

10-3-23

## ΨΥΞΗ – ΘΕΡΜΑΝΣΗ ΜΕ ΑΜΜΩΝΙΑ - 2

Νίκος Χαριτωνίδης, Πολιτικός Μηχανικός ΕΜΠ, Master of Engineering Univ. of Sheffield, Γενικός Διευθυντής ΨΥΓΕΙΑ ΑΛΑΣΚΑ ΑΕΒΤΕ & CRYOLOGIC ΕΕ.

Το παρόν αποτελεί συνέχεια προηγούμενου άρθρου, στα πλαίσια της προσπάθειας παρουσίασης σε μια σειρά άρθρων της αμμωνίας και των συστημάτων βιομηχανικής ψύξης με αυτό το πρωτοποριακό φυσικό ρευστό.

Ο συνολικός συντελεστής θερμικής μεταφοράς είναι μειωμένος στα «βαριά» (από άποψη μοριακής μάζας) ρευστά. Σύμφωνα με [1], ο συντελεστής αυτός είναι για την αμμωνία περίπου τέσσερις φορές μεγαλύτερος σε εναλλάκτες συμπύκνωσης και περίπου δυο φορές μεγαλύτερος σε εναλλάκτες εξάτμισης σε σχέση με το R-22. Αυτό το πλεονέκτημα της αμμωνίας μπορεί να προσφέρει είτε μικρότερους εναλλάκτες σε καθεστώς σταθερού LMTD<sup>1</sup> (εξοικονόμηση επένδυσης) είτε ισομεγέθεις εναλλάκτες, που όμως θα λειτουργούν με μικρότερο LMTD, άρα μεγαλύτερη πίεση αναρρόφησης για το ίδιο αποτέλεσμα (εξοικονόμηση ενέργειας).

Η σχετικά ψηλή κρίσιμη θερμοκρασία της αμμωνίας (132° C) σημαίνει ότι ο ψυκτικός κύκλος λειτουργεί σε ικανά χαμηλότερο επίπεδο από αυτήν, άρα με βελτιωμένο COP<sup>2</sup>. Επιπρόσθετα, το ψηλό κρίσιμο σημείο σε συνδυασμό με τις ψηλές θερμοκρασίες κατάθλιψης της αμμωνίας της προσδίδουν ανταγωνιστικό πλεονέκτημα σε κύκλους αντλίας θερμότητας (παραγωγή θέρμανσης - ανάκτηση θερμότητας).

Συνοψίζοντας την αξιολόγηση της αμμωνίας, μπορούμε να αναφέρουμε τα εξής πλεονεκτήματα συγκριτικά με τα συνθετικά ψυκτικά ρευστά:

- ❖ Ψηλότερη κρίσιμη θερμοκρασία.
- ❖ Ψηλότεροι συντελεστές θερμικής μεταφοράς.
- ❖ Καλύτερη απόδοση κύκλου (COP) στα περισσότερα εύρη θερμοκρασίας.
- ❖ Δυνατότητα χρήσης μικρότερων σωλήνων για την ίδια ψυκτική ικανότητα.
- ❖ Μικρότερη μάζα πλήρωσης συστήματος για δεδομένη εφαρμογή.
- ❖ Χαμηλότερο κόστος.
- ❖ Οι διαρροές γίνονται άμεσα αντιληπτές.
- ❖ Χαμηλότερο κόστος άντλησης σε συστήματα υπερπλήρωσης.
- ❖ Μεγαλύτερη ανοχή σε σχέση με την «επιμόλυνση» από νερό.

<sup>1</sup> Logarithmic Mean Temperature Difference αέρα – ψυκτικού ρευστού.

<sup>2</sup> Όσο προσεγγίζει η θερμοκρασία συμπύκνωσης την κρίσιμη θερμοκρασία, τόσο μειώνεται η ικανότητα συμπύκνωσης και μειώνεται το ψυκτικό αποτέλεσμα (υπό δεδομένη παροχή), άρα μειώνεται και ο COP.

