

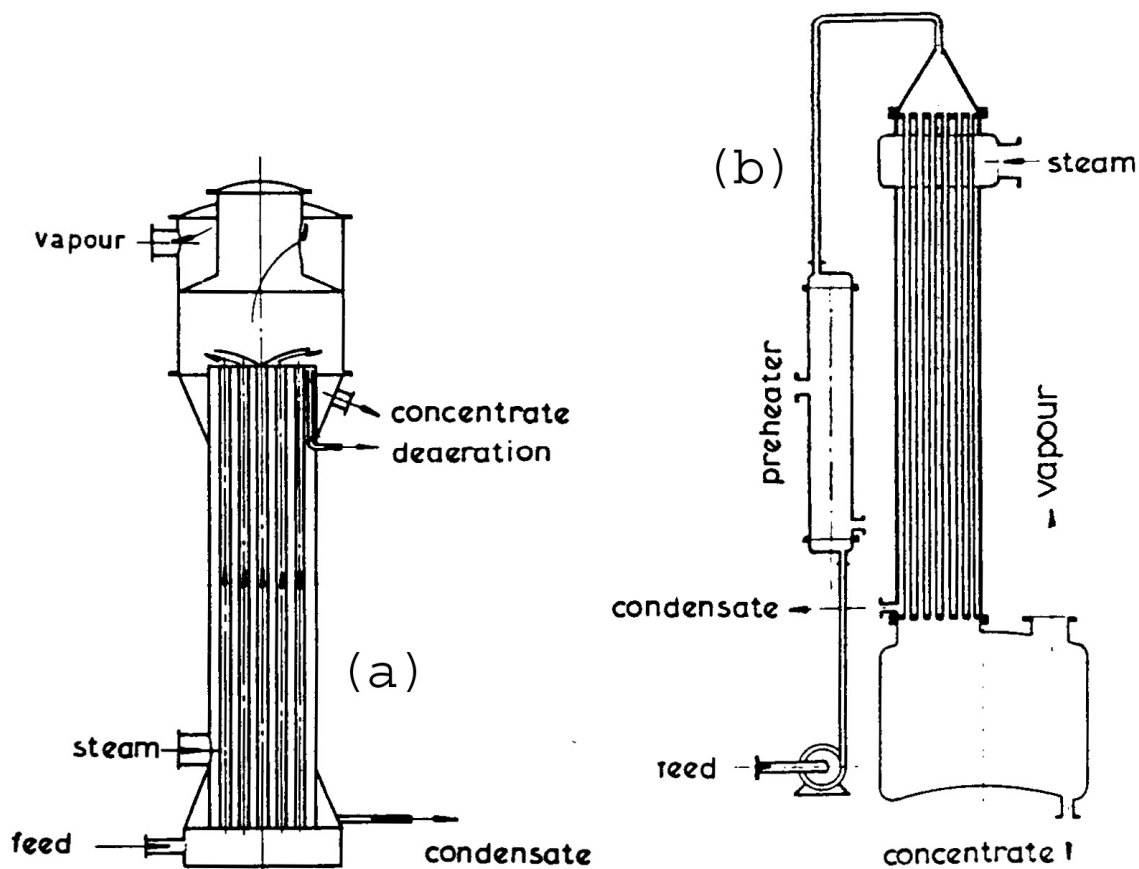
Στην προκειμένη περίπτωση, μια φυγοκεντρική αντλία ωθεί το υγρό να περάσει μέσα από τους σωλήνες με ταχύτητες από 2 μέχρι 6 m/s. Στους σωλήνες υπάρχει επαρκές υδροστατικό ύψος, ώστε να μην συμβεί βρασμός του υγρού μέσα στους σωλήνες. Αυτό σημαίνει ότι το υγρό γίνεται υπέρθερμο, καθώς το υδροστατικό ύψος ελαττώνεται κατά την διάρκεια της ανοδικής ροής του μέσα στον εναλλάκτη. Στην είσοδο του θαλάμου διαχωρισμού (έξοδος από εναλλάκτη) το υγρό εξατμίζεται ακαριαία λόγω εκτόνωσης και μετατρέπεται σε μίγμα ατμού και υγρού. Το μίγμα προσκρούει κατά την είσοδο του στον διαχωριστή πάνω σε μια πλάκα που λέγεται ανακλαστήρας, οπότε το υγρό πέφτει στον πυθμένα του θαλάμου του διαχωριστή και από εκεί παραλαμβάνεται από την φυγοκεντρική αντλία και ωθείται προς τους σωλήνες του εναλλάκτη, ώστε να επαναληφθεί η διαδρομή που ακολουθήθηκε προηγουμένως. Ο παραγόμενος ατμός εξέρχεται από την κορυφή του διαχωριστή και οδηγείται προς τον ψυκτήρα προκειμένου να συμπυκνωθεί. Μέρος του υγρού απομακρύνεται συνεχώς από την βάση του διαχωριστή ως συμπυκνωμένο προϊόν. Λόγω των υψηλών ταχυτήτων ροής του προς συμπύκνωση υγρού σε αυτόν τον τύπο συμπυκνωτή, ο χρόνος παραμονής του υγρού στους θερμαινόμενους σωλήνες είναι της τάξης των λίγων δευτερολέπτων, γι' αυτό και ο τύπος αυτός κρίνεται κατάλληλος για την συμπύκνωση μετρίως ευαίσθητων υγρών, όπως επίσης και εκείνων που έχουν την τάση να προκαλούν αφρισμό.

