



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών υπολογιστών

Διπλωματική εργασία με θέμα:

Βελτιστοποίηση απόδοσης Ψυκτικών Συμπιεστών

Δαλαβούρας Κωνσταντίνος

Επιβλέπουσα καθηγήτρια : κυρία Μαρία Ιωαννίδου

Αθήνα 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ

Σχολή Ηλεκτρολόγων Μηχανικών & Μηχανικών υπολογιστών

Διπλωματική εργασία με θέμα:

Βελτιστοποίηση απόδοσης Ψυκτικών Συμπιεστών

Δαλαβούρας Κωνσταντίνος

Επιβλέπουσα καθηγήτρια : κυρία Μαρία Ιωαννίδου

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή

.....
Μαρία Ιωαννίδου
Καθηγήτρια Ε.Μ.Π.

.....
Νικόλαος Θεοδώρου
Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....
Παναγιώτης Τσαραμπάρης
Λέκτορας Ε.Μ.Π.

Αθήνα 2014

.....
Δαλαβούρας Κωνσταντίνος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © 2014 Δαλαβούρας Κωνσταντίνος
Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας, εξ' ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσης, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν τη χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν το συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Σκοπός της παρούσας διπλωματικής εργασίας είναι η περιγραφή μεθόδων βελτιστοποίησης της απόδοσης ψυκτικών συμπιεστών. Μετά την σύντομη ιστορική αναδρομή όπου περιγράφονται οι βασικές καμπές στην εξέλιξη της ψύξης και του κλιματισμού ακολουθεί η περιγραφή των διαφόρων μεθόδων για την επίτευξή τους, όπως μέσω μηχανικής συμπίεσης ψυκτικών ρευστών, απορρόφησης και προσρόφησης, το φαινόμενο Peltier και τέλος η μέθοδος με υπερήχους. Στην συνέχεια παρουσιάζεται το βασικό ψυκτικό κύκλωμα καθώς και οι συνηθέστεροι τύποι ψυκτικών συμπιεστών ανάλογα με τη δυνατότητα επέμβασης στο εσωτερικό τους καθώς και την αρχή λειτουργίας τους.

Στην κύρια ενότητα της βελτιστοποίησης της απόδοσης των ψυκτικών συμπιεστών, περιγράφονται διάφορες μέθοδοι όπως οι βελτιώσεις στον βαθμό απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα, σε διάφορους μηχανολογικούς συντελεστές καθώς και στον ογκομετρικό και ισεντροπικό βαθμό απόδοσης.

Η εργασία ολοκληρώνεται με την παροχή πληροφοριών σχετικά με τις τάσεις στην παγκόσμια βιομηχανία παραγωγής ψυκτικών συμπιεστών υπό το πρίσμα των καταργήσεων και περιορισμών στην χρήση ψυκτικών ρευστών για την προστασία του περιβάλλοντος.

Λέξεις κλειδιά

Ψυκτικοί συμπιεστές, Ανοιχτού τύπου, Ημίκλειστου τύπου, Κλειστού τύπου, Παλινδρομικός, Περιστροφικός, Φυγοκεντρικός, Κοχλιωτός, Ελικοειδής, Παλμικός, Βελτιστοποίηση απόδοσης, Ογκομετρικός βαθμός απόδοσης, Ισεντροπικός βαθμός απόδοσης, Ψυκτικά ρευστά.

Abstract

The scope of this thesis is the description of various methods for maximizing the efficiency of refrigeration compressors. After a brief historical overview describing the main turning points in the development of refrigeration and air conditioning, follows the description of the various methods for achieving them, such as by mechanical compression of refrigerants, absorption and adsorption, the Peltier effect and the process with ultrasound. More over the main refrigerant circuit and the most common types of refrigeration compressors are presented, depending on the possibility of intervention and the principle of operation.

The main section describes the methods of optimizing the performance of refrigeration compressors. These methods include the improvement of the electrical motor's efficiency as well as the optimizing of numerous engineering factors in reference to the volumetric and isentropic efficiency.

In conclusion this thesis provides information about the recent trend in the global refrigeration compressor industry concerning restrictions of refrigerants in order to protect the environment.

Keywords

Refrigeration compressors, Open type, Semi-hermetic type, Hermetic type, Reciprocating, Rotary, Centrifugal, Screw, Helical, Diaphragm, Efficiency improvement, Volumetric efficiency, Isentropic efficiency, Refrigerants.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	iv
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
Ιστορική Αναδρομή	1
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2	
Μέθοδοι Ψύξης και Ψυκτικό Κύκλωμα	4
2.1. Γενικά	4
2.2. Βασικές έννοιες	5
2.2.1 Θερμότητα και μετάδοση θερμότητας	5
2.2.2. Θερμοκρασία	6
2.2.3. Πίεση	7
2.2.4. Ειδική θερμότητα ή θερμοχωρητικότητα	7
ΒΕΛΤΙΣΤΟΠΟΙΗΣΗ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΨΥΚΤΙΚΩΝ ΣΥΜΠΙΕΣΤΩΝ	i

2.2.5. Αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα	8
2.2.6. Ενθαλπία και ειδική ενθαλπία	10
2.2.7. Εντροπία και ειδική εντροπία	10
2.3. Το διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας	11
2.4. Το βασικό ψυκτικό κύκλωμα	14
2.5. Ψύξη με μηχανική συμπίεση ρευστών	17
2.6. Ψύξη απορρόφησης και προσρόφησης	24
2.7. Ηλεκτρονική ψύξη με το φαινόμενο Peltier	27
2.8. Ψύξη με υπερήχους	28

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ψυκτικοί Συμπιεστές	29
3.1. Γενικά	29
3.2. Τύποι συμπιεστών ανάλογα με τη δυνατότητα επέμβασης στο εσωτερικό τους	30
3.2.1. Συμπιεστές ανοικτού τύπου	30
3.2.2. Συμπιεστές ημιαερμητικού τύπου	32
3.2.3. Συμπιεστές κλειστού-ερμητικού τύπου	32
3.3. Τύποι συμπιεστών ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους	33
3.3.1. Παλινδρομικοί ή εμβολοφόροι συμπιεστές	33
3.3.2. Περιστροφικοί συμπιεστές	40
3.3.3. Φυγοκεντρικοί συμπιεστές	43
3.3.4. Κοχλιωτοί συμπιεστές	46
3.3.5. Ελικοειδείς ή σπειροειδείς συμπιεστές	49
3.3.6. Παλμικοί ή διαφραγματικοί συμπιεστές	52

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Βελτιστοποίηση απόδοσης	56
4.1. Γενικά	56
4.2. Βελτίωση βαθμού απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα	59
4.3. Βελτίωση μηχανολογικών συντελεστών	63
4.4. Βελτίωση ογκομετρικού βαθμού απόδοσης	67

4.5. Βελτίωση ισεντροπικού βαθμού απόδοσης	68
4.6. Βελτίωση λειτουργία σε μερικά φορτία	71
4.7. Ψυκτικά ρευστά	74
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5	
Το μέλλον των ψυκτικών συμπιεστών	79
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	83

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η ψύξη και ο κλιματισμός είναι από τους ταχύτερα αναπτυσσόμενους και σημαντικότερους κλάδους της σύγχρονης τεχνολογίας. Σήμερα, η διάδοση των εγκαταστάσεων ψύξης και κλιματισμού είναι ευρεία και οι ανάγκες της αγοράς έχουν οδηγήσει στην ανάπτυξη πολλών καινοτόμων εφαρμογών. Σε συνδυασμό με τις αυξημένες απαιτήσεις για την προστασία του περιβάλλοντος, την εξοικονόμηση ενέργειας και την αποδοτικότερη λειτουργία των μηχανημάτων, η βιομηχανία έχει να αντιμετωπίσει ποικίλες και ιδιαίτερες προκλήσεις. Ένα από τα βασικότερα μηχανήματα των εγκαταστάσεων ψύξης και κλιματισμού είναι ο ψυκτικός συμπιεστής, ο οποίος έχει αποτελέσει αντικείμενο επισταμένης έρευνας και ιδιαίτερης εξέλιξης.

Η παρούσα εργασία διαπραγματεύεται τις βασικές έννοιες της ψύξης και του κλιματισμού, τις μεθόδους με τις οποίες επιτυγχάνονται και αναλύεται το ψυκτικό κύκλωμα. Ακολούθως, αναφέρεται στους ψυκτικούς συμπιεστές, τα σημαντικότερα

χαρακτηριστικά τους, καθώς και στους τρόπους με τους οποίους μπορεί να επιτευχθεί βελτιστοποίηση της απόδοσης. Ειδική μνεία γίνεται στα ψυκτικά ρευστά και η εργασία ολοκληρώνεται με συμπεράσματα για το μέλλον των ψυκτικών συμπιεστών και τις τάσεις που επικρατούν στη βιομηχανία. Η εργασία εκπονήθηκε στα πλαίσια του προπτυχιακού προγράμματος του τμήματος Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχανικών Ηλεκτρονικών Υπολογιστών του Εθνικού Μετσοβίου Πολυτεχνείου.

Εκφράζω την απεριόριστη εκτίμηση προς την επιβλέπουσα καθηγήτρια κυρία Μαρία Ιωαννίδου για την αμέριστη βοήθεια, τη συνεργασία και κυρίως την κατανόηση και υπομονή της.

Κώστας Δαλαβούρας

ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ & ΜΗΧΑΝΙΚΟΣ Η/Υ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

Ιστορική Αναδρομή

Στην εξέλιξη του ανθρώπου έπαιξε σημαντικό ρόλο η ψύξη και ο κλιματισμός. Η ψύξη από τη μία πλευρά ήταν καθοριστική για τη συντήρηση των τροφίμων και την επιβίωση του είδους, ενώ ο κλιματισμός από την άλλη για τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών διαβίωσης σε επικίνδυνες για την υγεία του ανθρώπου συνθήκες εξωτερικού περιβάλλοντος.

Ήδη από τα αρχαία χρόνια είχε παρατηρηθεί πώς τα τρόφιμα διατηρούνταν καλύτερα σε συνθήκες ψύξης και συγκεκριμένα μέσα σε πάγο. Όπως επίσης, διαπιστώθηκε πώς είναι σημαντικό ο πάγος να διατηρείται όσο το δυνατόν περισσότερο. Αρχικά λοιπόν, ο πάγος και τα τρόφιμα τοποθετούνταν σε ειδικούς χώρους, τους οποίους σκέπαζαν με υλικά που είχαν μονωτική δράση. Τα υλικά αυτά αρχικά ήταν ψάθες, στη

συνέχεια κουβέρτες και υφάσματα και στην πορεία εξελίχθηκαν σε εξειδικευμένα μονωτικά υλικά με ιδιαίτερη σημασία στη βιομηχανία της ψύξης.

Μεγάλο άλμα πραγματοποιήθηκε όταν στάθηκε δυνατό να δημιουργηθεί τεχνητός και όχι φυσικός πάγος, που είχε το πρόβλημα της αποθήκευσης. Ήταν το 1858 που ο Γάλλος μηχανικός Ferdinand Carre κατασκεύασε ένα ψυγείο για παγάκια, με βασική αρχή λειτουργίας τον ψυκτικό κύκλο της αμμωνίας και εξαρτήματα όπως ο συμπιεστής. Επόμενο σημαντικό βήμα ήταν η κατασκευή του οικιακού ψυγείου το 1918 από την αμερικάνικη εταιρία Kelvinator. Η καινοτομία του συγκεκριμένου ήταν η χρήση του ηλεκτρικού ρεύματος του δικτύου για την λειτουργία του συμπιεστή μέσω ενός ηλεκτροκινητήρα μικρής ισχύος. Το οικιακό ψυγείο εξελίχθηκε ραγδαία και κατέκτησε την αμερικάνικη αγορά σε μια δεκαετία. Περίπου την ίδια εποχή κατασκευάστηκαν οι πρώτοι ψυκτικοί θάλαμοι ή καταψύκτες κυρίως για παγωτά με πρωτοπόρο το μηχανικό Nizer. Στους ψυκτικούς αυτούς θαλάμους το αέριο ψυκτικό άλλαζε φάση και μετατρεπόταν σε υγρό.

Μεγάλη ώθηση στη βιομηχανία της ψύξης δόθηκε από την εξέλιξη των ψυκτικών μέσων, που γίνονταν συνεχώς ασφαλέστερα, αποδοτικότερα και ευνοούσαν την ανάπτυξη ικανότερων ψυκτικών μηχανημάτων. Μετά την αμμωνία (NH_3), που ήταν ιδιαίτερα τοξική, ανακαλύφθηκαν οι χλωροφθοράνθρακες και συγκεκριμένα το 1931 το διχλωρο-διφθορο-μεθάνιο (CCL_2F_2). Για πενήντα και πλέον χρόνια έδωσαν μεγάλη ώθηση στη βιομηχανία μέχρι που τη δεκαετία του εβδομήντα κατηγορήθηκαν για την καταστροφή των στοιβάδων του όζοντος της ατμόσφαιρας με μελέτες των Rowland και Molina. Με το πρωτόκολλο του Μόντρεαλ (1987) πάνω από εκατό χώρες συμφώνησαν στην σταδιακή αντικατάστασή τους με ψυκτικά μέσα τα οποία δεν περιέχουν χλώριο και δεν έχουν τόσο βλαβερές επιπτώσεις στο περιβάλλον και κατά συνέπεια στους ανθρώπους.

Στον αντίποδα, η βιομηχανία του κλιματισμού έδωσε στον άνθρωπο τη δυνατότητα να ζει και να εργάζεται σε συνθήκες όπου δεν ήταν μέχρι τότε εφικτό. Ο κλιματισμός δεν είχε τη σημασία της θέρμανσης, που προηγήθηκε, αλλά ήταν όμως ουσιώδης για

πολλές δραστηριότητες με απαιτήσεις σε θερμική άνεση με αυξανόμενη σημασία όσο πλησιάζουμε στο σήμερα.

Η πρώτη εφαρμογή κλιματισμού έγινε το 1834 από τον Perkins, με ψυκτικό ρευστό αιθάνιο και χειροκίνητο συμπιεστή. Στη συνέχεια, ο Gorrie το 1851 εφεύρε και υλοποίησε μια μηχανή ψύξης με στόχο τη θερμική άνεση σε χώρους νοσηλείας. Ο Linde το 1856 βελτίωσε τη παραπάνω μηχανή χρησιμοποιώντας αμμωνία. Οι συμπιεστές των παραπάνω ήταν μικρές ατμομηχανές. Ο όρος “κλιματισμός” πρωτοχρησιμοποιήθηκε το 1907 σε μια διάλεξη του Cramer για τον έλεγχο της υγρασίας σε υφαντουργεία και το 1911 ο Carrier έθεσε τις βάσεις του, δημοσιεύοντας αποτελέσματα πολυετών ερευνών στο αντικείμενο. Τη δεκαετία του 1920 χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά η εφαρμογή κλιματισμού για τις ανάγκες ψύξης μεγάλων αιθουσών συγκέντρωσης κοινού, όπως τα θέατρα, τα πολυκαταστήματα και τα γραφεία. Και το 1927 κατασκευάστηκε η πρώτη μονάδα κλιματισμού για τον εσωτερικό χώρο του αυτοκινήτου.

Η τεχνολογία έκανε βήματα προς τα μπροστά με την εισαγωγή ηλεκτρικών κινητήρων στους συμπιεστές την περίοδο μετά το τέλος του πρώτου παγκοσμίου πολέμου. Επίσης, την εποχή εκείνη βελτιώθηκε και ο σχεδιασμός που οδήγησε σε βελτιωμένη λειτουργία. Σημαντική χρονολογία είναι το 1930 που η General motors με την Du Pont παρουσίασαν στην αγορά ένα νέο ψυκτικό ρευστό με το όνομα “φρέον” (freon), με άριστα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά και τα ομώνυμα μηχανήματα. Μετά το τέλος και του δεύτερου παγκοσμίου πολέμου η χρήση των κλιματιστικών μηχανημάτων έγινε συστηματική στα κτίρια σε συνδυασμό με τη θεαματική άνοδο του βιοτικού επιπέδου του πληθυσμού των ανεπτυγμένων χωρών. Σήμερα η χρήση εξοπλισμού κλιματισμού είναι ευρεία σε κάθε χρήση που απαιτεί θερμική άνεση του χρήστη. Η έρευνα έχει επικεντρωθεί στην αντικατάσταση των παλαιότερων επιβλαβών για το περιβάλλον ψυκτικών ρευστών, στην αποδοτικότερη λειτουργία των μηχανημάτων και σε συστήματα και στη δημιουργία ολοκληρωμένων με ποικίλες δυνατότητες παραμετροποίησης και αυτοματοποίησης μονάδων.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Μέθοδοι Ψύξης και Ψυκτικό Κύκλωμα

2.1. Γενικά.

Στην εξέλιξη της επιστήμης δημιουργήθηκαν αρκετές διαφορετικές μέθοδοι ψύξης και κλιματισμού. Οι κυριότερες είναι οι παρακάτω:

- Ψύξη μέσω της μηχανικής συμπίεσης των ψυκτικών ρευστών.
- Ψύξη απορρόφησης και προσρόφησης.
- Ηλεκτρονική Ψύξη με το φαινόμενο Peltier.
- Ψύξη με υπερήχους.

Πριν εξετάσουμε τις διάφορες μεθόδους είναι χρήσιμο να παραθέσουμε σύντομα κάποιες βασικές έννοιες και όρους.

2.2. Βασικές έννοιες.

2.2.1. Θερμότητα και μετάδοση θερμότητας.

Η θερμότητα (Q) είναι η μορφή ενέργειας που βρίσκεται αποθηκευμένη σε κάθε σώμα ή σύστημα και πηγάζει από τη διαρκή κίνηση των μορίων του και τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ τους και φανερώνεται όταν μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο.

Προσδίδοντας θερμότητα σε ένα σώμα, αυξάνεται η μοριακή του διέγερση, αφαιρώντας επιβραδύνεται έως ότου τερματιστεί πλήρως στη θερμοκρασία του απόλυτου μηδενός. Κύριο χαρακτηριστικό της θερμότητας είναι πως ρέει από περιοχές μεγαλύτερης θερμοκρασίας (θερμά σώματα) σε περιοχές χαμηλότερης θερμοκρασίας (ψυχρά σώματα). Πράγματι στη φύση δε μπορούμε να μιλάμε για κρύο, αλλά μόνο για θερμότητα που υφίσταται σε διαφορετικά επίπεδα. Η αφαίρεση θερμότητας είναι που προσδιορίζει αυτό που εμείς ονομάζουμε κρύο.

Μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα (SI) της ποσότητας θερμότητας είναι το joule (J) και μονάδα μέτρησης της ροής θερμότητας και της ισχύος είναι το watt (W). Στο τεχνικό σύστημα αντίστοιχες μονάδες είναι η θερμίδα (cal) και η θερμίδα ανά ώρα (cal/h). Στο αγγλοσαξονικό σύστημα είναι η βρετανική θερμομονάδα (Btu) και αντίστοιχα η βρετανική θερμομονάδα ανά ώρα (Btu/h). Ισχύουν τα παρακάτω:

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ joule/sec}$$

$$1 \text{ kcal} = 4.186 \cdot 10^3 \text{ joule} = 3.968 \text{ Btu}$$

$$1 \text{ joule} = 0,239 \cdot 10^3 \text{ kcal} = 9.478 \cdot 10^{-4} \text{ Btu}$$

Η θερμότητα μεταδίδεται με τρεις τρόπους:

- Με αγωγιμότητα, που είναι ο βασικός τρόπος μετάδοσης μεταξύ των στερεών. Η θερμική διέγερση των μορίων μεταδίδεται από το θερμαινόμενο σημείο προς όλα τα μέρη του σώματος.
- Με μεταφορά, που είναι ο βασικός τρόπος μετάδοσης στα ρευστά, υγρά ή αέρια. Τα μόρια λόγω της θερμικής διέγερσης μετακινούνται διαμέσου του περιβάλλοντος που είναι περιορισμένο το ρευστό. Με τις κινήσεις αυτές δημιουργείται μια ομοιόμορφη κατανομή της θερμότητας στο περιβάλλον.
- Με ακτινοβολία, διαμέσου ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με κλασικό παράδειγμα τον ήλιο. Όλα τα σώματα που βρίσκονται σε θερμοκρασία ανώτερη του απόλυτου μηδενός εκπέμπουν υπέρυθη ακτινοβολία.

Επομένως, η ψύξη ορίζεται ως μεταφορά θερμότητας από ένα μέρος που υπάρχει σε πλεόνασμα, σε ένα άλλο που μπορεί ελεύθερα να μεταφερθεί.

2.2.2. Θερμοκρασία.

Η θερμοκρασία (T ή θ) είναι η στάθμη ή η ένταση της θερμότητας ενός σώματος και δε μπορεί να προσδιορίσει την ποσότητα θερμότητας που περιέχεται στα σώματα. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως όταν από ένα σώμα αφαιρεθεί όλη η θερμότητα σταματάει η θερμική διέγερση που προκαλείται από την κίνηση των μορίων του και βρίσκεται σε θερμοκρασία απόλυτου μηδενός της κλίμακας Kelvin.

Οι κλίμακες μέτρησης της θερμοκρασίας πέραν από την Kelvin στο διεθνές σύστημα, είναι η κλίμακα βαθμών Celsius και η κλίμακα βαθμών Fahrenheit στο αγγλοσαξονικό σύστημα. Για τις μετατροπές των θερμοκρασιακών ενδείξεων ισχύουν τα παρακάτω:

$$^{\circ}\text{C} = \text{K} - 273$$

$$^{\circ}\text{C} = (^{\circ}\text{F} - 32) / 1.8$$

2.2.3. Πίεση.

Η πίεση (P) είναι η δύναμη που ασκείται στη μονάδα επιφάνειας και στο διεθνές σύστημα μετριέται σε Newton ανά τετραγωνικό μέτρο, μια μονάδα που ονομάζεται Pascal (Pa).

Συχνά χρησιμοποιείται και το 1 bar, που είναι περίπου η ατμοσφαιρική πίεση. Στο αγγλοσαξονικό σύστημα είναι το 1 psi = 1 lbf/ in² (λίβρα δύναμης ανά τετραγωνική ίντσα). Σε υδραυλικές και κλιματιστικές εγκαταστάσεις χρησιμοποιείται συχνά και τα μέτρα υδάτινης στήλης (1 mΥΣ), που είναι η πίεση που ασκεί μια στήλη νερού ύψους ενός μέτρου σε θερμοκρασία 15 °C. Ισχύουν τα παρακάτω:

$$1 \text{ bar} = 14,5 \text{ psi} \sim 10 \text{ mΥΣ} \sim 100 \text{ kPa}$$

Είναι σημαντικό να αποσαφηνιστεί η διαφορά της απόλυτης και της σχετικής/μανομετρικής πίεσης. Η απόλυτη πίεση είναι η πραγματική πίεση του ρευστού. Επειδή όμως μετράμε βρισκόμενοι μέσα στην ατμοσφαιρική πίεση, τα όργανα δείχνουν τη διαφορά μεταξύ απόλυτης και ατμοσφαιρικής πίεσης που ονομάζεται σχετική ή μανομετρική πίεση. Όταν η απόλυτη πίεση είναι μεγαλύτερη της ατμοσφαιρικής ισχύει $P_M = P_A - P_{ATM}$ και είναι η πίεση που μετράει ένα απλό μανόμετρο. Αν η απόλυτη πίεση είναι μικρότερη της ατμοσφαιρικής (πίεση κενού P_K), τότε ισχύει $P_K = P_{ATM} - P_A$, και η μέτρηση γίνεται με ένα ειδικό μανόμετρο που λέγεται κενόμετρο.

2.2.4. Ειδική θερμότητα ή θερμοχωρητικότητα.

Η ειδική θερμοχωρητικότητα (c) ενός υλικού είναι η ποσότητα θερμότητας που απαιτείται για να ανέβει κατά 1 K η θερμοκρασία 1 Kg του ίδιου υλικού. Στο διεθνές σύστημα μετριέται σε J/(kg*K). Στο τεχνικό σύστημα μετριέται σε kcal/(kg*°C). Ισχύει:

$$Q = m * c * \Delta T.$$

Ειδικά για τα ρευστά διακρίνουμε δύο ειδικές θερμοχωρητικότητες:

- όταν παραμένει σταθερή η πίεση, τη c_p .
- όταν παραμένει σταθερός ο όγκος, τη c_v .

Είναι για όλα τα σώματα, $c_p > c_v$.

Πρέπει να σημειώσουμε πως για τη θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση ή όγκο η τιμή της δεν είναι σταθερή αλλά μεταβάλλεται σε σχέση με τη θερμοκρασία. Όμως σε κάποιες περιπτώσεις μπορεί να έχει τιμές χωρίς μεγάλες διαφορές και έτσι επιτρέπεται να χρησιμοποιούμε μια σταθερή τιμή χωρίς μεγάλο σφάλμα, πχ για το νερό από θερμοκρασίες 0 ως 100 °C $c_p \sim 1 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$ και για τον αέρα $\sim 0.24 \text{ kcal}/(\text{kg} \cdot ^\circ\text{C})$. Προσοχή όμως γιατί οι τιμές διαφέρουν αρκετά όταν το ίδιο υλικό είναι σε διαφορετική φάση.

2.2.5. Αισθητή και λανθάνουσα θερμότητα.

Όταν η θερμότητα σε ένα υλικό αλλάζει μόνο τη θερμοκρασία του, τότε λέμε πως αυτό το ποσό ονομάζεται αισθητό ποσό θερμότητας. Υπάρχουν όμως φορές που η θερμότητα που προσδίδουμε σε ένα σώμα, αλλάζει μόνο την κατάστασή του (φάση), ενώ η θερμοκρασία του δεν μεταβάλλεται. Η θερμοκρασία του δεν αλλάζει μέχρις ότου να αλλάξει η κατάσταση του συνόλου της μάζας του. Υπάρχει δηλαδή ένα χρονικό διάστημα που υπάρχουν μαζί και οι δύο φάσεις του υλικού στην ίδια θερμοκρασία. Αυτή η σταθερή θερμοκρασία είναι ορισμένη για κάθε σώμα και εξαρτάται από την πίεση στην οποία γίνεται η αλλαγή κατάστασης. Το ποσό θερμότητας που απορροφάται ή απελευθερώνεται κατά τη διάρκεια αλλαγής φάσης ενός σώματος ορισμένης μάζας (κατά ορισμό 1 kg) λέγεται λανθάνον ποσό θερμότητας

Κατά τη μετατροπή ενός αέριου σε υγρό υπάρχει η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης και κατά τη μετατροπή ενός υγρού σε αέριο η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης ή ατμοποίησης. Όταν η μετατροπή λαμβάνει χώρα στην ίδια πίεση αυτές είναι ίσες και η σταθερή θερμοκρασία ονομάζεται θερμοκρασία κορεσμού.

Όταν ένα υγρό μετατρέπεται σε ατμό με απορρόφηση θερμότητας, λέγεται ατμοποίηση και γίνεται με δύο τρόπους:

- με εξάτμιση, οπότε η παραγωγή ατμών συντελείται μόνο στην ελεύθερη επιφάνεια του υγρού και μπορεί να συμβεί σε οποιαδήποτε θερμοκρασία μικρότερη από τη θερμοκρασία κορεσμού σε κάποια πίεση, αρκεί η πίεση των ατμών να είναι μικρότερη από την πίεση αυτή.
- με βρασμό, οπότε παράγονται ατμοί από όλη τη μάζα του υγρού, που κινούνται και ελευθερώνονται με τη μορφή φυσαλίδων. Ο βρασμός συμβαίνει μόνο στη θερμοκρασία κορεσμού για δεδομένη πίεση.

Συχνά οι όροι εξάτμιση και βρασμός χρησιμοποιούνται ο ένας αντί του άλλου, έτσι ενώ κατά την ατμοποίηση ενός ψυκτικού ρευστού πρόκειται για βρασμό, συχνά χρησιμοποιείται ο όρος εξάτμιση. Κατ' αντιστοιχία, θα έπρεπε ο εξατμιστής να καλείται ατμοποιητής.

Κατά τη μετατροπή ενός στερεού σε υγρό υπάρχει η λανθάνουσα θερμότητα τήξης και κατά τη μετατροπή ενός υγρού σε στερεό η λανθάνουσα θερμότητα πήξης ή στερεοποίησης. Όταν η μετατροπή λαμβάνει χώρα στην ίδια πίεση αυτές είναι ίσες.

