

Μικρές ψυκτικές συσκευές απορρόφησης με αδρανές αέριο

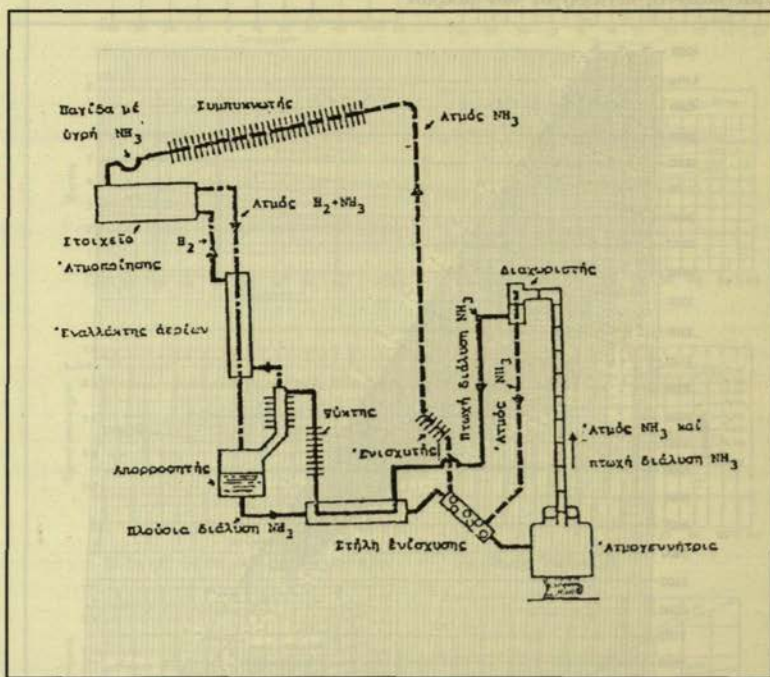
της Αθηνάς Στέγγου-Σαγιά

1. Περιγραφή

Στις ψυκτικές συσκευές απορρόφησης με αδρανές αέριο χρησιμοποιείται ως ψυκτικό μέσο η αμμωνία, ως απορροφητής το νερό και ως αδρανές αέριο συνήθως το υδρογόνο.

Στην ατμογεννήτρια του σχήματος 1 παράγεται ατμός αμμωνίας, και απομένει διάλυμα αμμωνίας με μικρή περιεκτικότητα σε αμμωνία (πτωχή διάλυση). Στο διαχωριστή γίνεται διαχωρισμός των φάσεων ούτως ώστε να προκύψει ποσότητα ατμού αμμωνίας και διάλυμα αμμωνίας μικρής περιεκτικότητας σε αμμωνία (πτωχή διάλυση). Η πτωχή διάλυση της αμμωνίας οδηγείται στον απορροφητή με τη βοήθεια της βαρύτητας. Ο ατμός της αμμωνίας, εμπλουτίζεται με ενίσχυση και οδηγείται στο συμπυκνωτή.

Το ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της περιγραφόμενης συσκευής παρουσιάζεται εκεί, όπου η υγρή αμμωνία διέρχεται τη σημειωμένη στο σχήμα παγίδα και οδηγείται στο στοιχείο ατμοποίησης (εξατμιστή). Εδώ η αμμωνία έρχεται σε επαφή με το αδρανές αέριο. Αυτό σημαίνει ότι η πίεση της αμμωνίας στον εξατμιστή είναι μικρότερη από την πίεση που έχει στην έξοδο της ατμογεννήτριας και στο συμπυκνωτή, διότι ένα μέρος εξισορροπείται από το



1. Σχηματική διάταξη ψυκτικής συσκευής απορρόφησης με αδρανές αέριο.

υδρογόνο. Η υγρή αμμωνία, ευρισκόμενη σε χαμηλή πίεση, εξατμίζεται παράγοντας την ψυκτική ισχύ της συσκευής.