Από την άλλη πλευρά, τα μειονεκτήματα είναι τα εξής:

- ❖ Ασυμβατότητα με τον χαλκό και τα κράματα αυτού.
- ❖ Μεγάλες θερμοκρασίες κατάθλιψης.
- ❖ Το όριο τοξικότητας στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι πολύ χαμηλό.
- ❖ Αδιάλυτη με πολλά συνηθισμένα λάδια (δυσκολία επιστροφής).
- ❖ Για την χρήση της απαιτείται προσωπικό με εξειδικευμένη εκπαίδευση.

Παραθέτουμε έναν εποπτικό πίνακα [1], όπου παρουσιάζονται οι ιδιότητες της αμμωνίας που της προσδίδουν ανταγωνιστικά πλεονεκτήματα συγκριτικά με τα βασικότερα συνθετικά αέρια βιομηχανικής φύξης. Στον πίνακα περιλαμβάνεται και το R-22, το οποίο έχει βεβαίως καταργηθεί αλλά αποτελούσε τον ισχυρότερο «ανταγωνιστή» στην αμμωνία και ως εκ τούτου η σύγκριση είναι ουσιώδης.

ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΣΥΜΠΕΡΙΦΟΡΑ		ΨΥΚΤΙΚΟ ΡΕΥΣΤΟ			
		R-717	R-22	R-134a	R-404a
Κρίσιμη Θερμοκρασία		132° C	96° C	101° C	72° C
Θερμοκρασία Κορεσμού σε ατμοσφαιρική πίεση		-33,3° C	-40,8° C	-28,1° C	-46,6° C
Θερμοκρασία κορεσμού σε ψηλή θερμοκρασία		Παρόμοια			
Θερμική Μεταφορά					
Ειδική Θερμότητα	Συγκριτικά με R-134a	3		1	
Λανθάνουσα Εξάτμισης		6,3		1	
Θερμική Αγωγιμότητα		5,5		1	
Ιξώδες		0,6		1	
Πυκνότητα Υγρού		0,5		1	
Συντελεστής Θερμικής Μεταφοράς:					
Συμπύκνωση εκτός σωλήνας	Συγκριτικά με R-22	4,1	1		
Συμπύκνωση εντός σωλήνας		3,5	1		
Εξάτμιση εκτός σωλήνας		1,6	1		
Εξάτμιση εντός σωλήνας		2	1		
Θερμοκρασία Κατάθλιψης (κύκλος -15/+35° C)		111° C	60° C	42° C	41° C
COP (κύκλος -15/+35° C) αν αμμωνία = 1		1	0,97	0,95	0,85
Απαιτούμενη Ογκομετρική Παροχή ανά KW		Παρόμοια			
Μέγεθος σωληνώσεων		Μικρότερες	Μεγαλύτερες		
Ανίχνευση διαρροής		Αντιληπτή > 5 ppm	Άοσμα. Ειδικοί ανιχνευτές		
Ευαισθησία στο νερό		Ανεκτό σε μικροποσ/τες	Επικίνδυνο - δημιουργία παγοφραγμών		
Συμπεριφορά στα συνηθισμένα λάδια		Αδιάλυτη σε ορυκτά	Διαλυτό σε ορυκτά	Διαλυτά σε συνθετικά	
Συμβατότητα με υλικά		Ασύμβατο με χαλκό	Συμβατά με όλα		

### Πίνακας 1: Τα συγκριτικά πλεονεκτήματα της αμμωνίας με μια ματιά.

#### ΜΙΑ ΣΥΖΗΤΗΣΗ ΓΙΑ ΤΙΣ ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΕΙΣ ΑΜΜΩΝΙΑΣ ΣΤΟΝ ΑΕΡΑ

Ο κορυφαίος προβληματισμός, όσον αφορά τις βλαβερές επιδράσεις της αμμωνίας που διαρρέει από τα συστήματα, είναι η επιρροή στον άνθρωπο των ποικίλων συγκεντρώσεων της αμμωνίας στον αέρα που αναπνέει. Το θέμα απασχολεί πολλούς οργανισμούς που εκπονοούν τους σχετικούς

κανονισμούς και συχνά επέρχονται αναθεωρήσεις. Στο παρόν θα ασχοληθούμε με την «Αμερικάνικη σχολή», ήτοι τους κανονισμούς που διέπονται από τους οργανισμούς OSHA (Occupational Safety and Health Administration), ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists), NIOSH (National Institute of Occupational Safety and Health), ANSI (American National Standards Institute), EPA (Environment Protection Agency) και IIAR (International Institute of Ammonia Refrigeration).

