

30-6-24

ΑΥΤΟΝΟΜΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ

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

ΑΥΤΟΝΟΜΕΣ ΜΟΝΑΔΕΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΠΟΛΥ ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΛΗΡΩΣΗΣ

Σήμερα προσφέρονται αυτόνομες μονάδες φυσικών αερίων χαμηλής πλήρωσης, με λειτουργία που βασίζεται τόσο στην (ήπια) υπερπλήρωση, όσο και στην ξηρή εκτόνωση. Η βασική ιδέα είναι η συστηματική - ελεγχόμενη κατασκευή ολόκληρης της μονάδας με όλα τα συστατικά πλην των εξατμιστών στο εργοστάσιο. Η μονάδα μεταφέρεται στο έργο και συνδέεται με τους εξατμιστές. Το ψυκτικό ρευστό μπορεί να είναι παντού η αμμωνία ή το σύστημα να είναι υβριδικό, ήτοι η (εργοστασιακή) μονάδα να είναι ένα πρωτεύον κύκλωμα αμμωνίας και να συνδέεται με (εξωτερικό) δευτερεύον ρευστό, που στην περίπτωση φυσικού ρευστού είναι το CO₂ δυο φάσεων¹ ή ακόμα ολόκληρη η μονάδα μπορεί να είναι ένα σύστημα cascade με χαμηλό κύκλωμα CO₂ και ψηλό αμμωνία (ήτοι φέρει συμπιεστή αμμωνίας και συμπιεστή CO₂). Τα πλεονεκτήματα αυτών των συστημάτων είναι η μικρή πλήρωση αμμωνίας, η στιβαρότητα της (εργοστασιακής) κατασκευής και η ταχύτητα ολοκλήρωσης του έργου (μειωμένος χρόνος στο εργοτάξιο). Το κόστος επένδυσης αποτελεί ένα θέμα, η τάση όμως είναι η συνεχής μείωση πλήρωσης λόγω εξαπλώσης και βελτίωσης της τεχνολογίας. Στα επόμενα θα εξετάσουμε αντιπροσωπευτικά συστήματα με μίξη τεχνολογιών, όπως ξηρή εκτόνωση, χαμηλή υπερπλήρωση και υβριδικά συστήματα. Όλες αυτές οι τεχνολογίες περιέχουν τα συστήματα βελτίωσης που αναφέραμε σε προηγούμενα άρθρα και πρόσθετα, όπως για παράδειγμα την απόψυξη με αντιστροφή του κύκλου μέσω τετράοδης βαλβίδας. Θα γίνουν αναφορές σε αρκετά τέτοια μέτρα βελτίωσης, με στόχο όχι να αναλύσουν τις προδιαγραφές συγκεκριμένων εξοπλισμών, αλλά να «ακονίσουν» το κριτήριο του αναγνώστη όσον αφορά τη γενικότερη φιλοσοφία που διέπει την υπερπλήρωση και τις προσπάθειες μείωσης της ποσότητας πλήρωσης χωρίς απώλεια των πλεονεκτημάτων.

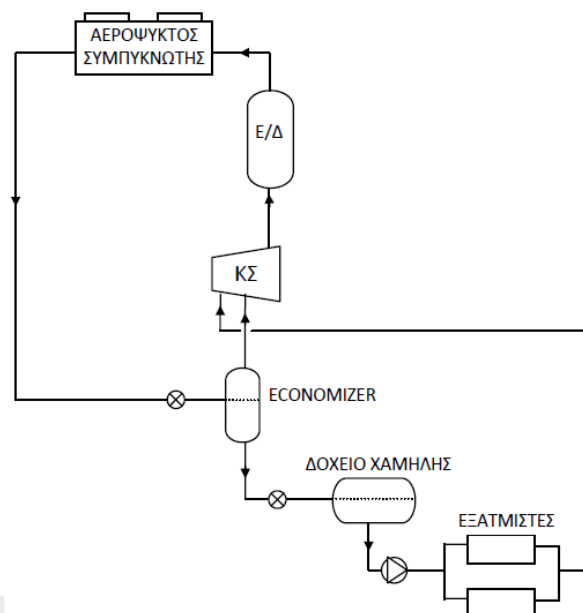
ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΜΟΝΑΔΑ ΥΠΕΡΠΛΗΡΩΣΗΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΧΑΜΗΛΟΥ ΛΟΓΟΥ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Η βασική φιλοσοφία μιας τέτοιας αυτόνομης μονάδας είναι ότι εξυπηρετεί συνήθως μόνο έναν εξατμιστή (ή περισσότερους κοντά μεταξύ τους). Ως εκ τούτου, τοποθετείται κοντά στον εξατμιστή και πρακτικά δεν υπάρχουν (σημαντικές) διαδρομές σωληνώσεων που θα υπήρχαν από και προς ένα κεντρικό μηχανοστάσιο. Τα οφέλη είναι πολλαπλά: (α) μικρότερη πλήρωση

