

ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΗΣ ΠΙΕΣΗΣ ΑΝΑΡΡΟΦΗΣΗΣ

Η πίεση αναρρόφησης δεν πρέπει να μεταβάλλεται γρήγορα, ώστε να "προλαβαίνει" η εκτονωτική να αυξομειώνει την παροχή και να μην εξέρχεται περίσσεια υγρού από τον εξατμιστή. Γρήγορες μεταβολές στην πίεση αναρρόφησης μπορεί να συμβαίνουν από τις εξής αιτίες:

- ❖ Την ώρα της προσθαφαίρεσης ποσοστού ικανότητας του συμπιεστή. Ειδικά το σύστημα της αποφόρτισης κυλίνδρων σε παλινδρομικούς συμπιεστές δημιουργεί διακριτά βήματα μεταβολής ικανότητας, άρα απότομες μεταβολές πίεσης αναρρόφησης.
- ❖ Αν κλείσουν ή ανοίξουν ταυτόχρονα πολλές ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες τροφοδοσίας υγρού.
- ❖ Άνοιγμα - κλείσιμο ανεμιστήρων εξατμιστών.
- ❖ Ξεκίνημα - σταμάτημα απόψυξης εξατμιστών.
- ❖ Απότομες αλλαγές στο φορτίο που επιβάλλεται στους εξατμιστές (π.χ. άπαξ εισαγωγή μεγάλης ποσότητας "ζεστών" προϊόντων).

Συνιστάται να λαμβάνονται μέτρα, ώστε η ο ρυθμός μεταβολών της θερμοκρασίας εξατμίσσης να μην ξεπερνάει τους 1,2 K/min.

ΣΥΝΟΨΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΩΝ ΜΕΤΡΩΝ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΩΝ ΠΙΕΣΕΩΝ

Στον επόμενο πίνακα παρουσιάζονται συστάσεις για μέριμνες σχεδιασμού και λειτουργίας, που οδηγούν σε σύστημα ξηρής εκτόνωσης με εξασφάλιση σταθερότητας πιέσεων (εξάτμισης - συμπύκνωσης) και ελαχιστοποίηση της πιθανότητας επιστροφής υγρού από τους εξατμιστές.

ΣΗΜΕΙΟ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	ΜΕΤΡΟ ΕΞΟΜΑΛΥΝΣΗΣ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΠΙΕΣΕΩΝ
Ανεμιστήρες συμπτυκνωτή	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Χρήση inverter αντί ξεκίνημα - σταμάτημα ανεμιστήρα ❖ Η μεταβολή της ταχύτητας του ανεμιστήρα να γίνεται προοδευτικά και να περιορίζεται ώστε η μεταβολή της θερμοκρασίας εξάτμισης να είναι < 3 K/min.
Αντλίες συμπτυκνωτή	Συνιστάται οι αντλίες να λειτουργούν συνέχεια σε πλήρη ικανότητα για προστασία έναντι διάβρωσης στα γαλβανισμένα στοιχεία.
Σύστημα ελέγχου ικανότητας συμπιεστή	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Χρήση inverter ❖ Τα βήματα προσαφαίρεσης ικανότητας να μην ξεπερνάνε το 10% της συνολικής ικανότητας του συστήματος. ❖ Σε κοχλιωτό συμπιεστή, η ταχύτητα της βαλβίδας ολίσθησης να περιορίζεται ώστε η μεταβολή της θερμοκρασίας εξάτμισης να είναι < 1,2 K/min.
Απόψυξη εξατμιστών	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Απόψυξη όσο γίνεται λιγότερων εξατμιστών σε κάθε κύκλο. ❖ Χρήση βαλβίδας με αργή εξίσωση πιέσεων στο τέλος του κύκλου απόψυξης .
Ανεμιστήρες εξατμιστών	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Χρήση inverter. ❖ Η μεταβολή της ταχύτητας του ανεμιστήρα να γίνεται προοδευτικά και να περιορίζεται ώστε η μεταβολή της θερμοκρασίας εξάτμισης να είναι < 1,2 K/min. ❖ Αν ο έλεγχος ικανότητας γίνεται με on - off ανεμιστήρων, όχι περισσότερο από το 10% του συνολικού αριθμού ανεμιστήρων on-off ταυτόχρονα.
Ηλεκτρομαγνητικές βαλβίδες τροφοδοσίας υγρού	Όχι πολλές Η/Μ βαλβίδες on -off ταυτόχρονα. Με χρονολογική σειρά.
Απότομες αλλαγές φόρτισης εξατμιστών	<ul style="list-style-type: none"> ❖ Όχι εξατμιστές πάνω από πόρτες. ❖ Περιορισμός απότομων μεταβολών φορτίων διεργασιών κοντά σε εξατμιστές.