ΕΞ.5.3 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΑΝΕΡΧΟΜΕΝΗΣ Ή ΚΑΤΕΡΧΟΜΕΝΗΣ ΣΤΙΒΑΔΑΣ

Για εξαιρετικά θερμοευαίσθητα υγρά, οι προαναφερθέντες τύποι συμπυκνωτών δεν θεωρούνται ως είναι οι πλέον κατάλληλοι, γιατί τόσο στην περίπτωση των συμπυκνωτών με φυσική κυκλοφορία, όσο και στην περίπτωση των συμπυκνωτών με εξαναγκασμένη κυκλοφορία, οι απαιτούμενοι- για την επίτευξη του επιθυμητού βαθμού συμπύκνωσης- χρόνοι παραμονής του προϊόντος σε αυτούς είναι πολύ μεγάλοι. Όλοι οι παραπάνω τύποι ανήκουν στην κατηγορία των συμπυκνωτών πολλαπλών διαδρομών, δηλαδή το προϊόν εξαναγκάζεται να περάσει πολλάκις από την θερμαινόμενη ζώνη (σωλήνες εναλλάκτη), γεγονός που οδηγεί αναπόφευκτα στην υποβάθμιση των ποιοτικών του χαρακτηριστικών εξαιτίας της παρατεταμένης θέρμανσης, ακόμη κι αν αυτή διεξάγεται υπό ελαττωμένη πίεση (κενό) σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία (60-70⁰C). Γι' αυτόν τον λόγο, στην περίπτωση των συγκεκριμένων προϊόντων, χρησιμοποιούνται συμπυκνωτές απλής διαδρομής, στους οποίους το υγρό διέρχεται από τον εναλλάκτη μια και μόνο φορά που είναι αρκετή για την συμπύκνωση του στον επιθυμητό βαθμό. Ο τύπος αυτός αποτελείται από έναν εναλλάκτη με κατακόρυφους επιμήκεις σωλήνες ύψους από 4 μέχρι 12 m και διαμέτρου 2.5 μέχρι 5 cm (Σχήμα ΕΞ-5α και ΕΞ-5β).

