

ΕΥΑΙΣΘΗΣΙΑ ΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ ΥΓΡΟΥ ΣΤΟ ΣΥΜΠΙΕΣΤΗ ΣΤΙΣ ΑΠΟΤΟΜΕΣ ΑΠΟΚΛΙΣΕΙΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΙΣΟΡΡΟΠΙΑΣ

Τα συστήματα υπερπλήρωσης έχουν μεγάλη ανοχή στην αύξηση του υγρού στη γραμμή αναρρόφησης, αφού οι γραμμές αυτές λειτουργούν εξ ορισμού με μίγμα υγρού - αερίου (υγρή αναρρόφηση) και καταλήγουν σε δοχείο διαχωρισμού με ικανή χωρητικότητα υποδοχής του υγρού σε όλες τις συνθήκες. Η αναρρόφηση του συμπιεστή από το επάνω μέρος του δοχείου παραμένει ξηρή, παρά τις όποιες αποκλίσεις από την κατάσταση ισορροπίας (π.χ. απότομες μεταβολές στις πιέσεις αναρρόφησης - κατάθλιψης). Στην ξηρή εκτόνωση όμως δεν είναι έτσι. Η γραμμή αναρρόφησης πρέπει εξ αρχής (έξοδος εξατμιστή) να είναι εξ ορισμού ξηρή. Για να πετύχει αυτό, πρέπει να λειτουργεί "άψογα" η εκτονωτική βαλβίδα, ώστε να εξασφαλίζει ότι ποτέ δεν υπάρχει περίσσεια υγρού στην έξοδο του εξατμιστή. Τούτο όμως δεν είναι εύκολο, ειδικά σε συνθήκες γρήγορων μεταβολών στις πιέσεις αναρρόφησης - κατάθλιψης που μπορεί να συμβαίνουν για πολλούς λόγους. Τυπικές περιπτώσεις είναι οι εξής:

- ❖ Μια απότομη μείωση στη πίεση κατάθλιψης μπορεί να δημιουργήσει flash gas στη γραμμή υγρού ψηλής πίεσης. Το flash gas επηρεάζει την ορθή λειτουργία της εκτονωτικής βαλβίδας. Ανεπαρκής έλεγχος υπερθέρμανσης στην έξοδο μπορεί να οδηγήσει σε έξοδο υγρού στη γραμμή ξηρής αναρρόφησης.
- ❖ Μια απότομη αύξηση της πίεσης αναρρόφησης μειώνει στιγμιαία το ρυθμό εξατμίσσης, άρα αυξάνει την ποσότητα υγρού και μειώνει την υπερθέρμανση στην έξοδο. Μέχρι να "πάρει σήμα" η εκτονωτική ώστε να "στραγγαλίσει" τη ροή¹, ένα κύμα υγρού εξέρχεται προς τη γραμμή αναρρόφησης (που δεν είναι πια "ξηρή"). Το υγρό αυτό (αν δεν υπάρχει δοχείο συλλογής) καταλήγει στο συμπιεστή.

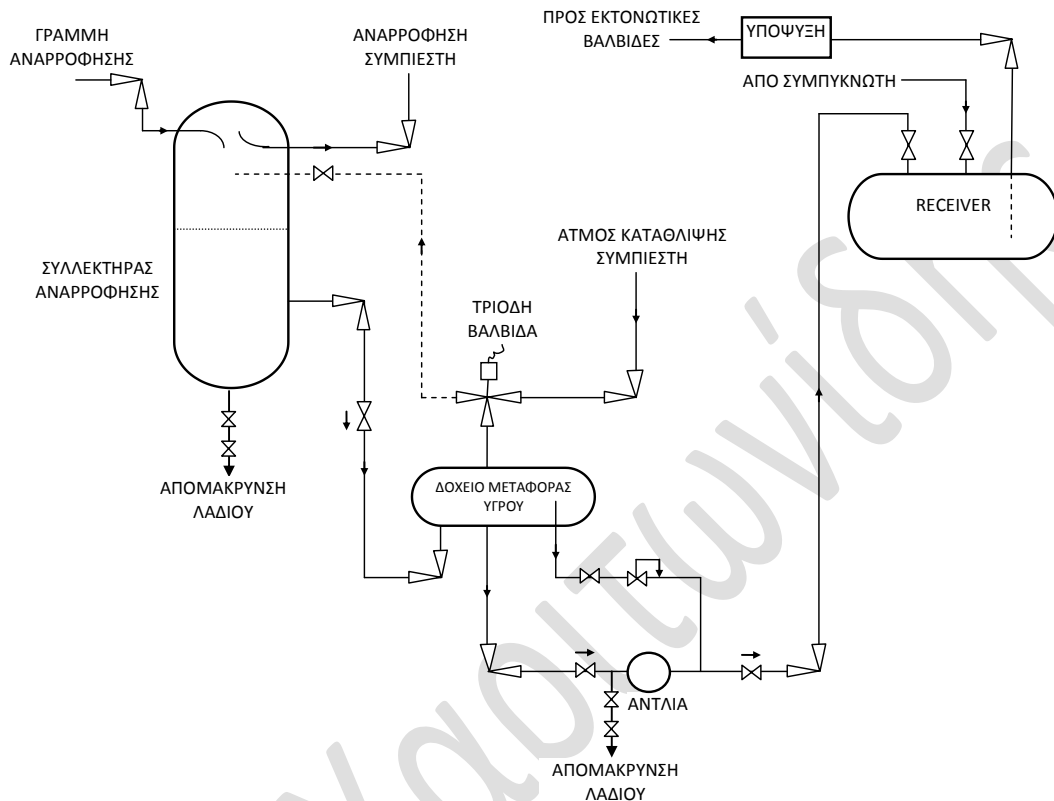
ΔΟΧΕΙΑ ΠΕΡΙΣΥΛΛΟΓΗΣ ΥΓΡΟΥ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ ΚΑΙ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗ ΣΤΑΘΜΗΣ