Μέτρα εξομάλυνσης ρυθμού μεταβολής πιέσεων αναρρόφησης - κατάθλιψης.

ΑΝΑΓΚΗ ΥΠΟΨΥΞΗΣ ΤΟΥ ΥΓΡΟΥ ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑΣ

Στην ξηρή εκτόνωση η τροφοδοσία του υγρού προς τις εκτονωτικές βαλβίδες γίνεται κατευθείαν από το receiver¹. Το υγρό αυτό είναι σε κατάσταση κορεσμού ή κοντά σε αυτήν. Ακόμα και μια μικρή πτώση πίεσης και / ή θερμικό κέρδος από το περιβάλλον θα προκαλέσει εξάτμιση ενός μέρους του υγρού (flash gas). Επειδή ο όγκος του αερίου που σχηματίζεται είναι μεγάλος σε σχέση με το υγρό², το υγρό περιορίζεται σε μικρό κλάσμα της διατομής, αυξάνεται η ταχύτητά του, υφίσταται περεταίρω πτώση πίεσης, σχηματίζεται πρόσθετο flash gas κ.ο.κ. Με το μηχανισμό αυτό μειώνεται η ικανότητα της γραμμής τροφοδοσίας. Επιπρόσθετα, η εκτονωτική βαλβίδα υποδέχεται μίγμα υγρού - αερίου και δυσλειτουργεί (οι εκτονωτικές βαλβίδες είναι σχεδιασμένες να υποδέχονται 100% υγρό). Το τελικό αποτέλεσμα είναι η πτώση της ψυκτικής ικανότητας όλου του συστήματος.

¹ Στην υπερπλήρωση η τροφοδοσία γίνεται με αντλία από το δοχείο διαχωρισμού (χαμηλής ή μεσαίας θερμοκρασίας ανάλογα τη θερμοκρασία). Η αντλία ανεβάζει την πίεση του (κορεσμένου) υγρού υπό σταθερή θερμοκρασία, άρα το καθιστά υπόψυκτο).

² Ειδικά η αμμωνία έχει σχετικά μεγάλο λόγο ειδικών όγκων αερίου προς υγρό.

Η συνολική πτώση πίεσης από το receiver μέχρι την εκτονωτική είναι το άθροισμα της πτώσης λόγω τριβών, της πτώσης λόγω (πιθανής) ανύψωσης της γραμμής και της πτώσης λόγω διέλευσης από βαλβίδες και λοιπά εξαρτήματα. Το θερμικό κέρδος υφίσταται μόνο αν η θερμοκρασία του υγρού είναι χαμηλότερη από του περιβάλλοντος (πράγμα που λογικά συμβαίνει μόνο κατόπιν υπόψυξης) και εξαρτάται από τη διαφορά θερμοκρασίας περιβάλλοντος - ρευστού, το υλικό της σωλήνας και την εξωτερική της επιφάνεια. Η αποτροπή του σχηματισμού flash gas επιτυγχάνεται με την υπόψυξη του υγρού όσο απαιτείται, ώστε να αντιπαρέλθει τις πτώσεις πίεσης και τα θερμικά κέρδη πριν φθάσει στη κατάσταση κορεσμού (οπότε και θα προσέλθει στην εκτονωτική 100% υγρό).

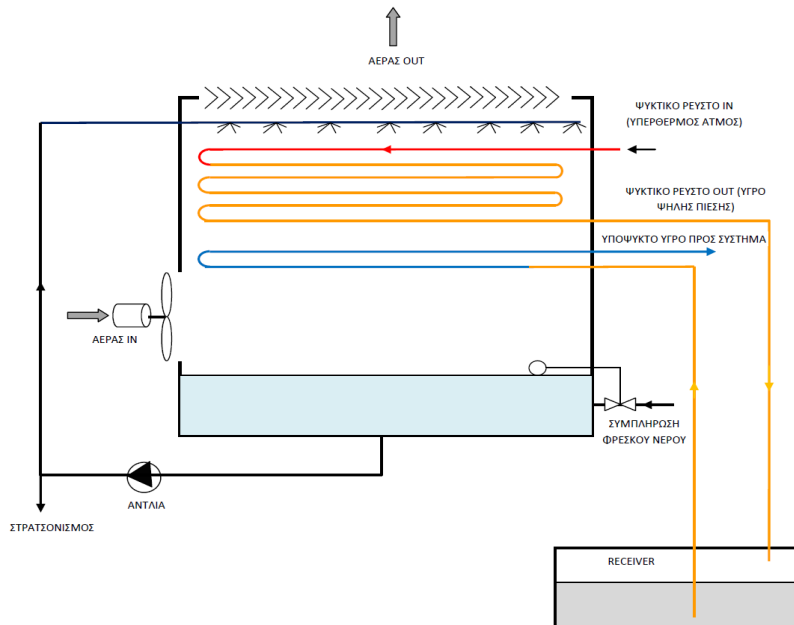
Η υπόψυξη πρέπει να γίνεται μετά από το receiver. Αν γίνεται πριν, "χάνεται" εντός του receiver μέσω της εξισωτικής γραμμής με το συμπυκνωτή που επιβάλλει συνθήκη κορεσμού. Αυτό φυσικά δεν σημαίνει ότι δεν είναι εφικτή η υπόψυξη στο συμπυκνωτή, απλά πρέπει να γίνεται με δεύτερη διαδρομή και μετά το receiver, όπως θα δούμε στα επόμενα.