Όπως είδαμε σημαντικός είναι ο ρόλος της πίεσης. Ειδικά για εξάτμιση και συμπύκνωση η αύξηση της πίεσης αυξάνει τη θερμοκρασία κορεσμού και μειώνει τη λανθάνουσα θερμότητα. Η πίεση στην οποία έχουμε εξάτμιση ή συμπύκνωση σε δεδομένη θερμοκρασία λέγεται πίεση κορεσμού. Επομένως, είναι δυνατό να κάνουμε ένα υγρό να βράσει και να μετατραπεί σε αέριο σε δεδομένη θερμοκρασία, αρκεί να του ελαττώσουμε την πίεση και αντιστρόφως μπορεί ένα αέριο να συμπυκνωθεί και να μετατραπεί σε υγρό, αλλά πρέπει να του αυξήσουμε την πίεση.

2.2.6. Ενθαλπία και ειδική ενθαλπία.

Η ενθαλπία (H) δηλώνει το ποσό της θερμικής ενέργειας που είναι διαθέσιμη σε κάθε σώμα σε δεδομένη κατάσταση, ξεκινώντας τη μέτρηση από ένα σημείο που ορίζεται αυθαίρετα με την τιμή 0 και αντιστοιχεί σε συγκεκριμένη κατάσταση του σώματος. Μονάδα μέτρησης το joule στο διεθνές σύστημα.

Στις ενεργειακές δοσοληψίες ενός σώματος μπορεί να μεταβάλλονται όχι μόνο η θερμική του κατάσταση αλλά και άλλες ιδιότητές του όπως ο όγκος και η πίεσή του. Το μέγεθος που εξαρτάται από τη δομή της ύλης και επηρεάζεται από τη μεταφορά θερμότητας από ή προς το σώμα λέγεται εσωτερική ενέργεια U και είναι αυτή η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη μέσα στο σώμα ή σύστημα. Το μέγεθος πίεση επί όγκος αντιπροσωπεύει ενέργεια και παρουσιάζει ενδιαφέρον γιατί οι μεταβολές του συνοδεύονται από καταβολή ή παραγωγή έργου. Η ενθαλπία συνδυάζει σε ένα μέγεθος τα δύο αυτά ενεργειακά συστατικά και αφορά την κατάσταση στην οποία βρίσκεται. Ισχύει:

$$H = U + P * V$$

Όταν αναφερόμαστε στη μονάδα μάζας έχουμε την ειδική ενθαλπία h. Μονάδα μέτρησης το joule/kg.

Η ειδική ενθαλπία του νερού σε ατμοσφαιρική πίεση είναι πρακτικά ανάλογη της θερμοκρασίας του σε kcal/kg.

2.2.7. Εντροπία και ειδική εντροπία.

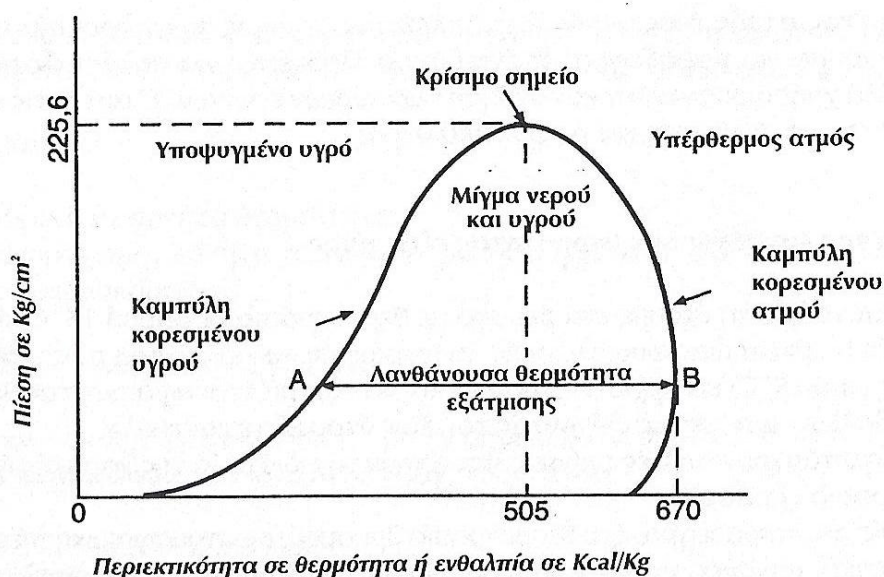
Η εντροπία (S) είναι μια ιδιότητα ενός σώματος ή συστήματος που σχετίζεται με την αταξία των μορίων του. Όσο πιο άτακτη είναι η κίνηση των μορίων, τόσο μεγαλύτερη είναι η εντροπία. Μονάδα της εντροπίας είναι το joule/ K στο διεθνές σύστημα και

όταν αναφερόμαστε στη μονάδα μάζας, ορίζουμε την ειδική εντροπία (s) με μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα το $\text{joule}/(\text{K} \cdot \text{kg})$.

Αυτό που έχει ιδιαίτερη σημασία είναι πως όλες οι πραγματικές μεταβολές σε ένα απομονωμένο σύστημα συνοδεύονται από αύξηση της εντροπίας του ή τη στασιμότητα αυτής. Στην τελευταία περίπτωση λέμε πως έχουμε ισεντροπική διεργασία. Τέτοια διεργασία θεωρούμε πως έχουμε όταν δεν συμβαίνουν ανταλλαγές θερμότητας, δηλαδή σε μια διεργασία αδιαβατική. Βέβαια, κάθε ισεντροπική διεργασία δεν είναι απαραίτητα και αδιαβατική.

2.3. Το διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας.

Ένα πολύ ιδιαίτερο διάγραμμα για τις ψυκτικές εγκαταστάσεις είναι το διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας. Παρακάτω παρουσιάζεται το διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας του κορεσμένου υδρατμού.



2.1. Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας κορεσμένου υδρατμού.

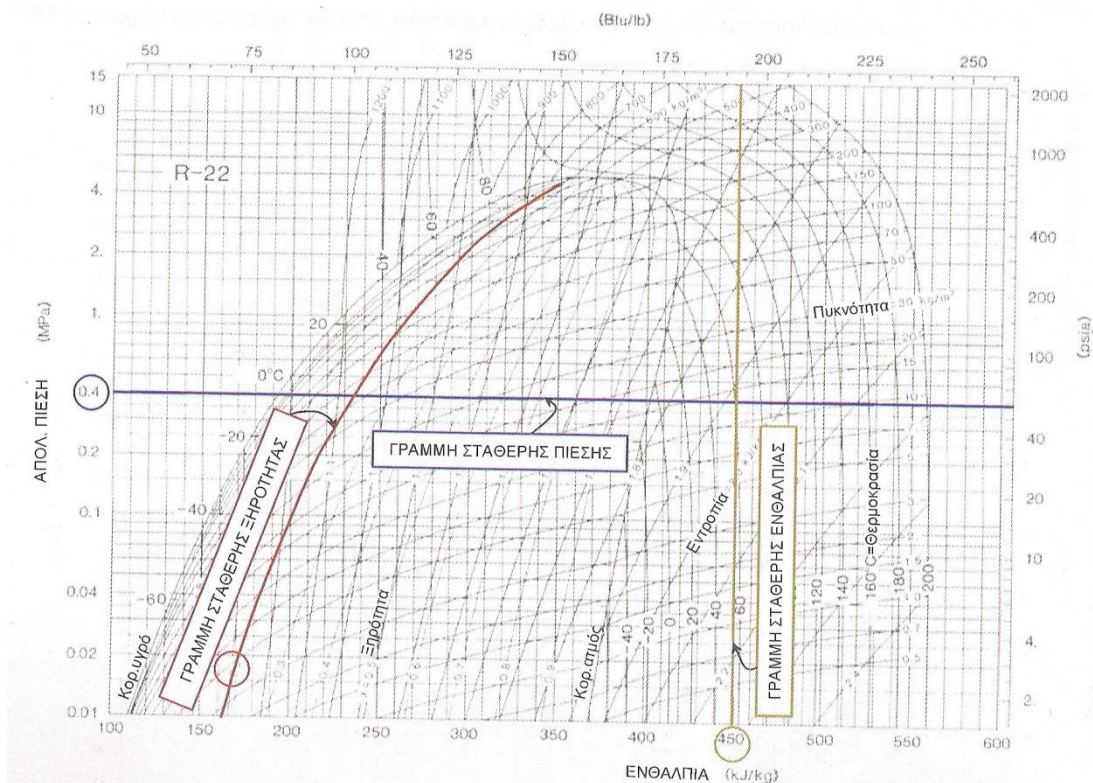
Όλα τα σημεία εντός της καμπύλης αναφέρονται σε κορεσμένο υδρατμό σε διαφορετικές συνθήκες ενθαλπίας και πίεσης. Η καμπύλη συμβατικά υποδιαιρείται σε δύο μέρη, αριστερά είναι η καμπύλη του κορεσμένου υγρού και δεξιά η καμπύλη του κορεσμένου ατμού. Το σημείο ένωσης ονομάζεται κρίσιμο σημείο. Στο κρίσιμο σημείο υπάρχει και υγρό και ατμός. Αρκεί μια ελαφρά αύξηση της ενθαλπίας για να περάσει το ρευστό στην κατάσταση του ατμού και αντίστροφα. Στην πράξη δεν υπάρχουν εφαρμογές ρευστών σε συνθήκες κρίσιμου σημείου.

Αριστερά της καμπύλης κορεσμένου υγρού το υγρό βρίσκεται σε κατάσταση υποψυγμένου υγρού (σημείωση: ένα υγρό λέγεται υπόψυκτο, όταν βρίσκεται σε μια θερμοκρασία κατώτερη από εκείνη του βρασμού στην ίδια πίεση) και δεξιά της καμπύλης του κορεσμένου ατμού βρίσκεται σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού.

Το σημείο A δείχνει την περιεκτικότητα σε θερμότητα (ή ενθαλπία) 1 kg κορεσμένου υγρού. Το σημείο B ενός κορεσμένου ατμού. Η διαφορά ανάμεσα στα σημεία A και B αντιστοιχεί στη λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης. Η μεταβολή αυτή κατά την οποία το υγρό περνάει στην αέρια κατάσταση, δηλαδή από την κατάσταση κορεσμένου υγρού στην κατάσταση κορεσμένου ατμού γίνεται με την κατανάλωση κάποιας ποσότητας θερμότητας από το περιβάλλον που προσδίδεται ή αφαιρείται.

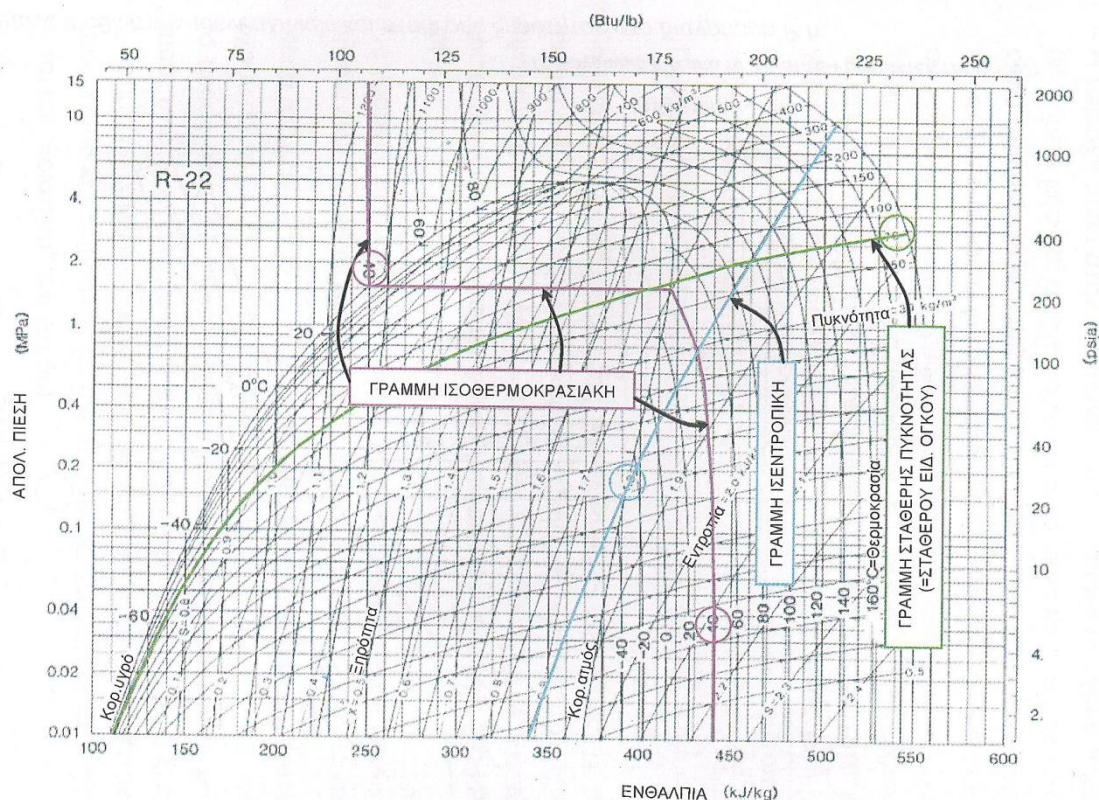
Στο διάγραμμα αυτό όλες οι ευθείες σταθερής ενθαλπίας (ισοενθαλπικές) είναι φυσικά κάθετες, ενώ όλες οι ευθείες σταθερής πίεσης (ισοβαρείς ή ισόθλιπτες) είναι οριζόντιες. Προσοχή πρέπει να δοθεί πως η πίεση στο διάγραμμα είναι απόλυτη. Το διάγραμμα στην εικόνα 2.1 αναφέρεται σε υδρατμό, αλλά μπορεί να γίνει για όλα τα ψυκτικά ρευστά.

Μέσα στην καμπάνα υπάρχουν οι γραμμές σταθερής ξηρότητας που έχουν πάνω τους τιμές του βαθμού ξηρότητας από 0.1 ως 0.9 και εκφράζουν το ποσοστό του ψυκτικού ρευστού που βρίσκεται σε μορφή ατμού, ενώ το υπόλοιπο είναι σε υγρή κατάσταση (εικόνα 2.2)



2.2. Ισοβαρείς, ισοενθαλπικές και γραμμές ξηρότητας στο διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας.

Επίσης, εμφανίζονται οι γραμμές σταθερής θερμοκρασίας, οι γραμμές σταθερής εντροπίας και οι γραμμές σταθερής πυκνότητας (εικόνα 2.3). Οι ισοθερμοκρασιακές γραμμές συνεχίζονται μέσα στην καμπάνα, όπου είναι οριζόντιες δηλαδή είναι ταυτόχρονα και ισοβαρείς. Οι ισεντροπικές παρουσιάζουν την τιμή της ειδικής εντροπίας, που όμως σπάνια μας ενδιαφέρει. Από τις γραμμές σταθερής πυκνότητας μπορούμε να βρούμε τον ειδικό όγκο, που είναι μεγέθη αντίστροφα. Οι γραμμές σταθερής πυκνότητας είναι λοιπόν και γραμμές σταθερού όγκου (ισόογκες). Οι παραπάνω γραμμές φαίνονται στην εικόνα που ακολουθεί (εικόνα 2.3).



2.3. Ισοθερμοκρασιακές, ισηντροπικές και γραμμές σταθερής πυκνότητας.

2.4. Το βασικό ψυκτικό κύκλωμα.

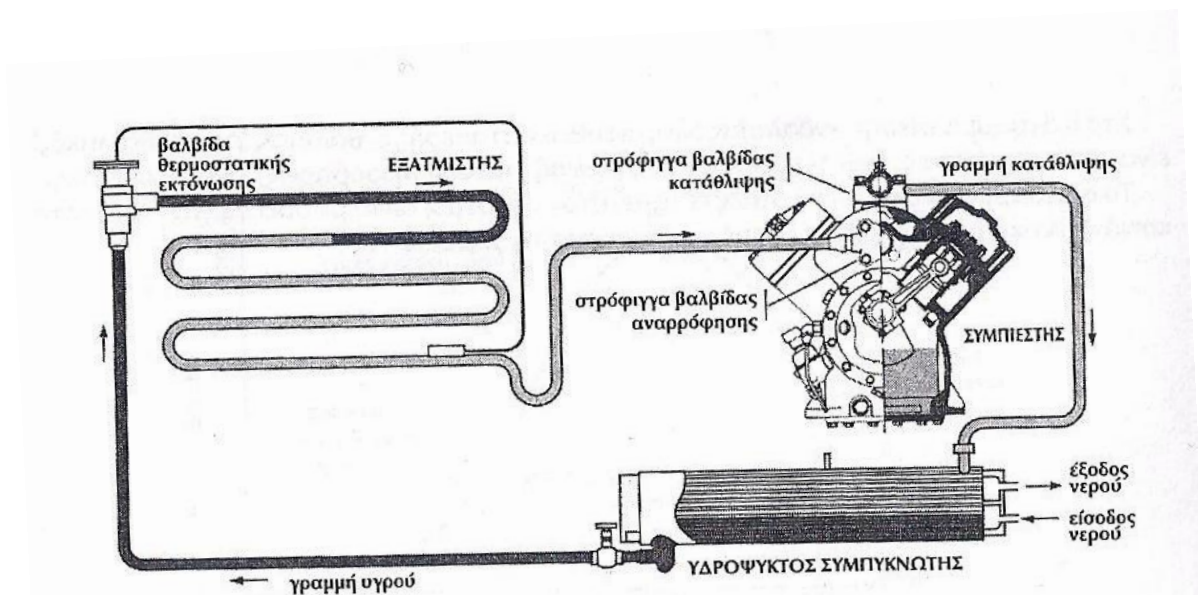
Πριν προχωρήσουμε στην περιγραφή των μεθόδων ψύξης είναι χρήσιμο να παραθέσουμε τα βασικά στοιχεία ενός ψυκτικού κυκλώματος.

Το ψυκτικό κύκλωμα ορίζεται ως το κύκλωμα μέσω του οποίου ένα ψυκτικό ρευστό πραγματοποιεί τη διαδικασία της ψύξης, δηλαδή τη μεταφορά θερμότητας από ένα χώρο, όπου υπάρχει σε πλεόνασμα, σε έναν άλλο, όπου μπορεί να διοχετευθεί ελεύθερα, χωρίς να προκαλέσει ζημιές ή προβλήματα.

Για να επιτύχει τα παραπάνω το ψυκτικό ρευστό θα πρέπει να έχει κατάλληλες ιδιότητες και κυρίως την ικανότητα να απορροφά θερμότητα, καθώς εξατμίζεται σε χαμηλές θερμοκρασίες και πιέσεις και να μπορεί να αποδίδει τη θερμότητα που

προηγουμένως απορρόφησε, όταν συμπυκνώνεται σε υψηλότερη θερμοκρασία και πίεση. Η θερμότητα αυτή που απορροφάει το ψυκτικό υγρό είναι η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του κατά την ατμοποίηση του σε κατάλληλη διάταξη με αποτέλεσμα την ψύξη του περιβάλλοντος χώρου.

Το ψυκτικό κύκλωμα απαιτεί δύο ξεχωριστές περιοχές: μία θερμή την οποία θα ψύξει με την εξάτμιση του ψυκτικού ρευστού και μία ψυχρή στην οποία θα αποδώσει τη θερμότητα που απορροφήθηκε. Βασικά εξαρτήματα του ψυκτικού κυκλώματος είναι ο εξατμιστής, ο συμπυκνωτής, η εκτονωτική βαλβίδα και ο συμπιεστής.



2.4. Το βασικό ψυκτικό κύκλωμα.

Ο εξατμιστής είναι τοποθετημένος στη θερμή περιοχή. Στο εσωτερικό του πραγματοποιείται η ατμοποίηση του ψυκτικού με συνέπεια την αφαίρεση θερμότητας από το περιβάλλον, δηλαδή την ψυχρή περιοχή. Άμεσο αποτέλεσμα της διεργασίας αλλαγής φάσης του ψυκτικού είναι η ψύξη της θερμής περιοχής.

Ο συμπυκνωτής είναι τοποθετημένος στην ψυχρή περιοχή. Στο εσωτερικό του λαμβάνει χώρο η συμπύκνωση του ψυκτικού με ταυτόχρονη αποβολή της θερμότητας που είχε απορροφήσει νωρίτερα. Αποτέλεσμα της διεργασίας αυτής είναι η θέρμανση της ψυχρής περιοχής.

Ο συμπιεστής είναι μια ογκομετρική ρευστοδυναμική μηχανή. Αναρροφά το ψυκτικό σε κατάσταση ατμού, το συμπιέζει αυξάνοντας την πίεση και τη θερμοκρασία του και το οδηγεί στο συμπυκνωτή. Ο συμπιεστής καταναλώνει μηχανικό έργο για την παραπάνω διεργασία, που προέρχεται συνήθως από κάποιον ηλεκτροκινητήρα. Η σωλήνωση που συνδέει τον εξαμιστή με τον συμπιεστή είναι η γραμμή αναρρόφησης, ενώ αυτή που συνδέει το συμπιεστή με το συμπυκνωτή είναι η γραμμή κατάθλιψης. Η εκτονωτική βαλβίδα ρυθμίζει την κυκλοφορία του ψυκτικού αμέσως μετά το συμπυκνωτή προς τον εξαμιστή, για το λόγο αυτό παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο. Επίσης, μετά τη βαλβίδα επικρατούν συνθήκες χαμηλής πίεσης με αποτέλεσμα ένα μέρος του ψυκτικού να εξαμιστεί και να αφαιρεί θερμότητα από το υγρό ψυκτικό (στην ουσία ψύχει το ψυκτικό υγρό). Για το λόγο αυτό το ψυκτικό πριν φτάσει στον εξαμιστή έχει και χαμηλότερη θερμοκρασία.

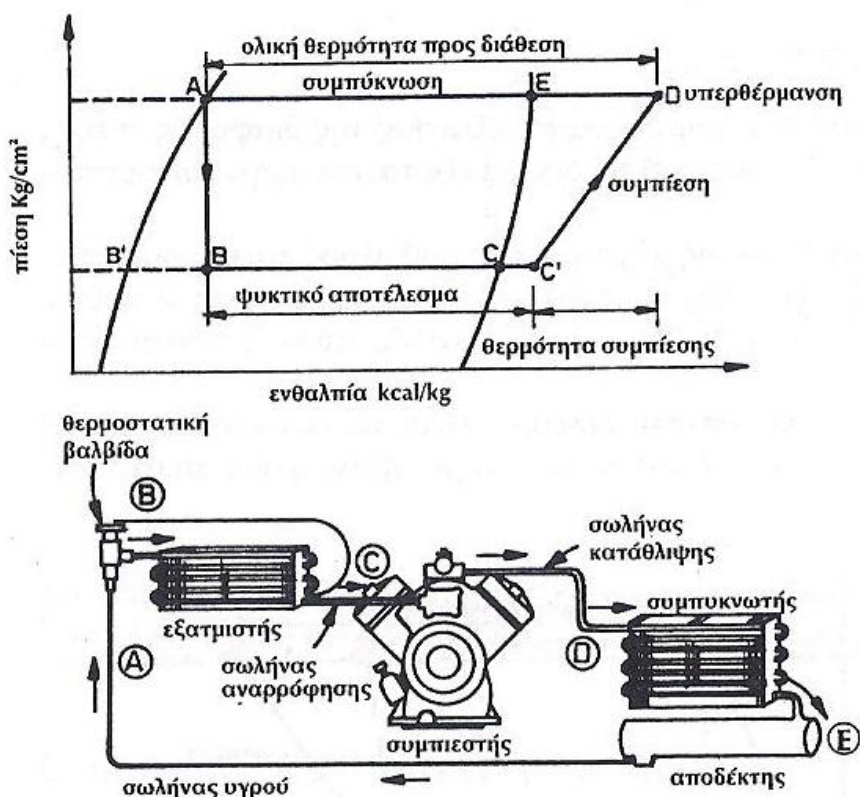
Το ψυκτικό κύκλωμα έχει βοηθητικά εξαρτήματα και εξοπλισμό ελέγχου. Τα βοηθητικά εξαρτήματα που μπορούμε να βρούμε είναι μανόμετρα, βαλβίδες διακοπής, αντεπίστροφες και ασφαλείας, βαλβίδα πλήρωσης ψυκτικού, δείκτες ροής, φίλτρα ξήρανσης, παγίδες σταγόνων και σιγαστήρες, που τοποθετούνται σε κατάλληλα σημεία για λόγους λειτουργικούς ή ασφάλειας. Τα κυριότερα όργανα ελέγχου είναι ο πρεσοστάτης της πίεσης ελαίου του συμπιεστή, ο διπλός πρεσοστάτης υψηλής-χαμηλής πίεσης, ο ρυθμιστής της πίεσης του εξαμιστή, ο ρυθμιστής της πίεσης αναρρόφησης, η ηλεκτρομαγνητική βαλβίδα ροής του ψυκτικού και οι θερμοστάτες ελέγχου. Σήμερα, σχεδόν όλα τα ψυκτικά κυκλώματα ελέγχονται ηλεκτρονικά και ο παραπάνω εξοπλισμός είναι συνδεδεμένος με αυτόματους ηλεκτρονικούς ελεγκτές.

Αφού ολοκληρώσαμε την περιγραφή του βασικού ψυκτικού κυκλώματος, μπορούμε να προχωρήσουμε στην περιγραφή των βασικών μεθόδων ψύξης.

2.5. Ψύξη με μηχανική συμπίεση ρευστών.

Είναι η απλούστερη και πιο διαδεδομένη μέθοδος ψύξης. Σε μια ψυκτική διάταξη με συμπίεση του ψυκτικού ρευστού, η απαραίτητη ενέργεια για να λειτουργήσει δίνεται με μορφή μηχανικού έργου.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε από θερμοδυναμική άποψη τον ψυκτικό κύκλο με μηχανική συμπίεση. Το κύκλωμα που παρουσιάζουμε έχει ως σκοπό να ψύξει τον αέρα μέσα από τον εξατμιστή και είναι κλειστό κύκλωμα, δηλαδή δεν προσθέτουμε ούτε αφαιρούμε ψυκτικό ρευστό. Στα παραπάνω θα μας βοηθήσει το διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας που παρουσιάσαμε στις προηγούμενες παραγράφους. Σημειώνουμε πάλι πως το διάγραμμα μπορεί να σχεδιαστεί τόσο για τον υδρατμό όσο και τα υπόλοιπα ψυκτικά ρευστά (εικόνα 2.4).



2.5. Ψυκτικός κύκλος με μηχανική συμπίεση ρευστού.

Αρχικό σημείο θεωρούμε το Α αυθαίρετα, όπου είναι το σημείο αμέσως πριν τη βαλβίδα ρύθμισης και όπως βλέπουμε και από το διάγραμμα το ρευστό βρίσκεται στη θερμοκρασία συμπύκνωσης. Περνώντας μέσα από τη βαλβίδα, ένα μέρος του ψυκτικού εξατμίζεται λόγω της μείωσης της πίεσης και φτάνουμε στο σημείο Β. Αυτή η μεταβολή γίνεται ταχέως και χωρίς να υπάρχει συναλλαγή θερμότητας, είναι επομένως μια ισοενθαλπική μεταβολή (ισοενθαλπικός στραγγαλισμός). Άρα το ψυκτικό εισέρχεται στον εξατμιστή με το ίδιο ποσό θερμότητας που είχε πριν τη θερμοστατική βαλβίδα. Σημειώνουμε πως στον εξατμιστή εισέρχεται υγρός ατμός.

Παρατηρούμε στο διάγραμμα πως ένα μέρος του ψυκτικού κατά την εξάτμιση ψύχει το υγρό, χωρίς να επιτελεί κάποια χρήσιμη λειτουργία στην αφαίρεση θερμότητας του αέρα που διέρχεται από τον εξατμιστή. Επομένως, αποτελεί μια μείωση της απόδοσης. Αυτό το ποσό θερμότητας που χάνεται φαίνεται στο διάγραμμα από το σημείο Β' ως το σημείο Β. Σημειώνουμε πως ρευστά με μικρή ειδική θερμότητα είναι αποδοτικότερα γιατί χρειάζονται μικρότερα ποσά θερμότητας για την ψύξη τους και άρα μειώνεται η ποσότητα του ατμού που καταναλώνεται. Στις συνήθεις εφαρμογές κλιματισμού η ποσότητα του ψυκτικού υγρού που χάνεται κυμαίνεται σε ένα ποσοστό από 15 ως 25%.

