

ΕΞ.1 Εισαγωγή

Αντικείμενο της συμπύκνωσης είναι κατά κύριο λόγο η απομάκρυνση νερού, με εξάτμιση, από ένα υδατικό διάλυμα που περιέχει μια ή περισσότερες διαλυμένες ουσίες, ώστε είτε το διάλυμα να γίνει πιο πυκνό είτε να λάβει χώρα ο σχηματισμός εναιωρούμενων κρυστάλλων, με ενδεχόμενη απόθεση αυτών στα τοιχώματα της συσκευής συμπύκνωσης. Τα βιομηχανικά συστήματα συμπυκνωτών συμπεριλαμβάνουν:

- ❖ Έναν εναλλάκτη θερμότητας που παρέχει την αισθητή, όσο και την λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης στο προς συμπύκνωση υγρό. Στο σημείο αυτό κρίνεται σκόπιμο να αναφερθεί ότι ως θερμαντικό μέσο στην βιομηχανία χρησιμοποιείται κορεσμένος ατμός.
- ❖ Έναν διαχωριστή όπου ο ατμός διαχωρίζεται από την συμπυκνούμενη υγρή φάση και έχει συνήθως σχήμα κυκλόνος.
- ❖ Έναν ψυκτήρα όπου πραγματοποιείται η υγροποίηση του ατμού και η απομάκρυνση του από το σύστημα.

ΕΞ.2 Παράγοντες που Επηρεάζουν την Εξάτμιση του Υγρού

Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας σε εναλλάκτη θερμότητας ενός συμπυκνωτή εξαρτάται από την διαφορά θερμοκρασίας μεταξύ του θερμαντικού μέσου και του προς θέρμανση υγρού. Η θερμοκρασία του τελευταίου επηρεάζεται από αρκετούς παράγοντες, οι σημαντικότεροι εκ των οποίων παρουσιάζονται παρακάτω.

ΕΞ.2.1 ΕΞΩΤΕΡΙΚΗ ΠΙΕΣΗ

Ένα υγρό βράζει όταν η τάση ατμών του εξισωθεί με την εξωτερική πίεση στην οποία υπόκειται.

ΕΞ.2.2 ΑΝΥΨΩΣΗ ΤΟΥ ΣΗΜΕΙΟΥ ΒΡΑΣΜΟΥ

Το σημείο βρασμού ενός διαλύματος είναι υψηλότερο από εκείνο του καθαρού διαλύτη στην ίδια πίεση. Όσο πιο πυκνό είναι το διάλυμα, τόσο υψηλότερες τιμές θερμοκρασιών αντιστοιχούν στο σημείο βρασμού. Καθώς η συμπύκνωση προχωρεί, η συγκέντρωση της διαλυμένης ουσίας αυξάνεται και το σημείο βρασμού ανέρχεται. Αυτή η μεταβολή οδηγεί στην βαθμιαία ελάττωση της διαφοράς θερμοκρασιών και ως εκ τούτου στην ελάττωση του ρυθμού μετάδοσης θερμότητας, η οποία θα πρέπει να ληφθεί υπ' όψιν στον σχεδιασμό των συμπυκνωτών. Η τιμή ανόδου του σημείου βρασμού θα πρέπει να αφαιρεθεί από κάθε τιμή της διαφοράς θερμοκρασιών που βασίζεται στο σημείο βρασμού του καθαρού διαλύτη. Η πραγματική ανύψωση του σημείου βρασμού με την μεταβολή στην συγκέντρωση μπορεί να υπολογιστεί από τον κανόνα του *Duhring*, που αναφέρει ότι το σημείο βρασμού ενός διαλύματος είναι γραμμική συνάρτηση του σημείου βρασμού του καθαρού διαλύτη στην ίδια πίεση. Τα *διαγράμματα Duhring* παριστάνουν τα σημεία βρασμού διαφόρων διαλυμάτων σε ποικίλες συγκεντρώσεις συναρτήσει των αντίστοιχων σημείων των καθαρών διαλυτών στις ίδιες πιέσεις, υπό την μορφή ευθειών γραμμών.