Οι χαμηλής θερμοκρασίας ατμοί του μείγματος υδρογόνου/αμμωνίας οδεύουν (με φυσική κυκλοφορία) στον απορροφητή, όπου ο ατμός της αμμωνίας έρχεται σε επαφή με την πτωχή διάλυση της αμμωνίας την προερχόμενη από το διαχωριστή.

Στον απορροφητή έχουμε απορρόφηση της αμμωνίας του μείγματος υδρογόνου/αμμωνίας από την πτωχή διάλυση, με αποτέλεσμα, αφ' ενός μεν τη δημιουργία πλούσιας διάλυσης (διάλυμα αμμωνίας με μεγάλη περιεκτικότητα σε αμμωνία), αφ' ετέρου δε την αποφόρτιση του υδρογόνου από την αμμωνία, το οποίο, προψυχόμενο στον εναλλάκτη αερίων, οδηγείται στον εξατμιστή.

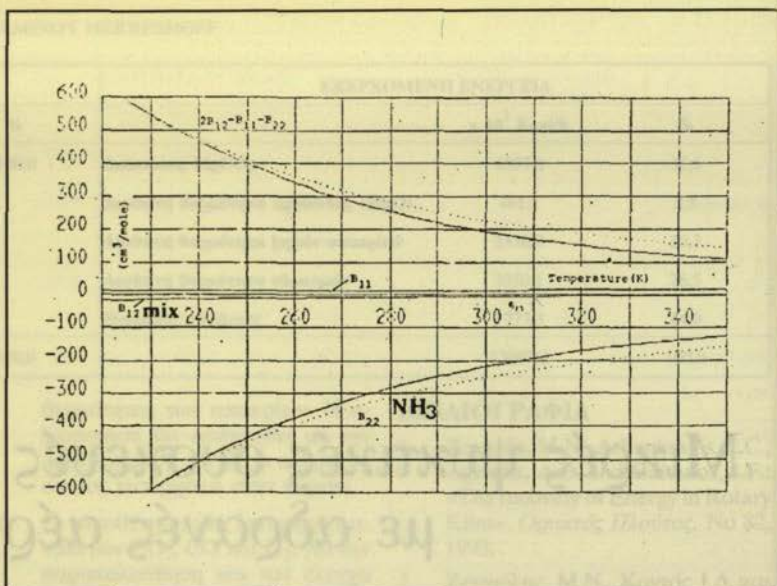
Η Α. Στέγγου - Σαγιά είναι επίκουρη καθηγήτρια στον Τομέα Θεωμάτων του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχ. του ΕΜΠ.

Η πλούσια διάλυση της αμμωνίας ρέει προς την ατμογεννήτρια αφού προθερμανθεί στον εναλλάκτη υγρών.