Σε μεγάλα συστήματα βιομηχανικής ψύξης ξηρής εκτόνωσης αμμωνίας πρέπει να τοποθετούνται δοχεία συλλογής υγρού (accumulators) στην κατάληξη της γραμμής αναρρόφησης και πριν το συμπιεστή. Και πάλι όμως, σε καταστάσεις ταχέων μεταβολών από την κατάσταση ισορροπίας το δοχείο αυτό μπορεί να "γεμίσει" και να δώσει σήμα alarm επάνω στάθμης για παύση του συμπιεστή². Για να αποφεύγεται αυτό, το πλεόνασμα του υγρού πρέπει έγκαιρα και με αυτόματο τρόπο να διοχετεύεται στην

¹ Η εκτονωτική "διαβάζει" την υπερθέρμανση στην έξοδο του εξατμιστή. Ανάλογα με τη ρύθμιση που έχει κάνει ο χρήστης, όταν η υπερθέρμανση τείνει στο set point, η εκτονωτική "στραγγαλίζεται" για να μειώσει τη ροή και να μην υποβιβάζεται η επιθυμητή υπερθέρμανση. Αυτές οι αλληλουχίες έχουν χρονική υστέρηση, με αποτέλεσμα την πιθανότητα διαφυγής υγρού στη γραμμή ξηρής αναρρόφησης.

² Τέτοιου είδους παύσεις μπορεί να είναι μακρές μέχρι να αποκατασταθεί το πρόβλημα του πλεονάζοντος υγρού. Συχνά οι "χειροκίνητες" επεμβάσεις οδηγούν σε είσοδο υγρού στο συμπιεστή.

ψηλή πλευρά του κυκλώματος. Εφόσον πρέπει να διοχετευθεί υγρό προς ψηλότερη πίεση, πρέπει με κάποιο τρόπο να αυξηθεί η πίεσή του σε επίπεδο μεγαλύτερο από την πίεση στο receiver. Η λογική φαίνεται στο επόμενο σχήμα:



Διοχέτευση πλεονάζοντος υγρού από το δοχείο συλλογής αναρρόφησης στο δοχείο receiver.

Κάτω από το δοχείο συλλογής αναρρόφησης υπάρχει ένα άλλο δοχείο (δοχείο μεταφοράς υγρού). Από την επάνω πλευρά αυτού του δοχείου υπάρχει σωλήνα που καταλήγει σε τρίοδο βαλβίδα. Από τη μια πλευρά η τρίοδος συνδέεται με το επάνω μέρος του δοχείου συλλογής (εξισωτική γραμμή αερίου) και από την άλλη με την κατάθλιψη του συμπιεστή (υποδοχή ατμού υψηλής πίεσης). Στη φάση κανονικής λειτουργίας η τρίοδος συνδέει το δοχείο μεταφοράς υγρού με το επάνω μέρος του δοχείου συλλογής με γραμμή εξίσωσης πίεσης (αριστερά διακεκομμένη γραμμή). Έτσι το δοχείο μεταφοράς υγρού είναι λογικά πάντα γεμάτο με υγρή αμμωνία (αφού είναι χαμηλότερα από το δοχείο συλλογής). Αν η στάθμη της αμμωνίας στο δοχείο συλλογής αναρρόφησης φθάσει σε μια καθορισμένη στάθμη (προφανώς πριν το alarm άνω στάθμης - παύση συμπιεστή), παίρνει σήμα η τρίοδος και κλείνει τη γραμμή εξίσωσης πιέσεων, ενώ ανοίγει τη γραμμή που διοχετεύει τον ατμό κατάθλιψης στο δοχείο

