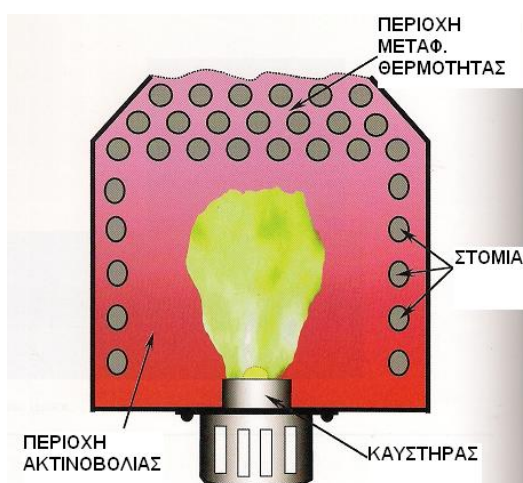


ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΜΕΛΕΤΗ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ-
ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΛΙΒΑΝΩΝ



ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: ΚΑΤΤΕΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ (Α.Μ. 4404)

ΕΠΙΒΛΕΠΟΝΤΕΣ ΚΑΘΗΓΗΤΕΣ: 1) ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ ΜΑΥΡΙΔΗΣ
2) ΓΙΑΝΝΑΚΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ

ΠΑΤΡΑ, ΔΕΚΕΜΒΡΙΟΣ 2013

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το παρόν τεύχος αποτελεί την Πτυχιακή Εργασία που εκπονήθηκε στο Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών Τ.Ε. του Τεχνολογικού Εκπαιδευτικού Ιδρύματος Δυτικής Ελλάδας και αναφέρεται στον έλεγχο και λειτουργία βιομηχανικών κλιβάνων καθώς και στην αντιμετώπιση προβλημάτων στη λειτουργία τους.

Στην αρχή μελετάται ο τρόπος ελέγχου του καυστήρα καθώς και οι απαιτούμενες μετρήσεις μεγεθών που πρέπει να γίνουν για την σωστή εγκατάσταση και λειτουργία μιας τέτοιας εγκατάστασης. Στην συνέχεια γίνεται ανάλυση στη συντήρηση και την εγκατάσταση στοιχείων της εγκατάστασης και στο τέλος γίνεται ανάλυση των λύσεων που μπορούν να δοθούν στην επίλυση προβλημάτων που πιθανόν να παρουσιαστούν κατά τη λειτουργία μιας τέτοιας εγκατάστασης.

Ευχαριστώ θερμά τους Επιβλέποντες Καθηγητές μου κ. Κωνσταντίνο Μαυρίδη, Καθηγητή του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, και τον κ. Ιωάννη Γιαννάκη, Συνεργάτη του Τμήματος Μηχανολόγων Μηχανικών, για την πολύτιμη βοήθεια και καθοδήγηση που μου προσέφεραν για την πραγματοποίηση της Εργασίας.

Κατές Γεράσιμος

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η παρούσα Πτυχιακή Εργασία αναφέρεται στην στον έλεγχο και λειτουργία βιομηχανικών κλιβάνων καθώς και στην αντιμετώπιση προβλημάτων στη λειτουργία τους. Η ανάπτυξη του θέματος γίνεται σε τρία Κεφάλαια.

Στο πρώτο κεφάλαιο μελετάται ο τρόπος ελέγχου του καυστήρα καθώς και οι απαιτούμενες μετρήσεις μεγεθών που πρέπει να γίνουν για την σωστή εγκατάσταση και λειτουργία μιας τέτοιας εγκατάστασης.

Στο δεύτερο Κεφάλαιο γίνεται ανάλυση στη συντήρηση και την εγκατάσταση στοιχείων της εγκατάστασης.