ΕΞ.2.3 ΥΔΡΟΣΤΑΤΙΚΟ ΥΨΟΣ

Ανάλογα με το ύψος, κάτω από την ελεύθερη επιφάνεια ενός υγρού ασκείται πίεση που είναι ίση με την ασκούμενη πίεση στην επιφάνεια του υγρού και την πίεση που αντιστοιχεί στο υδροστατικό ύψος (κάθετη απόσταση από την ελεύθερη επιφάνεια μέχρι το συγκεκριμένο σημείο). Η θερμοκρασία βρασμού του υγρού σε έναν συμπυκνωτή διαφέρει ανάλογα με το ύψος και συγκεκριμένα αυξάνεται με την αύξηση του βάθους, γεγονός που έχει ως αποτέλεσμα την ελάττωση της διαφοράς θερμοκρασιών μεταξύ του θερμαντικού μέσου και του υγρού, η οποία μπορεί να οδηγήσει στην υπερθέρμανση του τελευταίου. Συνήθως στους υπολογισμούς που αφορούν τον σχεδιασμό ενός συμπυκνωτή ως θερμοκρασία βρασμού του υγρού χρησιμοποιείται εκείνη που αντιστοιχεί σε πίεση σημείου της μάζας του υγρού, το οποίο βρίσκεται στο μέσο της απόστασης από την ελεύθερη επιφάνεια του υγρού μέχρι τον πυθμένα του συμπυκνωτή.

ΕΞ.3 Υπολογισμός Ισοζυγίων Μάζας και Ενέργειας Απλού Συμπυκνωτή

ΕΞ.3.1 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ

Ο ρυθμός μετάδοσης θερμότητας από το θερμαντικό μέσο στο προς συμπύκνωση υγρό συχνά ονομάζεται *θερμικό φορτίο*, συμβολίζεται με το Q και δίνεται από την σχέση,

$$Q = AU\Delta T \quad (\text{ΕΞ.1})$$

όπου U είναι ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας, που βασίζεται είτε στην εσωτερική είτε στην εξωτερική θερμαινόμενη επιφάνεια A του εναλλάκτη και ΔT η διαφορά θερμοκρασιών μεταξύ του θερμαντικού μέσου και του προς συμπύκνωση υγρού. Κατά τον σχεδιασμό, την επιλογή και την λειτουργία των συμπυκνωτών είναι απαραίτητη η γνώση του θερμικού φορτίου, το οποίο μπορεί να υπολογιστεί από τα αντίστοιχα ισοζύγια μάζας και ενέργειας. Σε ένα απλό ισοζύγιο μάζας απλού συμπυκνωτή (Σχήμα ΕΞ-1), το ολικό ισοζύγιο υγρού και στερεών, καθώς και το μερικό ισοζύγιο μάζας του υγρού χωρίς στερεά, παρέχονται αντιστοίχως από τις εξισώσεις:

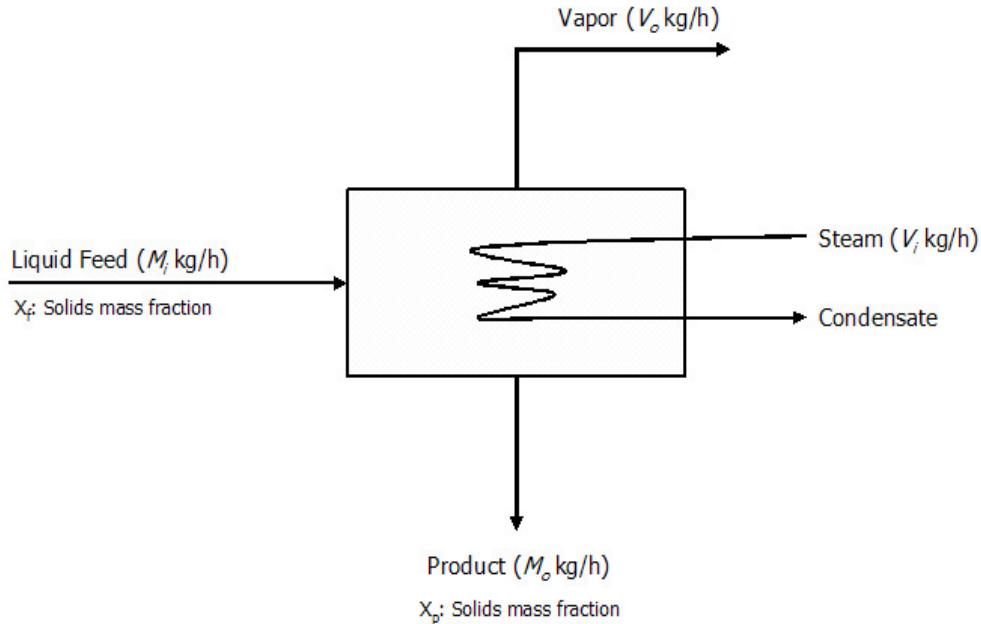
$$M_i = V_o + M_o \quad (\text{ΕΞ.2})$$

$$M_i(1 - x_f) = M_o(1 - x_p) + V_o \quad (\text{ΕΞ.3})$$

όπου M_i είναι η παροχή του υγρού τροφοδοσίας (kg/h), M_o : η παροχή του συμπυκνούμενου υγρού (kg/h), V_o : η παροχή του υγρού που εξατμίζεται (εξατμιστική ικανότητα του συμπυκνωτή εκφρασμένη σε kg/h), x_f : το ποσοστό -κατά βάρος- των στερεών στο υγρό τροφοδοσίας και x_p : το ποσοστό κατά βάρος των στερεών στο συμπυκνούμενο υγρό. Το ισοζύγιο ενέργειας κανονικά θα πρέπει να καταστρωθεί χρησιμοποιώντας δεδομένα ενθαλπών-συγκεντρώσεων. Επειδή όμως τέτοια δεδομένα δεν είναι εύκολα διαθέσιμα για διάφορα διαλύματα, συνήθως χρησιμοποιούνται οι μέσες ειδικές θερμότητες αυτών. Στο ισοζύγιο ενέργειας πρέπει κανονικά να συμπεριληφθούν και οι θερμικές απώλειες προς το περιβάλλον, οι οποίες οφείλονται σχεδόν εξ ολοκλήρου στην θερμική μεταφορά και στην ακτινοβολία των θερμών επιφανειών. Οι απώλειες αυτές μπορούν να αποφευχθούν με την χρήση κατάλληλου μονωτικού και τον περιορισμό των διαρροών ατμού στο δίκτυο ατμού, οπότε όλη η θερμότητα που αποβάλλεται από τον ατμό όταν μετατρέπεται σε συμπύκνωμα, αποδίδεται στο προς συμπύκνωση υγρό, δηλαδή ισχύει,

$$V_i \lambda_s = M_i c_p (T_b - T_i) + V_o \lambda_u \quad (\text{ΕΞ.4})$$

όπου V_i είναι η παροχή του συμπυκνούμενου ατμού (kg/h), λ_s : η λανθάνουσα θερμότητα συμπύκνωσης του ατμού (J/kg), c_p : η μέση ειδική θερμότητα του υγρού (J/kg $^{\circ}$ C), T_b : η θερμοκρασία βρασμού του υγρού ($^{\circ}$ C), T_i : η θερμοκρασία του εισερχόμενου στον συμπυκνωτή



Σχήμα ΕΕ-1. Ισοζύγιο μάζας απλού συμπυκνωτή

υγρού ($^{\circ}$ C) και λ_i : η λανθάνουσα θερμότητα εξάτμισης του εξατμιζόμενου υγρού (J/kg). Σημειώνεται ότι δεν λήφθηκε υπ' όψιν η αισθητή θερμότητα του συμπυκνώματος που εξέρχεται από το συμπύκνωμα, καθ' ότι αποτελεί μικρό ποσοστό του συνολικά μεταφερόμενου ποσού θερμότητας. Η σχέση που ισχύει για τον υπολογισμό του θερμικού φορτίου Q είναι η ακόλουθη:

$$V_i \lambda_s = Q = U A \Delta T \quad (\text{ΕΕ.5})$$

ΕΕ.3.2 ΟΛΙΚΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ ΘΕΡΜΙΚΗΣ ΜΕΤΑΦΟΡΑΣ U

Η τιμή του U μπορεί να υπολογιστεί αν είναι γνωστές οι κάτωθι παράμετροι:

- ❖ Ο επιφανειακός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας από την πλευρά του ατμού στον εναλλάκτη θερμότητας.
- ❖ Ο επιφανειακός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας από την πλευρά του ζέοντος υγρού στον εναλλάκτη θερμότητας.
- ❖ Οι αντιστάσεις του εξωτερικά και εσωτερικά αποτιθεμένου λεβητολίθου στις θερμαινόμενες επιφάνειες των τοιχωμάτων του εναλλάκτη.
- ❖ Η θερμική αντίσταση του υλικού κατασκευής των τοιχωμάτων του εναλλάκτη.

Το φαινόμενο του βρασμού και ο υπολογισμός των συντελεστών μετάδοσης θερμότητας έχουν μελετηθεί εκτεταμένα. Οι εν λόγω συντελεστές αποκτούν υψηλότερες τιμές σε συστήματα κυκλοφορίας με εξαναγκασμένη συναγωγή από ό,τι σε συστήματα κυκλοφορίας με φυσική συναγωγή. Είναι γεγονός όμως ότι οι γενικές μέθοδοι υπολογισμού αυτών των συντελεστών χαρακτηρίζονται ως αναξιόπιστες.

Έχει αποδειχθεί ότι ο επιφανειακός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας για τον βρασμό υγρού εξαρτάται από την διαφορά θερμοκρασίας ΔT μεταξύ της θερμαινόμενης επιφάνειας και του υγρού που βρίσκεται σε επαφή με αυτήν. Σε βιομηχανικές εφαρμογές ως στόχος θεωρείται η επίτευξη τέτοιων τιμών του ΔT , ώστε να αποδίδεται η μέγιστη δυνατή θερμορροή, δηλαδή ο μέγιστος δυνατός ρυθμός μετάδοσης θερμότητας. Συνήθως η κατάλληλη τιμή είναι εκείνη που αντιστοιχεί σε ολική διαφορά θερμοκρασιών περίπου 25–30°C. Γενικά ο υπολογισμός των τιμών του U είναι πολύ δύσκολος -αν όχι αδύνατος- και η επιλογή της κατάλληλης τιμής για την χρησιμοποίηση του σε έναν συγκεκριμένο τύπο εναλλάκτη βασίζεται κυρίως στην εμπειρία.

ΕΞ.4 Επίδραση των Ιδιοτήτων του Υγρού Τροφοδοσίας στον Ρυθμό Συμπύκνωσης

Η επιλογή του κατάλληλου τύπου συμπυκνωτή για δεδομένη διεργασία εξαρτάται κατά πολύ από τις ιδιότητες του υγρού τροφοδοσίας, οι οποίες παρουσιάζονται στην συνέχεια με ταυτόχρονη ανάλυση της επίδρασής τους στον ρυθμό συμπύκνωσης.

ΕΞ.4.1 ΙΞΩΔΕΣ

Υψηλές τιμές ιξώδους προκαλούν χαμηλές ταχύτητες κυκλοφορίας και χαμηλούς συντελεστές θερμικής μεταφοράς. Επειδή το ιξώδες ενός διαλύματος που υφίσταται εξάτμιση κατά κανόνα αυξάνεται με την συμπύκνωση, θα πρέπει να αναμένεται μια πτώση στον ρυθμό μετάδοσης θερμότητας καθώς προχωρεί η συμπύκνωση.

ΕΞ.4.2 ΑΠΟΘΕΣΗ ΑΛΑΤΩΝ– ΡΥΠΙΩΝ

Η απόθεση αλάτων στις επιφάνειες, όπου γίνεται η μετάδοση θερμότητας κατά την διάρκεια της συμπύκνωσης, επιφέρει ελάττωση της τιμής του U . Η απόθεση αυτή μπορεί να προκύψει ως αποτέλεσμα της πρόσφυσης αιωρούμενων στερεών που περιέχονται στο υγρό τροφοδοσίας. Συνηθέστερα ωστόσο η απόθεση γίνεται λόγω της θέρμανσης του διαλύματος. Είναι εμπειρικά αποδεδειγμένο ότι το πρόβλημα της απόθεσης στερεών παρουσιάζεται λιγότερο έντονο όταν υπάρχει ταχεία κυκλοφορία, γι' αυτόν τον λόγο όταν ένα υλικό έχει την ιδιότητα να αποτίθεται εύκολα στα τοιχώματα προτιμάται η διεξαγωγή της διαδικασίας συμπύκνωσης του σε συμπυκνωτές εξαναγκασμένης κυκλοφορίας.