Εφόσον υπολογιστεί η συνολική πτώση πίεσης στη γραμμή τροφοδοσίας υγρού, μπορεί να εκτιμηθεί η ελάχιστη απαιτούμενη υπόψυξη (σε βαθμούς Κ) από τον επόμενο πίνακα.

ΣΥΝΟΛΙΚΗ ΠΤΩΣΗ ΠΙΕΣΗΣ ΓΡΑΜΜΗΣ ΥΓΡΟΥ (Kpa)	ΑΠΑΙΤΟΥΜΕΝΗ ΥΠΟΨΥΞΗ ΑΜΜΩΝΙΑΣ (°K)		
	ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ 49° C	ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ 35° C	ΣΥΜΠΥΚΝΩΣΗ 18° C
6,9	0,1	0,2	0,3
27,6	0,5	0,7	1,0
41,4	0,8	1,1	1,6
55,2	1,1	1,4	2,1
68,9	1,3	1,8	2,6
82,7	1,6	2,1	3,1
96,5	1,9	2,5	3,0
110,3	2,1	2,8	4,2
124,1	2,4	3,2	4,7
137,9	2,7	3,6	5,2
172,4	3,3	4,4	6,5
206,8	4,0	5,3	7,8
241,3	4,7	6,2	9,2
275,8	5,3	7,1	10,5
310,3	6,0	8,0	11,8
344,7	6,7	8,9	13,1

Ελάχιστη απαιτούμενη υπόψυξη γραμμής τροφοδοσίας υγρής αμμωνίας ψηλής πίεσης ανάλογα με τη συνολική πτώση πίεσης.

Μια μέθοδος υπόψυξης που συνηθίζεται είναι η εκτροπή της γραμμής του υγρού μετά το receiver πίσω στο συμπυκνωτή, όπου το υγρό υποψύχεται με ξεχωριστό (πρόσθετο) κύκλωμα εντός του συμπυκνωτή. Η διάταξη φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

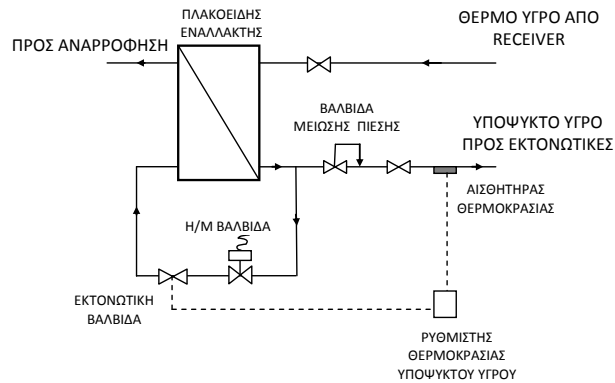


Υπόψυξη υγρού τροφοδοσίας με επαναδιέλευση της γραμμής από το συμπυκνωτή.

Η θεωρητικά μέγιστη υπόψυξη που μπορεί να επιτευχθεί με αφαίρεση αισθητής θερμότητας ισούται με τη διαφορά θερμοκρασιών υγρού - Ξηρού Βολβού αέρα (αερόψυκτος) ή Υγρού Βολβού αέρα (εξατμιστικός) και συχνά είναι ανεπαρκής, ειδικά όταν η θερμοκρασία συμπύκνωσης είναι χαμηλή και η πτώση πίεσης σχετικά μεγάλη.