Στο τρίτο Κεφάλαιο γίνεται ανάλυση των λύσεων που μπορούν να δοθούν στην επίλυση προβλημάτων που πιθανόν να παρουσιαστούν κατά τη λειτουργία μιας τέτοιας εγκατάστασης.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	1
ΠΕΡΙΛΗΨΗ	2
ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Έλεγχος καυστήρα	5
1.1 Εισαγωγή	5
1.2 Έλεγχος διαμόρφωσης κλιβάνου	9
1.2.1 Κριτήρια επιλογής κλιβάνου ελέγχου	10
1.2.2 Επιλογή των καυσίμων ελέγχου	12
1.3 Όργανα μέτρησης και μετρήσεις	14
1.3.1 Μέτρηση πίεσης και θερμοκρασίας αέρα	14
1.3.2 Μέτρηση θερμοκρασίας αερίου του κλιβάνου	16
1.3.3 Ανάλυση εκπομπών ρύπων	16
1.3.4 Μέτρηση ρυθμού ροής καυσίμου	20
1.3.5 Διαστάσεις φλόγας	20
1.3.6 Ροή θερμότητας	21
1.4 Διαδικασία ελέγχου	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Εγκατάσταση και Συντήρηση	25
2.1 Εισαγωγή	25
2.2 Εγκατάσταση	25
2.2.1 Προετοιμασία του θερμαντήρα	25
2.2.2 Εργασίες προεγκατάστασης καυστήρα	28
2.2.3 Στήσιμο καυστήρα	29
2.2.4 Εγκατάσταση πλακιδίων (επένδυση) καυστήρα	34
2.2.5 Σύνδεση καυστήρα-θερμαντήρα	39
2.2.6 Έλεγχος Εγκατάστασης Καυστήρα	40
2.2.7 Έλεγχος αέρα	42
2.3 Συντήρηση	47
2.3.1 Καθαρισμός άκρου αερίου και στομίου	48
2.3.2 Καθαρισμός άκρου πετρελαίου και εγχυτήρων	50

2.3.3 Πλακίδιο επένδυσης	52
2.3.4 Σταθεροποιητής φλόγας	53
2.3.5 Διανεμητές αέρα και αποσβεστήρες	54
2.3.6 Καυστήρες πιλότοι	55
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ	57
3.1 Εισαγωγή	57
3.2 Παλλόμενη φλόγα	59
3.3 Πρόσπτωση φλόγας στους σωλήνες	62
3.4 Λάμψη φλόγας (flashback)	65
3.5 Ακανόνιστες μορφές φλόγας	67
3.6 Διαρροή καυσίμου	70
3.7 Μεγάλες φλόγες με καπνό	72
3.8 Διακοπή καυστήρα σε λειτουργία	74
3.9 Φλόγες υπό κλίση	76
3.10 Υψηλή θερμοκρασία καπνοδόχου	78
3.11 Υπερθέρμανση της περιοχής μεταφοράς θερμότητας	80
3.12 Μη ανύψωση (lift-off) φλόγας	82
3.13 Μη λειτουργία πιλότου καυστήρα	84
3.14 Εκπομπή καπνού από την καπνοδόχο	86
3.15 Υψηλές εκπομπές NOx	87
3.16 Τύποι καυστήρων για χαμηλές εκπομπές NOx	92
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	97