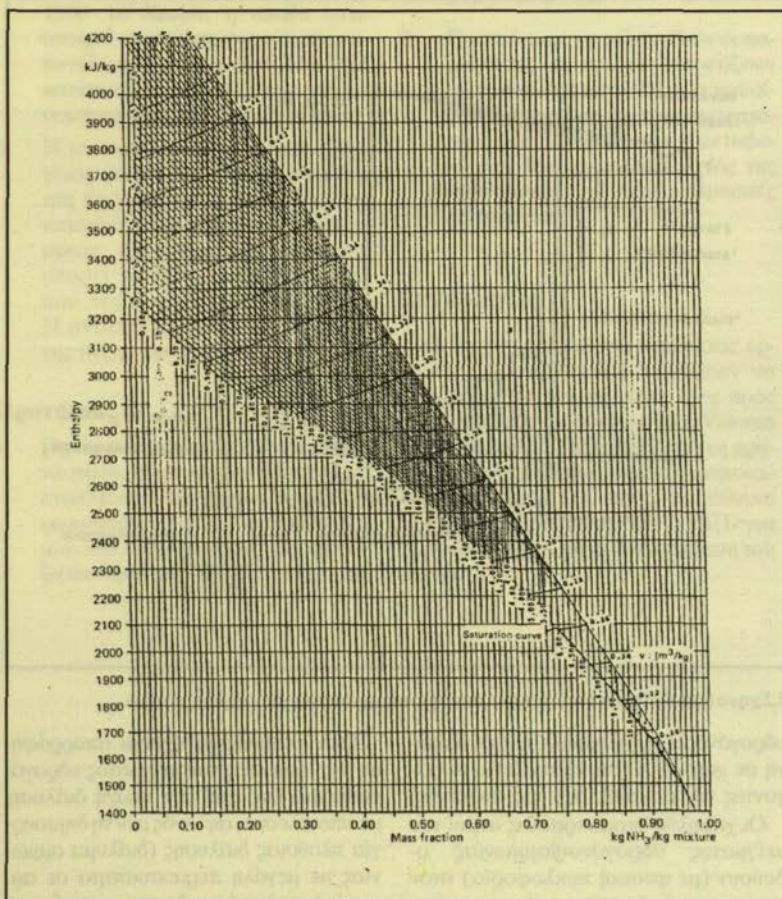
2. Θερμοδυναμική ανάλυση-Αποτελέσματα

Έχουν μελετηθεί, με πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα, τόσο ο εξατμιστής όσο και ο απορροφητής της ψυκτικής αυτής συσκευής. Παρουσιάζονται τα διαγράμματα ενθαλπίας-κατά μάζα σύσταση (h-ξ) και θερμοκρασίας-εντροπίας του μείγματος υδρογόνου/αμμωνίας (T-s). Επίσης δίνονται οι συντελεστές φαινομένων μεταφοράς αυτού του μείγματος (συντελεστής διάχυσης, συνεκτικότητα, ειδική θερμική αγωγιμότητα, ειδική θερμοχωρητικότητα υπό σταθερή πίεση, αριθμοί Prandtl, Schmidt, Lewis).

Έτσι έχομε την ενχέρεια παράστασης επ' αυτών των καταστατικών μεταβολών, οι οποίες λαμβάνουν χώρα κατά την εξέλιξη των φαινομένων εξατμίσσης, απορρόφησης που συναντώνται κατά τη λειτουργία των μικρών



2. Δευτερος συντελεστής αμοιβαίων δράσεων υδρογόνου, αμμωνίας, μείγματος υδρογόνου-αμμωνίας.



3. Διάγραμμα ενθαλπίας κατά μάζα σύστασης του μείγματος υδρογόνου/αμμωνίας.

ψυκτικών συσκευών απορρόφησης με αδρανές αέριο.

Τα πραγματικά αέρια υπακούουν σε σχετικά πολύπλοκους νόμους. Η περιγραφή και ο υπολογισμός των μεταβολών τους, γίνεται συνήθως με αλγεβρικές εξισώσεις που συνδέουν τα μεγέθη πίεση, όγκο, θερμοκρασία, τις λεγόμενες καταστατικές εξισώσεις.

Είναι προφανές ότι ακριβέστεροι υπολογισμοί επιτυγχάνονται με εξισώσεις, οι οποίες έχουν όσο το δυνατόν περισσότερους όρους και σταθερές.

Μια καταστατική εξίσωση δύναται να έχει τη γενική μορφή των αμοιβαίων δράσεων (virial form)

$$pv/RT = 1 + B/v + C/v^2 + D/v^3 + \dots \quad (1)$$

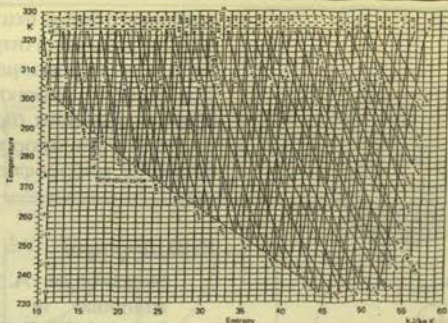
(1 mole αερίου)

όπου B, C, D, ... οι συντελεστές αμοιβαίων δράσεων (virial coefficients), p η πίεση, T η θερμοκρασία.

Οι συντελεστές αυτοί είναι μη μηδενικοί, λόγω των δυνάμεων που εξασκούνται μεταξύ των μορίων ενός πραγματικού αερίου.