Μια άλλη μέθοδος υπόψυξης είναι με άνοδο της πίεσης του υγρού μέσω αντλίας (όπως στην υπερπλήρωση). Η μέθοδος αυτή, παρόλο που προσδίδει μεγάλα αποθέματα υπόψυξης για κάθε περίπτωση, προσθέτει περιπλοκή και εξαναγκάζει τη γραμμή τροφοδοσίας να λειτουργεί σε ψηλότερη πίεση από την πίεση συμπύκνωσης (ήτοι ένα τρίτο επίπεδο πιέσεων σχεδιασμού).

Η πιο συνήθης μέθοδος υπόψυξης είναι με εσωτερικό εναλλάκτη, ήτοι με ανταλλαγή θερμότητας από το "θερμό" υγρό προς υγρό χαμηλότερης θερμοκρασίας εσωτερικά στο σύστημα. Ο λεγόμενος **μηχανικός υποψύκτης** (mechanical subcooler) βασίζεται στην απλή και εύκολης εφαρμογής παραδοχή, ότι το υγρό μπορεί να υποψυχθεί αν ένα μέρος του εξατμίζεται μέχρι η θερμοκρασία του υπόλοιπου υγρού να φθάσει στο επιθυμητό επίπεδο. Η αρχή φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

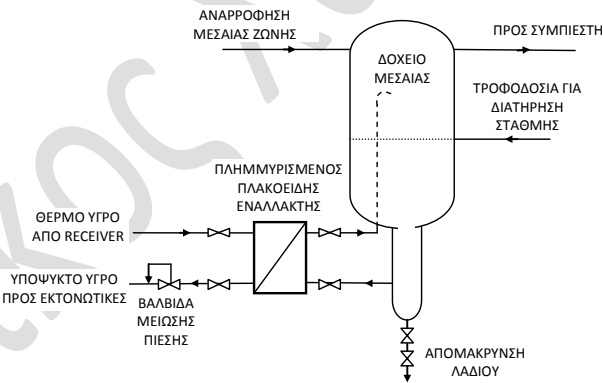


Μηχανικός υποψύκτης υγρού τροφοδοσίας σε ξηρή εκτόνωση.

Προτείνεται μια θερμοκρασία του υγρού μετά την υπόψυξη 4-5° C, η οποία θεωρείται συντηρητική ώστε να μειώνεται στο ελάχιστο η πιθανότητα σχηματισμού flash gas μέχρι την εκτονωτική. Η γραμμή με τέτοια θερμοκρασία φυσικά πρέπει να μονώνεται.

Στην ως άνω διάταξη δεν εξασφαλίζεται ότι δεν εξέρχεται υγρό στη γραμμή αναρρόφησης μετά την εκτόνωση εντός του υποψύκτη. Τούτο όμως γενικά δεν ενοχλεί όταν η αναρρόφηση καταλήγει σε δοχείο συλλογής αναρρόφησης με διαχείριση στάθμης.

Μια άλλη εκδοχή υπόψυξης "εσωτερικά" στο σύστημα είναι με διέλευση του θερμού υγρού τροφοδοσίας μέσα από "πλημμυρισμένο" εσωτερικό εναλλάκτη κάτω από το δοχείο μεσαίας.

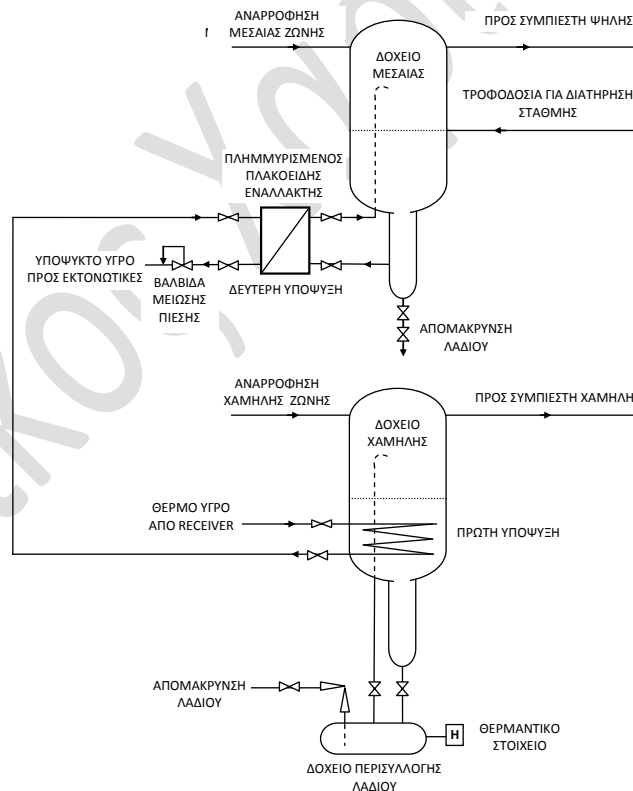


Υπόψυξη υγρού τροφοδοσίας σε πλημμυρισμένο εσωτερικό εναλλάκτη.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Σε ένα εξισορροπημένο σύστημα ξηρής εκτόνωσης, όπου από κάθε εξατμιστή εξέρχεται (υπέρθερμο) αέριο, δεν υπάρχει λόγος συσσώρευσης υγρού στο δοχείο συλλογής αναρρόφησης παρά μόνο από το υγροποιημένο αέριο της απόψυξης