μεταφοράς (δεξιά). Έτσι το υγρό εντός αυτού του δοχείου αποκτά την πίεση κατάθλιψης. Όπως φαίνεται στο σχήμα, το υγρό "ωθείται" στο receiver με τη βοήθεια της πίεσης κατάθλιψης με την επικουρία της αντλίας³.

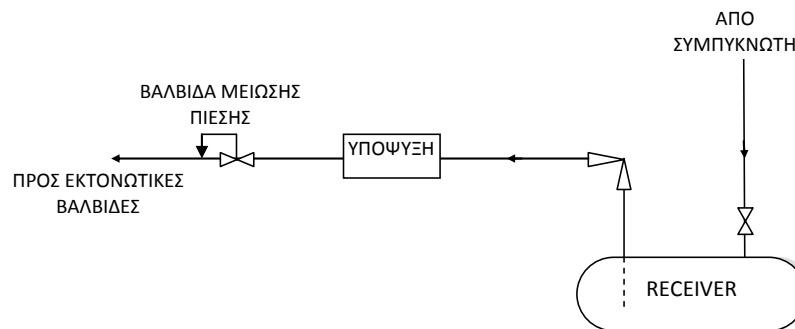
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Ο ρυθμός μεταβολών της θερμοκρασίας συμπύκνωσης καλό είναι να μη ξεπερνάει τους 3 K / min. Για την εύρυθμη λειτουργία των εκτονωτικών βαλβίδων, συχνά επιλέγεται η μέθοδος της σταθεροποίησης της πίεσης του υγρού τροφοδοσίας με εγκατάσταση στη γραμμή τροφοδοσίας υγρού, μετά την υπόψυξη και πριν τις εκτονωτικές βαλβίδες, μιας βαλβίδας μείωσης πίεσης που μειώνει την πίεση σε μια καθορισμένη *σταθερή τιμή* που καθιστά ομαλή τη λειτουργία της εκτονωτικής. Τούτο σημαίνει ότι η πίεση κατάθλιψης (συμπύκνωσης) πρέπει πάντα (όλο το χρόνο) να είναι μεγαλύτερη από αυτή τη σταθερή τιμή της πίεσης. Το σύστημα ελέγχου της ικανότητας του συμπυκνωτή φροντίζει, ώστε η πίεση συμπύκνωσης να μην πέφτει ποτέ κάτω από αυτή την καθορισμένη σταθερή τιμή. Είναι εύκολα αντιληπτό, ότι αν η καθορισμένη σταθερή τιμή πίεσης στην είσοδο της εκτονωτικής είναι μεγαλύτερη από την (ελάχιστη) πίεση συμπύκνωσης που *μπορεί* να πετύχει ο συμπυκνωτής, το σύστημα εξαναγκάζεται σε αντιστοιχονομική λειτουργία (εξαναγκασμένη μείωση της ικανότητας του συμπυκνωτή). Τούτο συμβαίνει κυρίως την ψυχρή περίοδο. Για παράδειγμα, αν διατίθεται "πλούσιος" εξατμιστικός συμπυκνωτής, δεν είναι εφικτή η εφαρμογή των μέτρων ελαχιστοποίησης κατανάλωσης ενέργειας με μείωση της πίεσης συμπύκνωσης⁴.

Το υγρό πριν τη βαλβίδα μείωσης πίεσης πρέπει να είναι ικανά υπόψυκτο, ώστε να μη σχηματίζεται flash gas κατά τη διεργασία μείωσης της πίεσης (εκτόνωση). Στο επόμενο σχήμα φαίνεται η διάταξη σταθεροποίησης της πίεσης υγρού τροφοδοσίας.

³ Εφόσον και στο receiver επικρατεί η πίεση κατάθλιψης, δεν επαρκεί η πίεση αυτή για να ωθήσει το υγρό. Το απαιτούμενο πλεόνασμα πίεσης προσδίδεται από την αντλία.

