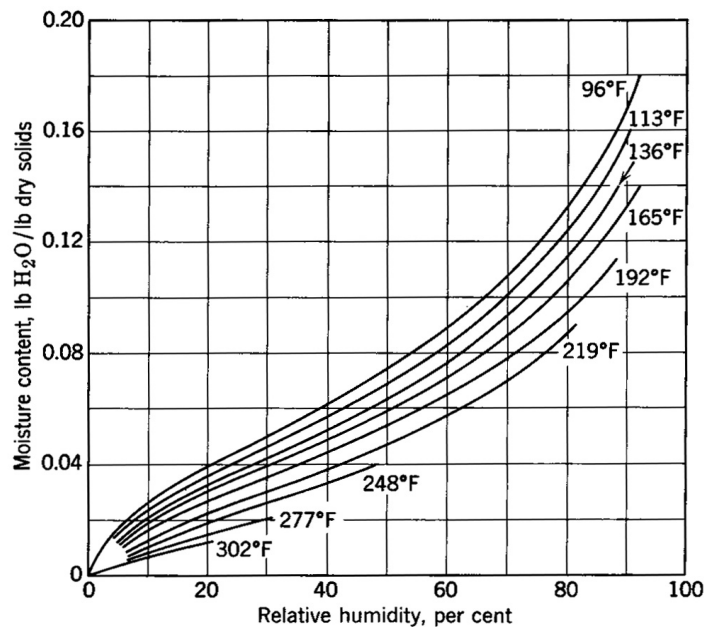


Σχήμα ΞΗ-10. Υγρασία ισορροπίας πούλπας θεικών που εμφανίζει φαινόμενα υστέρησης μεταξύ προσρόφησης και εκρόφησης

υγρό αέρα. Σε αυτό το σημείο το νερό αποκτά την ολική τάση ατμών του. Επιπλέον νερό δεν προκαλεί ουδεμία μεταβολή και ως εκ τούτου έχουμε την ίδια τάση ατμών σε ισορροπία με τον κορεσμένο αέρα. Η επιπλέον υγρασία δρα ως ελεύθερο νερό και ονομάζεται *μη δεσμευμένη υγρασία* (unbound moisture). Η υγρασία που περιέχεται στο στερεό σε ισορροπία με μερικώς κορεσμένο αέρα καλείται *δεσμευμένη υγρασία* (bound moisture) και παρουσιάζει τάση ατμών μικρότερη από εκείνη του καθαρού νερού. Τα υλικά που περιέχουν δεσμευμένο νερό χαρακτηρίζονται ως *υγροσκοπικά*. Το



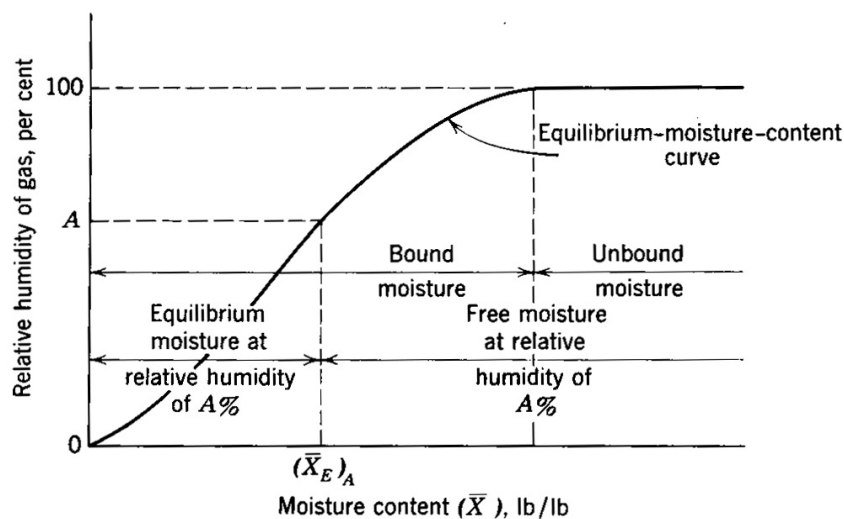
Σχήμα ΞΗ-11. Υγρασία ισορροπίας ακατέργαστου βαμβακιού, δεδομένα εκρόφησης