Ο OSHA θέτει επιτρεπτό όριο τα 50 ppm σαν σταθμικό μέσο όρο στη διάρκεια της οκτάωρης βάρδιας (TWA - Time Weighted Average). Τούτο σημαίνει ότι περιστασιακά τα 50 ppm μπορούν να ξεπερνώνται, εφόσον η υπέρβαση αντισταθμίζεται από μικρότερες συγκεντρώσεις σε άλλα διαστήματα. Για παράδειγμα, κάποιος μπορεί να εκτίθεται σε 100 ppm για 4 ώρες, φθάνει τις υπόλοιπες 4 ώρες να μην εκτίθεται καθόλου.

Οι NIOSH και ACGIH προτείνουν μείωση του ορίου από 50 ppm σε 25 ppm, με ανοχή ανόδου μέχρι 35 ppm για μέγιστο διάστημα 15 λεπτά (STEL Short Term Exposure Limit). Σημειώνεται ότι το όριο OSHA έχει νομοθετική ισχύ, ενώ επί του παρόντος οι προτάσεις NIOSH και ACGIH έχουν προαιρετικό χαρακτήρα.

Όσο υπερβαίνει η συγκέντρωση τα 50 ppm τα προβλήματα κλιμακώνονται. Για παράδειγμα, στα 100 ppm η οσμή είναι δυνατή και επέρχεται ερεθισμός στη βλεννογόνο της μύτης. Το όριο που ενδιαφέρει σχεδιαστικά, είναι το IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health). Το όριο τούτο κατά NIOSH είναι 300 ppm. Είναι αυτονόητο, ότι από το επίπεδο αυτό και πάνω τα πράγματα είναι «επικίνδυνα». Το επόμενο «ψηλό» όριο που μας ενδιαφέρει τεχνικά είναι η συγκέντρωση που μπορεί να προκαλέσει έκρηξη. Τούτη είναι μεταξύ 160.000 και 250.000 ppm (ήτοι 16 - 25% κατ' όγκο) [2]. Στον επόμενο πίνακα (IIAR) φαίνονται χαρακτηριστικές συγκεντρώσεις και οι αντίστοιχες επιπτώσεις [3].

ΣΥΓΚΕΝΤΡΩΣΗ ΑΜΜΩΝΙΑΣ (ppm)	ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΣΕ ΑΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΟΥΣ ΕΡΓΑΖΟΜΕΝΟΥΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ
20	Αντληπτή από τους περισσότερους ανθρώπους.	
25		Μέγιστο επίπεδο σταθμικού μέσου όρου έκθεσης για 8 ώρες (TWA) κατά ACGIH και NIOSH.
35		Μέγιστο επίπεδο έκθεσης για 15 λεπτά STEL (Short Term Exposure Limit) κατά ACGIH και NIOSH.
50	Αντληπτή οσμή.	Μέγιστο επίπεδο σταθμικού μέσου όρου έκθεσης για 8 ώρες (TWA) κατά OSHA.
100	Αρκετά δυνατή οσμή, ερεθισμός στη μύτη.	
300		Όριο IDLH (Immediately Dangerous to Life and Health) κατά NIOSH.
400	Μεγάλος ερεθισμός στο λάρυγγα.	Συνήθως δεν υπάρχουν βλάβες για μικρά διαστήματα έκθεσης. Επικίνδυνο για μακρά έκθεση (< 1 ώρα).
1.720	Έντονος βήχας.	Δεν επιτρέπεται η έκθεση (μπορεί θανατηφόρος για διαστήματα < 0,5 ώρα).
5.000	Αναπνευστικοί σπασμοί - ασφυξία.	Απαγορεύεται οποιαδήποτε έκθεση (γρήγορα θανατηφόρος).
15.000	Προκαλεί εγκαύματα και φλύκταινες στο εκτεθειμένο δέρμα.	
40.000	Προσέγγιση ορίου ανάφλεξης. Ανώτατο όριο όπου διακόπτεται η παροχή ρεύματος στο μηχανοστάσιο.	Ορίζεται ως το 25% του κάτω ορίου ανάφλεξης, που είναι 160000 ppm (IIAR) [66].
160.000 - 250.000	Εύρος αναφλεξιμότητας παρουσία φλόγας ή στίθας.	Κάτω όριο 160.000 (Low Flammability Limit - LFL). Άνω όριο 250.000 (High Flammability Limit - HFL).