Στη συνέχεια το ψυκτικό ρέει από τον εξατμιστή προς τον συμπυκνωτή λόγω της διαφοράς πίεσης που υπάρχει ανάμεσά τους και οφείλεται στο έργο του συμπιεστή. Κατανοούμε λοιπόν τη σημασία του συμπιεστή στα ψυκτικά κυκλώματα. Αφαιρώντας θερμότητα από τον αέρα που διαρρέει τον εξατμιστή, το υγρό εξατμίζεται και μετατρέπεται σε ατμό. Η θερμοκρασία του αέρα που διαρρέει τον εξατμιστή πρέπει να είναι μεγαλύτερη σε ικανό βαθμό από τη θερμοκρασία του ψυκτικού, ώστε να επιτευχθεί η συναλλαγή θερμότητας. Για να έχουμε τα πλήρη οφέλη του ψυκτικού αποτελέσματος, είναι απαραίτητο το ψυκτικό να ατμοποιηθεί στο σύνολό του πριν εγκαταλείψει τον εξατμιστή. Στο διάγραμμα η μεταβολή φαίνεται με μια ευθεία γραμμή μεταξύ των σημείων Β και C', θεωρείται διεργασία σταθερής πίεσης και το ψυκτικό αποτέλεσμα δίνεται από τη διαφορά των δύο σημείων. Ο χώρος που αντλούμε

θερμότητα, την απαραίτητη για την ατμοποίηση του ψυκτικού ρευστού είναι το “ψυχροδοχείο”.

Ο ατμός αφήνοντας τον εξατμιστή μπορεί να βρεθεί σε δύο καταστάσεις:

- σε μορφή κορεσμένου ατμού, τότε όμως η ευθεία B-C' θα σταματούσε στο σημείο C της καμπύλης κορεσμένου ατμού.
- σε μορφή υπέρθερμου ατμού, όπως φαίνεται στο διάγραμμα, πέρα από την καμπύλη κορεσμένου ατμού ευθεία C-C'.

Η κατάσταση που θα βρεθεί ο ατμός στον κύκλο εξαρτάται από τις διαστάσεις του εξατμιστή και κάποιους άλλους κατασκευαστικούς παράγοντες. Η υπερθέρμανση αυξάνει το ψυκτικό αποτέλεσμα, αρκεί όμως να γίνεται μέσα στον εξατμιστή. Περίπτωση υπερθέρμανσης στις σωληνώσεις του εξατμιστή με το συμπιεστή δε δίνει ωφέλιμο αποτέλεσμα. Υπερθέρμανση επιδιώκουμε να έχουμε πάντα, γιατί έτσι αποφεύγουμε τον κίνδυνο να υπάρχει στην αναρρόφηση του συμπιεστή μια μικρή ποσότητα υγρού ατμού, δηλαδή σταγονίδια υγρού ψυκτικού, που θα μπορούσαν να προκαλέσουν ζημιές. Βέβαια, η υπερθέρμανση μειώνει τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης του συμπιεστή, προκύπτει δηλαδή αύξηση του καταναλισκόμενου έργου και τελικά ίσως μείωση της απόδοσης του ψυκτικού κύκλου, ειδικά όταν η υπερθέρμανση γίνει έξω από τον εξατμιστή, το οποίο αποτελεί μειονέκτημα.

Η θερμοκρασία του ψυκτικού στην έξοδο του εξατμιστή είναι ένα σημαντικό στοιχείο σχεδιασμού, γιατί αποτελεί την θερμοκρασία κορεσμού του ψυκτικού που αντιστοιχεί στην πίεση με την οποία εγκαταλείπει τον εξατμιστή.

Ο συμπιεστής λοιπόν αναρροφά τον ατμό, είτε είναι κορεσμένος ή υπέρθερμος και στη συνέχεια τον συμπιέζει. Το μηχανικό έργο του συμπιεστή μεταφράζεται με μια αύξηση της ποσότητας της θερμοκρασίας που περιέχεται στον ατμό και η οποία ονομάζεται θερμότητα συμπίεσης. Επίσης, λόγω της συμπίεσης αυξάνεται η πίεση του ατμού και η θερμοκρασία του. Η μεταβολή φαίνεται στο διάγραμμα με τη γραμμή C-D. Η θερμότητα συμπίεσης εξαρτάται και από το ψυκτικό ρευστό, αλλά κυρίως με

τα διαφορετικά επίπεδα θερμοκρασίας και πίεσης λειτουργίας του ψυκτικού κύκλου. Είναι σημαντικό να σημειώσουμε πως ο ατμός αναρροφάται από τον συμπιεστή στον ίδιο ρυθμό με τον οποίο παράγεται στον εξατμιστή. Αν ο ρυθμός ήταν διαφορετικός θα δημιουργούσε τα εξής προβλήματα:

- μεγαλύτερος όγκος αναρρόφησης, θα προκαλούσε δυσανάλογη μείωση της πίεσης και της θερμοκρασίας στον εξατμιστή.
- μικρότερος όγκος αναρρόφησης, θα προκαλούσε αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας στον εξατμιστή.

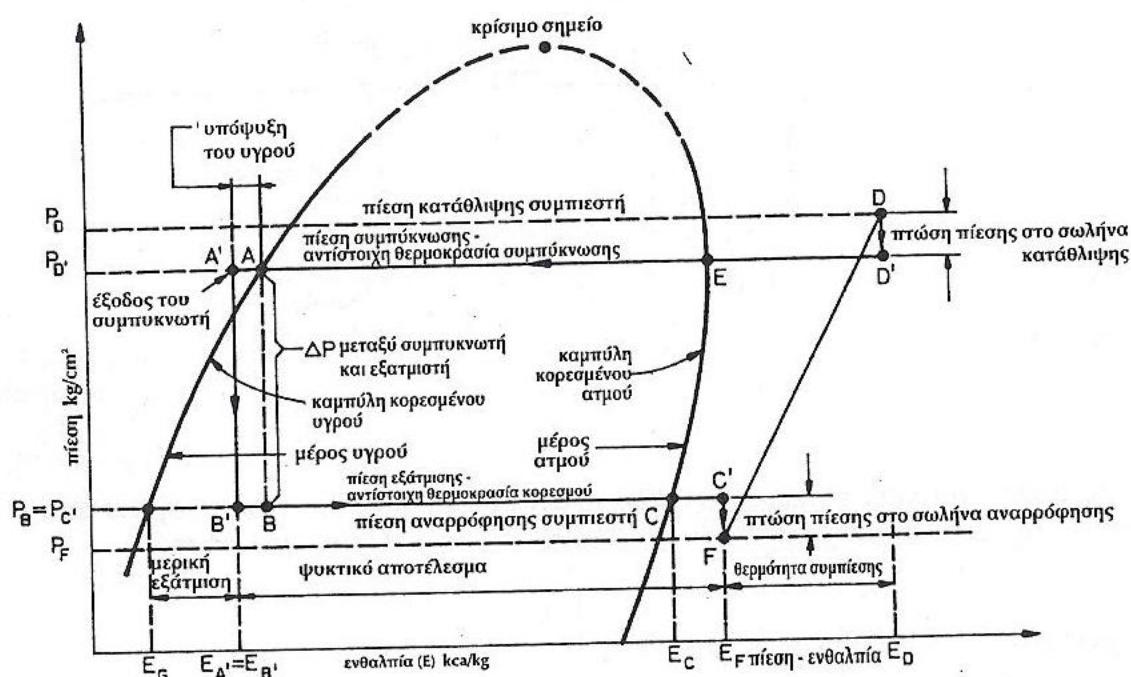
Η συμπίεση θεωρητικά γίνεται χωρίς ανταλλαγή θερμότητας, οπότε είναι μια αδιαβατική-ισεντροπική μεταβολή. Ο λόγος των απόλυτων πιέσεων της κατάθλιψης και της αναρρόφησης λέγεται λόγος συμπίεσης και παίζει σπουδαίο ρόλο στην απόδοση μιας ψυκτικής διάταξης.

Το επόμενο στάδιο του κύκλου είναι η είσοδος του ψυκτικού στο συμπυκνωτή σε κατάσταση υπέρθερμου ατμού. Μέσα στο συμπυκνωτή το ψυκτικό αποβάλλει τη θερμότητα που έχει συσσωρεύσει και είναι το άθροισμα της θερμότητας που απορρόφησε στον εξατμιστή και στη θερμότητα που οφείλεται στο μηχανικό έργο του συμπιεστή. Στο διάγραμμα η μεταβολή φαίνεται με την ευθεία D-E-A. Η διαδικασία της συμπύκνωσης έχει δύο φάσεις. Η πρώτη είναι η μείωση της θερμοκρασίας του υπέρθερμου ατμού μέχρι το σημείο κορεσμού στην πίεση που υπάρχει στο συμπιεστή. Η δεύτερη είναι η αλλαγή της κατάστασης του ψυκτικού από κορεσμένο ατμό σε κορεσμένο υγρό, δηλαδή πλήρη συμπύκνωση. Η θερμοκρασία συμπύκνωσης εξαρτάται από το μέσο ψύξης του συμπυκνωτή (αερόψυκτος ή υγρόψυκτος). Σημειώνουμε πως για να πραγματοποιηθεί η συμπύκνωση θα πρέπει η θερμοκρασία συμπύκνωσης του ψυκτικού να είναι πάντα ικανά μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του μέσου ψύξης.

Είναι εφικτό ανάλογα με τον κατασκευαστικό σχεδιασμό, το ψυκτικό που βρίσκεται σε κατάσταση υγρού να υποψυκτεί, οπότε το σημείο A θα κατέληγε αριστερά της καμπύλης κορεσμένου υγρού αυξάνοντας το ψυκτικό αποτέλεσμα.

Τα παραπάνω ολοκληρώνουν τον ψυκτικό κύκλο με μηχανική συμπίεση. Το ψυκτικό από το σημείο A μπορεί να ξαναρχίσει τον ίδιο κύκλο, αφού το κύκλωμα είναι κλειστό.

Βέβαια, τα παραπάνω απέχουν από τις κανονικές συνθήκες λειτουργίας για το λόγο πως δεν έχουν προβλεφθεί οι αναπόφευκτες απώλειες που οφείλονται σε τριβές του ψυκτικού στο κύκλωμα και οδηγούν σε πτώση των πιέσεων. Παρακάτω παραθέτουμε έναν πιο ρεαλιστικό ψυκτικό κύκλο.



2.6. Πραγματικός ψυκτικός κύκλος με μηχανική συμπίεση λόγω απωλειών.

Οι απώλειες που αναφέραμε προηγουμένως φαίνονται χαρακτηριστικά στα διαστήματα C'-F στη γραμμή αναρρόφησης και D-D' στη γραμμή συμπίεσης. Για την

εξισορρόπηση αυτών των απωλειών απαιτείται περισσότερο μηχανικό έργο από το συμπιεστή, επομένως όσο μεγαλύτερες είναι τόσο μειώνεται η απόδοση του κύκλου.

Χαρακτηριστικές παράμετροι του κύκλου είναι το ψυκτικό αποτέλεσμα, το θερμικό ισοδύναμο του έργου συμπίεσης, η αποβαλλόμενη θερμότητα, το ωφέλιμο αποτέλεσμα και η απόδοση του ψυκτικού κύκλου, τα οποία και εξετάζουμε στη συνέχεια.

Το ψυκτικό αποτέλεσμα q_{ψ} είναι η ποσότητα της θερμότητας που απορροφήθηκε από 1kg ψυκτικού κατά την ατμοποίηση του στον εξατμιστή και στο διάγραμμα φαίνεται από τη διαφορά της ειδικής ενθαλπίας στα σημεία C' και B'. Ισχύει:

$$q_{\psi} = h_{C'} - h_{B'} \text{ (στη μονάδα μάζας)}$$

$$\text{και άρα } Q_{\psi} = m * (h_{C'} - h_{B'}) \text{ (σε J).}$$

Ο ρυθμός με τον οποίο απορροφά θερμότητα η διάταξη είναι ο ρυθμός με τον οποίο απορροφά τη θερμότητα από το ψυχοδοχείο η μάζα του ψυκτικού που κυκλοφορεί στο κύκλωμα στη μονάδα του χρόνου, δηλαδή η παροχή μάζας σε kg/s. Επομένως, η παροχή θα απορροφά ισχύ ($W=J/s$) και έτσι ορίζεται η ψυκτική ισχύς ή ψυκτική ικανότητα του κυκλώματος.

Η ισχύς ενός ψυκτικού συστήματος εκφράζεται επίσης με τη σχέση:

$$P = V * \Delta H / V_1$$

όπου:

V = ο όγκος που μετακινείται από το συμπιεστή στη μονάδα του χρόνου (m^3/h).

ΔH = καθαρή ψυκτική απόδοση, εκφρασμένη ως διαφορά ενθαλπίας του ρευστού στην έξοδο και στην είσοδο του συμπιεστή.

V_1 = ειδικός όγκος του κορεσμένου ατμού στην είσοδο του συμπιεστή (m^3/kg).

Το θερμικό ισοδύναμο του έργου συμπίεσης, δηλαδή του απαιτούμενου έργου για την αύξηση της πίεσης και της θερμοκρασίας είναι η διαφορά της ειδικής ενθαλπίας στα σημεία D και F. Όπως ορίστηκε παραπάνω για συγκεκριμένη παροχή του συμπιεστή ορίζεται η ισχύς που απορροφά ο συμπιεστής.

Η θερμότητα που αποβάλλεται στον συμπυκνωτή στην περίπτωση χωρίς υπόψυξη είναι η διαφορά της ειδικής ενθαλπίας μεταξύ των σημείων D' και A, ενώ με υπόψυξη των σημείων D' και A'. Αντίστοιχα ορίζεται και η ισχύς συμπύκνωσης για την παροχή στη μονάδα του χρόνου.

Το ωφέλιμο αποτέλεσμα του ψυκτικού κύκλου ορίζεται από τη σχέση του κλάσματος της διαφοράς της ειδικής ενθαλπίας των σημείων C' και B' στον αριθμητή με τη διαφορά της ειδικής ενθαλπίας των σημείων D και F στον παρονομαστή. Η παραπάνω σχέση ονομάζεται και συντελεστής απόδοσης COP (Coefficient of Performance) και είναι αδιάστατο μέγεθος. Ισχύει λοιπόν:

$$COP = (h_{C'} - h_{B'}) / (h_D - h_F) = (\text{ψυκτική ισχύς}) / (\text{ισχύς συμπιεστή})$$

Παρατηρούμε πως το ωφέλιμο αποτέλεσμα μεταβάλλεται σε σχέση με τις θερμοκρασίες εξάτμισης και συμπύκνωσης και επηρεάζεται από τις απώλειες απόδοσης μηχανικού τύπου.

Υπάρχει και η έννοια του συντελεστή απόδοσης μετατροπής ενέργειας EER (Energy Efficiency Ratio). Σημειώνουμε πως το COP λαμβάνει διαφορετική έννοια ανάλογα με τη λειτουργία του ψυκτικού κύκλου μόνο για ψύξη ή για ψύξη και θέρμανση (περίπτωση αντλίας θερμότητας). Ειδικά στη λειτουργία που το ζητούμενο αποτέλεσμα είναι η θέρμανση θα πρέπει να ληφθεί υπόψη το άθροισμα του ψυκτικού αποτελέσματος και του θερμικού ισοδύναμου του έργου συμπίεσης, που αποτελεί τη διαθέσιμη θερμότητα. Επομένως ισχύει η σχέση:

$$\text{COP} = (h_D - h_{B'}) / (h_D - h_F)$$

Το COP και το EER δεν αποτελούν μια απόδοση και για το λόγο αυτό είναι πάντα μεγαλύτερα από τη μονάδα. Δηλώνουν μόνο το βαθμό μεταφοράς θερμότητας για κάθε μονάδα ενέργειας που προσδίδεται με τη μορφή μηχανικού έργου.

Τέλος, θα μπορούσαμε να ορίσουμε το θεωρητικό COP, στα επίπεδα της θερμοκρασίας που εκτελείται ο ψυκτικός κύκλος:

$$\text{COP}_{\text{THEOR}} = T_e / (T_c - T_e)$$

όπου: T_e = απόλυτη θερμοκρασία εξάτμισης σε Κ.

T_c = απόλυτη θερμοκρασία συμπύκνωσης σε Κ.

Είναι εμφανές πως όσο μειώνεται η διαφορά ανάμεσα στις δύο θερμοκρασίες, το ωφέλιμο αποτέλεσμα του κύκλου αυξάνει.

2.6. Ψύξη απορρόφησης και προσρόφησης.

Ο ψυκτικός κύκλος απορρόφησης επινοήθηκε προγενέστερα του κύκλου συμπίεσης στο δεύτερο μισό του δέκατου όγδοου αιώνα. Μεγαλύτερη διάδοση των ψυκτικών διατάξεων απορρόφησης παρατηρήθηκε μετά το 1950.

Ο κύκλος αυτός βασίζεται στη χρήση δύο διαφορετικών διαλυμάτων, το ένα είναι νερό και αμμωνία και το άλλο νερό και βρωμιούχο λίθιο. Το ένα από τα δύο λειτουργεί ως ψυκτικό μέσο και το δεύτερο ως απορροφητής, δηλαδή διαλύτης του πρώτου για την κυκλοφορία του. Οι εφαρμογές με το πρώτο διάλυμα είναι χαμηλής ισχύος, ενώ με το δεύτερο καλύπτεται όλο το φάσμα ισχύων.

Η λειτουργία του κύκλου απορρόφησης βασίζεται στη θερμότητα που παρέχεται από μια εξωτερική πηγή θερμότητας. Υπάρχει ένα ψυκτικό μέσο που αφαιρεί θερμότητα από ένα χώρο και τη διοχετεύει σε κάποιον άλλο, αλλά η βασική διαφορά με τον κύκλο συμπίεσης είναι η απουσία του συμπιεστή. Η κυκλοφορία του ψυκτικού πραγματοποιείται με τη χορηγούμενη θερμότητα από την εξωτερική πηγή. Στη θέση του συμπιεστή υπάρχουν ο απορροφητής και η γεννήτρια ή βραστήρας του διαλύματος, ο οποίος απαιτεί θερμότητα με τη μορφή ατμού, υπέρθερμου νερού ή από κάποιον καυστήρα.

Στην περίπτωση του διαλύματος νερού-αμμωνίας, υπάρχει ένας ατμοσφαιρικός καυστήρας αερίου συνήθως μικρής ισχύος. Λόγω της τοξικότητας της αμμωνίας τα μηχανήματα απορρόφησης εγκαθίστανται σε εξωτερικούς χώρους. Χρησιμοποιείται σε διάλυμα 65 ως 84% κατά βάρος. Ο κύκλος ξεκινάει από τη γεννήτρια που θερμαίνει το διάλυμα νερού-αμμωνίας μέχρι τη θερμοκρασία βρασμού και παράγεται ατμός με υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας, ενώ απομένει ένα υγρό διάλυμα χαμηλότερης συγκέντρωσης αμμωνίας. Ο ατμός της αμμωνίας φτάνει στον ανορθωτή, όπου παραχωρεί το νερό που περιέχει, και εισέρχεται στο συμπυκνωτή, όπου ψύχεται από αεριστήρες και συμπυκνώνεται περνώντας στην υγρή κατάσταση. Η υγρή αμμωνία εκτονώνεται σε χαμηλότερη πίεση και υποψύχεται. Σε αυτές τις συνθήκες εισέρχεται στον εξατμιστή, όπου αφαιρεί τη θερμότητα από το νερό που προέρχεται από την εγκατάσταση ψύχοντας το. Η θερμότητα που αφαιρείται προκαλεί το βρασμό της αμμωνίας και το σχηματισμό ψυχρού ατμού σε χαμηλή πίεση. Ο ατμός βγαίνοντας από τον εξατμιστή υπερθερμαίνεται μέσω ενός εναλλάκτη με αμμωνία σε κατάσταση θερμού υγρού, η οποία έρχεται από το συμπυκνωτή. Ο υπέρθερμος ατμός εισέρχεται στον προαπορροφητή, όπου ενώνεται ξανά με το αραιό διάλυμα που προέρχεται από τη γεννήτρια. Αυτή η διαδικασία παράγει θερμότητα που πρέπει να διατεθεί, για το λόγο αυτό το διάλυμα που βγαίνει ψύχεται σε μια περιοχή θερμικής συναλλαγής από τους αεριστήρες. Με την ολοκλήρωση της απορρόφησης, το υγρό διάλυμα με υψηλή συγκέντρωση αμμωνίας επαναφέρεται στην αρχική του πίεση συνήθως με μια αντλία μεμβράνης. Στη συνέχεια

προθερμαίνεται στον ανορθωτή και στον προαπορροφητή και επιστρέφει στη γεννήτρια, για να ξαναρχίσει ο κύκλος.

Στην περίπτωση του διαλύματος νερού-βρωμιούχου λιθίου, το ψυκτικό είναι το νερό, το απορροφητικό το βρωμιούχο λίθιο. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε δύο διαμερίσματα-δοχεία. Το πρώτο που βρίσκεται άνωθεν περιλαμβάνει τον αναγεννητή και το συμπυκνωτή. Το δεύτερο περιλαμβάνει τον απορροφητή και τον ατμοποιητή. Η θερμότητα προσάγεται στον αναγεννητή από μία ηλιακή πηγή, γεωθερμία, καυστήρα ή είναι αποβαλλόμενη θερμότητα από δευτερεύουσες διεργασίες. Η θερμότητα ανεβάσει τη θερμοκρασία του διαλύματος και οδηγεί σε βρασμό το ψυκτικό, που είναι το νερό, το οποίο και περνά από το διαχωριστικό στον συμπυκνωτή. Εκεί ο υδρατμός συμπυκνώνεται με ένα μέσο ψύξης και συλλέγεται σε μια περιοχή της μηχανής. Με τη βοήθεια της βαρύτητας το νερό κυλά προς τα κάτω στον εξατμιστή, όπου και αναμειγνύεται με νερό το οποίο δεν έχει ατμοποιηθεί και ανακυκλοφορεί μέσω μιας μικρής αντλίας. Ψεκάζεται πάνω από τους αγωγούς που κυκλοφορεί το ρευστό που επιθυμούμε την ψύξη του. Διατηρώντας πολύ μικρή πίεση στο δοχείο του ατμοποιητή, το νερό βράζει σε πολύ χαμηλή θερμοκρασία. Ο βρασμός προκαλεί την απομάκρυνση θερμότητας από το μέσο που θέλουμε να ψύξουμε παράγοντας έτσι το ψυκτικό αποτέλεσμα. Στη συνέχεια, το ατμοποιημένο νερό οδηγείται σε συγκεκριμένη περιοχή του κάτω δοχείου, όπου συναντά υδάτινο διάλυμα βρωμιούχου λιθίου υψηλής συγκέντρωσης του τελευταίου. Τότε ο απορροφητής με φυσικές διεργασίες τείνει να απορροφήσει περισσότερο νερό από το ατμοποιηθέν και να εξισορροπήσει το διάλυμα. Κατόπιν, το αραιό πλέον διάλυμα μεταφέρεται με μια μικρή αντλία στο δοχείο άνωθεν και ο κύκλος ξαναρχίζει.

Ο κύκλος με προσρόφηση χρησιμοποιεί ένα προσροφητικό μέσω όπως το τζελ σιλικόνης (silica gel) ή μεθανόλη. Ψυκτικό μέσο είναι το νερό, το οποίο ψεκάζεται σε ένα δοχείο, στο οποίο υπάρχουν συνθήκες κενού και εξάτμισης, οπότε με την ατμοποίηση προκαλείται πτώση της θερμοκρασίας. Οι υδρατμοί που παράγονται προσροφούνται από ένα κατάλληλο μέσο. Το κορεσμένο διάλυμα αναγεννάται από μια πηγή θερμότητας, όπως νερό υψηλότερης θερμοκρασίας ή ατμό χαμηλής πίεσης,

και απελευθερώνονται οι υδρατμοί. Στη συνέχεια, οι υδρατμοί συμπυκνώνονται από ένα κατάλληλο ρευστό ψύξης, όπως νερό χαμηλότερης θερμοκρασίας.

2.7. Ηλεκτρονική ψύξη με το φαινόμενο Peltier.

Το φαινόμενο Peltier ανακαλύφθηκε από το φυσικό Jean C. A. Peltier το 1834 και είναι ένα θερμοηλεκτρικό φαινόμενο. Όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει δύο διαφορετικά υλικά που ενώνονται σε ένα σημείο και ανάλογα με τη φορά του ρεύματος, το σημείο μπορεί να ψύχεται ή να θερμαίνεται.

Βασικό στοιχείο της μεθόδου αυτής είναι το θερμοηλεκτρικό στοιχείο, το οποίο συχνά καλείται tec (thermoelectric cooler). Το στοιχείο είναι μια συμπαγής συσκευή, που λειτουργεί ως αντλία θερμότητας. Ένα σύγχρονο στοιχείο αποτελείται από δύο κεραμικές πλάκες ανάμεσα στις οποίες βρίσκεται μια συστοιχία ημιαγωγών βισμούθιου-τελουριδίου. Με την εφαρμογή συνεχούς τάσης στους ακροδέκτες του στοιχείου η θερμότητα θα μεταφερθεί από τη μία επιφάνεια στην άλλη με συνέπεια η μία πλευρά να θερμανθεί και η άλλη να ψυχθεί. Η θερμότητα που αναπτύσσεται στη θερμή επιφάνεια διοχετεύεται στο περιβάλλον μέσω κάποιου θερμοαπαγωγού. Η κρύα πλευρά χρησιμοποιείται για την ψύξη κάποιου ηλεκτρονικού εξαρτήματος.

Η ψύξη με τη μέθοδο αυτή είναι κατάλληλη για μικρούς όγκους, παρόλο που σε πιο εξειδικευμένες εφαρμογές η παράλληλη σύνδεση των στοιχείων αυξάνει την ψυκτική τους ικανότητα και επιτυγχάνονται μεγαλύτερες διαφορές θερμοκρασίας. Υπάρχουν πολλές εφαρμογές στην ηλεκτρονική, αλλά και σε φορητά ψυγεία αυτοκινήτων. Επίσης, είναι διατάξεις αθόρυβες, ανθεκτικές, μικρού μεγέθους και παρέχουν ακριβή έλεγχο θερμοκρασίας. Κύριο μειονέκτημα η χαμηλή απόδοση.

2.8. Ψύξη με υπερήχους.

Η μέθοδος ψύξης με υπερήχους λειτουργεί με τη δημιουργία ενός κύματος συμπίεσης πάνω σε ένα ρευστό μεταβάλλοντας την πίεσή του. Το κύμα συμπίεσης και η αύξηση της πίεσης στον ψυκτικό κύκλο δημιουργείται από ένα υπερηχητικό σύστημα εκτίναξης, το οποίο είναι δυνατό να χρησιμοποιεί ενέργεια από άλλες συνυπάρχουσες διεργασίες.

Η παραπάνω μέθοδος λειτουργεί με δύο ρευστά, ένα πρωτεύον και ένα δευτερεύον. Το δευτερεύον είναι το ψυκτικό και λειτουργεί σε ένα ψυκτικό κύκλο όπως έχει περιγραφεί στις προηγούμενες παραγράφους με τη διαφορά πως τη θέση του συμπιεστή έχει πάρει ένας θάλαμος στον οποίο εισέρχεται το δευτερεύον ψυκτικό μετά τον εξατμιστή και το πρωτεύον μετά τη γεννήτρια που το ατμοποιεί. Η γεννήτρια χρησιμοποιεί ενέργεια από δευτερεύουσες διεργασίες και με την ατμοποίηση του πρωτεύοντος ρευστού το επιταχύνει σε υπερηχητικές ταχύτητες σε ένα ακροφύσιο κατάλληλης γεωμετρίας. Η μίξη των δύο ατμών μέσα στο ακροφύσιο και σε συνδυασμό με τα υπερηχητικά κύματα που δημιουργούνται έχει ως αποτέλεσμα να αυξηθεί η πίεση πριν το ψυκτικό να φτάσει στον συμπυκνωτή, όπου εκεί θα αποβάλλει θερμότητα. Η μέθοδος ολοκληρώνεται με το διαχωρισμό του μίγματος, οπότε το ψυκτικό θα συνεχίσει προς μια εκτονωτική βαλβίδα πριν οδηγηθεί στον εξατμιστή, ενώ το πρωτεύον με τη βοήθεια μια αντλίας θα κυκλοφορήσει πάλι προς τη γεννήτρια για να συνεχίσει η διεργασία.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Ψυκτικοί Συμπιεστές

3.1. Γενικά.

Όπως είδαμε και στο προηγούμενο κεφάλαιο, ο συμπιεστής είναι το σημαντικότερο μηχανήμα σε μια ψυκτική διάταξη που λειτουργεί σύμφωνα με τον ψυκτικό κύκλο συμπίεσης ψυκτικού ρευστού και είναι επιφορτισμένος με τη δημιουργία μιας διαρκούς διαφοράς πίεσης μεταξύ της γραμμής αναρρόφησης και της γραμμής κατάθλιψης. Δεν είναι υπερβολή να πούμε πως ο συμπιεστής είναι η “καρδιά” μιας ψυκτικής εγκατάστασης.