ΕΞ.4.3 ΑΦΡΙΣΜΟΣ

Ο σχηματισμός ενός σταθερού αφρού συναντάται σε πολλά υγρά. Αυτό το φαινόμενο είναι ιδιαίτερα έντονο όταν ο βρασμός διεξάγεται υπό συνθήκες ελαττωμένης πίεσης, καθώς και όταν το υδροστατικό ύψος είναι μεγάλο. Ο αφρισμός θεωρείται ότι σχετίζεται με ενδοεπιφανειακές δυνάμεις που δημιουργούνται μεταξύ του ατμού, του υπέρθερμου υγρού και των αιωρούμενων στερεών. Τα στερεά δρουν ως πυρήνες σχηματισμού των φυσαλίδων. Για τον έλεγχο του αφρισμού έχουν χρησιμοποιηθεί εκτεταμένα τασιενεργές ενώσεις, ενώ παράλληλα επινοήθηκαν διάφορα μηχανικά εξαρτήματα, αποτέλεσμα της λειτουργίας των οποίων είναι το η θραύση του σχηματιζόμενου αφρού.

ΕΞ.4.4 ΘΕΡΜΟΕΥΑΙΣΘΗΤΑ ΥΓΡΑ

Για να περιοριστεί ο κίνδυνος καταστροφής των θερμοευαίσθητων υλικών κατά την διάρκεια της συμπύκνωσης, πρέπει αφενός μεν ο βρασμός να επιτυγχάνεται σε χαμηλές θερμοκρασίες, αφετέρου δε ο χρόνος παραμονής των υγρών στο χώρο θέρμανσης να είναι ο ελάχιστος δυνατός. Η συμπύκνωση των θερμοευαίσθητων υλικών γίνεται υπό συνεχή, σύγχρονη ανάδευση σε θάλαμο με ελαττωμένη πίεση.

ΕΞ.4.5 ΔΙΑΒΡΩΤΙΚΟΣ ΧΑΡΑΚΤΗΡΑΣ ΤΩΝ ΥΓΡΩΝ

Στην μελέτη σχεδιασμού μιας διεργασίας ο διαβρωτικός χαρακτήρας των προς επεξεργασία υγρών πρέπει οπωσδήποτε να ληφθεί υπόψη. Η επιλογή των υλικών κατασκευής πρέπει να γίνει κατά τρόπο τέτοιο, ώστε να είναι συμβατά με διαβρωτικά υγρά, καθώς ακόμη και η μικρότερη διάβρωση μπορεί να προκαλέσει ρύπανση των προς συμπύκνωση υγρών. Συνήθως χρησιμοποιείται ανοξείδωτος χάλυβας ως υλικό κατασκευής. Όταν τα υπό κατεργασία υγρά είναι εξαιρετικά διαβρωτικά καθιστώντας απαραίτητη την επιλογή ειδικών υλικών εξόχως ανθεκτικών, για να ελαττωθεί το κόστος κατασκευής χρησιμοποιούνται συμπυκνωτές εξαναγκασμένης κυκλοφορίας, στους οποίους οι επιτυγχανόμενες υψηλές τιμές του U επιτρέπουν την ελάττωση της απαιτούμενης επιφάνειας θέρμανσης.