δεσμευμένο νερό μπορεί να υφίσταται σε διάφορες καταστάσεις. Έτσι, το νερό σε λεπτά τριχοειδή αγγεία εμφανίζει μια αφύσικα χαμηλή τάση ατμών λόγω μεγάλης καμπύλωσης της ελεύθερης επιφάνειάς του. Ακόμη η υγρασία σε κυτταρικά ή ινώδη τοιχώματα αντιστοιχεί σε χαμηλή τάση ατμών λόγω των διαλυμένων σε αυτά στερεών. Τέλος, το νερό σε φυσικές οργανικές δομές συναντάται δεσμευμένο σε φυσική και χημική μορφή, η φύση και η δύναμη της οποίας εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από την φύση και την υγρασία του στερεού. Το μη δεσμευμένο νερό, από την άλλη, έχει την πλήρη τάση ατμών του.

Ελεύθερη υγρασία (free moisture) ονομάζεται η υγρασία του δείγματος πάνω από την υγρασία ισορροπίας. Αφού η υγρασία ισορροπίας αποτελεί το όριο στο οποίο το υλικό μπορεί να ξηραθεί κάτω από συγκεκριμένες συνθήκες, η υγρασία πάνω από το σημείο αυτό είναι που αφαιρείται κατά την ξήρανση κι όχι το ολικό ποσοστό υγρασίας. Το σχήμα ΞΗ-12 απεικονίζει την σχέση που συνδέει μεταξύ τους τις διάφορες μεταβλητές. Έτσι, για παράδειγμα, δείγμα από μαλλί (καμπύλη 2 του σχήματος ΞΗ-9) έχει υγρασία ισορροπίας 12.5%, όντας σε επαφή με αέρα σχετικής υγρασίας 50% και θερμοκρασίας 25°C. Αν το δείγμα αυτό έχει 20% υγρασία, δεν είναι εφικτή η απομάκρυνση του συνολικού ποσοστού υγρασίας με ξήρανση σε ρεύμα αέρα σχετικής υγρασίας 50% και θερμοκρασίας 25°C. Συγκεκριμένα μόνο το 7.5% (20-12.5) δύναται να αφαιρεθεί, ποσοστό που ταυτίζεται με την ελεύθερη υγρασία του δείγματος για τις προαναφερθείσες συνθήκες.

ΞΗ.4 Τύποι Ξηραντήρων

Μια μεγάλη ποικιλία μηχανημάτων έχει αναπτυχθεί όλα αυτά τα χρόνια, βασισμένη κυρίως στην υπάρχουσα βιομηχανική εμπειρία. Συχνά παρατηρείται το φαινόμενο ξηραντήρες ανόμοιας κατασκευής να χρησιμοποιούνται για παρόμοιες διεργασίες, καθώς είναι σύνηθες γεγονός η για τον ίδιο σκοπό χρήση σε έναν τομέα της βιομηχανίας ενός τύπου και σε έναν άλλο τομέα ενός έτερου τύπου εντελώς διαφορετικού. Μια κατηγοριοποίηση ξηραντήρων, που βασίζεται στον χειρισμό του υλικού κατά την ξήρανση, απεικονίζεται στον πίνακα ΞΗ-1.



Σχήμα ΞΗ-12. Τύποι υγρασίας που εμφανίζονται κατά την ξήρανση στερεών

ΞΗ.4.1 ΞΗΡΑΝΤΗΡΕΣ ΘΑΛΑΜΟΥ

Πρόκειται για ξηραντήρα ασυνεχούς λειτουργίας, ο οποίος αποτελείται από μονωμένο θάλαμο

μεγάλου μεγέθους, έτσι ώστε να υπάρχει η δυνατότητα ξήρανσης μεγάλων παρτίδων ανά κύκλο.