Οι συμπιεστές είναι ογκομετρικά μηχανήματα και υπάρχει κατηγοριοποίησή τους ανάλογα με τους τύπους, τα χαρακτηριστικά λειτουργίας και τα μεγέθη τους. Βασική

διαφοροποίηση είναι ανάλογα με τον τρόπο κίνησής τους και τη δυνατότητα επέμβασης στο εσωτερικό τους.

Οπότε ανάλογα με τη δυνατότητα επέμβασης στο εσωτερικό τους διακρίνουμε τους παρακάτω τύπους συμπιεστών:

- ανοικτού τύπου.
- ημιερμητικού τύπου.
- κλειστού τύπου ή ερμητικούς.

Ανάλογα με την αρχή λειτουργία τους και την κίνησή τους οι συμπιεστές διακρίνονται σε:

- παλινδρομικούς ή εμβολοφόρους.
- περιστροφικούς.
- φυγοκεντρικούς.
- σπειροειδείς.
- ελικοειδείς ή κοχλιωτούς.
- παλμικούς.

Στη συνέχεια θα δούμε αναλυτικά τις παραπάνω κατηγορίες συμπιεστών.

3.2. Τύποι συμπιεστών ανάλογα με τη δυνατότητα επέμβασης στο εσωτερικό τους.

3.2.1. Συμπιεστές ανοικτού τύπου (open type compressors).

Οι συμπιεστές ανοικτού τύπου έχουν σχετικά απλή τεχνολογία και χρησιμοποιήθηκαν ιδιαίτερα παλαιότερα σε όλες σχεδόν τις εφαρμογές ψύξης. Σήμερα, η χρήση τους περιορίζεται εξαιτίας των μειονεκτημάτων που παρουσιάζουν σε σχέση με άλλα είδη συμπιεστών. Η εξέλιξη της τεχνολογίας έχει επιτρέψει τη χρήση τους σε

συγκεκριμένες εφαρμογές αντιμετωπίζοντας με επιτυχία τα προβλήματα που αντιμετωπίζουν, όπως σε εφαρμογές κλιματισμού και ψύξης αυτοκινήτων και πλοίων.

Βασικό χαρακτηριστικό των συμπιεστών ανοικτού τύπου είναι πως ο άξονας του συμπιεστή κινείται με τη βοήθεια ενός συστήματος ιμάντων και τροχαλιών ή εύκαμπτων συνδέσμων (κόπλερ) από ένα ηλεκτροκινητήρα που βρίσκεται έξω από το σώμα του συμπιεστή. Ο ηλεκτροκινητήρας και ο συμπιεστής τοποθετούνται σε κοινή μεταλλική βάση, στην οποία στερεώνονται με κοχλιωτές συνδέσεις και βρίσκονται σε κοντινή απόσταση. Υπάρχει η δυνατότητα αποσυναρμολόγησης για συντήρηση ή επισκευή. Στο σημείο που ο άξονας του συμπιεστή προεκτείνεται έξω από το περίβλημά του, για να συνδεθεί με τον ηλεκτροκινητήρα, υπάρχει ένα στεγανωτικό παρέμβυσμα (τσιμούχα στεγανοποίησης), ώστε να παρεμποδίζεται το ψυκτικό μέσο να διαφεύγει στο περιβάλλον.

Κύρια πλεονεκτήματα των συμπιεστών αυτού του τύπου είναι η ευκολία αποσυναρμολόγησης, που κάνει εύκολη τη συντήρηση και την επισκευή. Επίσης, το γεγονός πως το σύνολο σχεδόν των εξαρτημάτων τους είναι προσιτά για έλεγχο και επιτήρηση.

Οι συμπιεστές ανοικτού τύπου έχουν όμως και μειονεκτήματα, με κυριότερο εξ' αυτών τη δυσκολία στεγανοποίησης του στροφαλοφόρου άξονά τους στο σημείο εξόδου από το κύριο σώμα του συμπιεστή. Επίσης, βασικό σημείο είναι η απαίτηση ακριβής ευθυγράμμισης των αξόνων συμπιεστή και ηλεκτροκινητήρα όταν χρησιμοποιείται εύκαμπτος σύνδεσμος, η σωστή τοποθέτηση στο ίδιο επίπεδο των τροχαλιών και των ιμάντων και η προσεκτική ρύθμιση της τάσης του ιμάντα. Επιπλέον, λόγω της ανοικτής χωροθέτησης καταλαμβάνουν μεγαλύτερο όγκο και έχουν σημαντικό βάρος. Ένα ακόμη χαρακτηριστικό πρόβλημα είναι ο θόρυβος που δημιουργείται από τη λειτουργία τους και τέλος, το κόστος τους είναι μεγαλύτερο.

3.2.2. Συμπιεστές ημιαερμητικού τύπου (semi-hermetic compressors).

Η βασική διαφοροποίηση με τους συμπιεστές του προηγούμενου τύπου είναι πως ο ηλεκτροκινητήρας τοποθετείται εντός του περιβλήματος του συμπιεστή σε ειδικό χώρο. Ηλεκτροκινητήρας και συμπιεστής έχουν κοινό άξονα ή οι δύο άξονες είναι μόνιμα συνδεδεμένοι μεταξύ τους με κοινό τμήμα. Το περίβλημα του συμπιεστή που συνήθως είναι χυτό είναι ενιαίο και συμπαγές, κατασκευασμένο όμως με τέτοιο τρόπο, ώστε να είναι δυνατή η συντήρηση. Η στήριξη γίνεται κοχλιωτά σε μεταλλική βάση.

Οι ημιαερμητικοί συμπιεστές είναι συνήθως αερόψυκτοι και φέρουν πτερύγια ή μεταλλικά ελάσματα στο εξωτερικό μέρους του χυτού περιβλήματος για την καλύτερη ψύξη τους. Η λίπανση των κινούμενων μεταλλικών μερών γίνεται μέσω αντλίας ελαίου για τους μεγαλύτερης ισχύος συμπιεστές, ενώ για τα μικρότερα μεγέθη υπάρχει σύστημα έγχυσης μικρής ποσότητας λιπαντικού μέσου, από ένα δοχείο αποθήκευσης.

Βασικό πλεονέκτημα αυτού του τύπου συμπιεστών είναι πως δεν υπάρχει το πρόβλημα της στεγανοποίησης του άξονα, όπως στους συμπιεστές ανοικτού τύπου, καθώς και εκλείπουν οι απαιτήσεις ευθυγράμμισης αξόνων. Επίσης, τα εξαρτήματα του συμπιεστή είναι προσιτά για έλεγχο, συντήρηση και επισκευή και σε σχέση με τους ανοικτού τύπου είναι λιγότερο ογκώδεις με μικρότερο κόστος.

Χρήση τους γίνεται ευρέως σε μικρού και μεσαίου μεγέθους επαγγελματικές και βιομηχανικές εγκαταστάσεις ψύξης.

3.2.3. Συμπιεστές κλειστού-ερμητικού τύπου (hermetic compressors).

Οι συμπιεστές αυτού του τύπου έχουν τόσο το μηχανικό μέρος του συμπιεστή όσο και τον ηλεκτροκινητήρα σε ένα κοινό μεταλλικό κέλυφος, το οποίο κλείνεται ερμητικά.

Δηλαδή δεν υπάρχει πρόσβασή στο συγκρότημα συμπιεστής-ηλεκτροκινητήρας με άμεση συνέπεια να μην υπάρχει η δυνατότητα συντήρησης χωρίς το κέλυφος να κοπεί. Ο άξονας του συμπιεστή και του ηλεκτροκινητήρα είναι κοινός ή μόνιμα συνδεδεμένος.

Το ψυκτικό ρευστό σε κατάσταση ατμού εισέρχεται στο συμπιεστή από τη γραμμή αναρρόφησης και καταλαμβάνει όλο το χώρο του κελύφους. Το κέλυφος επομένως πρέπει να αντέχει την πίεση λειτουργίας της χαμηλής πλευράς. Η ψύξη του συμπιεστή γίνεται με την αναρρόφηση του ψυκτικού αερίου. Η λίπανση επιτυγχάνεται μέσω αντλίας. Ο κατακόρυφος άξονας συμπιεστή-ηλεκτροκινητήρα περιστρέφεται σε δύο έδρανα.

Η συντήρησή τους γίνεται από εξειδικευμένους τεχνικούς, συχνά όμως το κόστος συντήρησης υπερβαίνει το κόστος αντικατάστασης. Το κόστος προμήθειας είναι μικρότερο από κάθε άλλο είδος συμπιεστή. Επίσης, το βάρος και ο όγκος τους είναι το ελάχιστο δυνατό. Η πιθανότητα διαρροών είναι σχεδόν μηδενική, η λειτουργία σχεδόν αθόρυβη και οι κραδασμοί ελάχιστοι.

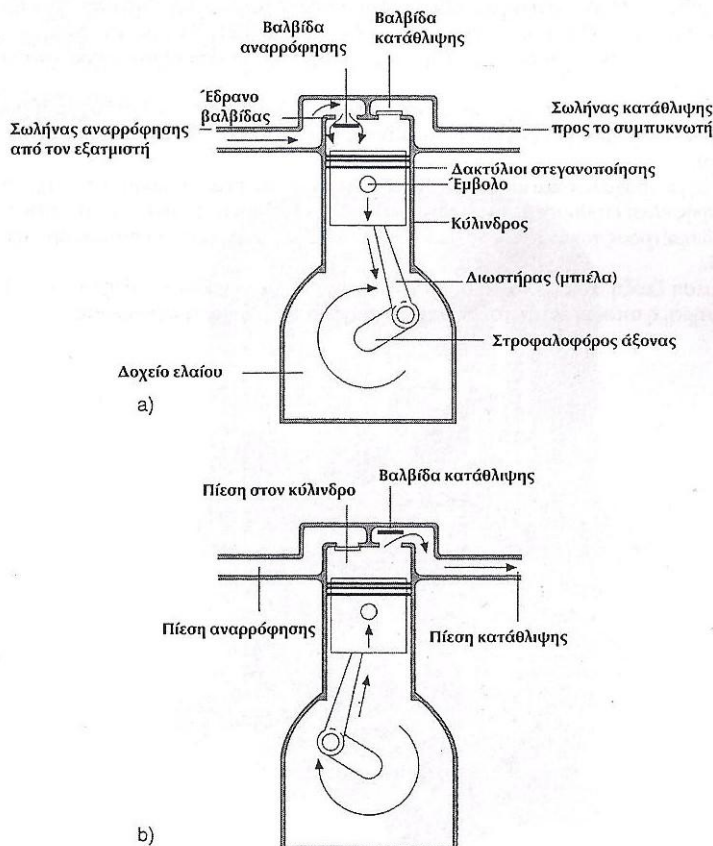
Χρήση τους γίνεται σε οικιακά ψυγεία και σε επαγγελματικές-βιομηχανικές εγκαταστάσεις μικρού μεγέθους.

3.3. Τύποι συμπιεστών ανάλογα με την αρχή λειτουργίας τους.

3.3.1. Παλινδρομικοί ή εμβολοφόροι συμπιεστές (reciprocating compressors).

Είναι ένας ιδιαίτερα κοινός τύπος συμπιεστή, που παρουσιάζει απλότητα κατασκευής και σχετικά χαμηλό κόστος κτήσης. Παρουσιάζουν μεγάλους όγκους συμπίεσης και αποδίδουν ικανοποιητικά και στις περιπτώσεις μεγάλων πιέσεων κατάθλιψης. Κυκλοφορούν συμπιεστές τέτοιου τύπου με ηλεκτρική ισχύ από 0,1 ως 100 HP. Χρησιμοποιούνται σε εγκαταστάσεις μικρού ή μεσαίου μεγέθους.

Στους παλινδρομικούς συμπιεστές ένα ή περισσότερα έμβολα κινούνται στο εσωτερικό ενός κυλίνδρου, όπως περίπου στον κινητήρα ενός αυτοκινήτου. Η κίνηση αυτή επιτρέπει την αναρρόφηση και τη συμπίεση του ψυκτικού ρευστού, το οποίο σε αέρια φάση εισέρχεται στο συμπιεστή.



3.1. Εμβολοφόρος συμπιεστής στη φάση αναρρόφησης (α) και κατάθλιψης (β).

Κύρια εξαρτήματα ενός εμβολοφόρου συμπιεστή είναι τα παρακάτω:

- ο στροφαλοφόρος άξονας.
- ο διωστήρας (μπιέλα).
- το έμβολο (πιστόνι) και τα ελατήριά του.
- ο κύλινδρος.
- οι βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης.

- η κεφαλή.
- τα παρεμβύσματα στεγανοποίησης (φλάντζες).
- οι σιγαστήρες.
- το περίβλημα.
- οι εξωτερικές βαλβίδες ελέγχου.

Ο στροφαλοφόρος άξονας που κινείται από τον ηλεκτροκινητήρα μέσω του μηχανισμού με τους διωστήρες μεταφέρει την περιστροφική κινητική του ενέργεια σε ευθύγραμμη κινητική στα έμβολα που εκτελούν μια παλινδρομική κίνηση. Ως υλικό κατασκευής είναι ο χάλυβας σφυρήλατος χρωμιούχος ή νικελούχος ή ο χυτοσίδηρος. Ειδικά σε μέρη που καταπονούνται ιδιαίτερα υπάρχει επιφανειακή βαφή. Οι τύποι συναντώνται είναι δύο:

- στροφαλοφόροι άξονες με βραχίονες. Αποτελούνται από τους στροφείς βάσης, πάνω στους οποίους γίνεται η έδραση, από τα κομβία όπου γίνεται η συναρμολόγηση με τους διωστήρες και τους βραχίονες που συνδέουν τα κομβία με τους στροφείς βάσεις.
- στροφαλοφόροι άξονες με έκκεντρα. Αποτελούνται από το χαλύβδινο άξονα και τα ορειχάλκινα έκκεντρα. Επειδή δεν υπάρχει συμμετρία κατά την περιστροφή, τοποθετούνται αντίβαρα, ώστε να αποφεύγονται περιτοί κραδασμοί. Είναι απλούστερη στην κατασκευή και συνηθίζονται στους συμπιεστές μικρότερου μεγέθους.

Για τη λίπανσή τους υπάρχει ειδικό σύστημα λίπανσης, που διαφέρει ανάλογα με το μέγεθος. Στα μηχανήματα μικρού μεγέθους χρησιμοποιείται ένα σύστημα εκτίναξης του λιπαντικού από το δοχείο συλλογής, το οποίο συνήθως βρίσκεται κάτω από τον άξονα. Η εκτίναξη μεταφέρει το έλαιο στα σημεία τριβής, στις εξωτερικές επιφάνειες του άξονα και στα άκρα των διωστήρων. Στους μεγαλύτερους συμπιεστές, υπάρχει μια αντλία ελαίου και μια διάτρητη διαμόρφωση των αξόνων. Η αντλία είναι συναρμολογημένη στην άκρη του άξονα και με την πίεση στο έλαιο λιπαίνεται ο στροφαλοφόρος. Η αντλία λειτουργεί όσο κινείται ο άξονας. Η πίεση του ελαίου

χρησιμεύει στη λίπανση τόσο του άξονα όσο και της επιφάνειας συναρμογής άξονα-διωστήρα και των πείρων συγκράτησης των εμβόλων.

Οι διωστήρες αποτελούνται από την κεφαλή σύνδεσης με το κομβίο του στροφαλοφόρου, την κεφαλή σύνδεσης με το έμβολο με τον πείρο σύνδεσης και τον κορμό που ενώνει τις δύο κεφαλές. Οι δύο κεφαλές φέρουν δακτυλίους ολίσθησης που εγκαθίστανται μέσα στα έδρανα ολίσθησης και λιπαίνονται υποχρεωτικά. Υλικό κατασκευής τους είναι το αλουμίνιο, ο χάλυβας και ο ορείχαλκος και εξαρτάται από τις απαιτήσεις.

Τα έμβολα εκτελούν τις παλινδρομικές κινήσεις μέσα στους κυλίνδρους. Σε κάθε κύκλο λειτουργίας αναρροφούν ψυκτικό αέριο και στη συνέχεια το καταθλίβουν. Συναρμολογούνται στο άκρο του διωστήρα και κατασκευάζονται από χυτοχάλυβα, ειδικό χυτοσίδηρο ή αλουμίνιο.

Τα ελατήρια των εμβόλων εκτελούν τη λειτουργία της στεγανοποίησης στο θάλαμο αναρρόφησης-κατάθλιψης. Υπάρχουν και περιπτώσεις ειδικά σε μικρά έμβολα αντί για ελατήρια να υπάρχουν κατασκευαστικές αυλακώσεις, μέσω των οποίων πραγματοποιείται η λίπανση αλλά και η στεγάνωση.

Μέσα στους κυλίνδρους παλινδρομούν τα έμβολα δημιουργώντας την αναρρόφηση και την κατάθλιψη του ψυκτικού. Μπορεί να είναι μέχρι πέραν του ενός και σε διάφορες κατασκευαστικές διαμορφώσεις, όπως σε σειρά, τύπου αστέρα, τύπου V, τύπου W. Διακρίνονται δύο περιπτώσεις κατασκευής: σε μικρούς συμπιεστές, οι κύλινδροι και το περίβλημα του συμπιεστή αποτελούν ενιαίο χυτό, ώστε να υπάρχει άριστη ευθυγράμμιση και μείωση τριβών, ενώ σε μεγαλύτερες μονάδες αποτελούν ξεχωριστά εξαρτήματα που συνενώνονται με κοχλίες.

Οι βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης αυτόματα ελέγχουν τη λειτουργία της αναρρόφησης και της κατάθλιψης του ψυκτικού. Η αυτόματη λειτουργία συντελείται λόγω της διαφοράς πίεσης στις πλευρές τους. Κρίσιμα χαρακτηριστικά για τις

βαλβίδες αποτελούν η ικανότητα στεγανοποίησης, η αντοχή, ο θόρυβος και το ποσοστό στραγγαλισμού που εμφανίζουν. Εγκαθίστανται στην πλάκα των βαλβίδων πάνω στην κορυφή των κυλίνδρων κάτω από το καπάκι τους. Επιδέχονται αντικατάστασης και υπάρχουν μικρά ειδικά ελατήρια, που ενισχύουν τη στεγανότητά τους. Υπάρχουν οι εξής τρεις τύποι:

- εύκαμπτες βαλβίδες ή βαλβίδες με θυρίδες ή τύπου Reed. Αυτές είναι ένα έλασμα που η μια πλευρά του είναι στερεωμένη στην πλάκα των βαλβίδων με κοχλιωτή σύνδεση, ενώ το άλλο άκρο, μπορεί να κινείται, επιτρέποντας τη δίοδο. Συναντώνται σε όλες σχεδόν τις σύγχρονες εφαρμογές συμπιεστών μικρού μεγέθους.
- δακτυλιοειδείς βαλβίδες. Αποτελούνται από μικρούς επίπεδους δακτυλίους, οι οποίοι επιτρέπουν τη διέλευση ψυκτικού μέσω ειδικών ελατηρίων, που συγκρατούνται πάνω σε μια ειδική πλάκα. Συνήθως ο εξωτερικός δακτύλιος αποτελεί τη βαλβίδα αναρρόφησης και οι εσωτερικοί τη βαλβίδα κατάθλιψης. Βρίσκουν εφαρμογή σε όλο το εύρος ισχύων.
- δισκοειδείς ή πλακοειδείς βαλβίδες. Έχουν παρόμοια λειτουργία με τις παραπάνω. Φέρουν ελατήρια και πλάκα. Συνήθως αποτελούνται από ένα χαλύβδινο δίσκο που είναι στερεωμένος στο κέντρο του με κοχλία. Χρησιμοποιούνται σε συμπιεστές μεγάλου μεγέθους.

Η κεφαλή του συμπιεστή βρίσκεται στο πάνω μέρος του συμπιεστή. Υποδέχεται το ψυκτικό σε αέρια κατάσταση και αποτελείται από τους θαλάμους αναρρόφησης και κατάθλιψης, που είναι μεταξύ τους απομονωμένοι με χωρίσματα και φλάντζες. Σταθεροποιεί την πλάκα βαλβίδων και διατηρεί την πίεση. Υλικά κατασκευής στους ερμητικούς συμπιεστές ο χάλυβας, στους ημιερμητικούς ο χυτοσίδηρος με πτερύγια ψύξης.

Απαραίτητα είναι τα παρεμβύσματα στεγανοποίησης μεταξύ των μεταλλικών στοιχείων των συμπιεστών. Χαρακτηριστικά τους είναι η αντοχή σε πιέσεις, θερμοκρασίες και η απροσβλητότητα από το ψυκτικό ρευστό και τα έλαια λίπανσης.

Υπάρχουν διάφορα υλικά κατασκευής, χαρακτηριστικά αναφέρουμε τα: περμανίτης, αμίαντος, ελαστικά ειδικών εφαρμογών, ειδικό πλαστικοποιημένο χαρτί, μόλυβδος, χαλκός και αλουμίνιο.

Το περίβλημα του συμπιεστή καλύπτει το σύνολο των εξαρτημάτων. Τοποθετείται πάνω σε ειδική αντικραδασμική βάση με ελατήρια ή άλλο σύστημα και απαιτείται να αντέχει στις πιέσεις λειτουργίας. Επίσης, τα εξαρτήματα του συμπιεστή στερεώνονται κατάλληλα πάνω στο περίβλημα μέσω ελατηρίων και μηχανισμό συγκράτησης.

Βασικά μεγέθη για την περιγραφή στον κύκλο λειτουργίας ενός παλινδρομικού συμπιεστή είναι τα παρακάτω:

Κυβισμός λέγεται ο συνολικός όγκος των κυλίνδρων και ισχύει:

$$\text{κυβισμός} = (\pi * D^2 * L * n) / 4$$

όπου:

D = διάμετρος κυλίνδρου σε mm.

L = διαδρομή εμβόλου σε mm.

n = αριθμός κυλίνδρων.

$$\pi = 3,14$$

Για να γνωρίζουμε την ποσότητα του ψυκτικού που αναρροφάται από το συμπιεστή, πολλαπλασιάζουμε τον κυβισμό με την ταχύτητα περιστροφής σε στροφές ανά λεπτό και έτσι ορίζεται η παροχή εκτόπισης:

$$\text{παροχή εκτόπισης} = \text{κυβισμός} * N = (\pi * D^2 * L * n * N) / 4 = 0.785 * D^2 * L * n * N$$

όπου:

N = αριθμός των στροφών ανά λεπτό του στροφαλοφόρου άξονα του συμπιεστή σε RPM (revolutions per minute).

Κάτω νεκρό σημείο, είναι το κατώτερο σημείο του κυλίνδρου που μπορεί να φτάσει το έμβολο στη φάση αναρρόφησης.

Άνω νεκρό σημείο, είναι το ανώτερο σημείο του κυλίνδρου που μπορεί να φτάσει το έμβολο στη φάση συμπίεσης.

Διάκενο ή επιζήμιος χώρος, ο χώρος που παραμένει ελεύθερος στον κύλινδρο ανάμεσα στην εσωτερική κεφαλή του κυλίνδρου και την κεφαλή του εμβόλου, όταν το έμβολο βρίσκεται στο άνω νεκρό σημείο.

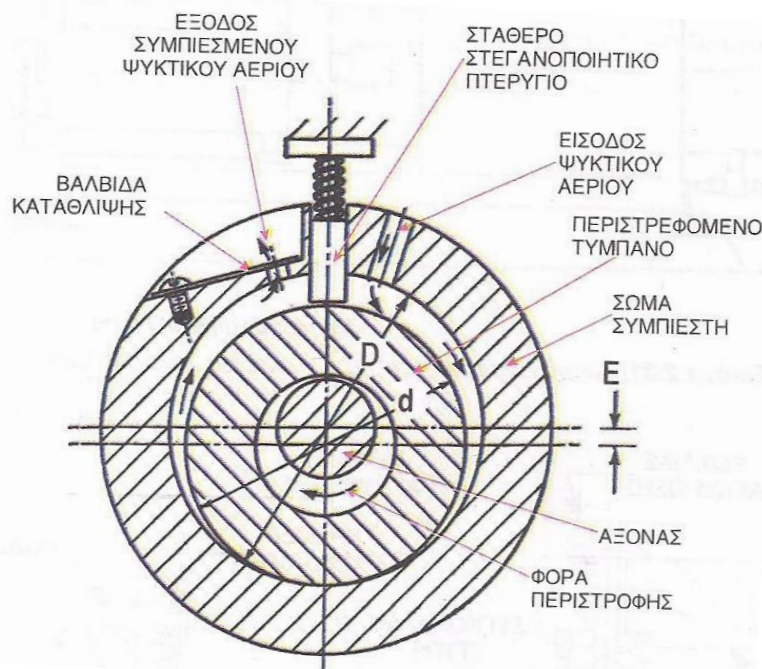
Σχέση συμπίεσης = απόλυτη πίεση κατάθλιψης/ απόλυτη πίεση αναρρόφησης.

Το έμβολο αρχίζει τη διαδρομή του από ένα σημείο, το κάτω νεκρό σημείο, που ο ελεύθερος όγκος του κυλίνδρου είναι 100% και η πίεση έχει μια σταθερή τιμή. Ενώ το έμβολο προχωράει μέσα στον κύλινδρο, ο ελεύθερος όγκος μειώνεται και η πίεση αυξάνεται, έως ότου επιτευχθεί η πίεση κατάθλιψης σε ένα δεύτερο σημείο. Στο σημείο αυτό, ανοίγει η βαλβίδα κατάθλιψης του συμπιεστή και το ψυκτικό ωθείται εκτός του συμπιεστή. Η διεργασία αυτή γίνεται σε σταθερή πίεση, όμως το έμβολο μετακινείται και φτάνει στο επόμενο σημείο που αντιπροσωπεύει το άνω νεκρό σημείο. Υπάρχει ένα διάκενο στο οποίο το έμβολο δε μπορεί να φτάσει και παραμένει εκεί μια μικρή ποσότητα ψυκτικού, που το έμβολο δεν καταφέρνει να ωθήσει προς τα έξω. Στη συνέχεια το έμβολο κινείται προς την αντίθετη κατεύθυνση και η βαλβίδα κατάθλιψης ξανακλείνει, με την εκτόνωση του ψυκτικού που παρέμεινε. Αυτή η διεργασία είναι μια απώλεια της ψυκτικής ικανότητας του συμπιεστή, για το λόγο αυτό το διάκενο κατασκευαστικά πρέπει να διατηρείται όσο το δυνατόν μικρότερο. Στη συνέχεια, ανοίγει η βαλβίδα αναρρόφησης και το έμβολο συνεχίζει να κινείται προς τα πίσω μέσα στον κύλινδρο. Εισέρχεται εκ νέου ψυκτικό μέχρι το έμβολο να φτάσει στο κάτω νεκρό σημείο. Και έτσι ολοκληρώνεται ο κύκλος.

Βέβαια, στην πράξη ο παραπάνω κύκλος υφίσταται αλλαγές στα μεγέθη των πιέσεων, συγκεκριμένα η πίεση κατάθλιψης είναι μεγαλύτερη από τη θεωρητική τιμή και η πίεση αναρρόφησης μικρότερη, λόγω του στροβιλισμού των αερίων και των πτώσεων πίεσης που σημειώνονται στις βαλβίδες.

3.3.2. Περιστροφικοί συμπιεστές (rotary vane compressors).

Οι περιστροφικοί συμπιεστές λέγονται και διαφραγματικού τύπου και η αρχή λειτουργίας τους είναι η περιστροφή ενός ρότορα στο εσωτερικό ενός κυλίνδρου, σταθερού ή κινούμενου, σε ολόκληρη την επιφάνεια του κυλίνδρου, με τρόπο που ο ρότορας να βρίσκεται πάντα εφαπτόμενος σε ένα σημείο του κυλίνδρου. Βρίσκουν εφαρμογές σε ψυκτικές εγκαταστάσεις μικρού μεγέθους, όπως τα οικιακά ψυγεία, τα κλιματιστικά δωματίου και είναι απλής κατασκευής.



3.2. Περιστροφικός συμπιεστή με έκκεντρο τύμπανο.