(αν γίνεται με θερμό αέριο), το οποίο καταλήγει στη γραμμή αναρρόφησης³. Το υγρό αυτό καταλήγει στο δοχείο συλλογής και εκτελεί χρήσιμο έργο με τροφοδότηση του πλημμυρισμένου εναλλάκτη υπόψυξης ως άνω. Αν η θερμότητα που αποβάλλεται από το υγρό τροφοδοσίας κατά την υπόψυξή του είναι περισσότερη από τη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του υγρού εντός του δοχείου, τούτο εξατμίζεται καθολικά και υπάρχει κίνδυνος "στεγνώματος" του εναλλάκτη υπόψυξης. Στην αντίθετη περίπτωση παρουσιάζεται πλεόνασμα υγρού στο δοχείο και τούτο πρέπει να διοχετευθεί προς την ψηλή πλευρά (receiver) όπως είδαμε στο προηγούμενο άρθρο. Για να υπάρχει πάντα επάρκεια υγρού τροφοδοσίας του πλημμυρισμένου εναλλάκτη, προβλέπεται γραμμή τροφοδοσίας του δοχείου κατευθείαν από το receiver με πλωτήρα στάθμης και κατά προτίμηση μετά την υπόψυξη.

Σε ένα διβάθμιο σύστημα, όπου υπάρχουν δυο δοχεία περισυλλογής υγρού αναρρόφησης (χαμηλής και μεσαίας), μπορεί να γίνει μια "ενισχυμένη" υπόψυξη με διέλευση του υγρού ψηλής πίεσης σε κλειστό κύκλωμα πρώτα από το δοχείο χαμηλής και κατόπιν από το δοχείο μεσαίας. Το πρόσθετο όφελος αυτής της διεργασίας είναι η εξάτμιση του (ανεπιθύμητου) υγρού στο δοχείο χαμηλής. Η λογική φαίνεται στο επόμενο σχήμα.



³ Φυσικά, σε συνθήκες εκτροπής από την ισορροπία μπορεί να επιστρέψει υγρό στο δοχείο εκτός εκείνου της απόψυξης.

Ενισχυμένη υπόψυξη υγρού τροφοδοσίας σε δυο στάδια.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Το δοχείο χαμηλής δεν προβλέπεται να περιέχει υγρό σε συνθήκες ισορροπίας. Μολαταύτα σε συνθήκες απότομων μεταβολών εξέρχεται υγρό από τους εξατμιστές το οποίο συσσωρεύεται στο δοχείο. Η πρώτη διέλευση του (θερμού) υγρού τροφοδοσίας από αυτό το δοχείο έχει πρώτο σκοπό την εξάτμιση αυτού του υγρού. Αν τελικά η στάθμη του υγρού ανέβει επικίνδυνα, πρέπει να απομακρύνεται προς το receiver. Σε αντίθεση, στο δοχείο μεσαίας πρέπει πάντα να διατηρείται επαρκής ποσότητα υγρού για τη τροφοδοσία του πλημμυρισμένου εναλλάκτη υπόψυξης, για τούτο είδαμε προβλέπεται κατευθείαν τροφοδοσία του από το receiver.

Για αποτελεσματική υπόψυξη, στη φάση σχεδιασμού πρέπει να προβλέπονται τα εξής:

- ❖ Οι σχετικές σωληνώσεις και βαλβίδες πρέπει να σχεδιάζονται για την μέγιστη αναμενόμενη παροχή μάζας, που συμβαίνει όταν η πίεση κατάθλιψης είναι η χαμηλότερη και η πίεση αναρρόφησης η ψηλότερη (ελαχιστοποίηση λόγου συμπίεσης - αύξηση ογκομετρικής απόδοσης - αύξηση πυκνότητας ατμού αναρρόφησης). Η κατάσταση αυτή τυπικά συμβαίνει τη χειμερινή περίοδο.
- ❖ Η σωλήνα της τροφοδοσίας υγρού μετά την υπόψυξη πρέπει να μονώνεται.
- ❖ Διαστασιολόγηση της σωλήνας σύμφωνα με κανονισμούς.

ΠΗΓΕΣ

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