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: Έλεγχος καυστήρα

1.1 Εισαγωγή

Ο έλεγχος του κλιβάνου παρέχει τη δυνατότητα να συγκεντρωθεί και επιβεβαιωθεί πολύτιμη πληροφόρηση όπως: συνθήκες λειτουργίας, εκπομπές ρύπων, διαστάσεις φλόγας, τα δεδομένα της ροής θερμότητας, περιορισμούς ασφαλείας και δεδομένα θορύβου-ήχου. Οι πληροφορίες απο τα δεδομένα ελέγχου είναι συχνά ουσιώδη για την επιβεβαίωση της απόδοσης των εφαρμογών του χρήστη όπως και είναι βασικές για τις προσπάθειες της έρευνα και ανάπτυξης. Τα εμπειρικά δεδομένα που συλλέγονται απο τον έλεγχο του κλιβάνου είναι μια πολύτιμη πηγή πληροφοριών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την βελτίωση των δυνατοτήτων πρόβλεψης των μοντέλων CFD, που γίνονται πιο επικρατούντα εργαλεία που χρησιμοποιούνται στην έρευνα, ανάπτυξη και σχεδιασμό των εγκαταστάσεων καύσης στην καινούργια τεχνολογία δημιουργίας σχετικών εγκαταστάσεων. Σε νέες εγκαταστάσεις (εικόνα 1.1) που χρησιμοποιούν τα νέα σχεδιαστικά εργαλεία, ο έλεγχος γίνεται συνεχώς μέσα στη χρονιά έτσι ώστε να παρέχει στους σχεδιαστές κλιβάνων με τα δεδομένα που χρειάζονται για να βελτιώσουν τους σχεδιασμούς τους και να κάνουν τους κλιβάνους πιο αποδοτικούς αλλά και να αναπτύξουν νέες τεχνολογίες για να καλύπτουν τις συνεχώς αυξανόμενες απαιτήσεις των λειτουργικών διαδικασιών των πελατών και της σχετικής περιβαλλοντικής νομοθεσίας.



Εικόνα 1.1: Τυπική εγκατάσταση καύσης

Ενώ σχεδιάζοντας έναν καυστήρα φαίνεται αρχικά ότι περιλαμβάνονται σχετικά απλοί υπολογισμοί, είναι δύσκολο να προβλέψεις πως ένας κλίβανος θα λειτουργήσει σε μια ευρεία σειρά συνθηκών λειτουργίας. Θεωρώντας το μεγάλο πλήθος των εφαρμογών τους, το μεγάλο πεδίο των διαθέσιμων καυσίμων που θα

χρησιμοποιηθούν, τα απαιτούμενα επίπεδα ρύπων που πρέπει να πληρούνται και οι διαφορετικοί τρόποι παροχής αέρα, οι παραλλαγές μεταξύ των σχεδίων των καυστήρων είναι σχεδόν άπειροι.

Μέσω ελέγχου πλήρους κλίμακας, ειδικές συνθήκες πρέπει να προσομοιωθούν και η πραγματική απόδοση λειτουργίας του καυστήρα πρέπει να μετρηθεί επακριβώς. Ο έλεγχος ή οι δοκιμές επιτρέπουν στον κατασκευαστή κλιβάνων να βελτιστοποιήσει το σχεδιασμό του κλιβάνου έτσι ώστε να πλησιάσει κατά το δυνατόν περισσότερο τις απαιτήσεις μιας ειδικής εφαρμογής που θα χρειαστεί ο κλίβανος να καλύψει.

Οι παράμετροι λειτουργίας που μπορούν να ληφθούν μέσω ελέγχου περιλαμβάνουν το πλήρη φάκελο της απελευθέρωσης θερμότητας από τον κλίβανο. Οι κλίβανοι διαστασιολογούνται για μέγιστη έκλυση θερμότητας με καθορισμένες απορρίψεις θερμότητας (turndown) ή σε ελάχιστο ρυθμό στον οποίο ο κλίβανος μπορεί να λειτουργεί με ασφάλεια.

Η κατάσταση turndown προσδιορίζεται σαν ο λόγος της μέγιστης απελευθέρωσης θερμότητας προς την ελάχιστη απελευθέρωση θερμότητας. Π.χ. εάν η μέγιστη απελευθέρωση θερμότητας ενός κλιβάνου είναι 5 MMBtu/hr και η ελάχιστη απελευθέρωση θερμότητας του κλιβάνου είναι 1 MMBtu/hr, τότε η κατάσταση turndown είναι 5:1.