Συνήθως στους υπολογισμούς, η καταστατική εξίσωση (1) περιλαμβάνει μέχρι και το δεύτερο όρο. Συνεπώς προκειμένου να περιγραφούν και υπολογιστούν καταστατικές μεταβολές ενός πραγματικού αερίου, είναι απαραίτητη η γνώση τουλάχιστον του δεύτερου συντελεστή αμοιβαίων δράσεων B.

Η εξίσωση (1) μπορεί να περιγράψει τη συμπεριφορά και ενός μείγματος αερίων. Για τον υπολογισμό του δευ-



$$-T \frac{d}{dT} \cdot (2B_{12} - B_{11} - B_{22}) x^2 p$$

$$h_{22} = H_{22} + ((2B_{12} - B_{11} - B_{22}) -$$

$$-T \frac{d}{dT} (2B_{12} - B_{11} - B_{22})) (1-x)^2 p$$

H_{11} είναι η ενθαλπία της συνιστώσας 1

H_{22} είναι η ενθαλπία της συνιστώσας 2.

Η εντροπία ενός πραγματικού μείγματος δύο αερίων, υπολογίζεται ως εξής:

4. Διάγραμμα θερμοκρασίας-εντροπίας μείγματος υδρογόνου/αμμωνίας.

τρον συντελεστή αμοιβαίων δράσεων μείγματος αερίων, χρησιμοποιούμε τη σχέση:

$$B = \sum_i \sum_j (y_i y_j B_{ij}) \quad (2)$$

y: γραμμομοριακή αναλογία των συνιστωσών του μείγματος.

i,j: δείκτες που δηλώνουν τις συνιστώσες του μείγματος

Σε μείγμα δύο αερίων η σχέση (2) γράφεται:

$$B = y_1^2 B_{11} + 2y_1 y_2 B_{12} + y_2^2 B_{22} \quad (3)$$

Οι συντελεστές B_{11} , B_{22} αναφέρονται στις αμιγείς συνιστώσες, ενώ η ποσότητα B_{12} εκφράζει ιδιότητα ανάμειξης. Στο σχήμα (2) δίνονται οι δεύτεροι συντελεστές αμοιβαίων υδρογόνου, αμμωνίας και του μείγματος υδρογόνου/αμμωνίας.

Με γνωστές τις τιμές των συντελεστών αμοιβαίων δράσεων και τις καταστατικές εξισώσεις, γίνονται οι υπολογισμοί των απαιτούμενων μεγεθών για τη χάραξη των δύο χρησιμοποιών διαγραμμάτων: ενθαλπίας-κατά μάζα σύστασης (h-ξ) και θερμοκρασίας-εντροπίας (T-s).