Το προς συμπύκνωση υγρό εισέρχεται κατόπιν προθέρμανσης στο σύστημα των σωλήνων από την βάση του. Για μικρή απόσταση το υγρό συνεχώς θερμαινόμενο ρέει ακολουθώντας ανοδική πορεία υπό την μορφή υμένα, που καλύπτει το εσωτερικό τοίχωμα του σωλήνα, έως ότου αρχίσει ο βρασμός του, οπότε οι δημιουργούμενες φυσαλίδες αυξάνουν την ταχύτητα του υγρού και τον ρυθμό μετάδοσης θερμότητας. Το υμένιο του ολοένα συμπυκνούμενου υγρού αναρριχάται ταχύτερα στο τοίχωμα των σωλήνων, το οποίο θερμαίνεται από τον συμπυκνούμενο ατμό που κυκλοφορεί από την εξωτερική πλευρά των σωλήνων. Το μίγμα του συμπυκνούμενου υγρού και του παραγόμενου ατμού εισέρχεται στον διαχωριστή, όπου και διαχωρίζεται. Ο ατμός οδηγείται προς υγροποίηση και το υγρό συλλέγεται στην βάση του διαχωριστή και είτε απομακρύνεται από τον συμπυκνωτή ως έχει, είτε οδηγείται σε δεύτερο συμπυκνωτή για περαιτέρω συμπύκνωση. Ο τύπος αυτός ονομάζεται *συμπυκνωτής ανερχόμενης στιβάδας* (ascending-film evaporators). Κατά παρόμοιο τρόπο λειτουργεί και ο *συμπυκνωτής κατερχόμενης στιβάδας* (falling-film evaporators), με την διαφορά ότι το προς συμπύκνωση υγρό εισέρχεται στους σωλήνες από την κορυφή τους και εξέρχεται από την βάση τους ως μίγμα συμπυκνούμενου υγρού – παραγόμενου ατμού, οπότε και εισέρχεται στον διαχωριστή που βρίσκεται συνδεδεμένος στην βάση του εναλλάκτη. Οι επιτυγχανόμενες ταχύτητες ροής είναι πολύ υψηλές, δεν υπάρχει υδροστατικό ύψος και εφόσον υπάρχουν διάτρητες πλάκες που βοηθούν το υγρό τροφοδοσίας να κατανεμηθεί ομοιόμορφα σε κάθε σωλήνα, ώστε να κατέλθει υπό την μορφή υμενίου, οι ρυθμοί εξάτμισης του υγρού είναι

πολύ μεγάλοι για ελάχιστο χρόνο παραμονής. Επιπροσθέτως ο συμπυκνωτής λειτουργεί υπό συνθήκες κενού, η συμπύκνωση συντελείται σε θερμοκρασίες μέχρι και 40°C χαμηλότερες. Ο τύπος αυτός συμπυκνωτή θεωρείται ο πλέον ιδανικός για την συμπύκνωση των πιο θερμοευαίσθητων υγρών.



Σχήμα ΕΞ-5. (α) Συμπυκνωτής ανερχόμενης στιβάδας και (β) Συμπυκνωτής κατερχόμενης στιβάδας

Συχνά χρησιμοποιείται σύστημα των δύο τύπων συμπυκνωτών, δηλαδή το υγρό τροφοδοσίας προσυμπυκνώνεται σε συμπυκνωτή ανερχόμενης στιβάδας και έπειτα η συμπύκνωση μέχρι τον επιθυμητό βαθμό του παραγόμενου υψηλού ιξώδους υγρού ολοκληρώνεται σε συμπυκνωτή κατερχόμενης στιβάδας.

ΕΞ.5.4 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΑΝΑΔΕΥΟΜΕΝΗΣ ΣΤΙΒΑΔΑΣ

Η κυριότερη αντίσταση στην μετάδοση θερμότητας από τον ατμό στο ζέον υγρό σε έναν συμπυκνωτή προέρχεται από το υγρό. Κάθε μέθοδος που ελαττώνει την αντίσταση αυτή, βελτιώνει την θερμική μεταφορά.