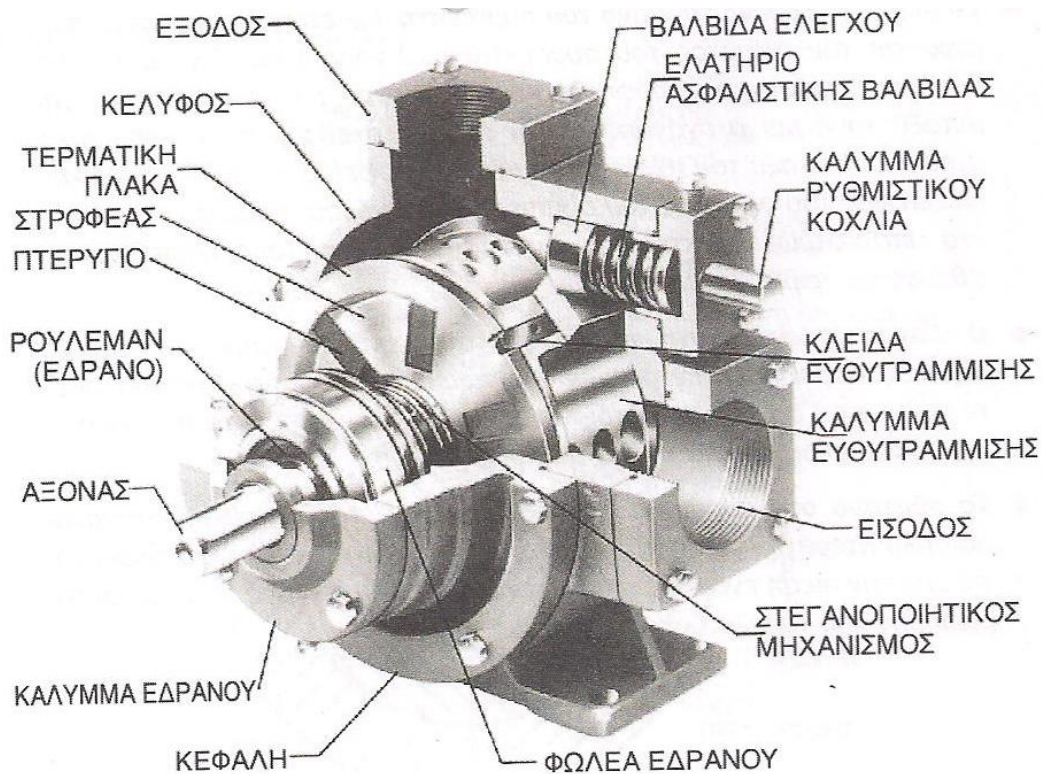
Εμφανίζουν δύο βασικούς τύπους:

- με έκκεντρο τύμπανο και σταθερό στεγανοποιητικό πτερύγιο.
- με περιστρεφόμενο στροφέα και κινητό στεγανοποιητικό πτερύγιο.

Βασικά τμήματα ενός συμπιεστή με έκκεντρο τύμπανο είναι το σταθερό εξωτερικό σώμα, το περιστρεφόμενο τύμπανο, ο άξονας του συμπιεστή με το έκκεντρο τύμπανο και στο σύστημα στεγανοποίησης του τυμπάνου με το σταθερό πτερύγιο. Το εξωτερικό σώμα έχει κυλινδρική μορφή και πάνω του έχουν προσαρμοσθεί οι σωληνώσεις αναρρόφησης και κατάθλιψης. Το περιστρεφόμενο τύμπανο δημιουργεί τις διαδοχικές φάσεις κατάθλιψης και αναρρόφησης με την περιστροφική του κίνηση, που χωρίζονται μεταξύ τους και στεγανοποιούνται με το στεγανωτικό πτερύγιο. Μεταξύ αυτού και του εξωτερικού σώματος παρεμβάλλεται πάντα ένα λεπτό στρώμα ψυκτελαίου, για να αποφεύγονται οι τριβές και κατά συνέπεια οι φθορές. Ο άξονας φέρει το έκκεντρο τύμπανο, που με την έκκεντρη περιστροφή του πραγματοποιείται η συνεχής και ταυτόχρονη λειτουργία κατάθλιψης και αναρρόφησης. Το σύστημα στεγανοποίησης του στροφείου με το πτερύγιο διαχωρίζει στεγανά το χώρο αναρρόφησης από το χώρο κατάθλιψης κάτω από την πίεση ενός ελατηρίου.

Οι συμπιεστές με κινητό στεγανοποιητικό πτερύγιο αποτελούνται από το εξωτερικό σώμα, τον περιστρεφόμενο στροφέα, τον άξονα του συμπιεστή με το στροφέα και το σύστημα στεγανοποίησης με τα κινητά πτερύγια. Για τα δύο πρώτα ισχύουν ότι και με τον πρώτο τύπο και ο άξονας φέρει τον περιστρεφόμενο στροφέα. Το σύστημα στεγανοποίησης διαφέρει και αποτελείται από τα κινητά στεγανοποιητικά πτερύγια, που είναι εγκατεστημένα σε ειδικές υποδοχές συμμετρικά διαμορφωμένες πάνω στο στροφέα και περιστρέφονται μαζί του. Η άσκηση πίεσης των πτερυγίων πάνω στο εσωτερικό τοίχωμα του κυλίνδρου επιτυγχάνεται με ελατήρια που εγκαθίστανται μέσα στις υποδοχές του στροφέα, τα οποία πιέζουν τα πτερύγια προς την εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου και με την αξιοποίηση της φυγόκεντρης δύναμης περιστροφής. Η τελευταία αναγκάζει τα πτερύγια να κινηθούν ακτινικά και να

πιέζονται πάνω στις εσωτερική επιφάνεια του κυλίνδρου, εξασφαλίζοντας τη στεγανότητα. Θα πρέπει όμως η ταχύτητα περιστροφής του συμπιεστή να είναι η ίδια με την ταχύτητα περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα, δηλαδή να μην παρεμβάλλεται μειωτήρας στροφών. Παρακάτω μπορούμε να δούμε έναν τέτοιο τύπο συμπιεστή.



3.3. Περιστροφικός συμπιεστής με κινητά στεγανοποιητικά πτερύγια.

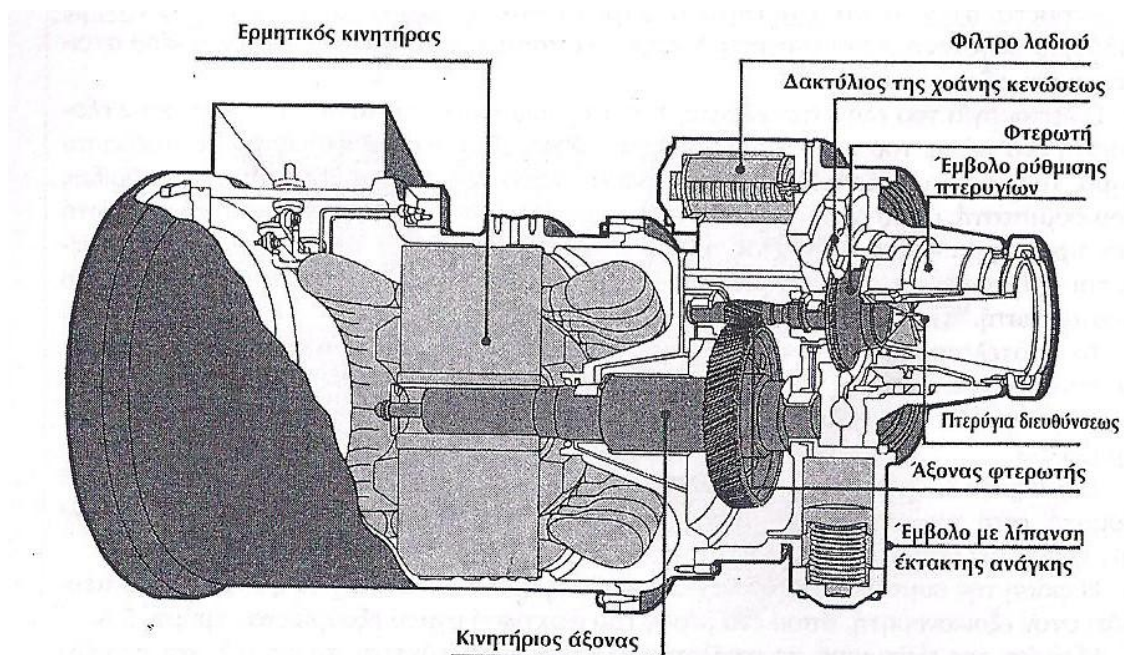
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, με την παύση λειτουργίας του συμπιεστή το έλαιο ψύξης στραγγίζει από τα τοιχώματα και παύει να υφίσταται ο στεγανοποιητικός διαχωρισμός μεταξύ κατάθλιψης και αναρρόφησης και ενδέχεται να περάσει ψυκτικό ρευστό από την κατάθλιψη στην αναρρόφηση και από εκεί στον εξαμιστή. Το πρόβλημα λύνεται με την τοποθέτηση μιας βαλβίδας αντεπιστροφής στη γραμμή αναρρόφησης.

Οι περιστροφικοί συμπιεστές σε σχέση με τους παλινδρομικούς εμφανίζουν τα πλεονεκτήματα της αθόρυβης λειτουργίας, της καλύτερης απόδοσης σε μικρούς

λόγους συμπίεσης, τις μικρότερες διαστάσεις και τις μειωμένες φθορές λόγω των λιγότερων κινούμενων μερών. Βασικό τους μειονέκτημα, το υψηλό κόστος κτήσης, η δυσκολία επισκευής και η ακαταλληλότητά τους για μεγάλους λόγους συμπίεσης.

3.3.3. Φυγοκεντρικοί συμπιεστές (centrifugal compressors).

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές κατασκευάζονται για να αναπτύξουν μεγάλες και πολύ μεγάλες ψυκτικές ισχύεις. Στην κατασκευή τους είναι απλοί. Αποτελούνται από ένα κέλυφος, που είναι ακίνητο και την περιστρεφόμενη φτερωτή. Η φτερωτή κινείται από έναν ηλεκτροκινητήρα μέσω ενός συστήματος μετατροπής των στροφών με ελικοειδείς οδοντωτούς τροχούς. Η υψηλή ταχύτητα περιστροφής της φτερωτής μέσω των πτερυγίων της μεταδίδουν στο ψυκτικό υψηλή κινητική ενέργεια, ωθώντας το σε ένα στενό άνοιγμα κατάθλιψης, αυξάνοντας την πίεση.



3.4. Φυγοκεντρικός συμπιεστής.

Τα εξωτερικά εξαρτήματα του συμπιεστή είναι κατασκευασμένα από χάλυβα ή ανθεκτικό χυτοσίδηρο. Οι φτερωτές από κράμα αλουμινίου. Το συγκρότημα ζυγοσταθμίζεται δυναμικά και δοκιμάζεται σε ταχύτητες μεγαλύτερες από τη λειτουργία. Οι ταχύτητες περιστροφής μπορεί να είναι πολύ μεγάλες.

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές μπορεί να κατασκευαστούν με πολλές φτερωτές στον άξονα περιστροφής (πολυβάθμιοι). Με τον τρόπο αυτό το ψυκτικό ρευστό διέρχεται διαδοχικά από τις φτερωτές πριν εκτονωθεί από το άνοιγμα κατάθλιψης. Οι βαθμίδες είναι όσες και οι φτερωτές.

Στις ψυκτικές εγκαταστάσεις με φυγοκεντρικούς συμπιεστές τοποθετείται ένας ειδικός εξοικονομητής που επιτρέπει υψηλότερες αποδόσεις του ψυκτικού κύκλου. Κατά το πέρασμα του ψυκτικού από το συμπυκνωτή στον εξατμιστή, ένα μέρος του εξατμίζεται ψύχοντας το υπόλοιπο υγρό. Το αέριο που εξατμίζεται, προσάγεται στη φτερωτή της δεύτερης βαθμίδας, όπου αναμιγνύεται με το θερμό αέριο που προέρχεται από τη φτερωτή της πρώτης βαθμίδας ψύχοντας το. Το αέριο λοιπόν συμπιέζεται από τη φτερωτή της δεύτερης βαθμίδας και αποστέλλεται στο συμπυκνωτή. Ο εξοικονομητής λοιπόν μειώνει το έργο του συμπιεστή, γιατί ένα μέρος του ψυκτικού ρευστού περνάει απευθείας στη φτερωτή της δεύτερης βαθμίδας και ψύχει το θερμό ψυκτικό της πρώτης βαθμίδας. Επίσης, αυξάνει το ψυκτικό αποτέλεσμα, γιατί μετατοπίζει το σημείο έναρξης της εξατμίσσης του ψυκτικού προς τα αριστερά στο διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας. Η αύξηση της απόδοσης είναι περίπου στο οκτώ με δέκα τοις εκατό.

Χαρακτηριστικό επίσης είναι πως η φάση συμπίεσης δε μπορεί να ξεκινήσει στην περιοχή υπέρθερμου ατμού, δηλαδή η υπερθέρμανση δεν είναι δυνατή. Αυτό οφείλεται στον ειδικό τύπο εξατμιστή που χρησιμοποιείται, που δεν επιτρέπει την υπερθέρμανση του ψυκτικού ατμού.

Οι φυγοκεντρικοί συμπιεστές κατασκευάζονται σε ανοικτού τύπου και ερμητικού τύπου. Ο εξωτερικός κινητήρας των πρώτων είναι ηλεκτρικός ή ατμοστρόβιλος, ενώ

οι δεύτεροι χρησιμοποιούν ηλεκτρικούς κινητήρες απευθείας συνδεδεμένους με τη φτερωτή, οι οποίοι ψύχονται από το ψυκτικό υγρό που εξατμίζεται. Οι ηλεκτρικοί κινητήρες είναι συνήθως επαγωγικού τύπου και επειδή κατά την εκκίνηση απορροφούν πολύ υψηλά ρεύματα σε σχέση με την ονομαστική τους τιμή, οι περιελίξεις τους μπορούν να συνδεθούν με εξωτερικούς εκκινητές με σύνδεση αστέρα-τριγώνου.

Ο έλεγχος της ισχύος των φυγοκεντρικών συμπιεστών γίνεται με κινούμενα οδηγία πτερύγια εισόδου, που ανοίγουν και κλείνουν μέσω σερβοκινητήρα και είναι τοποθετημένα πριν από την πρώτη βαθμίδα. Η μεταβολή της γωνίας των πτερυγίων μεταβάλλει την ποσότητα του αναρροφούμενου αερίου. Το ελάχιστο μερικό φορτίο καθορίζεται από την ποσότητα του αερίου που διαφεύγει μέσα από τα τελείως κλειστά οδηγία πτερύγια εισόδου.

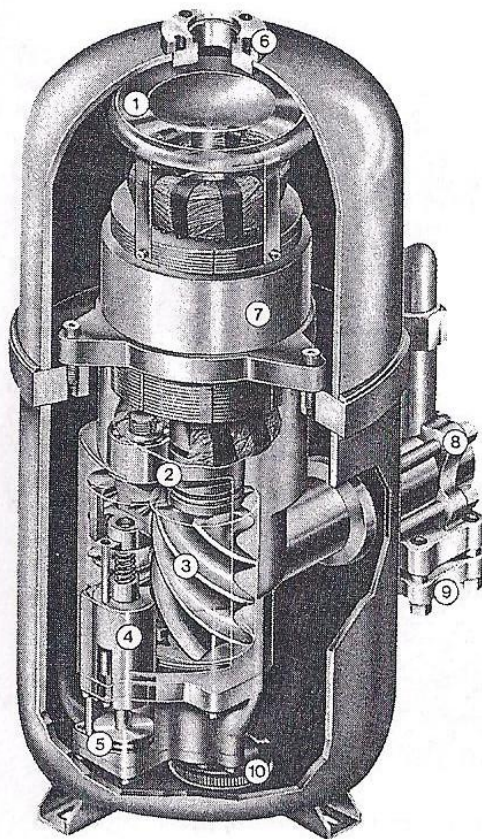
Σήμερα, η βιομηχανία προτιμά συμπιεστές ερμητικού τύπου ειδικά στις εγκαταστάσεις κλιματισμού και ακόμη όταν υπάρχουν οι συνθήκες για την ψύξη νερού και χρήση ηλεκτρικής ενέργειας για τη λειτουργία του συμπιεστή. Βασικά στοιχεία για αυτή την προτίμηση είναι η προσαρμοσμένη κατασκευή τους, η ψύξη από το ψυκτικό που επιτρέπει αύξηση του φορτίου, η σύνδεση με εξωτερικούς εκκινητές και οι μικρότερες καταναλώσεις συγκριτικά με τους ανοικτούς. Επίσης, οι διαστάσεις και το βάρος είναι μειωμένα, η λειτουργία έχει μειωμένο θόρυβο και υπάρχει μεγαλύτερη ασφάλεια. Δεν απαιτείται τόση συντήρηση όσο στα ανοικτά, γιατί δεν υπάρχει μετάδοση κίνησης, δεν έχει τόσα συστήματα λίπανσης, έχει λιγότερα κουζινέτα, δεν έχει στυπιοθλίπτη στεγανότητας. Τέλος, σημαντικό είναι πως τόσο το κόστος κτήσης όσο και το συνολικό κόστος της εγκατάστασης είναι μικρότερο.

Σε σχέση με τα άλλα είδη συμπιεστών και ειδικά με τους παλινδρομικούς, οι φυγοκεντρικοί εμφανίζουν το πλεονέκτημα της μειωμένης συντήρησης λόγω των λιγότερων κινούμενων μερών και των απλούστερων συστημάτων λίπανσης και της ευκολίας προσαρμογής στο ψυκτικό φορτίο. Όμως δε μπορούν να κατασκευαστούν

για ισχύ κάτω από 700 kW και η ψυκτική εγκατάσταση πρέπει να λιπαίνεται σωστά και να υπάρχει σοβαρή πρόβλεψη για τους κραδασμούς.

3.3.4. Κοχλιωτοί συμπιεστές (screw compressors).

Στους κοχλιωτούς συμπιεστές υπάρχουν δύο ρότορες που φέρουν κοχλιωτές διαμορφώσεις και είναι συζευγμένοι ο ένας με τον άλλο. Το ψυκτικό ρευστό αναρροφάται και συμπιέζεται μέσα στις αυλακώσεις των δύο αυτών συζευγμένων εξαρτημάτων.



- 1) Διαχωριστής λαδιού
- 2) Κουζινέτο εδράνου
- 3) Κοχλίας
- 4) Κινούμενη βαλβίδα
- 5) Έμβολο ελέγχου
- 6) Σύνδεση κατάθλιψης αερίου
- 7) Ηλεκτρικός κινητήρας
- 8) Βαλβίδα αναρρόφησης
- 9) Σύνδεση αναρρόφησης
- 10) Φίλτρο λαδιού.

3.5. Κοχλιωτός συμπιεστής.

Η αναρρόφηση γίνεται από το ένα από τα δύο άκρα του ζεύγους, στην πλευρά που αρχίζει η κίνηση, εκεί όπου οι λοβοί των ρότορων παρουσιάζουν ελεύθερες διατομές πριν αρχίσει η αμοιβαία διείσδυση. Η συμπίεση γίνεται λόγω της προοδευτικής εισαγωγής των λοβών του ενός στο άλλον, η οποία προκαλεί τη μείωση του όγκου που καταλαμβάνει το ψυκτικό. Η συμπίεση ολοκληρώνεται στο αντίθετο άκρο του σώματος, αφού το ψυκτικό φτάσει στην αναγκαία πίεση και συναντήσει το άνοιγμα εκτόνωσης.

Όταν οι ρότορες περιστρέφονται, το αέριο ρέει από το άνοιγμα αναρρόφησης και γεμίζει τους χώρους ανάμεσα στους λοβούς και τα κανάλια. Αυτοί οι χώροι αυξάνονται σε μήκος κατά την περιστροφή, ενώ το σημείο εισαγωγής ανάμεσα στους λοβούς προχωρά προς το άνοιγμα εκτόνωσης. Όταν ο χώρος ανάμεσα στους λοβούς γεμίσει από το αναρροφούμενο αέριο σε όλο το μήκος του ρότορα, το άνοιγμα αναρρόφησης κλείνει και τελειώνει η φάση αναρρόφησης με μια καθορισμένη ποσότητα ψυκτικού παγιδευμένη στο συμπιεστή. Με τη συνέχιση της περιστροφής μειώνεται ο χώρος ανάμεσα στους λοβούς, οπότε το ψυκτικό συμπιέζεται και η πίεση αυξάνεται. Σε μια καθορισμένη θέση των ρότορων, το συμπιεσμένο ψυκτικό φθάνει το άνοιγμα εκτόνωσης και αρχίζει η φάση εκτόνωσης, που συνεχίζεται έως ότου ο χώρος ανάμεσα στους λοβούς εκτονωθεί πλήρως.

Υπάρχουν και άλλες κατασκευαστικές διαμορφώσεις κοχλιωτών συμπιεστών, όπως αυτή του μονού κοχλία. Στην περίπτωση αυτή υπάρχει ένας μόνο κυλινδρικός ρότορας, με ελικοειδές σπείρωμα, με το οποίο συμπλέκονται δύο ίδιοι οδοντωτοί τροχοί τοποθετημένοι αντιδιαμετρικά και στο ίδιο επίπεδο που κινείται ο άξονας του ρότορα. Ρότορας και οδοντωτοί τροχοί είναι τοποθετημένοι μέσα σε μια ειδική ελαιολεκάνη. Ο τζόγος των γραναζιών με το ρότορα είναι περιορισμένος. Ο ρότορας διατηρείται σε περιστροφή από έναν εξωτερικό ηλεκτροκινητήρα και μεταδίδει την περιστροφική του κίνηση στους δύο οδοντωτούς τροχούς.

Το ψυκτικό εισάγεται από το κάτω άκρο του ρότορα στις υπάρχουσες κοχλιώσεις με ελεύθερο άνοιγμα, λόγω της εκτόνωσης που δημιουργείται ανάμεσα στον πρώτο

τροχό από την περιστροφή. Εξαιτίας της περιστροφής, οι κοχλιώσεις που έχουν πληρωθεί με ψυκτικό φτάνουν στο δεύτερο τροχό. Αυτός ασκεί μια συμπίεση, μειώνοντας τον όγκο ανάμεσα στα δόντια του τροχού και τα τυφλά άκρα της κοχλίωσης του ρότορα. Για κάθε κοχλίωση η συμπίεση συνεχίζεται μέχρι το άκρο της κοχλίωσης να έρθει σε επικοινωνία με ένα από τα ανοίγματα κατάθλιψης. Η πίεση έχει τότε φτάσει τη μέγιστη τιμή της και το αέριο εκτονώνεται για να οδηγηθεί εκτός του συμπιεστή.

Οι συμπιεστές αυτού του τύπου απαιτούν το διαχωρισμό του λιπαντικού ελαίου. Τα έλαια που χρησιμοποιούνται για την ψύξη τείνουν να αναμιχθούν με τα ψυκτικά ρευστά κάτω από ορισμένες συνθήκες και επομένως τείνουν να εγκαταλείψουν το συμπιεστή προς το εξωτερικό κύκλωμα. Η λίπανση πρέπει να εξασφαλίζεται ανάμεσα στις αυλακώσεις των ρότορων που συμπλέκονται, αλλά και να διασφαλίσει τη στεγανότητα, για να κάνει δυνατή τη συμπίεση του ψυκτικού. Το έλαιο λίπανσης παρέχεται σε συνέχεια μαζί με το ψυκτικό ρευστό σε υψηλή θερμοκρασία. Είναι λοιπόν απαραίτητο να γίνει ένας διαχωρισμός του ελαίου από το ψυκτικό στην έξοδο του συμπιεστή, στη συνέχεια να ψυχθεί και να επανεισαχθεί στο συμπιεστή.

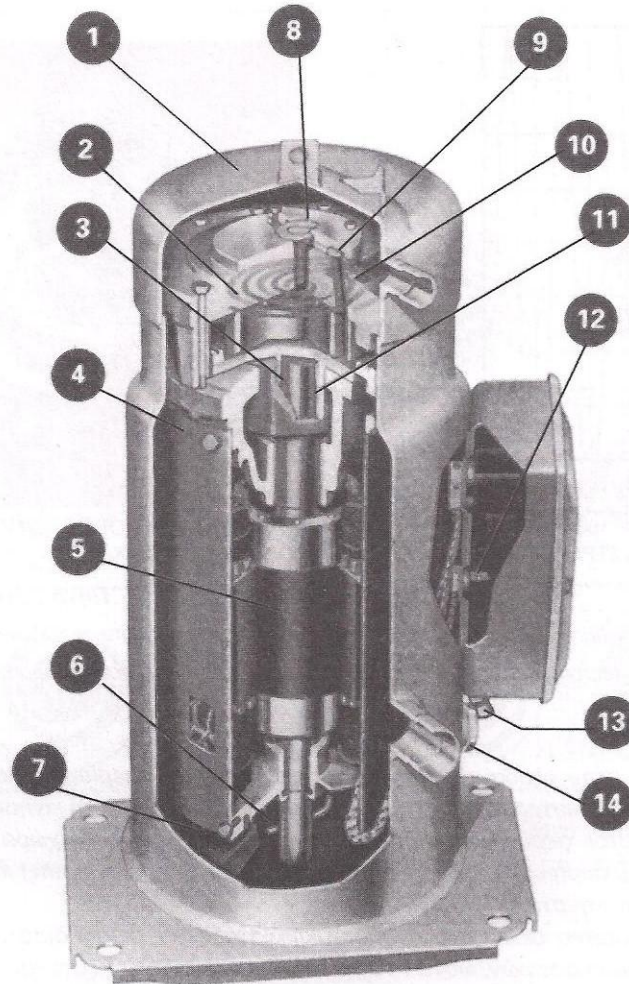
Στους κοχλιωτούς συμπιεστές μπορεί να ελεγχθεί η ψυκτική ικανότητα, η οποία εξαρτάται από τον όγκο των κοχλιώσεων και από τη διάμετρο του ρότορα. Μείωση του όγκου της κοχλίωσης οδηγεί σε μείωση της ψυκτικής ικανότητας, καθυστερώντας πρακτικά την αρχή της φάσης αναρρόφησης. Η καθυστέρηση της έναρξης της συμπίεσης επιτυγχάνεται δημιουργώντας επικοινωνία ανάμεσα στις αυλακώσεις του ρότορα και την πλευρά αναρρόφησης για συγκεκριμένο χρόνο. Ταυτόχρονα μεταβάλλεται με την κατάλληλη αναλογία το άνοιγμα της κατάθλιψης. Με τον τρόπο αυτό η ογκομετρική απόδοση του συμπιεστή παραμένει σχεδόν σταθερή. Η ψυκτική ικανότητα μπορεί να μεταβληθεί κλιμακωτά ή με συνέχεια από το είκοσι ως το εκατό τοις εκατό της μέγιστης τιμής επιτρέποντας μια ανάλογη μείωση της απορροφούμενης ηλεκτρικής ισχύος.

Σε αντίθεση με τους παλινδρομικούς συμπιεστές τα μηχανικά μέρη είναι λιγότερα και επομένως οι μηχανικές καταπονήσεις είναι σημαντικά μειωμένες. Είναι αθόρυβοι και λόγω της έλλειψης βαλβίδων αναρρόφησης-κατάθλιψης αποφεύγονται οι βλάβες και οι διαρροές. Μπορούν να επιτύχουν μεγάλες πιέσεις κατάθλιψης και δεν κινδυνεύουν από εισροή υγρής φάσης ή υγρού εν γένει. Ο βαθμός απόδοσής τους είναι καλύτερος με την προϋπόθεση να ταιριάζει η συμπίεση στις συνθήκες λειτουργίας. Κυριότερο μειονέκτημα η ακριβή κατασκευή τους λόγω των υψηλών απαιτήσεων μηχανουργικών κατασκευών.

3.3.5. Ελικοειδείς ή σπειροειδείς συμπιεστές (scroll compressors).

Η αρχή λειτουργία των συμπιεστών αυτού του τύπου είναι αρκετά απλή και επινοήθηκε ήδη από το 1905. Οι συμπιεστές αυτοί αποτελούνται από δύο οριζόντιες πλάκες που φέρουν από μία τρισδιάστατη σπείρα προσαρμοσμένη η μία μέσα στην άλλη. Η πλάκα άνωθεν είναι σταθερή, ενώ η δεύτερη περιστρέφεται έκκεντρα μέσα στη σταθερή με πολύ μικρές ανοχές. Οι δύο σπείρες όταν συμπλέκονται παράγουν μια σειρά από θύλακες αερίου με τη μορφή δρεπάνης ανάμεσα στα δύο στοιχεία. Κατά τη διάρκεια της συμπίεσης οι θύλακες ανάμεσα στα σπινάλ ωθούνται αργά προς το κέντρο των δύο σπινάλ και ταυτόχρονα ο όγκος τους μειώνεται. Όταν ο θύλακας φτάσει στο κέντρο του σπινάλ το αέριο, που εντωμεταξύ έχει φτάσει σε μια υψηλή πίεση, εκτονώνεται προς το εξωτερικό από ένα κεντρικό άνοιγμα. Κατά τη διάρκεια της συμπίεσης διάφοροι θύλακες συμπιέζονται ταυτόχρονα, δημιουργώντας μια πολύ ομοιογενή διαδικασία. Και η φάση αναρρόφησης, στην εξωτερική περιοχή των σπινάλ, καθώς και η φάση κατάθλιψης, στην εσωτερική περιοχή, είναι σχεδόν συνεχείς.