ΕΞ.5 Τύποι Συμπυκνωτών

Ένας σχετικά μεγάλος αριθμός τύπων συμπυκνωτών έχει αναπτυχθεί και τα χαρακτηριστικά των κυριότερων εξ αυτών αναφέρονται παρακάτω. Στους περισσότερους τύπους ο εναλλάκτης θερμότητας αποτελείται από σωλήνες. Υπάρχουν ωστόσο πολλών ειδών παραλλαγές. Οι σωλήνες μπορεί να είναι είτε λίγοι και ευρείς είτε πολλοί και στενοί, μπορεί ακόμη να είναι βραχείς ή επιμήκεις και να τοποθετούνται οριζόντια, κάθετα ή κεκλιμένα. Επιπλέον οι σωλήνες δύνανται να περιέχουν είτε τον συμπυκνούμενο ατμό είτε το εξατμιζόμενο υγρό. Η κυκλοφορία του προς συμπύκνωση υγρού μπορεί να είναι τόσο *φυσική* (natural circulation), όσο και *εξαναγκασμένη* (forced circulation) με την βοήθεια αντλιών. Τέλος, υπάρχουν τύποι συμπυκνωτών απλής διαδρομής και τύποι πολλαπλών διαδρομών. Κατά παράδοση ο εναλλάκτης θερμότητας ενός συμπυκνωτή που αποτελείται από δέσμη σωλήνων ονομάζεται και *καλανδρία* (pipe-bundle).

Οι συμπυκνωτές απλής διαδρομής χρησιμοποιούνται κυρίως για θερμοευαίσθητα υγρά, όπως π.χ. οι χυμοί φρούτων. Εφόσον η πίεση λειτουργίας του συμπυκνωτή είναι εξαιρετικά ελαττωμένη (υψηλό κενό), η θερμοκρασία βρασμού του τροφίμου διατηρείται χαμηλή και λόγω του ότι ο χρόνος παραμονής είναι μικρός, το προϊόν συμπυκνώνεται και ψύχεται ταχύτατα, χωρίς να προκαλείται έτσι αλλοίωση των οργανοληπτικών χαρακτηριστικών του. Στην περίπτωση των συμπυκνωτών πολλαπλών διαδρομών, το υγρό παραμένει στον συμπυκνωτή για μεγάλο χρονικό διάστημα, αν και συνεχώς βρίσκεται σε κίνηση, κυκλοφορώντας μέσα στους σωλήνες της καλανδρίας μέχρις ότου επιτευχθεί ο επιθυμητός βαθμός συμπύκνωσης. Ο τύπος αυτός των συμπυκνωτών δεν είναι κατάλληλος για θερμοευαίσθητα υγρά, ακόμη και αν λειτουργούν υπό συνθήκες υψηλού κενού και το υγρό παραμένει μέσα στον συμπυκνωτή για μικρό σχετικά χρονικό διάστημα. Παρόλα αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν ευρύτατα για την συμπύκνωση πολλών υγρών, τα οποία απαιτείται να συμπυκνωθούν σε υψηλή συγκέντρωση στερεών σε ένα μονό στάδιο συμπυκνωτή και το ιξώδες τους μπορεί να φτάσει σε μεγάλες τιμές.

Ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους οι διάφοροι τύποι συμπυκνωτών κατατάσσονται σε ορισμένες κατηγορίες, οι οποίες παρατίθενται στην συνέχεια.

ΕΞ.5.1 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΦΥΣΙΚΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

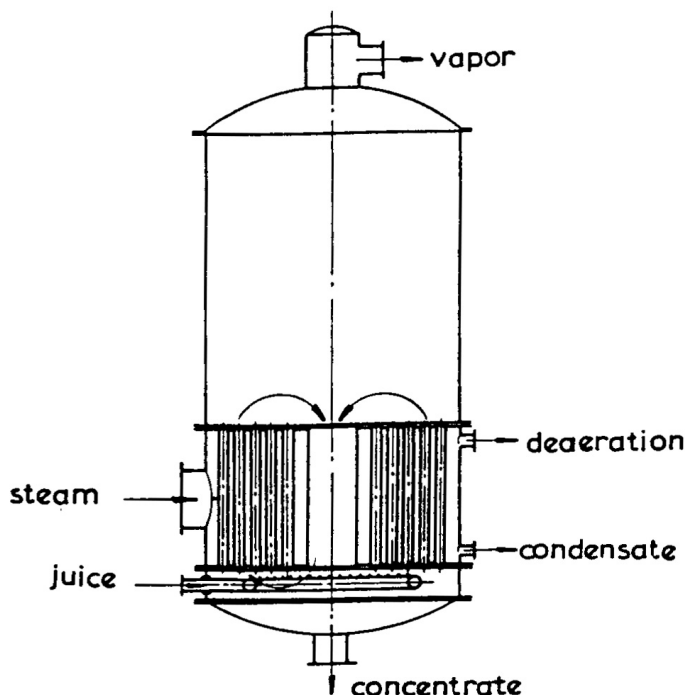
Σε αυτούς τους συμπυκνωτές η κυκλοφορία του υγρού γίνεται με την βοήθεια φυσικών (ανοδικών) ρευμάτων που δημιουργούνται από την θερμαινόμενη επιφάνεια. Ο παλαιότερος τύπος φέρει εσωτερική καλανδρία που αποτελείται από οριζόντιους σωλήνες, μέσα από τους οποίους διέρχεται ο ατμός. Επειδή οι σωλήνες παρεμβάλλονται στην κυκλοφορία του υγρού, ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας είναι σχετικά χαμηλός. Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται κυρίως για υγρά χαμηλού ιξώδους που δεν αφρίζουν και δεν δημιουργούν αποθέσεις στα τοιχώματα των σωλήνων.