ΞΗ.4.1.1 *Ατμοσφαιρικοί ξηραντήρες θαλάμου*

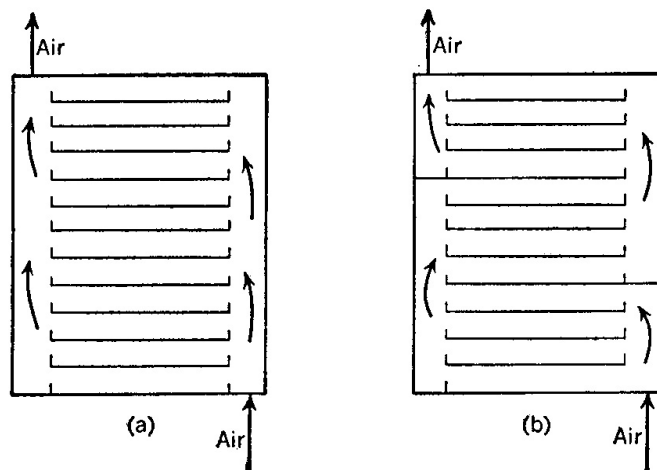
Αυτοί οι ξηραντήρες λειτουργούν κάτω από ατμοσφαιρικές συνθήκες ή υπό συνθήκες κενού. Η θέρμανση στους ατμοσφαιρικούς ξηραντήρες γίνεται με κυκλοφορία ενός αερίου μέσα στον ξηραντήρα, όπως προθερμασμένος αέρας ή θερμά καύσιμα αέρια. Το αέριο ξήρανσης εισέρχεται στον ξηραντήρα με την υψηλότερη δυνατή θερμοκρασία που η σταθερότητα του υλικού μπορεί να επιτρέψει. Η χρήση της όσο το δυνατόν πιο υψηλής θερμοκρασίας προτείνεται επειδή η ικανότητα μεταφοράς υγρασίας του αερίου, όσο και ο ρυθμός ξήρανσης του υλικού αυξάνονται με την αύξηση της θερμοκρασίας.

Το προς ξήρανση υλικό τοποθετείται στον θάλαμο με οποιονδήποτε τρόπο (π.χ. απλωμένο και υποστηριζόμενο πάνω σε ράφια, κρεμασμένο από κατάλληλες κρεμάστρες ή ακόμη τοποθετημένο το ένα πάνω στο άλλο σε σωρό). Οι σχετικές με την κατασκευή λεπτομέρειες αντικατοπτρίζουν την ευκολία τόσο στον χειρισμό, όσο και στην μετέπειτα ξήρανση του υλικού.

Πίνακας ΞΗ-1

Τύποι Υλικών	Ξηραντήρες
Υλικά σε μορφή φύλλων ή υλικά μεταφερόμενα με μεταφορική ταινία ή δίσκους	A. Ασυνεχούς λειτουργίας (batch) 1. Ατμόσφαιρας (atmospheric) 2. Κενού (vacuum) B. Συνεχούς λειτουργίας (continuous) 1. Σήραγγας (tunnel)
Κοκκώδη υλικά	A. Περιστροφικοί (Rotary) 1. Τυπικοί (standard) 2. Roto-Louvre B. Τουρμπίνας (Turbo) Γ. Μεταφορικής Ταινίας (conveyor) Δ. Φίλτρου (filter)
Υλικά σε συνεχή φύλλα	A. Κυλινδρικοί (Cylinder) B. Festoon
Πάστες και υλικά μεγάλου ιξώδους	A. Ανάμιξης (Agitator) 1. Ατμόσφαιρας (atmospheric) 2. Κενού (vacuum)
Υλικά σε διάλυμα	A. Τυμπάνων (Drum) 1. Ατμόσφαιρας (atmospheric) 2. Κενού (vacuum) B. Εκνέφωσης (Spray)
Ειδικά υλικά	A. Υπέρυθρης ακτινοβολίας B. Διηλεκτρική θέρμανση Γ. Λυοφιλίωση