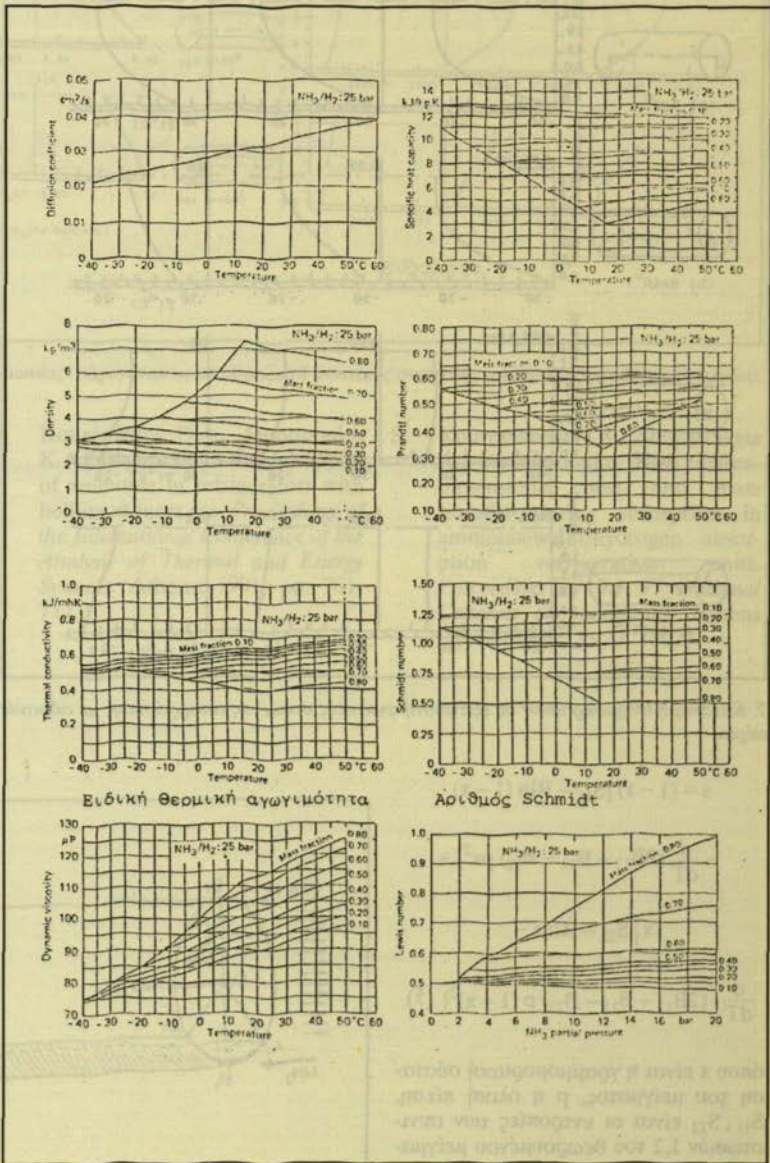
Τα διαγράμματα h-ξ και T-s εξαοφελίζουν ένα εύκολο τρόπο απεικόνισης των καταστατικών μεταβολών ενός μείγματος αερίων.

Για οποιαδήποτε κατάσταση του μείγματος (ολική πίεση, θερμοκρασία, γραμμομοριακή σύσταση, ποσότητα), η ενθαλπία αυτού προσδιορίζεται από τη σχέση:

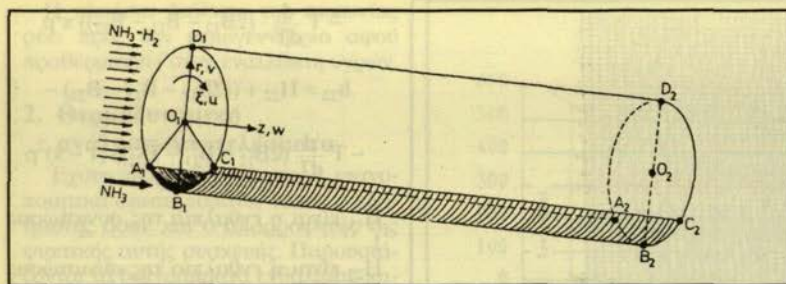
$$h = (1-x) h_{11} + x h_{22} \quad (4)$$

x: γραμμομοριακή σύσταση. Θεωρούμε μείγμα δύο συνιστωσών 1,2.

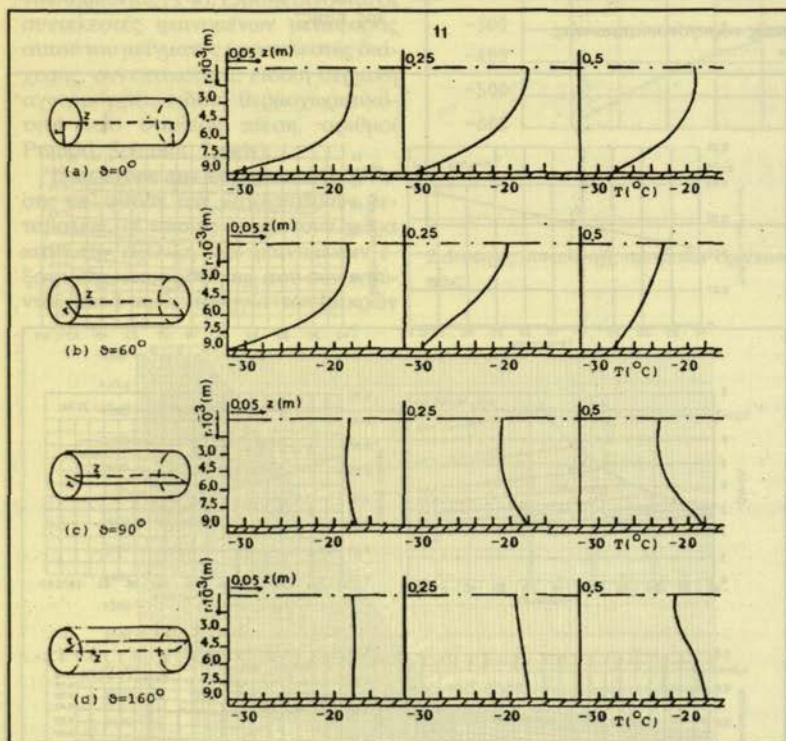
$$x = (\text{moles } 2) / (\text{moles mixture});$$