Επίσης οι χρήστες και οι μηχανικοί μπορεί να χρειάζονται να γνωρίζουν τι συμβαίνει σε έναν καυστήρα εάν γίνεται καύση πάνω από το μέγιστο σχεδιασμένο επίπεδο απελευθέρωσης θερμότητας. Με αυτή τη πληροφορία απόδοσης, ο χρήστης του συστήματος μπορεί να θέσει ένα στόχο επιπέδου οξυγόνου στο αέριο της καμινάδας να παραμένει πάνω ή να θέσει ένα πάνω όριο πίεσης για δεδομένο καύσιμο για να παραμείνει χαμηλότερα, έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι ο κλίβανος δεν υπερβαίνει τις σχεδιασθείσες παραμέτρους. Πιο σημαντικά, τα δεδομένα ελέγχου μπορούν να προσδιορίσουν την μέγιστη τιμή της απελευθέρωσης θερμότητας στην οποία ο κλίβανος μπορεί με ασφάλεια να λειτουργεί με μικρή διάρκεια έως ότου μια διαφοροποίηση-ανατροπή της λειτουργίας του μπορεί να διορθωθεί.

Ενας χρήστης του συστήματος επίσης χρειάζεται να γνωρίζει το σημείο στο οποίο ο καυστήρας θα γίνει ασταθής εάν γίνεται καύση κάτω από το σημείο ελάχιστης απελευθέρωσης θερμότητας. Η τιμή στην οποία ο κλίβανος μπορεί να λειτουργεί κάτω από την ελάχιστη τιμή απελευθέρωσης θερμότητας προσδιορίζεται σαν η απόλυτη ελάχιστη τιμή.

Ένα χαμηλό όριο πίεσης πρέπει να τεθεί για το αέριο καύσιμο έτσι ώστε να διασφαλιστεί η ασφαλής λειτουργία της εγκατάστασης. Αυτή η πληροφορία είναι ειδικά χρήσιμη στον προσδιορισμό του αριθμού των καυστήρων που θα είναι σε χρήση και λειτουργία και ποιο είναι το επίπεδο απελευθέρωσης θερμότητας για ειδικές λειτουργίες. Η απομάκρυνση του κώκ και η εκκίνηση του κλιβάνου είναι ειδικές συνθήκες στις οποίες ο κλίβανος λειτουργεί σε επίπεδα διαφορετικά από το συνήθη ρυθμό σχεδιασμού λειτουργίας.

Άλλος σημαντικός παράγοντας σχεδιασμού στο φάκελο καύσης ενός κλιβάνου είναι οι ρυθμίσεις του διαφράγματος αέρα ή της κατάλληλης ποσότητας αέρα που μπορούν να προσδιοριστούν μέσω ελέγχου για τη διασφάλιση της αποδοτικής λειτουργίας ενός κλιβάνου ελέγχοντας το επιπλέον οξυγόνο στο αέριο της καμινάδας. Λειτουργώντας την εγκατάσταση σε χαμηλότερα όρια συγκέντρωσης επιπλέον οξυγόνου, η οικονομία στο καύσιμο μπορεί να αναγνωριστεί οδηγώντας σε υψηλότερη απόδοση του κλιβάνου. Σε συστήματα καυστήρων όπως π.χ. καυστήρες αιθυλενίου, όπου εκατοντάδες καυστήρες είναι σε λειτουργία ταυτόχρονα, προηγμένη γνώση των ρυθμίσεων αέρα για ποικίλες συνθήκες λειτουργίας μπορούν να οικονομίσουν χρόνο για την απομάκρυνση της περίσσειας αέρα κατά τη πραγματική λειτουργία.

Άλλες πληροφορίες που μπορούν να συλλεχτούν κατά τη διάρκεια του ελέγχου ενός κλιβάνου ή επίδειξης του περιλαμβάνουν εκπομπές ρύπων όπως : NOx, CO και άκαυστους υδρογονάνθρακες (UHCs). Βασιζόμενοι στην θεωρία και στην εμπειρία πεδίου, αν και είναι σχετικά εύκολο να προβλέψεις εκπομπές για ένα μόνο καύσιμο, οι σύγχρονοι κλίβανοι συχνά αναμένεται να καίουν μεγάλο πεδίο από διαφορετικά καύσιμα. Σαν αποτέλεσμα, μερικά καύσιμα μπορεί να μην αναφλέγονται στις βέλτιστες πιέσεις, και μεταβλητές όπως η πίεση του καυσίμου μπορούν σημαντικά να επηρεάσουν την απόδοση εκπομπών ενός κλιβάνου.