Στην έξοδο του ψυκτικού αερίου εγκαθίσταται βαλβίδα αντεπιστροφής, ώστε να παρεμποδίζεται η αντίστροφη κίνηση. Υπάρχει ειδική στεγανοποιητική διάταξη και στις τρεις διαστάσεις μεταξύ των δύο σπειρών, ώστε να εξασφαλίζεται η στεγανότητα μεταξύ του αναρροφούμενου και καταθλιβόμενου ψυκτικού αερίου.



ΥΠΟΜΝΗΜΑ - ΟΝΟΜΑΤΟΛΟΓΙΑ

- | | |
|------------------------------|----------------------------------|
| 1- ΘΑΛΑΜΟΣ ΚΑΤΑΘΛΙΨΗΣ | 9- ΒΑΛΒΙΔΑ ΠΡΟΣΤΑΣΙΑΣ |
| 2- ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΣΠΕΙΡΩΝ | ΑΠΟ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΗ ΦΑΣΗΣ |
| 3- ΣΥΣΤΗΜΑ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ | 10- ΠΤΕΡΥΓΙΑ ΣΠΕΙΡΩΝ |
| 4- ΣΩΛΗΝΑΣ ΕΥΘΥΓΡΑΜΜΙΣΗΣ | 11- ΕΠΙΠΕΔΑ ΕΔΡΑΝΑ |
| ΤΟΥ ΚΙΝΗΤΗΡΑ | 12- ΑΙΣΘΗΤΗΡΑΣ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΣ |
| 5- ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑΣ | ΗΛΕΚΤΡΟΚΙΝΗΤΗΡΑ |
| 6- ΔΕΞΑΜΕΝΗ (ΚΑΡΤΕΡ) ΛΑΔΙΟΥ | 13- ΣΤΟΜΙΟ ΕΚΡΟΗΣ ΚΑΙ ΠΛΗΡΩΣΗΣ |
| 7- ΔΙΑΧΩΡΙΣΤΗΡΑΣ (ΦΙΛΤΡΟ) | ΛΑΔΙΟΥ |
| ΣΩΜΑΤΙΔΙΩΝ | 14- ΓΥΑΛΙ ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΤΑΘΜΗΣ ΛΑΔΙΟΥ |
| 8- ΒΑΛΒΙΔΑ ΑΝΤΕΠΙΣΤΡΟΦΗΣ | |

3.6. Σπειροειδής συμπιεστής.

Οι συμπιεστές αυτού του τύπου είναι ερμητικά κλειστοί με τρία μόνο κινούμενα μέρη. Τα πτερύγια των σπειρών είναι από χυτοσίδηρο για μείωση των θερμικών φορτίων και αύξηση του συντελεστή απόδοσης. Ο κοινός άξονας κινητήρα συμπιεστή είναι κατακόρυφος. Ο κινητήρας ψύχεται από το ψυκτικό αέριο που αναρροφάται. Επίσης, υπάρχει φυγοκεντρική αντλία λαδιού, δοχείο ελαίου και φίλτρο στο κάτω μέρος του συμπιεστή. Φέρουν επίπεδα έδρανα ολίσθησης που μεταδίδουν λιγότερο θόρυβο μεταξύ του κινούμενου και του σταθερού μέρους και οι δονήσεις από το σύστημα μετάδοσης στις σπείρες είναι πολύ μικρές.

Οι σπειροειδείς συμπιεστές παρουσιάζουν ογκομετρικές αποδόσεις πολύ υψηλές και με παροχές κατάθλιψης σημαντικά μεγαλύτερες από εκείνες των παλινδρομικών συμπιεστών ίσης χωρητικότητας. Βασικός λόγος για το παραπάνω είναι και ο σχεδόν μηδενικός επιζήμιος χώρος των συμπιεστών αυτού του τύπου. Επίσης, η ισεντροπική απόδοσή τους είναι αισθητά μεγαλύτερη από εκείνη των παλινδρομικών. Αυτή η συμπεριφορά παράγει μια βελτίωση τόσο του συντελεστή επίδοσης, όσο και της αποδιδόμενης ψυκτικής ισχύος στις μονάδες κλιματισμού.

Οι πιο προηγμένοι συμπιεστές παρουσιάζουν μια καλή ικανότητα επεξεργασίας του ψυκτικού υγρού και σε περίπτωση εκκίνησης παρουσία φορτίου και στους κύκλους απόψυξης. Για τους λόγους αυτούς δεν απαιτείται η χρήση ενός συσσωρευτή στην αναρρόφηση, ούτε η παραδοσιακή αντίσταση της ελαιολεκάνης. Δεν απαιτείται κάποιος βοηθητικός μηχανισμός εκκίνησης.

Δεδομένων των χαρακτηριστικών των σπειροειδών συμπιεστών, η συμπίεση αρχίζει πάντα σε συνθήκες απουσίας φορτίου, ακόμα κι αν οι πιέσεις στην εγκατάσταση δεν είναι ισορροπημένες.

Υπάρχει η δυνατότητα της αντίθετης περιστροφής για σύντομες περιόδους κατά τη διάρκεια της εξισορρόπησης των εσωτερικών πιέσεων, γιατί επιτρέπουν μια καλή επανεκτόνωση του αερίου στην παύση λειτουργίας. Στα πιο πρόσφατα μοντέλα, ένας

ειδικός μηχανισμός επιβραδύνει την αντίθετη περιστροφή αποφεύγοντας το χαρακτηριστικό θόρυβο των σπирάλ. Αυτή η στιγμιαία αντιστροφή της περιστροφής δεν έχει καμιά επίδραση στη διάρκεια ζωής του συμπιεστή.

Ο θόρυβος είναι μειωμένος λόγω της απουσίας βαλβίδων και της σχεδόν συνεχούς διαδικασίας συμπίεσης με χαμηλά επίπεδα δονήσεων. Επειδή υπάρχουν δύο είσοδοι αερίου τοποθετημένες συμμετρικά και αντίθετα στις εκατόν ογδόντα μοίρες, οι θύλακες αερίου που σχηματίζονται βρίσκονται πάντα σε συμμετρική θέση με αποτέλεσμα την απουσία δονήσεων, τόσο που σε πολλές εφαρμογές μπορούν να παραλειφθούν οι εξωτερικοί σιγαστήρες.

3.3.6. Παλμικοί ή διαφραγματικοί συμπιεστές (diaphragm compressors).

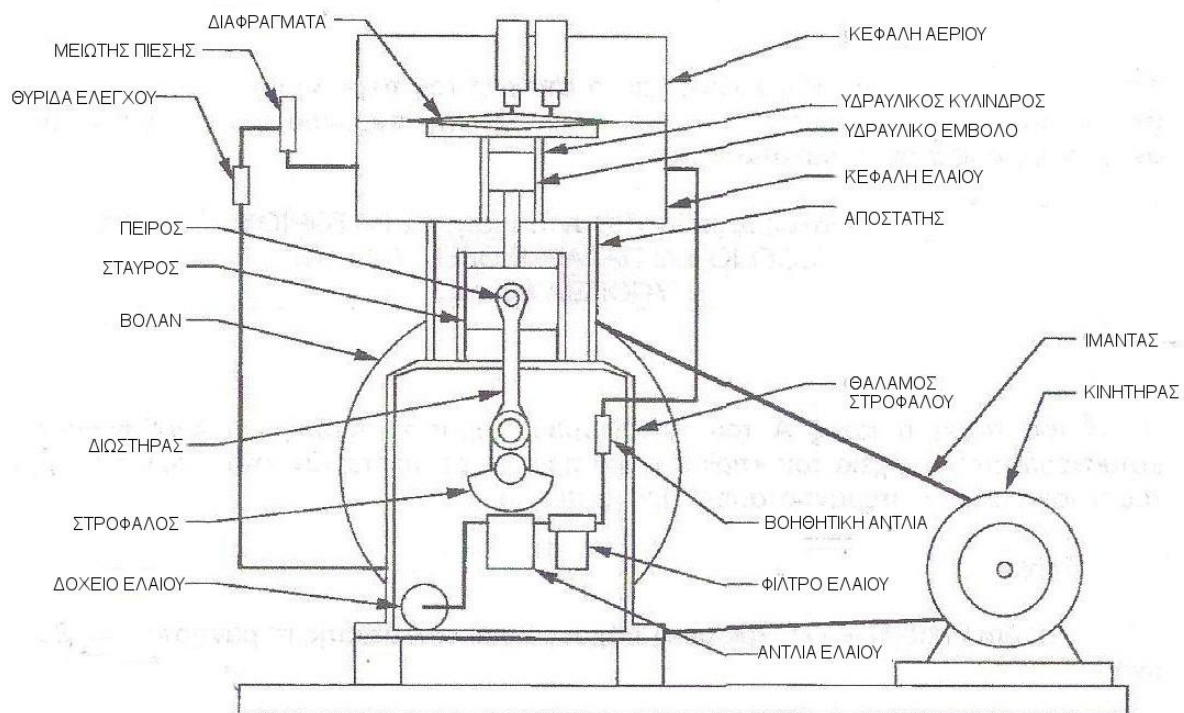
Στους διαφραγματικούς συμπιεστές η συμπίεση του ψυκτικού πραγματοποιείται από τις παλμικές κινήσεις διαφραγμάτων που διαχωρίζουν στεγανά το ψυκτικό με ένα δεύτερο υδραυλικό έλαιο. Βασική τους χρησιμότητα είναι σε συστήματα που απαιτείται ελάχιστη ή μηδαμινή διαρροή εργαζόμενων ρευστών.

Ο τρόπος λειτουργίας του διαφραγματικού συμπιεστή μοιάζει αρκετά με τον αντίστοιχο των παλινδρομικών. Η βασική διαφορά τους είναι στη μέθοδο συμπίεσης και στεγανότητας. Ενώ στους εμβολοφόρους συμπιεστές η συμπίεση του ψυκτικού ατμού πραγματοποιείται από το κινούμενο έμβολο, στους διαφραγματικούς η συμπίεση γίνεται με τις παλμικές κινήσεις των διαφραγμάτων και του έργου του δεύτερου υδραυλικού ελαίου, το οποίο όμως συμπιέζεται από ένα έμβολο. Η διεργασία έχει το πλεονέκτημα της έλλειψης διαρροής αερίου από το σύστημα στεγάνωσης του συμπιεστή.

Τα βασικά εξαρτήματα ενός συμπιεστή αυτού του τύπου είναι:

- ο ηλεκτροκινητήρας.

- το σύστημα μετάδοσης της κίνησης, που συνήθως είναι ιμάντες.
- το βολάν ή η τροχαλία του συμπιεστή.
- ο στροφαλοφόρος άξονας.
- το σύστημα εμβόλου-διωστήρα και ανάλογα με την κατασκευαστική σχεδίαση σταυρός, αποστάτης ή κύλινδρος.
- το υδραυλικό έμβολο και ο υδραυλικός κύλινδρος.
- τα διαφράγματα.
- η κεφαλή του ψυκτικού αερίου.
- το σύστημα ψύξης του υδραυλικού ελαίου με αντλία, δοχείο, φίλτρο και βοηθητική αντλία.
- εξαρτήματα ελέγχου και επιτήρησης, όπως μειωτής πίεσης.
- το κέλυφος και η βάση στήριξης.



3.7. Διαφραγματικός συμπιεστής.

Ο ηλεκτροκινητήρας μέσω των ιμάντων μεταδίδει την κίνηση στο βολάν και εν συνέχεια στο στροφαλοφόρο άξονα. Με το σύστημα εμβόλου-διωστήρα η περιστροφική κίνηση του στροφαλοφόρου μετατρέπεται σε ευθύγραμμη στο έμβολο που βρίσκεται μέσα σε κατάλληλο κύλινδρο. Με κατάλληλη σύνδεση μέσω σταυρού, πείρων συγκράτησης και αποστάτη το έμβολο συνδέεται με το υδραυλικό έμβολο. Αυτό με τη σειρά του με την κίνησή του στον υδραυλικό κύλινδρο συμπιέζει το υδραυλικό έλαιο δημιουργώντας παλμούς που μεταδίδονται από τα διαφράγματα στο ψυκτικό αέριο. Η κεφαλή του υδραυλικού ελαίου είναι βιδωμένη πάνω στην κεφαλή του ψυκτικού αερίου. Στη δεύτερη υπάρχουν οι βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης και όλα τα παραπάνω βρίσκονται εντός της κεφαλής του συμπιεστή. Οι βαλβίδες είναι συνήθως αυτόματης λειτουργίας μέσω πρεσσοστατών ανάλογα με τις διαφορές πίεσης εντός της κεφαλής ψυκτικού αερίου και των γραμμών αναρρόφησης και κατάθλιψης της ψυκτικής διάταξης. Το υδραυλικό κύκλωμα του συμπιεστή περιλαμβάνει το δοχείο συγκέντρωσης, τις σωληνώσεις κυκλοφορίας, το φίλτρο, την αντλία και τη βοηθητική αντλία. Το κύριο υδραυλικό σύστημα με τη βοήθεια της κύριας αντλίας λιπαίνει τα μηχανικά μέρη, ενώ η βοηθητική αντλία συντηρεί ένα δευτερεύον υδραυλικό κύκλωμα που ανακυκλοφορεί τις ποσότητες υδραυλικού ελαίου που διαρρέουν από τον υδραυλικό κύλινδρο και έμβολο, με τη βοήθεια των διατάξεων ελέγχου, όπως ο μειωτής πίεσης, ελατήρια συγκράτησης, βαλβίδες εισόδου-εξόδου από την υδραυλική κεφαλή. Ο μειωτής πίεσης και η βαλβίδα ελέγχου εκτελούν σημαντική λειτουργία και καθορίζουν τότε θα εισαχθεί το έλαιο από το βοηθητικό κύκλωμα στην κεφαλή και τότε θα εξέλθει. Το παραπάνω σύστημα είναι βασικό γιατί εξασφαλίζει τη σωστή λειτουργία του υδραυλικού εμβόλου και της πλήρους συμπίεσης των διαφραγμάτων, ειδάλλως θα είχαμε μια σημαντική μείωση της απόδοσης.

Οι διαφραγματικοί συμπιεστές κατασκευάζονται συνήθως μονοβάθμιοι, αλλά μπορεί να βρεθούν και διβάθμιοι σε τύπους L ή V. Τριβάθμιοι δε συναντώνται συχνά. Συνηθισμένες πιέσεις λειτουργίας από 150 σε 15000 psig και κίνηση από ηλεκτροκινητήρες ισχύος ως 200 HP. Υλικά κατασκευής παρόμοια με αυτά των εμβολοφόρων συμπιεστών, αλλά όταν λειτουργούν σε διαβρωτικά περιβάλλοντα

έχουν τις απαιτούμενες βαφές προστασίας. Επίσης, στα διαφράγματα υπάρχει πρόνοια έναντι των φθορών με ειδικά φιλμ.

Ο διαφραγματικός συμπιεστής έχει δύο πλεονεκτήματα. Ο υδραυλικός κύλινδρος λιπαίνεται απευθείας με το έλαιο, το οποίο παρέχει και ψύξη του συστήματος. Επειδή το ψυκτικό αέριο και το υδραυλικό έλαιο είναι διαχωρισμένα με τα διαφράγματα, δεν υπάρχει ανάμειξη, και επιπλέον οι στεγανώσεις του υδραυλικού εμβόλου βρίσκονται στην υδραυλική πλευρά και δεν υπάρχει περίπτωση διαρροής ψυκτικού. Για τους παραπάνω λόγους, γίνεται εκτεταμένη χρήση τους σε συνθήκες όπου οι αντίστοιχοι παλινδρομικοί θα αντιμετώπιζαν προβλήματα διαρροών, επικίνδυνες αναμείξεις των ψυκτικών και περιορισμούς πίεσης. Έχουν κυριαρχήσει σε αγορές όπως η βιομηχανική παραγωγή και διανομή αερίων και σε εφαρμογές τοξικών, διαβρωτικών, εύφλεκτων, οξειδωτικών και ραδιενεργών υλικών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Βελτιστοποίηση Απόδοσης

4.1. Γενικά.

Όπως σε κάθε ρευστοδυναμική μηχανή, έτσι και στους συμπιεστές η απόδοση είναι κρίσιμο χαρακτηριστικό για το σχεδιασμό και τη λειτουργία της ψυκτικής διάταξης. Από τη στιγμή που ξεκίνησαν οι πρώτες εφαρμογές, η βιομηχανία επικεντρώθηκε στην έρευνα όχι μόνο για το σχεδιασμό του κατάλληλου συμπιεστή, αλλά και τη βελτίωση της απόδοσή του.

Για να μπορέσουμε να ερευνήσουμε τους τρόπους με τους οποίους καθίσταται δυνατή η βελτιστοποίηση της απόδοσης των ψυκτικών συμπιεστών, θα πρέπει να καταγράψουμε τους παράγοντες που επηρεάζουν τις πραγματικές επιδόσεις τους.

Σύμφωνα με την ASHRAE (American Society of Heating Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), οι κυριότεροι από αυτούς είναι:

- μετάδοση θερμότητας προς το ψυκτικό από τον ηλεκτρικό κινητήρα, τις μηχανικές τριβές, τις θερμικές συναλλαγές μέσα στο συμπιεστή (πχ. θερμότητα συμπίεσης)
- κακή απόδοση των βαλβίδων λόγω μη τέλει μηχανικής συμπεριφοράς (προπορεία και καθυστέρηση).
- προβλήματα στεγανοποίησης του ψυκτικού ρευστού με διαρροές και διεισδύσεις.
- πτώση πίεσης μέσα στο συμπιεστή από τους μηχανισμούς αναρρόφησης-κατάθλιψης, το φίλτρο αναρρόφησης, τον κινητήρα στους συμπιεστές ερμητικού και ημι-ερμητικού τύπου, τα διάκενα των βαλβίδων, τον εσωτερικό σιγαστήρα στους συμπιεστές ερμητικού τύπου.
- κυκλοφορία του ελαίου.
- επανεκτόνωση του αερίου στον επιζήμιο χώρο.
- απόκλιση από την ισεντροπική μεταβολή συμπίεσης.

Επειδή η εξέταση των παραπάνω παραγόντων θα ήταν πολύ δύσκολο να πραγματοποιηθεί, ομαδοποιούνται σε τρεις κύριες οικογένειες, που η επιρροή τους μπορεί να εξεταστεί με τη μορφή συντελεστών απόδοσης που εξαρτώνται από τη λειτουργία του συμπιεστή:

- συντελεστής απόδοσης συμπίεσης (R_c): υπολογίζει μόνο ότι συμβαίνει εντός του συμπιεστή και αποτελεί μέτρο της απόκλισης της πραγματικής από την ισεντροπική συμπίεση. Εκφράζεται από τη σχέση ανάμεσα στο έργο που απαιτείται για την ισεντροπική συμπίεση του αερίου προς το έργο που χορηγείται στο ίδιο το αέριο μέσα στο χώρο συμπίεσης, που βρίσκεται με μετρήσεις.
- συντελεστής ογκομετρικής απόδοσης (R_v): υπολογίζεται από τη σχέση ανάμεσα στον όγκο του αερίου που μπαίνει στον κύλινδρο και τον όγκο του κυλίνδρου. Συμβάλει σε αυτή ο επιζήμιος χώρος και ισχύει:

$$R_v = 1 - C * (R^{1/n} - 1)$$

όπου:

C = επιζήμιος χώρος σε ποσοστό επί τοις εκατό.

R = σχέση συμπίεσης.

n = εκθέτης συμπίεσης.

Βέβαια, στην ογκομετρική απόδοση επιδρούν και τα αποτελέσματα προπορείας-καθυστέρησης, οι διεισδύσεις του αερίου στα τοιχώματα του κυλίνδρου και το έμβολο, με αποτέλεσμα, η συνολική τιμή να απέχει αισθητά από αυτή που προκύπτει από την παραπάνω εξίσωση.

- συντελεστής μηχανικής απόδοσης (R_m): υπολογίζει τις τριβές λειτουργίας και την ενέργεια που απορροφάται από την αντλία λίπανσης. Υπολογίζεται από τη σχέση ανάμεσα στο πραγματικό έργο που χορηγήθηκε στο αέριο, το οποίο εξάγεται μετρητικά, και το έργο που χορηγείται στον άξονα του συμπιεστή.

Επίσης, πρέπει να ληφθεί υπόψη και ο συντελεστής ηλεκτρικής απόδοσης R_e του ηλεκτροκινητήρα των συμπιεστών ερμητικού και ημι-ερμητικού τύπου. Συνολικά, λοιπόν ο συντελεστής απόδοσης του συμπιεστή προκύπτει από το γινόμενο των διαφορετικών συντελεστών απόδοσης και είναι:

$$R_{ολ} = R_c * R_v * R_m * R_e$$

Στο σημείο αυτό να σημειώσουμε πως η σημερινή προσέγγιση που εξετάζει ολοκληρωμένα ένα ψυκτικό μηχάνημα, θα περιλάμβανε την απόδοση του ηλεκτροκινητήρα και στους συμπιεστές ανοικτού τύπου, καθώς επίσης και την απόδοση όλων των βοηθητικών συστημάτων που υποστηρίζουν τη λειτουργία του

συμπιεστή. Επομένως, δεν θα ήταν άτοπο να εξετάζουμε τη σχέση της απόδοσης των συμπιεστών ανοικτού τύπου με την απόδοση του ηλεκτροκινητήρα τους.

Οι παράμετροι που αναλύθηκαν παραπάνω μπορούν να αναχθούν σε δύο βασικές αιτίες, αυτές που οφείλονται στο σχεδιασμό και τη μηχανική κατασκευή του συμπιεστή και αυτές που οφείλονται στις συνθήκες λειτουργίας.

Σε θέματα σχεδιασμού μπορούν να αποδοθούν κυρίως:

- ο επιζήμιος χώρος.
- οι επιδόσεις των βαλβίδων.
- οι διεισδύσεις αερίου ανάμεσα σε έμβολο και κύλινδρο.
- οι επιδόσεις της αντλίας λαδιού.
- οι μηχανικές τριβές.
- οι πτώσεις πίεσης κατά την πορεία του ψυκτικού ρευστού.
- η απόδοση του ηλεκτροκινητήρα.
- η συμπεριφορά του συστήματος ρύθμισης της ψυκτικής ικανότητας.

Στις συνθήκες λειτουργίας αναφέρονται:

- οι πιέσεις αναρρόφησης και κατάθλιψης.
- τα χρησιμοποιούμενα ψυκτικά ρευστά.
- η ταχύτητα περιστροφής κατά τη λειτουργία.

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε τους κυριότερους από αυτούς αναλυτικά.

4.2. Βελτίωση βαθμού απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα.

Βασικό εξάρτημα κάθε συμπιεστή είναι ο ηλεκτροκινητήρας του. Επομένως, είναι ένα από τα πρώτα στοιχεία που πρέπει να εξεταστούν σε σχέση με την απόδοσή του.

Οι ηλεκτροκινητήρες, λόγω και της χρήσης τους σε πολλά τμήματα της βιομηχανίας, έχουν απασχολήσει την έρευνα σχετικά με τη βελτίωση της απόδοσής τους ειδικά τα τελευταία τριάντα χρόνια και συγκεκριμένα για τη ρύθμιση (μετατροπή) των στροφών τους. Οι πρώτοι μετατροπείς που χρησιμοποιήθηκαν ήταν οι λεγόμενοι περιστροφικοί μετατροπείς, με χαρακτηριστικό το σύστημα Ward-Leonard. Στη συνέχεια, αναπτύχθηκαν οι ακίνητοι ή στατικοί μετατροπείς, που αποτελούνταν από ανορθωτικά στοιχεία με ατμό υδραργύρου. Με τη ραγδαία ανάπτυξη στον τομέα της ηλεκτρονικής αναπτύχθηκαν στατικοί μετατροπείς που χρησιμοποιούσαν ημιαγώγιμα στοιχεία με πλεονεκτήματα όπως οι μικρές απώλειες, ο μικρός όγκος και η ταχύτερη απόκριση στις μεταβολές του φορτίου. Τα τελευταία χρόνια με την εφαρμογή των μικροϋπολογιστών έγινε εφικτή η ανάπτυξη σύνθετων συστημάτων, τα οποία εκτελούν πολύπλοκα προγράμματα λειτουργίας, με υψηλότατο βαθμό ακρίβειας ελέγχου και προσφέρουν βελτιωμένη αξιοπιστία και αυξημένη ευελιξία.

Η ρύθμιση των στροφών ενός ηλεκτροκινητήρα μπορεί να γίνει με ποικίλους τρόπους. Ενδεικτικά αναφέρονται η ρύθμιση της ενεργού τιμής της τάσης τροφοδοσίας του στάτη, η σύνδεση εξωτερικής μεταβλητής αντίστασης στο δρομέα και η μεταβολή της συχνότητας και της τάσης τροφοδοσίας του στάτη. Η τελευταία μέθοδος προσφέρει και τα περισσότερα πλεονεκτήματα και είναι εκείνη που δείχνει να επικρατεί στη βιομηχανία των συμπιεστών.

Σύμφωνα με τη μέθοδο της μεταβολής της συχνότητας και της τάσης τροφοδοσίας του στάτη, ο κινητήρας τροφοδοτείται με τάση μεταβλητής συχνότητας, που έχει σαν αποτέλεσμα την αλλαγή του αριθμού στροφών του, που δίνεται από την παρακάτω σχέση και είναι ανάλογος της συχνότητας λειτουργίας:

$$N = (f / p) * 120$$

όπου:

N = ο αριθμός στροφών του κινητήρα σε στροφές ανά λεπτό.

f = η συχνότητα λειτουργίας του κινητήρα σε Hz.

p = ο αριθμός των πόλων του κινητήρα, που εξαρτάται από την περιέλιξη.

Με τον τρόπο αυτό προκαλείται μετατόπιση της καμπύλης ροπής-στροφών και το σύστημα κινητήρα-φορτίο ισορροπεί κάθε φορά σε διαφορετικό σημείο, με αποτέλεσμα την ελέγξιμη μεταβολή των στροφών του. Παράλληλα, απαιτείται και η μεταβολή της ενεργού τιμής της τάσης, ώστε να μην οδηγείται το μαγνητικό πεδίο της μηχανής στον κόρο και να επιτυγχάνεται η οικονομικότερη και αποδοτικότερη λειτουργία.

Οι ρυθμιστές στροφών αποτελούνται από τέσσερα βασικά μέρη:

- την ανορθωτική διάταξη, είτε από διόδους ή από θυρίστορ, που μετατρέπει την εναλλασσόμενη τάση του δικτύου σε συνεχή με σταθερή ή ρυθμιζόμενη τιμή.
- το κατωδιαβατό φίλτρο για να εξαλειφθεί η κυμάτωση της τάσης, που αποτελείται είτε από μια συστοιχία πυκνωτών ή από πυκνωτές και πηνίο.
- τον αντιστροφέα, που μετατρέπει τη συνεχή τάση σε εναλλασσόμενη μεταβλητής συχνότητας και μεταβλητού πλάτους.
- τη μονάδα ελέγχου, που εποπτεύει και ελέγχει τη λειτουργία των παραπάνω.

Ο αντιστροφέας αποτελεί την καρδιά του ρυθμιστή στροφών και για το λόγο αυτό έχει επικρατήσει οι ρυθμιστές στροφών να αποκαλούνται απλώς αντιστροφείς (inverters).

Τα βασικά δομικά στοιχεία του αντιστροφέα είναι ηλεκτρονικοί ημιαγωγικοί διακόπτες. Η επιλογή τους είναι πολύ σημαντική και επηρεάζει καθοριστικά τα χαρακτηριστικά λειτουργίας, την απόδοση και την ποιότητα κατασκευής. Ενδεικτικά αναφέρουμε μερικά από αυτά:

- θυρίστορ SRC.
- διπολικό τρανζίστορ ισχύος BJT.
- MOSFET
- διπολικό τρανζίστορ μονωμένης θύρας IGBT.
- GTO θυρίστορ (Gate Turn Off).