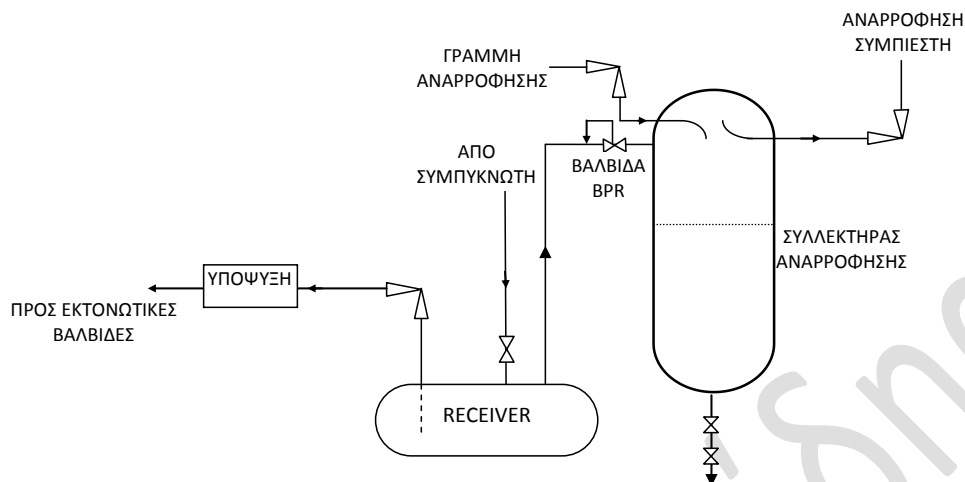
⁴ Υπενθυμίζεται ότι η αυξημένη πίεση κατάθλιψης οδηγεί σε αύξηση του ενεργειακού κόστους του συμπιεστή. Για κάθε 1 K άνοδο, η αύξηση είναι της τάξης του 2%.



Ρύθμιση σταθερής πίεσης προς τις εκτονωτικές ανεξαρτήτως διακυμάνσεων πίεσης συμπύκνωσης με βαλβίδα μείωσης πίεσης.

Μια άλλη μέθοδος σταθεροποίησης της πίεσης του υγρού τροφοδοσίας των εκτονωτικών σε επίπεδο κατώτερο από την (μεταβαλλόμενη) πίεση συμπύκνωσης είναι η ρύθμιση σταθερής πίεσης στο receiver με γραμμή επικοινωνίας με το δοχείο συλλογής αναρρόφησης και βαλβίδα "Back Pressure Regulator" (BPR)⁵. Και εδώ πιθανά ο συμπυκνωτής εξαναγκάζεται να συμπυκνώνει ψηλότερα από τη δυνατότητά του. Η διάταξη φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

⁵ Η βαλβίδα "Back Pressure Regulator" διατηρεί μια καθορισμένη πίεση στα ανάντη, ήτοι πίσω της (μέχρι την είσοδό της). Όταν η πίεση του ρευστού υπερβεί το σημείο ρύθμισης, η βαλβίδα ανοίγει περισσότερο για να ανακουφίσει την υπέρβαση της πίεσης. Ως εκ τούτου, η βαλβίδα BPR τοποθετείται στο τέλος του κυκλώματος που μας ενδιαφέρει να διατηρήσουμε σταθερή την πίεση. Είναι προφανές ότι η πίεση που ρυθμίζουμε (είσοδος βαλβίδας) πρέπει να είναι μεγαλύτερη από την πίεση που επικρατεί στη γραμμή μετά τη βαλβίδα (έξοδος). Από την άλλη πλευρά, η βαλβίδα μείωσης πίεσης (Pressure Reducing Regulator) εκτελεί "στραγγαλισμό", ήτοι μειώνει μια ψηλότερη πίεση στην είσοδό της σε μια χαμηλότερη (ρυθμιζόμενη) στην έξοδό της (κατάντη). Ως εκ τούτου, η βαλβίδα μείωσης πίεσης τοποθετείται στην αρχή του κυκλώματος που μας ενδιαφέρει να διατηρήσουμε σταθερή την πίεση. Ενώ στις βαλβίδες μείωσης πίεσης η ρύθμιση γίνεται στην έξοδό τους, στις βαλβίδες Back Pressure Regulator η ρύθμιση γίνεται στην είσοδό τους.



Ρύθμιση σταθερής πίεσης προς τις εκτονωτικές ανεξαρτήτως διακυμάνσεων πίεσης συμπύκνωσης με βαλβίδα Back Pressure Regulator.

Το "penalty" για τη διατήρηση της μειωμένης πίεσης στο receiver σχετικά με την πίεση συμπύκνωσης είναι η αύξηση της παροχής αερίου προς το συμπιεστή λόγω του αερίου που εξέρχεται από τη βαλβίδα BPR.

ΠΗΓΕΣ

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