Ελέγχοντας έναν καυστήρα σε έναν ενεργό συγκρότημα πριν την τελική εγκατάσταση του, οι αναμενόμενες εκπομπές για διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας μπορούν να προβλεφθούν και να αντιμετωπιστούν με μεγαλύτερο βαθμό ακρίβειας. Είναι πολύ πιθανό ότι οι έλεγχοι εκπομπών σε έναν κλίβανο μπορούν να διαφέρουν στο πεδίο σε ένα βαθμό εξαιτίας παραγόντων όπως η αλληλεπίδραση με άλλους καυστήρες, συνθήκες καύσης και αλλαγές στη σύνθεση του καυσίμου.

Όταν οι κλίβανοι λειτουργούν με μια μεγάλη ποικιλία καυσίμων, οι διαστάσεις της φλόγας μπορούν να μεταβληθούν εξαρτώμενες από το είδος του καυσίμου, την

πίεση λειτουργίας καυσίμου, όπως και την απελευθέρωση θερμότητας επειδή η διαθέσιμη ενέργεια μίξης μπορεί να επηρεάσει σημαντικά τον όγκο και το σχήμα της φλόγας.

Διεξάγοντας έλεγχο του κλιβάνου στις κανονικές συνθήκες σχεδιασμού του, οι διαστάσεις της φλόγας μπορούν να προσδιοριστούν για όλες τις συνθήκες. Οι διαστάσεις της φλόγας είναι σημαντικές για την διασφάλιση της μη πρόσκρουσης φλογών στους σωλήνες της βιομηχανικής διαδικασίας στο κλίβανο.

Άλλο πολύτιμο κομμάτι δεδομένων που πρέπει να συλλεχτούν είναι τα δεδομένα θορύβου. Οι νέες εγκαταστάσεις που δημιουργούνται τελευταία αλλά και οι υπάρχουσες εγκαταστάσεις αντιμετωπίζουν αυστηρά όρια για τα επίπεδα θορύβου. Ανάλογα με την δριμύτητα της απαίτησης, σιγαστήρες θορύβου μπορούν να σχεδιαστούν για να ρυθμίζουν το θόρυβο από τον κλίβανο σε αποδεκτά επίπεδα.

Μερικοί κλίβανοι είναι σχεδιασμένοι να θερμαίνουν ένα τοίχωμα φούρνου. Για αυτούς τους καυστήρες, τα προφίλ ροής θερμότητας μπορούν να προσδιοριστούν μέσω ελέγχου για παροχή των κατασκευαστών του με πληροφορίες για τη μεταφορά ακτινοβολούμενης θερμότητας από το τοίχωμα στους αγωγούς της εγκατάστασης. Βελτιστοποιώντας το προφίλ ροής θερμότητας, οι χρόνοι των κύκλων μεταξύ διαδικασιών αφαίρεσης κώκ μπορούν να αυξηθούν, αυξάνοντας τη λειτουργία του κλιβάνου και έτσι την απόδοσή του.

Ο έλεγχος μπορεί να παρέχει ποικιλία δεδομένων σχετικά με την απόδοση του καυστήρα. Αλλά χωρίς την κατάλληλη οργάνωση (διαμόρφωση), την κατάλληλη οργανολογία και μεθόδους μέτρησης και μια καλή προσδιορισμένη διαδικασία ελέγχου, τα δεδομένα που θα συλλεχτούν κατά τη διάρκεια των ελέγχων μπορεί να μην είναι αξιοποιήσιμα.