5. Συντελεστές φαινομένων μεταφοράς μείγματος υδρογόνου/αμμωνίας.



6. Αγωγή εξάτμισης



7. Κατανομή θερμοκρασιών σε εξατμιστή ψυκτικής συσκευής απορρόφησης με αδρανές αέριο.

$$s = (1-x) [S_{11} - R \ln(1-x)]$$

$$- \frac{d}{dT} (2B_{12} - B_{11} - B_{22}) p x^2 +$$

$$x [S_{22} - R \ln x -$$

$$\frac{d}{dT} (2B_{12} - B_{11} - B_{22}) p (1-x)^2] \quad (5)$$

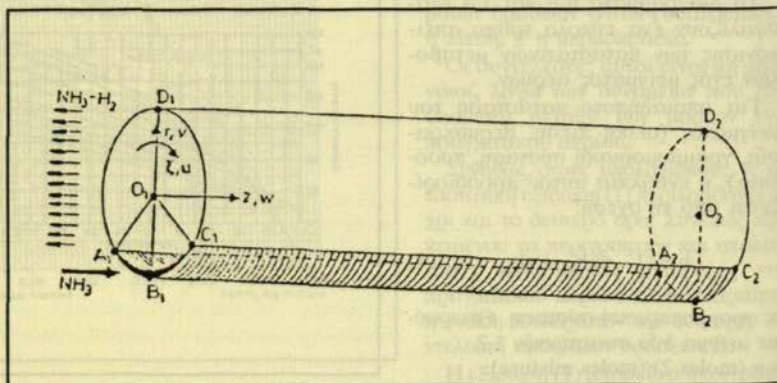
όπου x είναι η γραμμομοριακή σύσταση του μείγματος, p η ολική πίεση, S_{11} , S_{22} είναι οι εντροπίες των συνιστωσών 1,2 του θεωρουμένου μείγματος.

Οι μέθοδοι επίλυσης των μαθηματικών μοντέλων που περιγράφουν τα

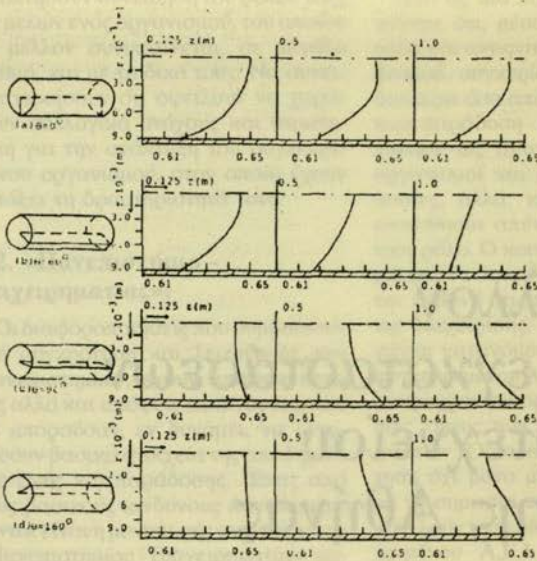
προαναφερόμενα φαινόμενα (εξάτμιση, απορρόφησης) στηρίζονται στη μέθοδο των πεπερασμένων στοιχείων. Στη συνέχεια παρουσιάζονται αποτελέσματα τα οποία αφορούν τον εξατμιστή και τον απορροφητή ψυκτικής συσκευής απορρόφησης με αδρανές αέριο.