Σύμφωνα με τα σημερινά δεδομένα, η καλύτερη επιλογή για ισχείς ως 315 kW είναι τα διακοπτικά στοιχεία τεχνολογίας IGBT, ενώ για μεγαλύτερες τα GTO.

Ο αντιστροφέας χρησιμοποιεί κάποια από τα παραπάνω διακοπτικά στοιχεία και παράγει στην έξοδό του μια σειρά παλμών με σταθερό ύψος και μεταβλητό εύρος. Η θεμελιώδης συχνότητά της είναι ίση με τη συχνότητα που επιθυμούμε να λειτουργήσει ο κινητήρας. Παράλληλα, παράγονται και ορισμένες άλλες συχνότητες, που λέγονται ανώτερες αρμονικές, και είναι προς το συμφέρον του χρήστη να έχουν τις δυνατόν υψηλότερες τιμές, για την αποφυγή μαγνητικού θορύβου, πρόσθετων απωλειών και ασταθούς λειτουργίας του κινητήρα.

Ένα άλλο κομμάτι που έχει σημειωθεί μεγάλη βελτίωση στους ηλεκτροκινητήρες είναι οι διάφορες μέθοδοι που έχουν εφευρεθεί για να μειωθούν οι επιμέρους απώλειες, και χαρακτηριστικά αναφέρουμε την καλύτερη ποιότητα των μεταλλικών φύλλων του πυρήνα στον στάτη, τη μειωμένη μαγνητική καταπόνηση, τη μειωμένη αντίσταση τυλιγμάτων λόγω μεγαλύτερης διαμέτρου καλωδίου σπείρας και τη δυνατότητα να κατασκευάζουμε μεγαλύτερους πυρήνες. Όσον αφορά το ρότορα κυρίως τα βελτιωμένα τριβεία (ρουλεμάν) και τη μειωμένη αντίσταση τυλιγμάτων λόγω μεγαλύτερων καναλιών ρότορα, που είναι σχεδιαστικό στοιχείο της γεωμετρίας του.

Οι μέθοδοι που περιγράψαμε οδηγούν στη βελτίωση της απόδοσης του ηλεκτροκινητήρα και κατά συνέπεια στη βελτίωση της απόδοσης του συμπιεστή και κατ' επέκταση του ψυκτικού συγκροτήματος. Όπως θα δούμε παρακάτω, βοηθούν και στην αντιμετώπιση των μερικών φορτίων που είναι κρίσιμο σε κάποιες εφαρμογές, όπως επίσης παρέχουν τη δυνατότητα της αντιμετώπισης μιας αύξησης του φορτίου ως 10% χωρίς μετατροπές στην εγκατάσταση, αφού είναι εφικτά διαχειρίσιμο.

4.3. Βελτίωση μηχανολογικών συντελεστών.

Οι μηχανολογικοί συντελεστές επιδρούν σε δύο διαφορετικά επίπεδα. Το πρώτο έχει να κάνει με τις συνθήκες λειτουργίας και τα κατασκευαστικά στοιχεία σχεδιασμού του συμπιεστή, ενώ το δεύτερο έχει να κάνει με τις τριβές, το σύστημα λίπανσης και στεγανοποίησης. Θα τα εξετάσουμε αναλυτικά.

Κύριος παράγοντας που επηρεάζει την ισχύ του συμπιεστή είναι η θερμοκρασία εξάτμισης του ψυκτικού υγρού στον εξατμιστή, που αναφέρεται ως θερμοκρασία κορεσμού αναρρόφησης. Η μεταβολή της ισχύος που συντελείται είναι κυρίως αποτέλεσμα της μεταβολής του ειδικού όγκου του αερίου που μπαίνει στο συμπιεστή. Η μείωση της θερμοκρασίας αναρρόφησης προκαλεί μια αντίστοιχη μείωση της πίεσης αναρρόφησης, στην οποία οφείλεται μια αύξηση του ειδικού όγκου του αερίου. Επειδή ο συμπιεστής για μια ορισμένη ταχύτητα μετακινεί ένα σταθερό όγκο, η αύξηση του ειδικού όγκου προκαλεί μια μείωση του βάρους του ψυκτικού που μεταφέρεται και συνεπώς μια μείωση της ψυκτικής ισχύος που παράγεται. Εξαιτίας της πτώσης πίεσης στο σωλήνα αναρρόφησης, η θερμοκρασία κορεσμού αναρρόφησης είναι πάντα κατώτερη από τη θερμοκρασία κορεσμού εξάτμισης. Οι κατασκευαστές των μηχανημάτων προσπαθούν να περιορίσουν το μέγεθος αυτών των απωλειών στους 0,5 ως 1 °C.

Η πίεση κατάθλιψης επηρεάζει και αυτή την ψυκτική ικανότητα του συμπιεστή με τρόπο όμως λιγότερο έντονο από την πίεση αναρρόφησης, επειδή έχει μειωμένη επιρροή στο ειδικό βάρος του ψυκτικού που κυκλοφορεί, ενώ προκαλεί μια επιπλέον κατανάλωση ενέργειας για το συμπιεστή, ώστε να καταστεί δυνατή η μεταφορά του αερίου προς το συμπυκνωτή με επακόλουθη απόρριψη θερμότητας. Η πίεση κατάθλιψης καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά, κυρίως τις διαστάσεις, του συμπυκνωτή, από τη θερμοκρασία και την ποσότητα των διαθέσιμων ρευστών για την ψύξη του και επομένως εξισώνεται με την πίεση συμπύκνωσης. Ένας συμπυκνωτής μικρών διαστάσεων, ή με ρευστά ψύξης υψηλής θερμοκρασίας, ή διαθέσιμα σε μικρή ποσότητα, ή σε συνδυασμό τους, αναγκάζει το κύκλωμα να δώσει

μεγαλύτερη θερμοκρασία και πίεση στο ψυκτικό ρευστό για να μπορέσει η διαδικασία της θερμικής συναλλαγής να εξελιχθεί. Αυτό συνεπάγεται αύξηση της σχέσης συμπίεσης, που όπως είδαμε αυξάνει την απορροφούμενη ηλεκτρική ισχύ και μειώνει τον COP.

Πολύ βασικός είναι ο ρόλος της βαλβίδας αναρρόφησης. Η μέση τιμή της πτώσης πίεσης Z_s δίνεται από τη σχέση:

$$Z_s = (A_s * u^2) * MB / T_1 * 10^2$$

όπου:

A_s = σχέση επιφάνειας εμβόλου προς ελάχιστη επιφάνεια βαλβίδας.

u = μέση ταχύτητα εμβόλου στον κύλινδρο.

MB = μοριακό βάρος του ψυκτικού ρευστού.

T_1 = απόλυτη θερμοκρασία που αντιστοιχεί στην πίεση εξάτμισης.

Η μέση τιμή της πτώσης πίεσης που οφείλεται στη βαλβίδα κατάθλιψης δίνεται από τη σχέση:

$$Z_d = Z_s / r^\sigma$$

όπου:

Z_s = μέση τιμή της πτώσης πίεσης της βαλβίδας αναρρόφησης.

r = σχέση συμπίεσης.

$$\sigma = (k - 1) / k$$

όπου το k αντιπροσωπεύει τη σχέση ανάμεσα στην ειδική θερμοχωρητικότητα του αερίου υπό σταθερή πίεση και την ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερό όγκο στις προβλεπόμενες συνθήκες λειτουργίας.

Επομένως, οι απώλειες που οφείλονται στη λειτουργία των βαλβίδων οφείλονται στους παρακάτω παράγοντες:

- A_s , παράγοντας που εξαρτάται από το σχεδιασμό του συμπιεστή.
- u = μέση ταχύτητα εμβόλου στον κύλινδρο.
- T_1 = απόλυτη θερμοκρασία που αντιστοιχεί στην πίεση εξάτμισης.
- r = σχέση συμπίεσης.

Η μέση ταχύτητα του εμβόλου είναι στο τετράγωνο και αποτελεί το σημαντικότερο εξ' αυτών.

Οι απώλειες τριβών μέσα στον κύλινδρο από την κίνηση του εμβόλου είναι ιδιαίτερα σημαντικές και πρακτικής σπουδαιότητας κατά το σχεδιασμό καθώς όσο μεγαλύτερες είναι μειώνουν την απόδοση. Χωρίς να υπεισέλθουμε σε πολλές λεπτομέρειες, θα αναφέρουμε κάποια χαρακτηριστικά της λιπαίνουσας ή λιπαινόμενης τριβής.

Μια βασική διαφοροποίηση είναι η οριακή τριβή και η υδροδυναμική ή ιξώδης τριβή. Μεταξύ των δύο παραπάνω υπάρχει ένα μερικό καθεστώς λίπανσης όπου εμφανίζεται η μετάβαση από την οριακή στην υδροδυναμική λίπανση. Στην οριακή λίπανση, η τριβή ανάμεσα σε δύο επιφάνειες καθορίζεται από τις ιδιότητες της επιφάνειας και του λιπαντικού, όπως η τραχύτητα, η σκληρότητα, η ελαστικότητα, η πλαστικότητα, η δύναμη τριβής, η θερμική αγωγιμότητα και η υγροποίηση του λιπαντικού. Σημαντικές είναι οι επιφανειακές ή χημικές ιδιότητες του λιπαντικού, που υπερισχύουν της δυνατότητας των μορίων του να συνδεθούν με τις στέρεες επιφάνειες. Σε συνθήκες οριακής λίπανσης ο συντελεστής τριβής είναι ανεξάρτητος της ταχύτητας. Η οριακή λίπανση εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της εκκίνησης και της διακοπής λειτουργίας και κατά τη διάρκεια της κανονικής λειτουργίας στα ελατήρια του εμβόλου στα σημεία επαφής των ελατηρίων με το τοίχωμα του κυλίνδρου στο άνω και κάτω νεκρό σημείο. Οι συνθήκες υδροδυναμικής λίπανσης εμφανίζονται όταν η μορφή και η σχετική κίνηση των κινούμενων μερών διαμορφώσουν ένα υγρό λεπτό στρώμα στο οποίο υπάρχει ικανοποιητική πίεση για να κρατήσει τις επιφάνειες χωρισμένες. Η αντίσταση εμφανίζεται στα αποτελέσματα της κίνησης από τις

δυνάμεις τριβής μέσα στο υγρό στρώμα και όχι από την αλληλεπίδραση μεταξύ των επιφανειών, όπως θα συνέβαινε σε συνθήκες οριακής λίπανσης. Η υδροδυναμική λίπανση είναι ανεξάρτητη από την τραχύτητα των μερών και εξαρτάται μόνο από το ιξώδες του λιπαντικού.

Το σύστημα λίπανσης είναι σχεδιασμένο ώστε να παρέχει αρκετή ποσότητα λιπαντικού στα μέρη που απαιτείται και υπάρχουν ανάλογα με το είδος και τον τύπο του συμπιεστή πολλές σχεδιαστικές διαμορφώσεις. Κύριες λειτουργίες είναι;

- η μείωση της τριβής αντίστασης, ώστε η απόδοση να μεγιστοποιείται.
- προστασία των κινούμενων μερών από φθορά.
- ψύξη του εμβόλου.
- αφαίρεση υπολειμμάτων ψυκτικού από τις λιπαινόμενες περιοχές.
- περιορισμός της διαρροής αερίου και ελαίου στην περιοχή των ελατηρίων σε ένα αποδεκτό κατώτατο επίπεδο.

Ανάλογα με το είδος και τον τύπο των συμπιεστών έχουν αναπτυχθεί διαφορετικά συστήματα λίπανσης που αποτελούνται από τα αναγκαία εξαρτήματα, όπως αντλίες κυκλοφορίας, σωληνώσεις, φίλτρα, δοχεία συγκέντρωσης και όπου είναι απαραίτητο διαχωριστήρες. Χαρακτηριστικό παράδειγμα όπου απαιτείται ο διαχωρισμός του λιπαντικού ελαίου είναι στους κοχλιωτούς συμπιεστές. Στους παλινδρομικούς συμπιεστές, οι ποσότητες ελαίου που εγκαταλείπουν το συμπιεστή είναι μειωμένες λόγω της ύπαρξης των ελατηρίων. Επιπλέον αυτού, το έλαιο που έχει διαφύγει επαναφέρεται στο συμπιεστή από τη μηχανική έλξη του αερίου αναρρόφησης και επομένως, η ισορροπία αποκαθίσταται. Όπως είδαμε, στους διαφραγματικούς συμπιεστές, το λιπαντικό έλαιο, δεν συμπλέκεται ποτέ με το ψυκτικό ρευστό. Οι επιλογές σχεδιασμού των συμπιεστών είναι ανάλογες των απαιτήσεων και η έρευνα στον τομέα είναι σημαντική.

4.4. Βελτίωση ογκομετρικού βαθμού απόδοσης.

Ο ογκομετρικός βαθμός απόδοσης η ενός συμπιεστή ορίζεται ως το πηλίκο της πραγματικής παροχής του ψυκτικού αερίου που καταθλίβεται προς το συμπυκνωτή προς τη θεωρητικά υπολογιζόμενη παροχή του συμπιεστή πολλαπλασιασμένη με το εκατό.

Ο παραπάνω βαθμός απόδοσης δεν είναι σταθερός, αλλά εξαρτάται από κάποιους παράγοντες, οι κυριότεροι εξ' αυτών είναι:

- το μέγεθος του νεκρού χώρου του συμπιεστή.
- η θερμοκρασία των κυλίνδρων.
- ο λόγος συμπίεσης.
- οι διαρροές ψυκτικού αερίου από τα έμβολα και τις βαλβίδες του συμπιεστή.

Σύμφωνα με τα όσα είδαμε παραπάνω, ο νεκρός χώρος του συμπιεστή θα πρέπει να είναι ο ελάχιστος δυνατός, γιατί η αύξηση του νεκρού χώρου οδηγεί στην επανεκτόνωση του αερίου που παραμένει και συντελεί στη μείωση του βαθμού απόδοσης. Πράγματι, αν η πίεση κατάθλιψης παραμένει σταθερή και μειώνεται η πίεση αναρρόφησης, το αέριο που έχει συμπιεστεί στον επιζήμιο χώρο πρέπει να εκτονωθεί περισσότερο για να φτάσει τη μειωμένη πίεση αναρρόφησης, που είναι αναγκαία για να επιτρέψει την είσοδο αερίου από τον εξατμιστή. Με τον τρόπο αυτό μειώνεται η πραγματική ικανότητα άντλησης στην αναρρόφηση από το συμπιεστή και επομένως ελαττώνεται η ψυκτική ικανότητα. Η τελευταία επηρεάζει το κόστος της αρχικής εγκατάστασης, γιατί αναγκάζει στη χρήση συμπιεστών μεγαλύτερου μεγέθους και υψηλότερου κόστους. Επίσης, όταν σχεδιάζουμε μια εγκατάσταση θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη το είδος του συμπιεστή, γιατί όπως είδαμε στα προηγούμενα κεφάλαια, ανάλογα με το είδος, υπάρχουν μεγαλύτεροι ή μικρότεροι επιζήμιοι χώροι.

Η θερμοκρασία των κυλίνδρων επηρεάζει σημαντικά τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης. Με την αύξηση της θερμοκρασίας, αυξάνεται ο ειδικός όγκος του ψυκτικού αερίου και συνεπώς η μάζα του ψυκτικού που μπορεί να χωρέσει στον κύλινδρο κατά τη φάση της αναρρόφησης ελαττώνεται, με συνεπακόλουθο τη μείωση της μάζας του κυκλοφορούντος ψυκτικού μέσου και άρα τη μείωση της ψυκτικής ικανότητας.

Σημαντικός παράγοντας είναι ο λόγος συμπίεσης, που όμως είδαμε εξαρτάται από τις απόλυτες πιέσεις κατάθλιψης και αναρρόφησης, πρακτικά από το μέγεθος της κατάθλιψης του συμπιεστή. Ισχύει πως όσο ο λόγος συμπίεσης αυξάνεται, ο ογκομετρικός βαθμός μειώνεται.

Οι διαρροές του ψυκτικού αερίου από τα έμβολα ή τις βαλβίδες αναρρόφησης και κατάθλιψης, μειώνουν ακόμα περισσότερο τον ογκομετρικό βαθμό απόδοσης. Το φαινόμενο επιτείνεται σε αυξημένους λόγους συμπίεσης, αυξάνουν δηλαδή οι διαρροές στην περίπτωση αυτή.

Συνοψίζοντας τα παραπάνω, για τη βελτίωση του ογκομετρικού βαθμού απόδοσης σε μια ψυκτική εγκατάσταση θα πρέπει να προδιαγράψουμε συμπιεστές με χαμηλό λόγο συμπίεσης, με ελάχιστο επιζήμιο χώρο, με ιδιαίτερη στεγανοποίηση και υλικά κατασκευής κυλίνδρων που να συγκρατούν τη θερμοκρασία όσο το δυνατόν χαμηλότερα. Από την άλλη πλευρά, στη βιομηχανία κατασκευής συμπιεστών, η έρευνα προσανατολίζεται σε υλικά, τεχνικές στεγανοποίησης και αρχές λειτουργίας που να αντιμετωπίζουν τις παραπάνω προκλήσεις και να κατασκευάζονται αποδοτικότερα συστήματα.

4.5. Βελτίωση ισεντροπικού βαθμού απόδοσης.

Ο ισεντροπικός βαθμός απόδοσης ορίζεται ως το πηλίκο του αντιστρεπτού έργου συμπίεσης προς το μη αντιστρεπτό έργο συμπίεσης. Στο διάγραμμα πίεσης ενθαλπίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.1 αυτό εκφράζεται ως:

$$R_{is} = (h_{2s} - h_1) / (h_2 - h_1)$$

Η παραπάνω σχέση μπορεί να γραφεί αναλυτικά ως εξής:

$$R_{is} = W_{rev} / W_{real} = \{m \cdot r / (\gamma - 1)\} \cdot (T_2 - T_1) / h_2 - h_1$$

όπου:

W_{rev} = έργο αντιστρεπτής μεταβολής (kJ).

W_{real} = έργο μη αντιστρεπτής μεταβολής (kJ).

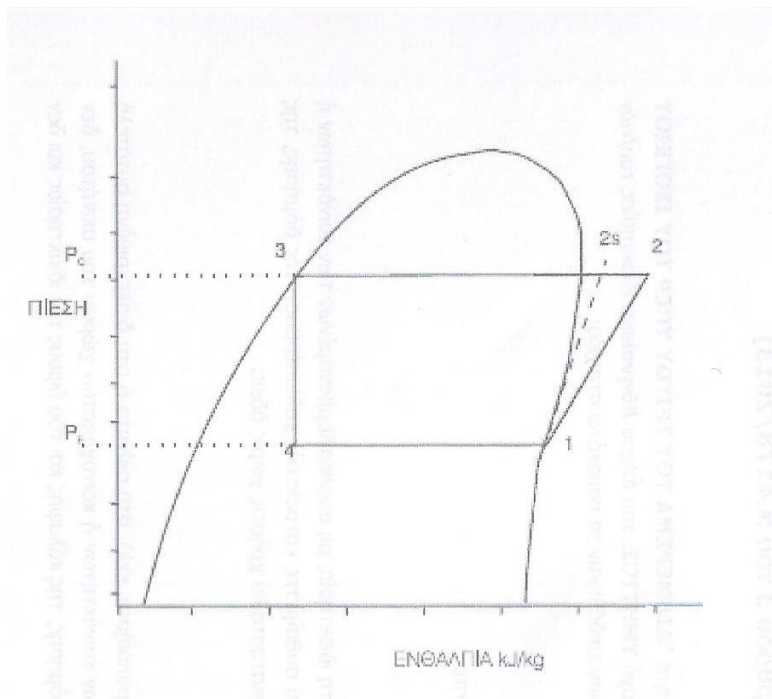
m = μάζα = 1 (kg).

r = σταθερά του ρευστού = 0.09614 kJ/kg*K.

γ = σταθερά c_p / c_v για τα εκάστοτε ψυκτικά ρευστά.

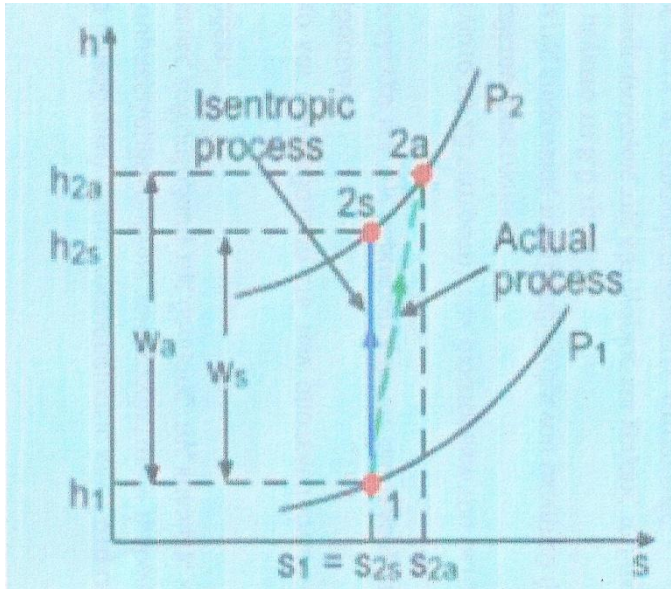
h_2, h_1 = ειδικές ενθαλπίες των σημείων 1 και 2 του σχήματος 4.1.

T_2, T_1 = θερμοκρασίες στα σημεία 1 και 2 του σχήματος 4.1.

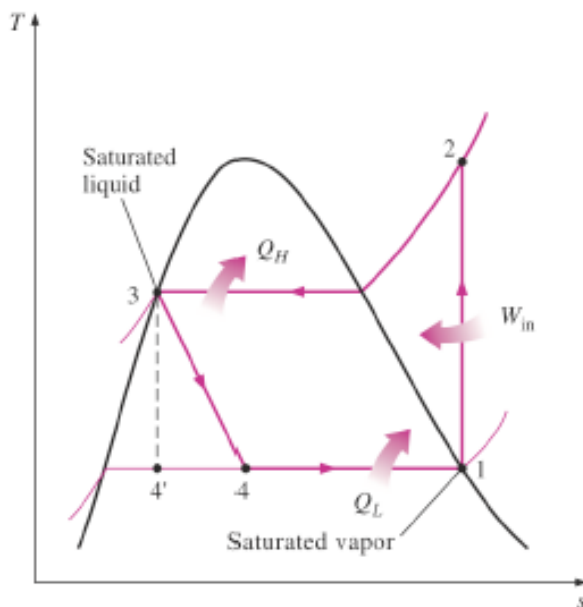


4.1. Διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας ισεντροπικής μεταβολής.

Στο επόμενο σχήμα φαίνεται το διάγραμμα ενθαλπίας-εντροπίας της πραγματικής και της ισεντροπικής διεργασίας ενός αδιαβατικού συμπιεστή.



4.2. Διάγραμμα ενθαλπίας-εντροπίας πραγματικής και ισεντροπικής διεργασίας.



4.3. Διάγραμμα θερμοκρασίας-εντροπίας.

Στη δεύτερη σχέση παρατηρούμε πως υπεισέρχονται κάποιες σταθερές και οι θερμοκρασίες εισόδου και εξόδου στο συμπιεστή. Παρατηρούμε πως όσο απομακρυνόμαστε από την ισεντροπική διεργασία, η απόδοση μειώνεται, γιατί αυξάνεται η διαφορά της θερμοκρασίας και επομένως το απαιτούμενο έργο. Οπότε οι μέθοδοι για τη βελτίωση του ισεντροπικού βαθμού απόδοσης προσπαθούν να διατηρούν τη διεργασία όσο το δυνατόν ισεντροπική.

4.6. Βελτίωση λειτουργίας σε μερικά φορτία.

Τα ψυκτικά συγκροτήματα είτε είναι μεγάλου μεγέθους ή μικρότερου δε λειτουργούν συνεχώς σε συνθήκες σταθερού και μέγιστου φορτίου, ένα φαινόμενο που παρατηρείται κυρίως σε εγκαταστάσεις κλιματισμού. Έχει υπολογιστεί μάλιστα πως μια ψυκτική εγκατάσταση λειτουργεί σε πλήρες φορτίο για περίοδο μικρότερη από το 25% της περιόδου χρήσης της. Είναι ιδιαίτερα σημαντική λοιπόν η σωστή και αποδοτική διαχείριση των περιόδων λειτουργίας σε μερικά φορτία.

Η πρώτη προσέγγιση που χρησιμοποιήθηκε ήταν ο έλεγχος εντός-εκτός (on-off). Στην ουσία, πρόκειται για την πιο απλή μορφή ελέγχου, όπου ο συμπιεστής μετά από εντολή του ελεγκτή, ο οποίος δέχεται πληροφορίες από ένα θερμοστάτη συνήθως, σταματάει. Αυτό, παρέχει κάποια εξοικονόμηση ενέργειας και εξαρτάται αρκετά από την ευαισθησία του αισθητήρα, δηλαδή πόσο κοντά στην τιμή θερμοκρασίας στόχο δίνει πληροφορίες στον ελεγκτή για να κλείσει το συμπιεστή. Σήμερα, με τους ηλεκτρονικούς αισθητήρες, έχει βελτιωθεί πολύ η ακρίβεια των εντολών.

Επειδή όμως η παραπάνω μέθοδος δεν προσφέρει τα μέγιστα όσον αφορά την απόδοση και ειδικά για τους συμπιεστές επιβαρύνει τη λειτουργία τους με τα συνεχή on-off, σήμερα τείνουμε στη χρήση ηλεκτροκινητήρων πολλών ταχυτήτων. Γνωρίζουμε πως η ψυκτική ικανότητα ενός συμπιεστή είναι ανάλογη της ταχύτητας περιστροφής του. Οπότε με τη χρήση ηλεκτροκινητήρων πολλών ταχυτήτων ή ακόμα και μεταβλητών στροφών, προσαρμόζουμε καλύτερα τη λειτουργία του συμπιεστή

στις απαιτήσεις του συστήματος. Η τεχνολογία INVERTER αποτέλεσε την καινοτομία στην παραπάνω εφαρμογή και είναι αυτό που αναφέραμε προηγουμένως για συμπιεστές μεταβλητών στροφών. Η μεταβολή των στροφών του ηλεκτροκινητήρα του συμπιεστή γίνεται με τη μεταβολή της συχνότητας του ηλεκτρικού ρεύματος τροφοδοσίας, το οποίο επιτυγχάνεται με τη συνεχή μέτρηση του φορτίου του συμπιεστή με ηλεκτρονικά κυκλώματα και την ανάλογη αυξομείωση της ταχύτητας περιστροφής. Η λύση αυτή είναι εύκολα εφαρμόσιμη σε συστήματα μικρής ισχύος, αντίθετα είναι ιδιαίτερα δαπανηρή σε πολύ μεγάλα συστήματα.

Μια άλλη μέθοδος που χρησιμοποιείται σε παλινδρομικούς συμπιεστές είναι ο έλεγχος μέσω της αποφόρτισης των κυλίνδρων. Ανάλογα με το φορτίο που αντιμετωπίζει ο συμπιεστής και σταδιακά, αποφορτίζονται ο ένας μετά τον άλλο οι κύλινδροί του, ώστε στο τέλος να μείνουν σε λειτουργία ένας ή δύο μόνον. Για τον παραπάνω έλεγχο είναι απαραίτητο ένα σύστημα αυτοματισμού, το οποίο μετράει το φορτίο και δίνει εντολές προς τις βαλβίδες αναρρόφησης συνήθως, ώστε να εμποδίζεται η είσοδος αερίου στους κυλίνδρους, που επιθυμούμε να τεθούν εκτός φόρτισης. Επομένως, οι συγκεκριμένοι κύλινδροι δε συμπιέζουν ψυκτικό αέριο και δεν συνεισφέρουν στη διεργασία, μειώνοντας την απορροφούμενη από τον κινητήρα ηλεκτρική ισχύ. Συνήθως, ο αυτοματισμός περιλαμβάνει ένα συγκρότημα ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας με πηνίο και ακροφύσιο ελέγχου ροής, ίσως και κάποιο φίλτρο. Η βιομηχανία έχει κατασκευάσει διάφορα συστήματα αποφόρτισης κυλίνδρων.