Στους συμπυκνωτές εξαναγκασμένης κυκλοφορίας η ταχύτητα του υγρού είναι μεγάλη, η ροή του τυρβώδης και ως εκ τούτου ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας αντιστοιχεί σε μεγάλες τιμές. Ένας άλλος τρόπος για να αυξηθεί η στροβίλωση κατά την ροή του υγρού είναι η μηχανική ανάδευση του υγρού υμενίου, μέθοδος που εφαρμόζεται στον τύπο του συμπυκνωτή αναδευόμενης στιβάδας (Σχήμα ΕΞ-6). Πρόκειται για έναν τροποποιημένο συμπυκνωτή κατερχόμενης στιβάδας με έναν μόνο διπλότοιχο σωλήνα, που περιέχει έναν αναδευτήρα αποτελούμενο από έναν κεντρικό άξονα (ρότορας), ο οποίος φέρει πτερύγια σε όλο το μήκος

του. Το προς συμπύκνωση υγρό εισέρχεται από την κορυφή του σωλήνα και, με την βοήθεια των περιστρεφόμενων πτερυγίων, απλώνεται σε ολόκληρη την θερμαινόμενη εσωτερική επιφάνεια αποκτώντας την μορφή πολύ λεπτού και εξαιρετικά τυρβώδους υμενίου. Το δημιουργούμενο μίγμα του συμπυκνούμενου υγρού και του παραγόμενου ατμού εξέρχεται από το κάτω μέρος του σωλήνα κατευθυνόμενο προς τον διαχωριστή, όπου και συναντά κατά την είσοδο του τον ανακλαστήρα. Το υγρό χάνει την κινητική του ενέργεια και πέφτει στην βάση του διαχωριστή, ενώ ο ατμός εξέρχεται από το άνω μέρος και οδηγείται στον ψυκτήρα για υγροποίηση.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα αυτού του συμπυκνωτή είναι η επίτευξη πολύ υψηλών ρυθμών μετάδοσης θερμότητας με ιξώδη υλικά, που μπορεί να έχουν τιμή ιξώδους ακόμη και 100 Pa·s στην θερμοκρασία συμπύκνωσης. Γι' αυτόν τον λόγο κρίνεται κατάλληλος για την συμπύκνωση θερμοευαίσθητων προϊόντων υψηλού ιξώδους, όπως επί παραδείγματι της ζελατίνης. Ως μειονεκτήματα του συγκεκριμένου τύπου συμπυκνωτή αναφέρονται τα ακόλουθα: το υψηλό κόστος εγκατάστασης, λειτουργίας και συντήρησης (λόγω των πολλών κινητών μερών του) και η μικρή του χωρητικότητα, καθότι αποτελείται από έναν μόνο σωλήνα, σε αντίθεση με τους άλλους τύπους που διαθέτουν πολλούς σωλήνες.

ΕΞ.5.5 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΠΛΑΚΩΝ

Αρκετοί κατασκευαστές εναλλακτών θερμότητας έχουν επιμεληθεί τον σχεδιασμό και την κατασκευή συμπυκνωτών παρόμοιων με τους εναλλάκτες πλακών, οι οποίοι διαφέρουν ως προς το γεγονός ότι τα διάκενα μεταξύ των πλακών είναι κάπως μεγαλύτερα στην περίπτωση του συμπυκνωτή για να επιτρέπεται η αποδέσμευση του παραγόμενου ατμού. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιεί την αρχή της ανερχόμενης και κατερχόμενης στιβάδας. Οι πλάκες είναι τοποθετημένες κατά τρόπο τέτοιο, ώστε να αποτελούν ομάδες τεσσάρων πλακών η κάθε μία. Ο ατμός θέρμανσης συμπυκνώνεται στα διάκενα των πλακών 4-1 και 2-3. Το προθερμαινόμενο υγρό βράζει στην επιφάνεια των πλακών, ανερχόμενο υπό μορφή υμενίου στο διάκενο των πλακών 1-2 και κατερχόμενο, επίσης υπό μορφή υμενίου, στο διάκενο 3-4. Ο αριθμός τέτοιων ομάδων σε έναν συμπυκνωτή ποικίλει ανάλογα με το έργο που προορίζεται να χρησιμοποιηθεί. Το μίγμα του συμπυκνωμένου υγρού και του παραγόμενου ατμού, κατά την έξοδο του από το σύστημα των πλακών, εισέρχεται σε διαχωριστή, όπου και διαχωρίζεται. Λόγω των υψηλών ταχυτήτων ροής των υγρών, οι ρυθμοί μετάδοσης θερμότητας είναι επίσης πολύ υψηλοί και γι' αυτόν τον λόγο ο τύπος αυτός είναι χρήσιμος για την συμπύκνωση θερμοευαίσθητων υλικών. Ένα άλλο πλεονέκτημά του είναι ότι καταλαμβάνει σχετικά μικρό χώρο.