Ένας άλλος τύπος που χρησιμοποιήθηκε ευρύτατα στην βιομηχανία είναι ο ενονομαζόμενος *Robert* ή *Standard* συμπυκνωτής (Σχήμα ΕΞ-2), η καλανδρία του οποίου είναι

επίσης εσωτερική και φέρει στο κέντρο της ευρύ αγωγό που συνήθως καταλαμβάνει έως και το 40% της συνολικής επιφάνειας ροής των σωλήνων του εναλλάκτη. Ο ατμός κυκλοφορεί στην εξωτερική πλευρά των σωλήνων που είναι βραχείς και κάθετοι. Η εξάτμιση του υγρού στην μεγαλύτερη έκτασή της γίνεται στους σωλήνες, με αποτέλεσμα το υγρό να ανέρχεται μέσω των σωλήνων αυτών και να επιστρέφει προς τα κάτω μέσω του κεντρικού αγωγού. Σε αυτόν τον τύπο η κινούσα δύναμη για την ροή του υγρού μέσω των σωλήνων είναι η διαφορά στην πυκνότητα μεταξύ του υγρού μέσα στον αγωγό και του μίγματος του υγρού και του ατμού του στους σωλήνες. Οι επιτυγχανόμενοι ρυθμοί μετάδοσης θερμότητας είναι αρκετά υψηλοί σε σχέση με το κόστος λειτουργίας του συμπυκνωτή. Είναι σαφές το γεγονός ότι για υγρά μεγάλου ιξώδους οι ρυθμοί μετάδοσης θερμότητας είναι αισθητά χαμηλοί. Σε αυτήν την κατηγορία ανήκει και ο συμπυκνωτής με εξωτερική καλανδρία (Σχήμα ΕΞ-3). Η κατασκευή του συμπυκνωτή είναι απλή και επιτρέπει την εύκολη πρόσβαση στους σωλήνες της καλανδρίας, εξασφαλίζοντας έτσι τον αποτελεσματικότερο καθαρισμό του συστήματος. Παρόλο που το προς συμπύκνωση υγρό κυκλοφορεί για μεγάλο χρονικό διάστημα μέσα στους σωλήνες της καλανδρίας (δηλαδή πρόκειται για συμπυκνωτή πολλαπλών διαδρομών), ο εν λόγω συμπυκνωτής χρησιμοποιείται για την συμπύκνωση θερμοευαίσθητων υγρών, όπως π.χ. του γάλακτος.