Για παράδειγμα, οι δίσκοι (ράφια) πρέπει να απέχουν μεταξύ τους κατά μια απόσταση τέτοια, ώστε ο θερμός αέρας ξήρανσης να μπορεί να κυκλοφορεί ανάμεσα και πάνω από κάθε δίσκο με δεδομένη ταχύτητα, χρησιμοποιώντας, αν αυτό κρίνεται απαραίτητο, ανακλαστήρες για ομοιομορφία κατανομής του μέσα στο ξηραντήριο. Δυο πιθανές διατάξεις ραφιών φαίνονται στο σχήμα ΞΗ-13. Αν χρησιμοποιώντας μια μόνο διαδρομή του αερίου (single-pass flow) η ταχύτητα του αέρα δεν είναι μεγάλη (Σχήμα ΞΗ-13α), τότε η χρήση πολλαπλών διαδρομών (multiple-pass flow) είναι σαφέστερα προτιμότερη (Σχήμα ΞΗ-13β). Θεωρώντας την θερμοκρασία εισόδου, καθώς και την υγρασία εισόδου και εξόδου του αέρα γνωστές, η παροχή του αέρα καθορίζεται από τον επιθυμητό ρυθμό ξήρανσης, βασισμένη στην περίοδο σταθερού ρυθμού. Εφόσον η ταχύτητα του αέρα επηρεάζει τον ρυθμό ξήρανσης μόνο κατά την διάρκεια του σταθερού ρυθμού και της πρώτης



Σχήμα ΞΗ-13. Ατμοσφαιρικοί ξηραντήρες θαλάμου

φάσης ελαττούμενου ρυθμού (το ίδιο συμβαίνει άλλωστε και με την υγρασία του αέρα) και εφόσον η ικανότητα μεταφοράς υγρασίας του αέρα αξιοποιείται πλήρως μόνο κατά την διάρκεια του σταθερού ρυθμού, είναι επιθυμητό να μεταβάλλονται οι συνθήκες ξήρανσης κατά την δεύτερη φάση της περιόδου ελαττούμενου ρυθμού.

Τα χαρακτηριστικά απόδοσης αυτών των ξηραντήρων μπορούν να μελετηθούν λαμβάνοντας υπ' όψιν ότι ο ξηραντήρας λειτουργεί αδιαβατικά. Δυο σημαντικές προϋποθέσεις ισχύουν ήδη για την ενίσχυση της αληθοφάνειας της παραπάνω θεώρησης: ο ξηραντήρας είναι μονωμένος, ασυνεχούς λειτουργίας. Με την υπόθεση αυτή, η θερμοκρασία του υλικού κατά την περίοδο σταθερού ρυθμού συνταυτίζεται με την θερμοκρασία υγρού βολβού του εισερχόμενου αέρα. Έτσι για αρχική υγρασία αέρα H_1 (Σχήμα ΞΗ-14) και τελική σχετική υγρασία 70%, η θερμοκρασία του εισερχόμενου αέρα προκύπτει ότι αντιστοιχεί στην t_1 , αφού ο αέρας που διασχίζει τον ξηραντήρα ακολουθεί αδιαβατικό δρόμο κορεσμού (ευθεία AB του σχήματος ΞΗ-14). Αντίστοιχα με τις δεδομένες αρχικές συνθήκες του ξηρού αέρα, η θερμοκρασία υγρού βολβού θα είναι T_w . Μεταβαίνοντας πίσω στην θερμοκρασία t_1 του εισερχόμενου στον ξηραντήρα αέρα στην περίπτωση που η προθέρμανση γίνεται με ατμό και δεδομένου ότι η πίεση του παρεχόμενου ατμού δεν είναι αρκετά υψηλή, ο αέρας θα εισαχθεί στον ξηραντήρα σε χαμηλότερη θερμοκρασία, t'_1 , γεγονός που απαιτεί τον εφοδιασμό του ξηραντήρα με ενδιάμεσες θερμαινόμενες αντιστάσεις. Ένας τέτοιος ξηραντήρας παρατίθεται στο σχήμα ΞΗ-14. Αν υποθεθεί ότι ο αέρας που εξέρχεται από το κάθε επιμέρους τμήμα του έχει υγρασία κορεσμού 70%, ο θερμοδυναμικός δρόμος του αέρα μέσω του ξηραντήρα είναι η γραμμή A'B'.

Κατά την περίοδο ελαττούμενου ρυθμού η θερμοκρασία του υλικού αυξάνεται. Γι' αυτόν τον λόγο θερμοευαίσθητα υλικά μπορούν να ξηρανθούν, χρησιμοποιώντας μια