ΕΞ.5.6 ΦΥΓΟΚΕΝΤΡΙΚΟΙ ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ

Σε όλους τους τύπους συμπυκνωτών που αναφέρθηκαν παραπάνω η θερμαινόμενη επιφάνεια είναι στατική. Παράδειγμα συμπυκνωτή με περιστρεφόμενη επιφάνεια θέρμανσης αποτελεί ο *φυγοκεντρικός συμπυκνωτής* (centrifugal evaporator), που απεικονίζεται στο σχήμα ΕΞ-7. Ο εν λόγω συμπυκνωτής αποτελείται από ένα κέλυφος που περιέχει θερμαινόμενους δίσκους σχήματος κόλουρου κώνου, που είναι τοποθετημένοι ο ένας πάνω στον άλλο και περιστρέφονται με την βοήθεια ενός κεντρικού άξονα στον οποίο είναι προσαρτημένοι. Λόγω της επίδρασης της φυγόκεντρου δύναμης, το υγρό τροφοδοσίας δημιουργεί λεπτές στιβάδες στα διάκενα μεταξύ των δίσκων που έχουν πάχος 0.5-2 mm.

Ο χρόνος παραμονής του προϊόντος είναι πολύ μικρός και ο τύπος αυτός ενδείκνυται για την συμπύκνωση θερμοευαίσθητων υγρών πολύ μεγάλου ιξώδους (μέχρι και 100 Pa·s). Το μεγάλο του μειονέκτημα αποτελεί το γεγονός ότι προϋποθέτει μεγάλο κόστος αγοράς σε συνδυασμό με την σχετικά μικρή χωρητικότητά του.

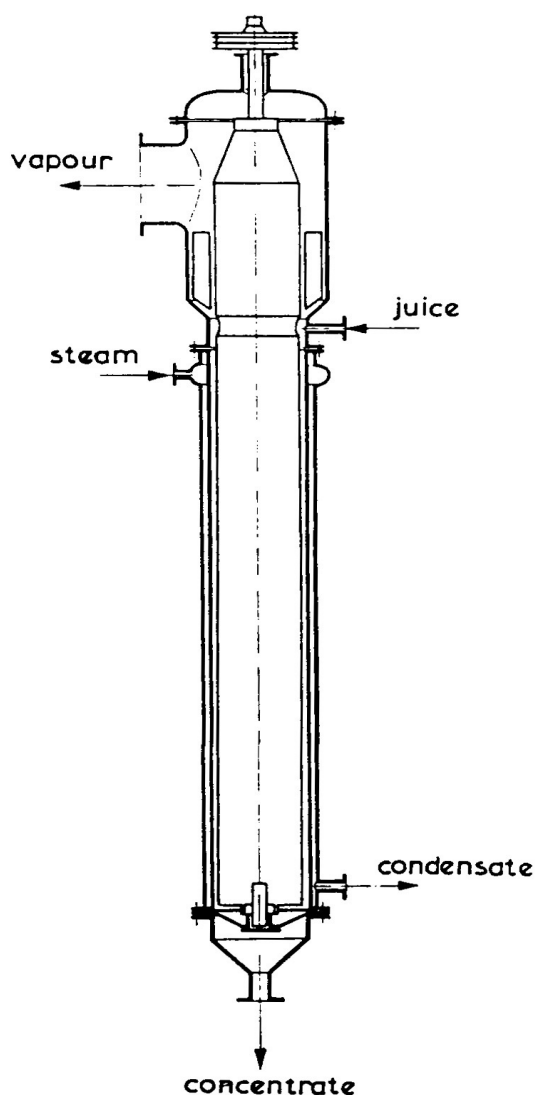
ΕΞ.5.7 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΠΕΡΙΣΤΡΕΦΟΜΕΝΗΣ ΣΕΡΠΑΝΤΙΝΑΣ