Βιβλιογραφία

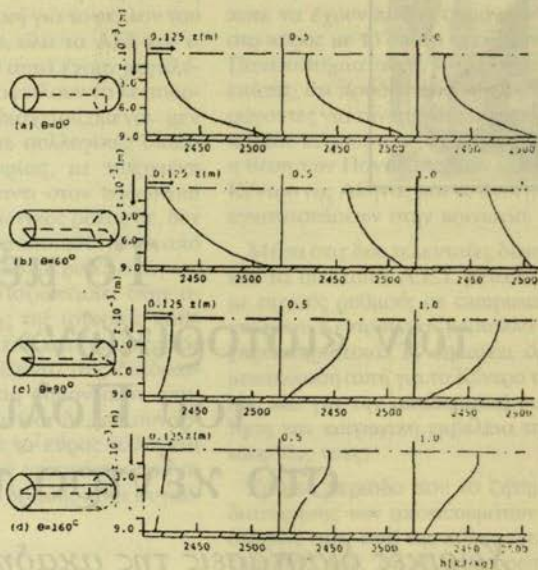
1. Stegou-Sagia A. Evaporation of ammonia in atmosphere of hydrogen. Ph. D. Thesis 1986, p. 640 Dept. of Mech. Engineering, National Technical University of Athens.
2. Kouremenos D.A., Stegou-Sagia A. A Basic 2 program to compute the enthalpy/mass fraction diagram of the real ammonia/hydrogen gas mixture at 25 bar, for neutral gas absorption refrigeration units. *Advances in Engineering Software*, 1987, Vol. 9, No 2, pp. 98-110.
3. Kouremenos D.A., Stegou-Sagia A. The psychrometric problem for the evaporation of ammonia in ammonia/hydrogen atmosphere in neutral gas absorption refrigeration units for pressures 17,5 bar to 27,5 bar. *Wärme -und Stoffübertragung*, 1988, Vol. 22, pp. 373-378.
4. Kouremenos D.A., Stegou-Sagia A. Measuring the evaporation of ammonia in triple fluid gas absorption units. *International Journal of Refrigeration*, 1988, Vol. 11, No 3, pp. 153-158.
5. Kouremenos D.A., Antonopoulos K.A., Stegou-Sagia A. Entropy production during evaporation in annular ammonia flow. *Proceedings of the Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers*, San Fransisco, California 1989. AES-Vol. 10-1, pp. 29-34.



8. Απορροφητής σε ψυκτική συσκευή απορρόφησης με αδρανές αέριο.



Συγκέντρωση



Ενθαλπία

9. Συγκέντρωση, ενθαλπία αερίου μείγματος αμμωνίας- υδρογόνου σε απορροφητή ψυκτικής συσκευής απορρόφησης αδρανούς αερίου.

6. Kouremenos D.A., Stegou-Sagia A. Inlet conditions of the ammonia/ helium gas mixture entering the evaporator at triple fluid gas absorption refrigeration units. *Proceedings of the First International Conference on Advanced Computational Methods in Heat Transfer*. Portsmouth. UK 1990. Vol. 3, pp. 419-432.
7. Kouremenos D.A., Antonopoulos K.A., Stegou-Sagia A. Absorption of ammonia in refrigerators with helium as inert gas. *Proceedings of the International Conference of the Analysis of Thermal and Energy Systems*. Athens, 1991, pp. 701-717.
8. Kouremenos D.A., Stegou-Sagia A., Antonopoulos K.A. Three-dimensional heat and mass transfer during absorption in ammonia/water/hydrogen absorption refrigeration units. *Proceedings of the 3rd National Congress on mechanics*, Athens Greece, June 25-27, 1992.