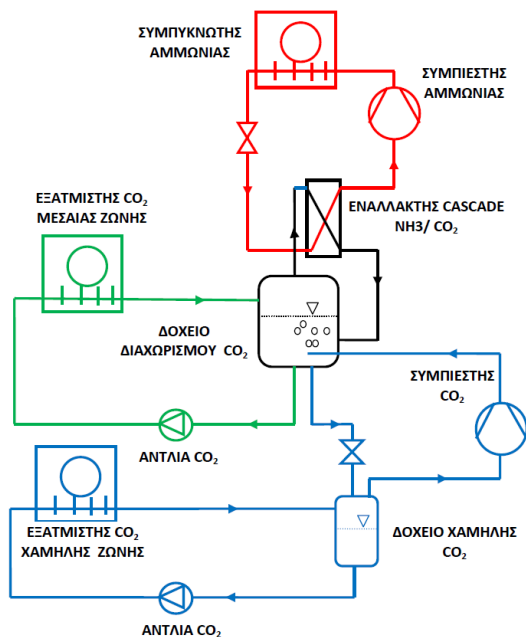


Σχήμα 2: Σχηματικό διάγραμμα συστήματος cascade με έμμεση ψύξη με αντλία.

Λόγω της πλήρους έλλειψης λαδιού, ο εξατμιστής παρουσιάζει ελαφρά καλύτερο συντελεστή θερμικής μεταφοράς, σε σχέση με το σύστημα που φέρει συμπιεστή στη χαμηλή πλευρά. Μια μικρή ποσότητα λαδιού που παρασύρεται στον εξατμιστή, του μειώνει το συντελεστή θερμικής μεταφοράς κατά 1 - 3% [4].

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, με έμμεση ψύξη CO₂ στη ζώνη μεσαίας θερμοκρασίας και συμπιεστή CO₂ χαμηλής στη ζώνη χαμηλής θερμοκρασίας. 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. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένα ανάμικτο σύστημα cascade, με υπερπληρωμένους εναλλάκτες και στις δυο ζώνες. 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 απαιτούμενων θερμοκρασιών αναρρόφησης.



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

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Νίκος Χαριτωνίδης "Συστήματα Υπερπλήρωσης στη Βιομηχανική Ψύξη", CRYOLOGIC ΕΕ, 2018.
2. Νίκος Χαριτωνίδης "Παραγωγή Ψύξης - Θέρμανσης και CO₂", CRYOLOGIC ΕΕ, 2018.
3. Natural Refrigerant CO₂, edited by Walter Reulens, October 2009, Leonardo project "NARECO₂"
4. Bruce I. Nelson "Evaporators for CO₂ Refrigeration", Colmac Coil Manufacturing, 2016.