Στον παρόντα τύπο ο ατμός θέρμανσης συμπυκνώνεται μέσα σε ελικοειδούς σχήματος

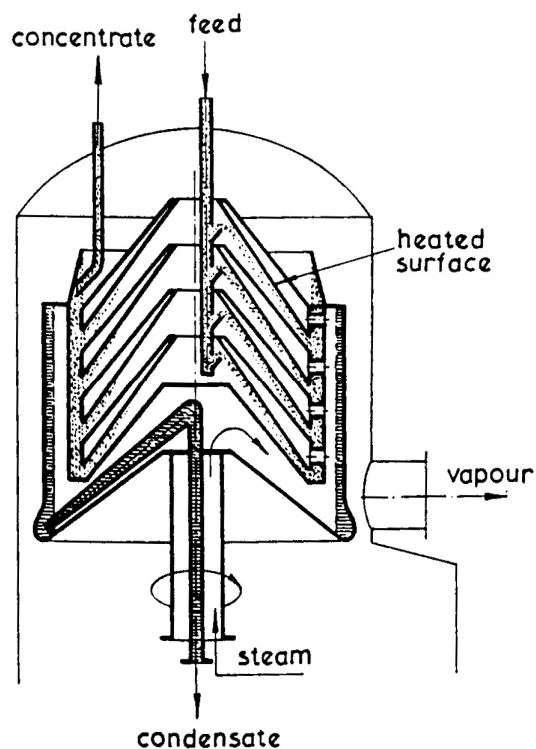
σερπαντίνα που περιστρέφεται μέσα στην μάζα του προς συμπύκνωση υγρού (Σχήμα ΕΞ-8). Με αυτόν τον τρόπο το υγρό αναδεύεται έντονα και, λόγω της έντονης στροβίλωσης, οι επιτυγχανόμενοι ρυθμοί μετάδοσης θερμότητας είναι πολύ υψηλοί, ειδικά για υγρά μικρού ή μεσαίου ιξώδους. Επιχειρώντας μια σύνδεση της θεωρίας με την εφαρμογή στον τομέα της βιομηχανικής παραγωγής, κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι ο τύπος αυτός χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα για την συμπύκνωση του τοματοχυμού, αποσκοπώντας στην παραλαβή τοματοπολτού διπλής και τριπλής συμπύκνωσης. Η απόδοση του συμπυκνωτή περιστρεφόμενης σερπαντίνας ωστόσο παρουσιάζεται εξαιρετικά μειωμένη κατά την παραγωγή τοματοπολτού τριπλής συμπύκνωσης (37% διαλυτά στερεά) λόγω του μεγάλου ιξώδους του τοματοπολτού αυτού.

ΕΞ.5.8 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ “ΑΝΤΛΙΑΣ ΘΕΡΜΟΤΗΤΑΣ”

Η συμπύκνωση θερμοευαίσθητων υγρών σε θερμοκρασίες χαμηλότερες των 55°C οδήγησε στην ανάπτυξη ενός συμπυκνωτή που χρησιμοποιεί τον κύκλο της αντλίας θερμότητας.