Αυτό το κεφάλαιο μελετά τα κατάλληλα στοιχεία που απαιτούνται για την διενέργεια ελέγχου. Στοιχεία που θα καλυφθούν περιλαμβάνουν: προσδιορισμό της εφαρμογής του κλιβάνου, επιλογή του κατάλληλου ελέγχου για τον κλίβανο και προσδιορισμό των καυσίμων ελέγχου που θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν κατά τη διάρκεια του ελέγχου. Επίσης σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλυθούν τα όργανα που είναι απαραίτητα για την καταγραφή σωστών και ακριβείας δεδομένων και κυρίως τις συγκεντρώσεις των NO_x, CO, O₂, UHCs και σωματίδια στο αέριο της καμινάδας, τη ροή θερμότητας και την εκπομπή θορύβου από τον κλίβανο. Επίσης αναλύονται η μέτρηση της ροής ρευστού και της φλόγας.

Με δεδομένα από τον κατασκευαστή του κλιβάνου και τον τελικό χρήστη, μια γεμάτη σημασία διαδικασία ελέγχου μπορεί να αποδώσει σημαντικά δεδομένα για τον προσδιορισμό της απόδοσης του κλιβάνου υπό διαφορετικές συνθήκες λειτουργίας και καύσιμα. Η διαδικασία ελέγχου είναι σχεδιασμένη να απαντήσει σε ειδικό σέτ ερωτήσεων σχετικά με την απόδοση του καυστήρα.

Στο τέλος το κεφάλαιο περιγράφει την ανάλυση των δεδομένων. Μόλις ένα τέστ πραγματοποιηθεί, πρέπει να προσδιοριστεί εάν ένας καυστήρας μπορεί να καλύψει τα απαιτούμενα κριτήρια όπως περιγράφονται στη διαδικασία ελέγχου. Με τα δεδομένα που θα συλλεχθούν, ο μηχανικός ελέγχου μπορεί να βελτιστοποιήσει τον κλίβανο για να βελτιώσει τις εκπομπές, τις διαστάσεις φλόγας, την σταθερότητα και την κατανομή της ροής αέρα.

1.5 Έλεγχος διαμόρφωσης κλιβάνου

Ένα από τα πιο σημαντικά όψεις του ελέγχου του κλιβάνου είναι η αρχική του διαμόρφωση (setup) με σκοπό την ορθή λειτουργία του. Αυτό περιλαμβάνει την επιλογή του κλιβάνου ελέγχου, ο οποίος προσδιορίζεται από τον τύπο του καυστήρα που θα εξεταστεί και την διαμόρφωση εγκατάστασης. Τυπικά, οι κλίβανοι ελέγχου κατασκευάζονται με έναν από τους δύο τρόπους ψύξης: με έναν μανδύα ψύξης νερού ή μια σειρά σωλήνων ψύξης με νερό. Ο πρώτος τρόπος είναι απλά ένας φούρνος που περιβάλλεται από δύο κελύφη (εσωτερικό και εξωτερικό) από χάλυβα που περιέχει κυκλοφορούν νερό μεταξύ των κελυφών. Αυτό διατηρεί το ψυχρό νερό στις τέσσερις κάθετες επιφάνειες για τη μεταφορά της θερμότητας. Η άλλη μέθοδος χρησιμοποιεί αγωγούς ψύξης που εδράζονται οριζόντια ή κάθετα κατά μήκος ενός ή και δύο από τα τοιχώματα του κλιβάνου.

Οι καυστήρες είναι σχεδιασμένοι να καλύπτουν μια μεγάλη γκάμα εφαρμογών. Η καύση μπορεί να γίνεται κάθετα προς τα πάνω, κάθετα προς τα κάτω ή οριζόντια. Μπορεί να έχουν κυκλικές ή ορθογωνικές φλόγες και μπορούν να μην έχουν εμπόδια ή να γίνεται η καύση κατά μήκος ενός πυρίμαχου τοιχώματος.

Τα κριτήρια για επιλογή ενός καυστήρα κανονικά περιλαμβάνουν το καύσιμο που θα αναφλεγεί, τη μέθοδο παροχής αέρα, απαιτήσεις εκπομπών ρύπων και διαμόρφωση του καυστήρα.