¹ Φυσικά το δευτερεύον ρευστό μπορεί να είναι ένα διάλυμα γλυκόλης και τα παρεμφερή αυτού αλλά στο παρόν δημοσίευμα προτείνεται το CO₂ λόγω των πολλών πλεονεκτημάτων που προσφέρει σαν δευτερεύον ρευστό δυο φάσεων. Επίσης η γλυκόλη είναι ακατάλληλη για πολύ χαμηλές θερμοκρασίες.

αμμωνίας σε σωλήνες (που σε ένα συμβατικό σύστημα μπορεί να φτάνει πάνω από 30% του συνόλου, (β) χαμηλότερο κόστος κατασκευής δικτύου (συμπεριλαμβανομένων και των μονώσεων), (γ) μικρότερες πτώσεις πίεσης, (δ) μικρότερη διάρκεια κατασκευής στο εργοτάξιο και (ε) πιο αξιόπιστη κατασκευή λόγω λιγότερων συνδεσμολογιών - διαδρομών, μικρότερων πιθανοτήτων ανθρωπίνου λάθους και ελαττωματικών υλικών, οξειδώσεων και λοιπών παραγόντων που αφορούν μακρές διαδρομές.

Τα ως άνω πλεονεκτήματα εξακολουθούν ακόμα και σε αυτόνομα συστήματα υπερπλήρωσης. Επιπρόσθετα, με βελτιωμένες τεχνολογίες, στα συστήματα αυτά μειώνεται ο λόγος κυκλοφορίας, από 4 που είναι στα συμβατικά συστήματα σε τιμές λίγο μεγαλύτερες του 1. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένα τέτοιο σύστημα.



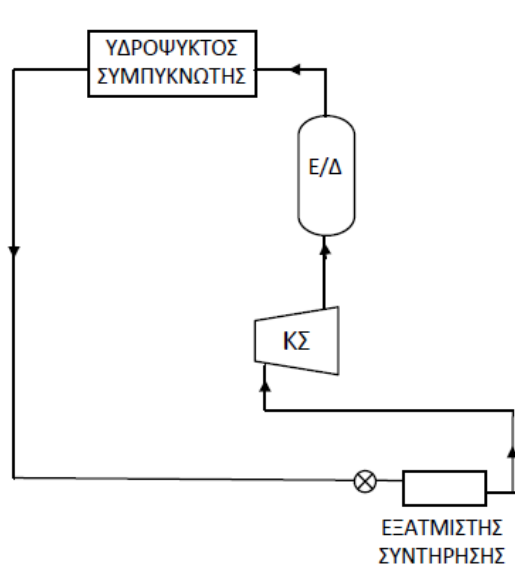
Σχήμα 1: Αυτόνομη μονάδα αμμωνίας με χαμηλή υπερπλήρωση.

Ένα τυπικό τέτοιο σύστημα μπορεί να έχει λόγο κυκλοφορίας μόλις 1,2 και να εξυπηρετεί μέχρι δυο εξατμιστές. Διαθέτει κοχλιωτό συμπιεστή με inverter, δοχείο διαχωρισμού, δοχείο economizer και αντλία. Ο συμπυκνωτής μπορεί να είναι αερόψυκτος ή υδρόψυκτος. Εννοείται ότι σε μονάδα με πολλούς εξατμιστές τοποθετούνται πολλές τέτοιες μονάδες, όσο γίνεται πλησιέστερα στους εξατμιστές που εξυπηρετούν.