Σχήμα ΕΞ-6. Συμπυκνωτής αναδευόμενης σιβάδας



Σχήμα ΕΞ-7. Φυγοκεντρικός συμπυκνωτής

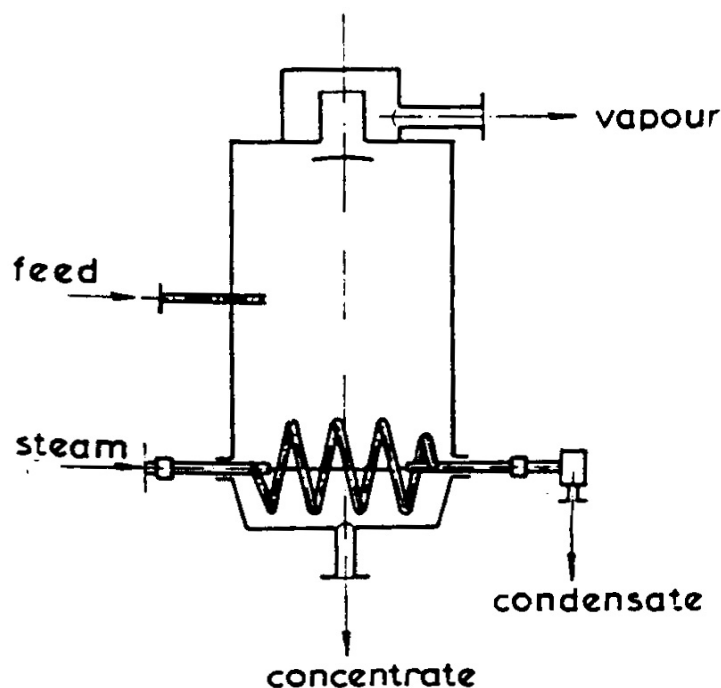
Στον τύπο αυτό ένα ψυκτικό αέριο, όπως π.χ. η αμμωνία, συμπυκνώνεται στους σωλήνες του εναλλάκτη και παράγει θερμότητα. Κατόπιν εξατμίζεται στον ψυκτήρα απορροφώντας θερμότητα. Έτσι ούτε ατμός θέρμανσης ούτε νερό ψύξης απαιτούνται. Σημειώνεται ότι συνήθως η αέρια αμμωνία εξατμίζει το υγρό τροφοδοσίας σε θερμοκρασίες 25-40⁰C με συνακόλουθη συμπύκνωση αυτής. Κατόπιν η υγρή αμμωνία διέρχεται μέσω βαλβίδας εκτόνωσης και ψύχεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία. Η ψυχρή, υγρή αμμωνία εισέρχεται στον ψυκτήρα, όπου συμβάλλει στην συμπύκνωση του παραγόμενου και προερχόμενου από τον διαχωριστή ατμού, ενώ λαμβάνει χώρα η ταυτόχρονη εξάτμισή της. Στην συνέχεια διέρχεται από μηχανικό συμπιεστή και εισέρχεται στον εναλλάκτη για να επιτελέσει ξανά την προαναφερθείσα κυκλική διαδικασία. Η παρούσα μέθοδος φαντάζει ιδιαίτερα ελκυστική, εφόσον απαιτείται η πραγματοποίηση συμπύκνωσης κάτω από συνθήκες που συνδυάζουν την εφαρμογή υψηλού κενού, όσο και πολύ χαμηλών θερμοκρασιών. Η ισχύς που καταναλώνεται φτάνει στους 100 hp ανά 500 kg εξατμιζόμενου νερού.

ΕΞ.6 Βοηθητικά Εξαρτήματα Συμπυκνωτών

Επειδή πολλά συστήματα συμπυκνωτών λειτουργούν υπό ελαττωμένη πίεση, καθίσταται απαραίτητη η χρήση ψυκτήρων συμπύκνωσης του παραγόμενου ατμού και αντλίες κενού ή τσιφάρια. Η ατμόσφαιρα ενός συμπυκνωτή αποτελείται από:

- Συμπυκνούμενο ατμό.
- Μη συμπυκνούμενα αέρια, δηλαδή αέρα προερχόμενο από διαρροές στο σύστημα, ο οποίος εγκλωβίζεται στην μάζα του υγρού τροφοδοσίας.

Στους συμπυκνωτές ο ατμός συμπυκνώνεται με νερό στους ψυκτήρες και ο αέρας απάγεται με αντλία ή τσιφάρι. Ο ψυκτήρας αποτελείται από μια στήλη, από την κορυφή της οποίας καταιώνίζεται φυσικό νερό, μορφοποιημένο ως νέφος σταγόνων, που έρχεται σε επαφή με το μίγμα των προς συμπύκνωση κινούμενων ανοδικά αερίων.



Σχήμα ΕΞ-8. Συμπυκνωτής περιστρεφόμενης σερπαντίνας