Τα καύσιμα μπορεί να είναι αέρια, πετρέλαιο, απορριπτόμενα αέρια ή και συνδυασμός των τριών. Η παροχή αέρα μπορεί να είναι φυσική, βεβιασμένη, έξοδος αερίου τουρμπίνας ή άλλη πηγή οξυγόνου. Οι απαιτήσεις των εκπομπών αρχικά

βασίζονται στο NO_x αλλά μπορούν να περιλαμβάνουν UHCs, CO, SO_x και σωματίδια.

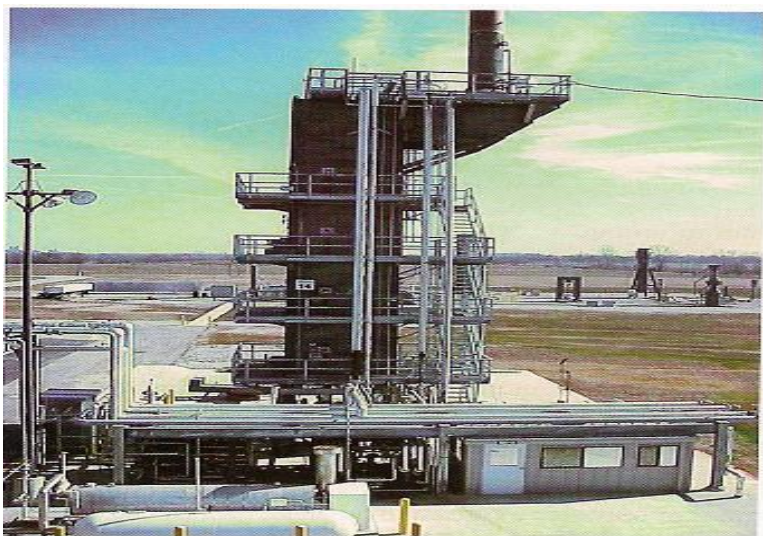
Το μίγμα καυσίμου ελέγχου είναι ένα κρίσιμο συστατικό ενός επιτυχημένου ελέγχου. Χωρίς το κατάλληλο μίγμα, ένα προσομοιωμένο καύσιμο μπορεί να μη παρέχει τα δεδομένα που θα βοηθήσουν τους μηχανικούς και τους χρήστες όταν εκκινούν νέες μονάδες ή εκτιμούν την απόδοση νέων καυστήρων σε μια υφιστάμενη μονάδα. Τα μίγματα ελέγχου τυπικά αναμιγνύονται να προσομοιάσουν όσο το δυνατό καλύτερα τη τιμή θερμότητας, την αδιαβατική θερμοκρασία φλόγας, ειδική βαρύτητα και κύρια συστατικά των καυσίμων που θα χρησιμοποιηθούν στην πραγματική εφαρμογή.

Αν και κάθε καύσιμο (στερεό, υγρό ή αέριο) μπορεί να χρησιμοποιηθεί στο σχεδιασμό κλιβάνου για καθορισμένο τύπο καυσίμου, θα αναφερθούμε μόνο σε καύση αερίου και υγρού καυσίμου μιας και είναι τα πιο κοινά που βρίσκονται στις πετροχημικές βιομηχανίες. Όταν καίγεται ένα καύσιμο, τα κανονικά προϊόντα της καύσης είναι CO₂, H₂O, N₂, O₂ και η ενέργεια ή θερμότητα που απελευθερώνεται κατά τη διαδικασία καύσης. Δυστυχώς υπάρχουν επίσης και άλλα μη επιθυμητά προϊόντα που μπορούν να απελευθερωθούν. Αυτά συνήθως περιέχουν UHCs, NO_x, SO_x, CO και σωματίδια.