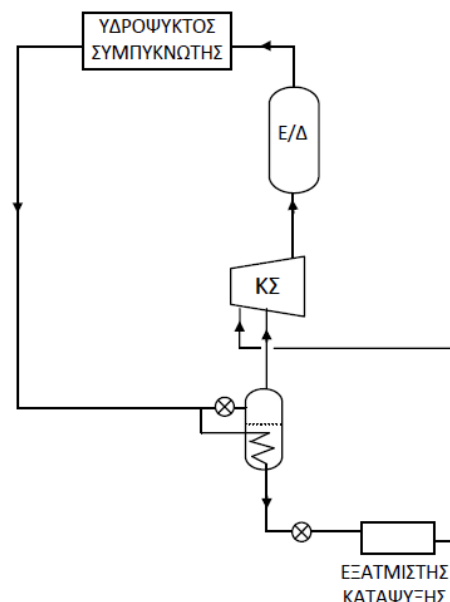
ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΜΟΝΑΔΑ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΞΗΡΗΣ ΕΚΤΟΝΩΣΗΣ

Η μονάδα αυτή είναι απλούστερη από την προηγούμενη. Το κύκλωμα είναι το βασικό, παρόμοιο με το προηγούμενο αλλά χωρίς δοχείο χαμηλής και αντλία. Μια τυπική τέτοια μονάδα εξυπηρετεί έναν μόνο εξατμιστή. Στην τροφοδοσία υπάρχει ένα ηλεκτρονικό σύστημα ψεκασμού ρευστού,

που κανονίζει την ποσότητα ανάλογα την ξηρότητα στο εσωτερικό του εξατμιστή και στην έξοδο (μέτρηση της ποιότητας του μίγματος). Αντί της κλασσικής μέτρησης της υπερθέρμανσης στην έξοδο του εξατμιστή, μετράται η ποιότητα του μίγματος (μάζα αερίου προς συνολική μάζα) σε διάφορα σημεία του εξατμιστή και ανάλογα ρυθμίζεται η βαλβίδα τροφοδοσίας. Ουσιαστικά με αυτή την ακρίβεια σχεδόν μηδενίζεται η υπερθέρμανση, χωρίς να προκύπτει κίνδυνος υγρής στον συμπιεστή. Με χρήση υδρόψυκτου συμπυκνωτή το σύστημα αυτό μπορεί να φτάσει σε πολύ χαμηλή πλήρωση, μέχρι 0,065 kg/KWR. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται ένα τέτοιο σύστημα. Στο μοντέλο κατάψυξης έχει προστεθεί δοχείο economizer (πρόψυξη υγρού ψηλής πίεσης). Η απόψυξη μπορεί να γίνεται με το απλούστερο - συμπαγέστερο σύστημα, ήτοι ράβδους ηλεκτρικών αντιστάσεων.



(α)



(β)

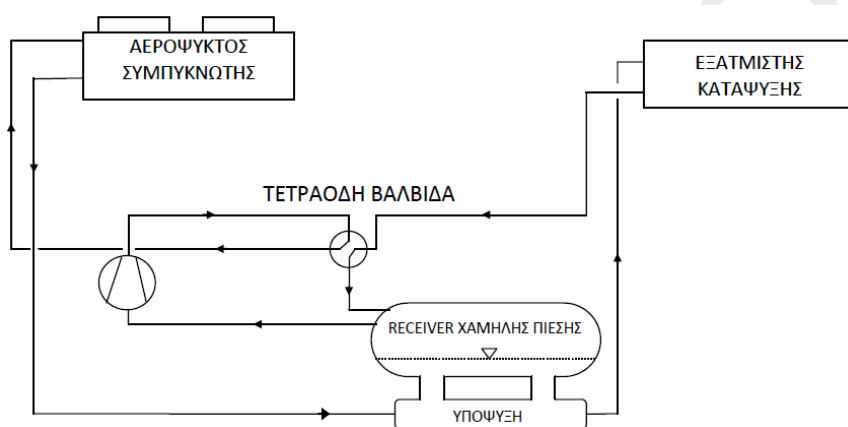
Σχήμα 2: Αυτόνομη μονάδα αμμωνίας με ξηρή εκτόνωση (α) εξατμιστής συντήρησης, (β) εξατμιστής κατάψυξης.

Το σύστημα αυτό σύμφωνα με [2] μπορεί να φτάσει σε πολύ χαμηλό επίπεδο πλήρωσης αμμωνίας, π.χ. **0,066 kg ανά ψυκτικό KW** (περίπου το 2,5% σε σχέση με το σύστημα αναφοράς²) και ο συνολικός συντελεστής ενεργειακής απόδοσης (COP) εκτιμάται 1,47 (οριακά μεγαλύτερος του συστήματος αναφοράς).