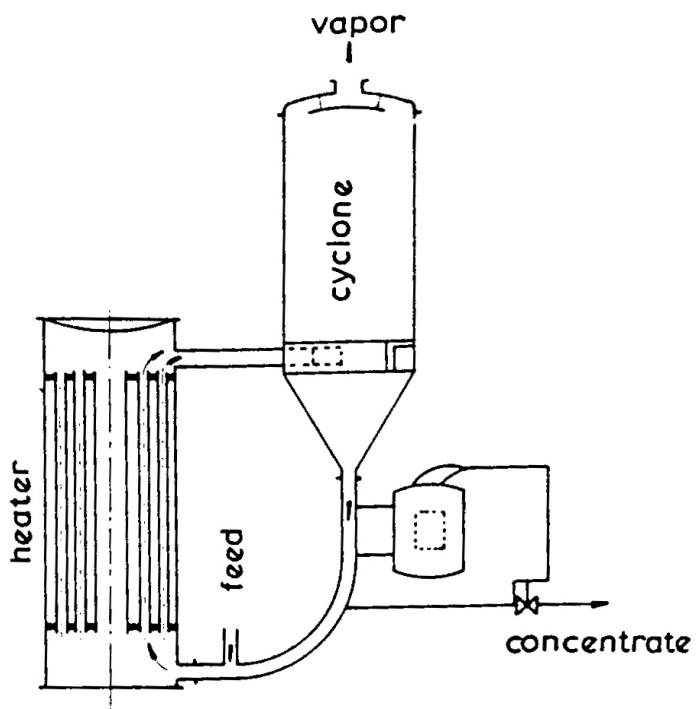
ΕΞ.5.2 ΣΥΜΠΥΚΝΩΤΕΣ ΕΞΑΝΑΓΚΑΣΜΕΝΗΣ ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑΣ

Σε έναν συμπυκνωτή φυσικής κυκλοφορίας, το υγρό εισέρχεται στο σύστημα των σωλήνων του εναλλάκτη με ταχύτητες που ανήκουν στην περιοχή των 0.3 έως 1.0 m/s. Η γραμμική ταχύτητα αυξάνεται κατά πολύ, καθώς δημιουργείται ατμός κατά την εξάτμιση του υγρού στους σωλήνες, οπότε οι επιτυγχανόμενοι ρυθμοί μετάδοσης θερμότητας είναι ικανοποιητικοί. Με υγρά όμως υψηλού ιξώδους, ο ολικός συντελεστής μετάδοσης θερμότητας μπορεί να είναι τόσο χαμηλός, που ο

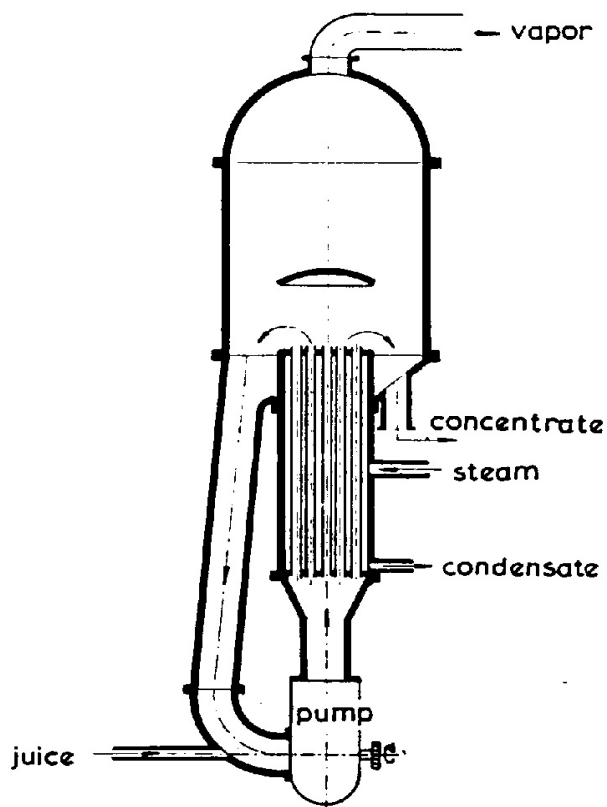


Σχήμα ΕΞ-2. Συμπυκνωτής με κατακόρυφους σωλήνες (καλανδρία) και ευρύ κεντρικό αγωγό κυκλοφορίας

συμπυκνωτής καθίσταται ανοικονομικός. Υψηλότεροι συντελεστές μετάδοσης θερμότητας επιτυγχάνονται σε συμπυκνωτές εξαναγκασμένης κυκλοφορίας (Σχήμα ΕΞ-4).



Σχήμα ΕΞ-3. Συμπυκνωτής με εξωτερική καλανδρία



Σχήμα ΕΞ-4. Συμπυκνωτής εξαναγκασμένης κυκλοφορίας