Η μέθοδος της εκκένωσης των κυλίνδρων συνίσταται στη διατήρηση της βαλβίδας αναρρόφησης του ελεγχόμενου κυλίνδρου ανοικτή, μη επιτρέποντας τη συμπίεση του ψυκτικού ρευστού. Με τον τρόπο αυτό, παρόλο που το έμβολο κινείται μέσα στον κύλινδρο, δεν καταφέρνει να συμπιέσει το αέριο, το οποίο αναρροφάται και εκτονώνεται πάντα από τη βαλβίδα αναρρόφησης, που παραμένει σταθερά ανοικτή. Είναι δυνατή η ύπαρξη πολλών βαθμίδων ρύθμισης στη λειτουργία του συμπιεστή, ίσες με το συνολικό αριθμό των κυλίνδρων, άρα κάθε κύλινδρος μπορεί να ελέγχεται. Και με τη μέθοδο αυτή, η απορροφούμενη ισχύς από τον κινητήρα μειώνεται ανάλογα

με τη μείωση της ψυκτικής ικανότητας. Το σύστημα προϋποθέτει την ύπαρξη βαλβίδας ελέγχου ικανότητας, υδραυλικό ρελέ και το στοιχείο ελέγχου του κυλίνδρου που ελέγχει τη βαλβίδα αναρρόφησης. Τα παραπάνω στοιχεία αποτελούν τμήμα του συμπιεστή.

Στην περίπτωση που η ψυκτική διάταξη με παλινδρομικούς συμπιεστές αντιμετωπίζει φορτίο μικρότερο από το φορτίο που μπορεί να αναλάβει ο τελευταίος μη αποφορτισμένος κύλινδρος, χρησιμοποιείται ο έλεγχος με by-pass κατάθλιψης, ώστε να εμποδίζεται το φορτίο να πέσει κάτω από το ελάχιστο φορτίο του ενός κυλίνδρου και συνεπώς να αντιμετωπιστούν τα ενδεχόμενα παγώματος του εξατμιστή και υπερθέρμανσης του ηλεκτροκινητήρα, που θα οδηγούσαν στην καταστροφή του συμπιεστή. Το φορτίο σταθεροποιείται με την παράκαμψη τμήματος του καταθλιβόμενου αερίου προς την πλευρά της χαμηλής πίεσης μέσω κατάλληλου κυκλώματος και μιας ηλεκτρομαγνητικής βαλβίδας ελέγχου δύο θέσεων. Έτσι επιτυγχάνεται κανονική λειτουργία του συστήματος με σχεδόν μηδενικό φορτίο. Η παράκαμψη μπορεί να γίνει με δύο τρόπους:

- με παράκαμψη στην είσοδο του εξατμιστή ανάμεσα στην εκτονωτική βαλβίδα και το διανομέα, όπου μια ποσότητα του καταθλιβόμενου αερίου υψηλής πίεσης και θερμοκρασίας οδηγείται στην είσοδο του εξατμιστή.
- με παράκαμψη στην αναρρόφηση, όπου το αέριο αφού εξέλθει του συμπιεστή οδηγείται πάλι πίσω στην αναρρόφηση.

Αυτό το σύστημα ελέγχου της ικανότητας, αν και μειώνει την ψυκτική ισχύ που αποδίδει ο συμπιεστής, δεν προκαλεί μειώσεις της απορροφούμενης ηλεκτρικής ισχύος, αφού οι όγκοι αναρροφούμενου και συμπιεζόμενου ψυκτικού δεν υφίστανται μειώσεις. Οπότε η κατανάλωση παραμένει πρακτικά η ίδια.

Στους κοχλιωτούς συμπιεστές, η αναπτυσσόμενη ψυκτική ικανότητα εξαρτάται από τον όγκο των κοχλιώσεων του ρότορα, οι οποίες εξαρτώνται από την διάμετρο αυτού. Οπότε για να μειώσουμε την ικανότητα, θα πρέπει να επιτευχθεί μια ελάττωση του όγκου της κοχλίωσης καθυστερώντας πρακτικά την αρχή της φάσης αναρρόφησης.

Αυτό μπορεί να γίνει, δημιουργώντας επικοινωνία ανάμεσα στις αυλακώσεις του ρότορα και την πλευρά της αναρρόφησης για καθορισμένο χρόνο. Με την κατάλληλη αναλογία μεταβάλλεται και το άνοιγμα της κατάθλιψης. Με τον τρόπο αυτό, ενώ η ογκομετρική απόδοση του συμπιεστή παραμένει σταθερή, η ψυκτική ικανότητα μεταβάλλεται κλιμακωτά ή συνεχώς από το 20 ως το 100% της μέγιστης τιμής με αντίστοιχη μεταβολή της απορροφούμενης ηλεκτρικής ισχύος.

Στους φυγοκεντρικούς συμπιεστές, ένας από τους πιο διαδεδομένους μηχανισμούς ελέγχου της ψυκτικής ικανότητας είναι η χρήση ενός διανομέα με κινητά πτερύγια, που τοποθετείται στην πλευρά αναρρόφησης του συμπιεστή. Ο διανομέας μεταβάλλει τη γωνία εισόδου και την παροχή του ψυκτικού αερίου. Τα οφέλη από τη μείωση που επιτυγχάνεται είναι ιδιαίτερος θετικά, γεωμετρική μείωση της απορροφούμενης ηλεκτρικής ισχύος. Ο έλεγχος των κινητών πτερυγίων πραγματοποιείται με τη χρήση θερμίστορ, στοιχείο που μεταβάλλει την ηλεκτρική του αντίσταση ανάλογα με τη θερμοκρασία, με την κατάλληλη διασύνδεσή του στο σύστημα. Ένας ακόμη τρόπος ελέγχου στους συμπιεστές του παραπάνω τύπου είναι η μεταβολή της ταχύτητας περιστροφής του ηλεκτροκινητήρα ή της τουρμπίνας κίνησης, που επιφέρει ανάλογη μείωση της απορροφούμενης ηλεκτρικής ισχύος.

4.7. Ψυκτικά ρευστά.

Το ψυκτικό ρευστό, όπως είδαμε και στα προηγούμενα, είναι ο φορέας που παραλαμβάνει ένα ποσό θερμότητας από το χώρο χαμηλής θερμοκρασίας και το απορρίπτει σε έναν άλλο χώρο υψηλότερης θερμοκρασίας.

Τα επιθυμητά χαρακτηριστικά για ένα ψυκτικό ρευστό συνοψίζονται στη συνέχεια:

- μη εύφλεκτο, μη εκρηκτικό, μη τοξικό, χωρίς βλαβερές συνέπειες στο περιβάλλον και σε περίπτωση διαρροής να μπορεί να ανιχνεύεται εύκολα.

- οι πτώσεις πίεσης που αντιστοιχούν στις διαθέσιμες θερμοκρασίες με τα κοινά ρευστά ψύξης του συμπυκνωτή, όπως είναι ο αέρας και το νερό, να είναι εντός αποδεκτών ορίων, για να μειωθεί το κόστος και ο όγκος του εξοπλισμού.
- οι πιέσεις που απαιτούνται για ψύξη και κλιματισμό να μην είναι κατώτερες από την ατμοσφαιρική, ώστε να αποφεύγεται η εισροή αέρα και υδρατμό στο κύκλωμα.
- να έχει υψηλή λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης, γιατί όσο μεγαλύτερη είναι αυτή τόσο μεγαλύτερο είναι το ποσό θερμότητας που μπορεί να απορροφήσει το ψυκτικό από τον αέρα ή νερό προς ψύξη. Επίσης, μια υψηλή θερμότητα εξάτμισης μειώνει τη ποσότητα του ρευστού που κυκλοφορεί στο κύκλωμα για το ίδιο ψυκτικό αποτέλεσμα.
- μειωμένη θερμοκρασία τελικής συμπίεσης, για να μην υπάρχουν φθορές στις βαλβίδες του συμπιεστή και να μην καταστρέφεται το έλαιο λίπανσης.
- μειωμένος ειδικός όγκος σε κατάσταση ατμού, ώστε να μειώνεται ο κυβισμός του συμπιεστή και κατά συνέπεια το κόστος του.
- μειωμένη ειδική θερμότητα στην υγρή κατάσταση, ώστε να είναι ελάχιστο το ποσοστό που εξατμίζεται στην εκτόνωση κατά το πέρασμα από τη βαλβίδα.
- καλή συμβατότητα με τα έλαια λίπανσης που χρησιμοποιούνται στους συμπιεστές, ώστε να μην υπάρχει κίνδυνος καταστροφής των εξαρτημάτων ούτε μείωσης της αποτελεσματικότητάς τους.
- απουσία διαβρωτικών δράσεων σε μέταλλα και υψηλή χημική σταθερότητα.
- χαμηλό κόστος και υψηλή διαθεσιμότητα.

Παρατηρούμε πως τα χαρακτηριστικά ομαδοποιούνται σε αυτά που άπτονται θέματα επικινδυνότητας και βλαβερών επιπτώσεων, αυτά που έχουν να κάνουν με την απόδοση και αυτά σχετίζονται με το κόστος και τη διαθεσιμότητα.

Τα ψυκτικά ρευστά κατατάσσονται σε:

- αμιγή ψυκτικά ρευστά.
- αζεοτροπικά μίγματα.

- ζεοτροπικά ή μη-αζεοτροπικά μίγματα.

Τα αμιγή ψυκτικά ρευστά περιλαμβάνουν τους χλωροφθοράνθρακες (CFC), τους υδροχλωροφθοράνθρακες (HCFC) και τους υδροφθοράνθρακες (HFC). Επίσης, είναι αμιγή ψυκτικά και κάποιες ανόργανες ενώσεις όπως η αμμωνία (NH₃), το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂), του θείου (SO₂), ο αέρας, το νερό και κάποια μίγματα αυτών.

Τα αζεοτροπικά μίγματα συμπεριφέρονται κατά την ατμοποίηση και συμπύκνωση σαν ένα ψυκτικό μέσο, με σταθερή ογκομετρική σύσταση και καθορισμένες ιδιότητες στις διάφορες φάσεις. Είναι σταθερά και δεν διασπώνται στα συστατικά τους σε περίπτωση διαρροής, επομένως η σύνθεση του ψυκτικού που απομένει στο κύκλωμα δεν αλλάζει.

Τα ζεοτροπικά παρουσιάζουν αλλαγή στην ογκομετρική τους σύσταση στις διάφορες φάσεις του κύκλου. Χαρακτηριστικό είναι πως κατά την εξάτμιση ή συμπύκνωση τους υπό σταθερή πίεση μεταβάλλεται η θερμοκρασία εξάτμισης ή συμπύκνωσης. Επίσης, οι ισοθερμοκρασιακές γραμμές στο διάγραμμα πίεσης-ενθαλπίας μέσα στην καμπάνα δεν είναι οριζόντιες. Παρουσιάζουν δηλαδή μια “ολίσθηση ή φάσμα βρασμού”, που είναι η διαφορά μεταξύ θερμοκρασίας εξάτμισης κορεσμένου υγρού και ατμού υπό σταθερή πίεση. Αυτό πρακτικά σημαίνει πως σε περίπτωση διαρροής ψυκτικού, αλλάζει η σύνθεση του μίγματος μέσα στο ψυκτικό κύκλωμα με συνέπειες στην απόδοση. Βέβαια, για κάποια από αυτά, οι παραπάνω μεταβολές είναι μικρές (ολίσθηση βρασμού μικρότερη των 3 °C) και θεωρούμε πως συμπεριφέρονται σχεδόν σαν αζεοτροπικό μίγμα.

Έχει παρατηρηθεί ήδη από το 1975 πως πολλά από τα ψυκτικά ρευστά και πιο συγκεκριμένα οι χλωροφθοράνθρακες περισσότερο και οι υδροχλωροφθοράνθρακες λιγότερο επιδρούν αρνητικά στο στρώμα όζοντος της ατμόσφαιρας, που αποτελεί την προστατευτική ασπίδα των γήινων οργανισμών απέναντι στην επικίνδυνη υπεριώδη ακτινοβολία του ήλιου, διασπώντας το. Επίσης, παραμένουν σε ένα στρώμα της

ατμόσφαιρας που ονομάζεται τροπόσφαιρα, όπου απορροφούν και κατακρατούν ένα μέρος της θερμότητας που εκπέμπει η επιφάνεια της γης προς το διάστημα, συμβάλλοντας έτσι στο φαινόμενο του θερμοκηπίου. Οι παραπάνω δύο αρνητικές για το περιβάλλον επιπτώσεις, έχουν κινητοποιήσει την παγκόσμια κοινότητα σε μέτρα εναντίον των επικίνδυνων ψυκτικών. Συγκεκριμένα, έχει αποφασιστεί η σταδιακή απαγόρευση χρήσης και κατάργηση παραγωγής αυτών και η αντικατάστασή τους με νέα, τα οποία δεν θα βλάπτουν το περιβάλλον. Η αντικατάσταση όμως δημιουργεί την ευκαιρία, ώστε τα νέα ψυκτικά, που ονομάζονται εναλλακτικά ή οικολογικά, να βελτιώσουν και την απόδοση των ψυκτικών συμπιεστών και κατά συνέπεια κυκλωμάτων, αλλού οι ιδιότητές τους όπως είδαμε παραπάνω επιδρούν και στην απόδοση. Βέβαια, υπάρχει πάντα ο κίνδυνος να μειωθεί η απόδοση, γιατί η αντικατάσταση δε συνεπάγεται απαραίτητα θετικά αποτελέσματα. Στη συνέχεια, θα δούμε κάποια συγκεκριμένα παραδείγματα.

Το R-134a είναι ένα νέο ψυκτικό που αντικαθιστά το R-12 (χλωροφθοράνθρακας) και χρησιμοποιείται σε ψυγεία συντήρησης, κλιματιστικά αυτοκινήτων και σε ψυκτικά συγκροτήματα κλιματισμού με νερό με κοχλιοφόρους ή φυγοκεντρικούς συμπιεστές. Η ψυκτική ικανότητα και ο COP είναι σχεδόν ίδια ή λίγο μικρότερη από το ψυκτικό που αντικαθιστά. Απαιτεί μεγαλύτερη συμπίεση, γιατί ο ειδικός όγκος του στις χαμηλές θερμοκρασίες λειτουργίας είναι κάπως μεγαλύτερος από το R-12. Σε μεγάλους φυγοκεντρικούς συμπιεστές με τις απαραίτητες επεμβάσεις στη φτερωτή, την αλλαγή της ταχύτητας περιστροφής και κάποιες άλλες πρόσθετες τροποποιήσεις, επιτυγχάνεται αυξημένη απόδοση του ψύκτη.

Το R-404A αντικαθιστά το R-502 και χρησιμοποιείται σε εγκαταστάσεις ψύξης μέσων και χαμηλών θερμοκρασιών στον εμπορικό τομέα. Ενώ, ο ειδικός όγκος του είναι μεγαλύτερος από αυτό που αντικαθιστά και επομένως απαιτεί μεγαλύτερη συμπίεση, η θερμοκρασία εξόδου από το συμπιεστή είναι μειωμένη περίπου 10 °C, και συνεπώς συντελεί θετικά στη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία του. Η ψυκτική ικανότητα μιας διάταξης με το νέο ψυκτικό είναι σχεδόν ίδια με το προς αντικατάσταση στις ίδιες

συνθήκες λειτουργίας και οι πολύ καλές θερμοδυναμικές ιδιότητές του αντισταθμίζουν τη μικρότερη απόδοση του συμπιεστή.

Το R-407C προβλέπεται να αντικαταστήσει το R-22 σε εφαρμογές ψύξης μέσω θερμοκρασιών εξάτμισης από -7 ως 10 °C. Ο ειδικός όγκος του είναι μεγαλύτερος από αυτό που αντικαθιστά και επομένως απαιτεί μεγαλύτερη συμπίεση. Η ψυκτική ικανότητα μιας διάταξης με το νέο ψυκτικό είναι σχεδόν ίδια με το προς αντικατάσταση στις ίδιες συνθήκες λειτουργίας, όμως ο COP είναι 3-5% μικρότερος. Θέλει ιδιαίτερη προσοχή στις ενέργειες, όταν παρουσιαστεί διαρροή, γιατί παρουσιάζει ολίσθηση βρασμού και η αναπλήρωση μπορεί να αλλάξει ως και 10% την απόδοση του συστήματος προς το χειρότερο, αφού αλλάζει η σύνθεση του μίγματος.

Το R-410A ανταγωνίζεται το R-407C και είναι σχεδόν αζεοτροπικό μίγμα. Δεν έχει το μειονέκτημα της ολίσθησης βρασμού και επειδή λειτουργεί σε υψηλές πιέσεις, προκύπτουν συστήματα μικρότερα σε όγκο και βελτιωμένης απόδοσης. Όμως, δεν ενδείκνυται για αντικατάσταση του R-22 σε υφιστάμενες διατάξεις, γιατί προϋποθέτει άλλες σχεδιαστικές επιλογές του εξοπλισμού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Το μέλλον των Ψυκτικών Συμπιεστών

Σήμερα, η παγκόσμια κοινότητα είναι ιδιαίτερα ευαισθητοποιημένη σε θέματα προστασίας του περιβάλλοντος και υποστηρίζει ένθερμα όλες τις τεχνολογίες εξοικονόμησης ενέργειας. Επιπλέον αυτών, έχει την απαίτηση και τη δύναμη να καθορίσει με παγκόσμια πρωτόκολλα και κανονισμούς διεθνή πρότυπα ποιότητας, βέλτιστου σχεδιασμού και προστασίας του περιβάλλοντος.

Στα προηγούμενα κεφάλαια εξετάσαμε τους ψυκτικούς συμπιεστές ως βασικό εξάρτημα των ψυκτικών κυκλωμάτων και κατανοήσαμε πως υπάρχουν σημαντικές δυνατότητες βελτίωσης σε θέματα σχεδιασμού, ενεργειακής αποδοτικότητας και φιλικότητας προς το περιβάλλον.

Παρατηρούμε πως ένα μεγάλο κομμάτι της έρευνας των κατασκευαστών επικεντρώνεται σε καινοτόμες τεχνολογίες, ώστε να βελτιωθούν τα υφιστάμενα μηχανήματα και να εφευρεθούν άλλα, τα οποία θα ικανοποιούν ειδικές απαιτήσεις. Συγκεκριμένα, η τελειοποίηση των μηχανουργικών διεργασιών, έδωσε τη δυνατότητα με την κατασκευή κοχλιών και σπιράλ με πολύ μικρές ανοχές, να αυξηθεί η διάδοση των περιστροφικών συμπιεστών ιδίως στις χαμηλές και μεσαίες κατηγορίες ισχύων. Με τον τρόπο αυτό μπορούμε να εκμεταλλευτούμε τα πλεονεκτήματα που προσφέρουν αυτά τα μηχανήματα, όπως ο χαμηλότερος θόρυβος λειτουργίας, η καλύτερη απόδοση, ο μικρότερος όγκος που καταλαμβάνουν. Μάλιστα, προβλέπεται πως η διάδοση των περιστροφικών συμπιεστών θα αυξηθεί τα επόμενα χρόνια.

Όσον αφορά τους ηλεκτροκινητήρες, που αποτελούν βασικό εξάρτημα των συμπιεστών, η πρόοδος στον τομέα των ρυθμιστών στροφών τρέχει με ιλιγγιώδεις ρυθμούς και αφορά τόσο το λογισμικό όσο και το ηλεκτρονικό κύκλωμα που τροφοδοτεί τον κινητήρα. Η χρησιμοποίηση εξαιρετικά γρήγορων και με μεγάλη υπολογιστική ισχύ μικροεπεξεργαστών κάνει δυνατή τη χρήση πολύπλοκων αλγορίθμων ελέγχου. Έχει επιτευχθεί αύξηση των ροπών εκκίνησης, εξοικονόμηση ενέργειας για όλο το φάσμα των ταχυτήτων και κατακόρυφη βελτίωση της ταχύτητας απόκρισης του συστήματος κινητήρα-φορτίου, ώστε ο τριφασικός κινητήρας να έχει ίσως και καλύτερη δυναμική συμπεριφορά από έναν αντίστοιχο συνεχούς ρεύματος. Τα διακοπτικά ημιαγωγικά στοιχεία έχουν πλέον πολύ μικρούς χρόνους έναυσης και σβέσης και μεγάλη αντοχή σε ρεύμα και τάση. Επομένως, βελτιώνουν σημαντικά τον βαθμό απόδοσης, μειώνουν τον όγκο και το βάρος του εξοπλισμού και εξαλείφουν το μαγνητικό θόρυβο, ελατώνουν τις απώλειες και συντελούν στην ομαλότερη λειτουργία του κινητήρα. Αναμένονται βελτιώσεις στην εξομάλυνση και σταθεροποίηση της λειτουργίας τους σε πολύ χαμηλές συχνότητες, στην περαιτέρω μείωση των ηλεκτρομαγνητικών παρεμβολών, στη μείωση των μεγεθών και του κόστους κατασκευής, στην ενσωμάτωσή τους στους ηλεκτροκινητήρες και στην κατάργηση του ενδιάμεσου σταδίου μετατροπής της τάσης του δικτύου σε συνεχή, ώστε να αφαιρεθούν οι ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές, που συχνά αποτελούν και αιτία βλάβης.

Σε επίπεδο εξοικονόμησης ενέργειας οι αυστηρές νομοθεσίες τόσο ανά την υφήλιο όσο και σε επίπεδο Ευρωπαϊκής Ένωσης θα ωθήσει στη βελτίωση της ενεργειακής αποδοτικότητας των συμπιεστών, αλλά και θα δώσει κίνητρα για τη χρήση τους. Υπάρχουν αυστηρές ημερομηνίες κατάργησης των ενεργοβόρων συστημάτων, ώστε να υπάρχει η πίεση για τη δημιουργία περισσότερο αποδοτικών συμπιεστών.

Όσον αφορά την προστασία του περιβάλλοντος και συγκεκριμένα την αρνητική επίπτωση που έχει η χρήση συγκεκριμένων ψυκτικών μέσων στα ψυκτικά κυκλώματα, ήδη τα περισσότερα επικίνδυνα ψυκτικά βγαίνουν εκτός παραγωγής και δεν χρησιμοποιούνται. Η εξέλιξη αυτή έχει ωθήσει τη βιομηχανία στην παραγωγή νέων οικολογικών ψυκτικών με βελτιωμένες ιδιότητες από άποψη απόδοσης και μικρό αρνητικό αποτύπωμα στο περιβάλλον. Επίσης, έχει φέρει πάλι στο προσκήνιο ψυκτικά που ενώ είχαν χρησιμοποιηθεί στο παρελθόν, τελικά είχαν μείνει πίσω σε σχέση με τους χλωροφθοράνθρακες που επικράτησαν για χρόνια. Ένα από αυτά είναι η αμμωνία, η οποία είναι φθηνή, άμεσα διαθέσιμη και εύκολη σε χρήση, χρήζει όμως ιδιαίτερης αντιμετώπισης γιατί εμφανίζει κάποια επικινδυνότητα. Το βασικό της πλεονέκτημα είναι πως είναι απίθανο να βρεθεί υπό περιοριστική νομοθεσία, άρα το γεγονός αυτό αποτελεί εγγύηση για τους χρήστες της, οι οποίοι δεν θα βρεθούν αντιμέτωποι με διαδικασίες αντικατάστασης. Είναι όμως απαραίτητα για τα θέματα ασφαλείας που υφίστανται και είναι γνωστά να υπάρχει σωστή εκπαίδευση των επαγγελματιών τεχνικών που εργάζονται πάνω σε αυτή. Επιπλέον αυτού, να τηρούνται οι κανονισμοί και προδιαγραφές ασφαλείας για εγκαταστάσεις που τη χρησιμοποιούν, να υπάρχουν δηλαδή ανιχνευτές αερίου και συστήματα εξαερισμού. Το κλειδί για τη δυναμική επιστροφή της αμμωνίας είναι η ελάττωση της ποσότητας που χρειάζεται για να επιτευχθεί το ψυκτικό φορτίο και οι ασφαλέστερες σχεδιαστικές προσεγγίσεις.

Έντονες είναι οι ενδείξεις πως θα αυξηθούν οι εφαρμογές υβριδικών συστημάτων αμμωνίας-διοξειδίου του άνθρακα και θα ενταθεί η έρευνα σε αυτό το πεδίο. Η τοξικότητα της αμμωνίας οδήγησε στη λογική του δευτερεύοντος ψυκτικού ρευστού,

όπου η αμμωνία περιορίζεται σε μικρή ποσότητα στο μηχανοστάσιο ψύχοντας σε έναν εναλλάκτη ένα ακίνδυνο ρευστό, όπως η γλυκόλη, το οποίο κατόπιν κυκλοφορεί στους χώρους που απαιτούν ψύξη. Η μέθοδος αυτή είχε βασικούς περιορισμούς στις θερμοκρασίες και είναι ενεργειακά ακριβότερη κενό ήρθε να καλύψει το διοξείδιο του άνθρακα με τα κλιμακωτά συστήματα. Είναι αυτό που κυκλοφορεί στους χώρους που συντελείται η ψύξη ως δευτερεύον ρευστό, το οποίο στη συνέχεια παγώνει σε έναν εναλλάκτη, όπου εξατμίζεται αμμωνία στην επιθυμητή θερμοκρασία ή με κανονική εφαρμογή του ψυκτικού κύκλου στο διοξείδιο του άνθρακα, όπου η συμπύκνωσή του γίνεται σε χαμηλή θερμοκρασία, μικρότερη του μηδενός, που επιτυγχάνεται με εξάτμιση της αμμωνίας σε εναλλάκτη, που ταυτόχρονα παίζει το ρόλο του συμπυκνωτή για το διοξείδιο του άνθρακα. Η έρευνα έχει δείξει πως το τελευταίο υπερτερεί σε εφαρμογές πολύ χαμηλών θερμοκρασιών ενεργειακά του διβάθμιου συστήματος αμμωνίας.

Είναι ιδιαίτερης σημασίας να τονίσουμε πως οι επαγγελματίες της ψύξης και του κλιματισμού πρέπει να προετοιμαστούμε για την κάλυψη των αναγκών που θα προκύψουν, με εμβάθυνση στην ευρωπαϊκή νομοθεσία, μελέτη των πρακτικών ψύξης σε Ευρώπη και Αμερική και συνεχή εκπαίδευση και ενημέρωση. Είναι αναγκαίο να αντιλαμβανόμαστε τις απαιτήσεις ως πρόκληση και όχι ως απειλή και να έχουμε ευρύτερη σκέψη με βασικό στόχο το γενικότερο κοινωνικό όφελος.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ASHRAE, Fundamentals Handbook, Atlanta, Georgia, USA.

ASHRAE, Refrigeration Handbook, Atlanta, Georgia, USA.

ASHRAE, HVAC Applications Handbook, Atlanta, Georgia, USA.

ASHRAE, HVAC Systems and Equipment Handbook, Atlanta, Georgia, USA.

Chatenever R., Air-Conditioning and Refrigeration for the Professional, J. Wiley & Sons, New York, 1988.

Trane, Systems Manual, La Crosse, 1993.

Trane, CFC'S: Today there are answers, La Crosse, 1994.

Σελλουντος Β. Η., Θέρμανση Κλιματισμός, Τ-εκδοτική, ΣΕΛΚΑ-4Μ, Αθήνα, 2005.

Recknagel – Sprenger, Θέρμανση Κλιματισμός, εκδόσεις Γκιούρδας, Αθήνα, 1980.

Βραχόπουλος – Λιγνός – Κάρμαλης, Εγκαταστάσεις Ψύξης Ι, ΟΑΕΔ, Αθήνα, 2009.

Κτενιαδάκης – Παπαδάκης – Αργυράκης, Εγκαταστάσεις Ψύξης ΙΙ, ΟΑΕΔ, Αθήνα, 2009.

Μπαλαράς – Μπίμης – Θεοφύλακτος, Εγκαταστάσεις Κλιματισμού Ι, ΟΑΕΔ, Αθήνα, 2002.

Ασημακόπουλος – Διακουμάκος – Σεκεριάδης, Εγκαταστάσεις Κλιματισμού ΙΙ, ΟΑΕΔ, Αθήνα, 2002.

Scott – Aidoun – Bellache – Ouzzane, CFD Simulations of a Supersonic Ejector for Use in Refrigeration Applications, Purdue University, International Refrigeration and Air-Conditioning Conference, 2008.

Τσουκαλάς Ν., Επίδραση του ισεντροπικού βαθμού λειτουργίας του συμπιεστή και της σχέσης συμπίεσης στην απόδοση ενός ψυκτικού συγκροτήματος, Γεωπονικό Πανεπίστημιο Αθηνών, Αθήνα, 2012.

Ιατρίδης Μ., ΚΑΠΕ, Οδηγός εξοικονόμησης ενέργειας στη βιομηχανική ψύξη, Αθήνα, 1996.

Hanlon P., Compressor Handbook, Mc.Graw Hill,

Harman – Gielda, US 8333080 B2 Patent, Supersonic cooling system, USPTO, USA.