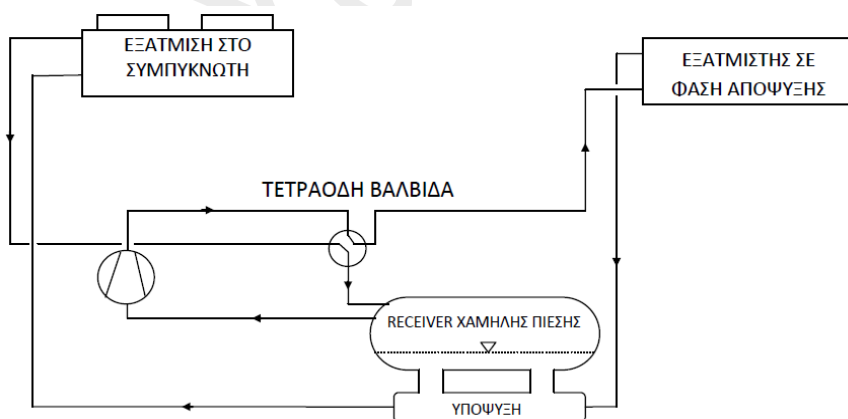
² Υπενθυμίζεται ότι το σύστημα αναφοράς είναι ένα τυπικό διβάθμιο σύστημα υπερπλήρωσης (αντλία) με δυο ζώνες εξατμισμού, μια για θερμοκρασίες συντήρησης και μια για πολύ βαθιάς κατάψυξης. Ένα βελτιστοποιημένο τέτοιο σύστημα έχει μάζα πλήρωσης περίπου 2,6 kg / ψυκτικό KW.

ΑΥΤΟΝΟΜΗ ΜΟΝΑΔΑ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΜΕ RECEIVER ΧΑΜΗΛΗΣ ΠΙΕΣΗΣ (LPR)

Μια πρώτη καινοτομία για βελτιωμένη απόδοση μιας αυτόνομης μονάδας είναι οι εξατμιστές αλουμινίου με διαμόρφωση αυλακώσεων στην εσωτερική επιφάνεια. Η καλύτερη θερμική αγωγιμότητα του αλουμινίου, σε συνδυασμό με τις εσωτερικές αυλακώσεις που επιτρέπουν τη διαβροχή του συνόλου της εσωτερικής επιφάνειας (μέσω του μηχανισμού της τριχοειδούς ανύψωσης) μπορεί να βελτιώνουν την απόδοση μέχρι 25%. Μια δεύτερη καινοτομία είναι η μέθοδος απόψυξης με αντιστροφή του κύκλου μέσω μιας τετράοδης βαλβίδας. Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η μονάδα και εξηγείται η δράση της τετράοδης βαλβίδας.



ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕ ΦΑΣΗ ΚΑΝΟΝΙΚΗΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ



ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΕ ΦΑΣΗ ΑΠΟΨΥΞΗΣ

Αυτόνομη μονάδα αμμωνίας με receiver χαμηλής πίεσης και απόψυξη με αντιστροφή κύκλου.

Ο αερόψυκτος συμπυκνωτής δεν μπορεί να πετύχει τις θερμοκρασίες συμπύκνωσης που επιτυγχάνουν ο εξατμιστικός ή ο υδρόψυκτος. Έχει όμως τυπικά χαμηλότερο κόστος ίδιας

λειτουργίας, αφού δεν καταναλώνει νερό και χημικά και δεν απαιτείται αποσκλήρυνση. Εξαρτάται βεβαίως και από τις κλιματολογικές συνθήκες. Αναφέρονται μελέτες, όπου σε ετήσια βάση ο αερόψυκτος μπορεί να καταλήγει λειτουργικά οικονομικότερος από τους άλλους. Η πλήρωση αυτής της μονάδας μπορεί να φτάσει στα 0,65 kg/KW (κατάψυξη).

Σύμφωνα με [2], η μέση ποσότητα πλήρωσης σε μια «ανάμικτη» εγκατάσταση (μονάδες συντήρησης - κατάψυξης) είναι της τάξης των **0,55 kg/KW** (περίπου το ένα πέμπτο του συστήματος αναφοράς) και ο συνολικός συντελεστής ενεργειακής απόδοσης (COP) κυμαίνεται από 1,35 (καταψύξεις) μέχρι 2,93 (συντηρήσεις).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

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