## Πίνακας 2: Χαρακτηριστικά επίπεδα συγκέντρωσης αμμωνία στον αέρα.

### ΑΣΦΑΛΕΣ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Ακολουθεί μια σύντομη ανασκόπηση, με ερεθίσματα προέρχονται από τους Αμερικάνικους Οργανισμούς OSHA και EPA (Environmental Protection Agency).

Ο OSHA απαιτεί σε εγκαταστάσεις αμμωνίας με ποσότητα πλήρωσης πάνω από 4.536 kg (10.000 rounds) να εφαρμόζουν σύστημα PSM (Process Safety Management), που είναι αρκετά σύνθετο. Οι εγκαταστάσεις με μικρότερες της ως άνω ποσότητες αμμωνίας διατηρούν την υποχρέωση να ικανοποιούν τις απαιτήσεις γενικών καθηκόντων του κανονισμού (General Duty Clause).

Σε ΗΠΑ αναφέρεται ότι σε τέσσερις Πολιτείες το 72% των χημικών ατυχημάτων (2004 - 2014) προήλθαν από άνυδρη αμμωνία, ενώ το 96% αυτών έχουν χαρακτηριστεί αποτρέψιμα μέσω αυξημένης επιμόρφωσης των λειτουργών, βελτιωμένες διαδικασίες και καλύτερη επικοινωνία των ιστορικών συμβάντων. Ένα πολύ αποτελεσματικό εργαλείο για την εξασφάλιση ασφαλούς

περιβάλλοντος εργασίας είναι η εφαρμογή αναγνωρισμένων και γενικά αποδεκτών καλών πρακτικών μηχανικής (Recognized and Generally Accepted Good Engineering Practices), γνωστών με το ακρωνύμιο RAGAGEP. Οι πρακτικές RAGAGEP μπορεί να περιλαμβάνουν κανονισμούς, κώδικες, standards, οδηγίες, τεχνική τεκμηρίωση και φύλλα δεδομένων ασφάλειας. Οι πρακτικές RAGAGEP πρέπει να εφαρμόζονται σε όλες τις εγκαταστάσεις αμμωνίας, ανεξάρτητα της ποσότητας πλήρωσης.

Οι εργαζόμενοι σε εγκαταστάσεις αμμωνίας πρέπει να έχουν πλήρη επίγνωση των κινδύνων που σχετίζονται με διαρροή ανύδρου αμμωνίας και των μέτρων πρόληψης έναντι αυτών. Προς τούτο, πρέπει να έχουν βαθιά γνώση του συστήματος και των επικίνδυνων σημείων / διεργασιών. Το ασφαλές περιβάλλον γενικά προκύπτει από τρεις συνιστώσες, που έχουν μεταξύ τους αλληλεπίδραση: (α) την σωστή υποδομή, (β) την τεκμηρίωση των διαδικασιών και (γ) την εκπαίδευση του έμψυχου δυναμικού. Μπορούμε να πούμε ότι ο παράγων (α) αφορά την κατασκευή ή την επέκταση - τροποποίηση μιας εγκατάστασης (επένδυση), ενώ οι παράγοντες (β) και (γ) ακολουθούν (λειτουργία), διατηρώντας βεβαίως πάντα το χαρακτηριστικό της ανάδρασης, όπου λειτουργικοί παράγοντες επιβάλλουν την ανασκόπηση της υποδομής και αντίστροφα.

## **ΑΝΑΦΟΡΕΣ**

1. International Institute of Refrigeration "Ammonia as a Refrigerant", 2nd edition, 1999.
2. International Institute of Ammonia Refrigeration "Guidelines for Ammonia Machinery Room Ventilation", Bulletin 111, 6/02.
3. International Institute of Ammonia Refrigeration "A Guide to Good Practices for the Operation of an Ammonia Refrigeration System", Bulletin No. R1, 1983.