1.2.1 Κριτήρια επιλογής κλιβάνου ελέγχου

Η επιλογή του κλιβάνου ελέγχου είναι σημαντική. Ο κλίβανος πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος να περιέχει τη φλόγα χωρίς πρόσκρουση στα τοιχώματα ή στην οροφή του κλιβάνου. Επίσης, είναι σημαντικό να επιλεγεί ο κατάλληλος κλίβανος για τη διατήρηση της θερμοκρασίας του αερίου κοντά στη θερμοκρασία του κλιβάνου που θα σχεδιάσουμε για κάποια εφαρμογή. Ο κλίβανος που φαίνεται στην εικόνα 1.2 μπορεί να ελεγχθεί σε μια σειρά διαφορετικών διαμορφώσεων, ανάλογα με τις απαιτήσεις. Επίσης άλλα παραδείγματα κλιβάνων φαίνονται στις εικόνες 1.3, 1.4 και 1.5 που χρησιμοποιούνται για διαφορετική διαμόρφωση κατά τη διάρκεια της καύσης και ανάλογα με τις απαιτήσεις των εφαρμογών που θα χρησιμοποιηθούν να λειτουργήσουν.

Επειδή οι εγκαταστάσεις ελέγχου δεν είναι σχεδιασμένες συνήθως για την θέρμανση πετρελαίου ή παραγωγής προϊόντων, η θερμότητα που απελευθερώνεται από τους καυστήρες πρέπει να απορροφηθεί με κάποια διαθέσιμη μέθοδο. Συνήθως χρησιμοποιούνται κελύφη γεμάτα με νερό για να λυθεί το παραπάνω λειτουργικό πρόβλημα.



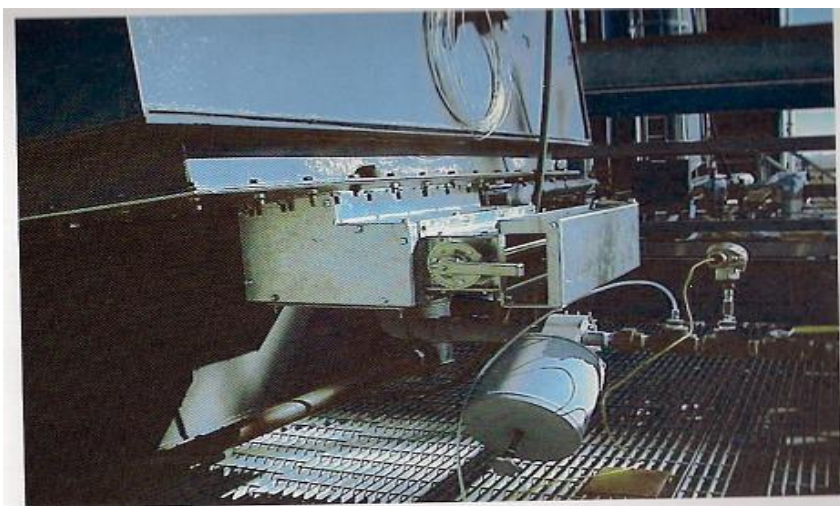
Εικόνα 1.2: Κλίβανος δοκιμών για προσομοίωση κλιβάνων αιθυλενίου



Εικόνα 1.3: Κλίβανος δοκιμών για προσομοίωση ελέγχων καύσης στο κάτω μέρος



Εικόνα 1.4: Κλίβανος δοκιμών για προσομοίωση ελέγχων καύσης στο πάνω μέρος



Εικόνα 1.5: Κλίβανος δοκιμών για προσομοίωση τοιχωμάτων καυστήρων

1.2.2 Επιλογή των καυσίμων ελέγχου

Τα κύρια κριτήρια για την επιλογή καυσίμου περιλαμβάνουν:

- Ομοιότητα στα χαρακτηριστικά της καύσης με το πραγματικό καύσιμο να προσδιορίζεται για την εφαρμογή
- Οικονομία
- Διαθεσιμότητα
- Συμβατότητα με τα συστήματα, λειτουργίες και εξοπλισμό

Η εικόνα 1.6 δείχνει μαζί μόνιμες και φορητές δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμου. Οι φορητές δεξαμενές μπορούν να χρησιμοποιηθούν όταν ο έλεγχος απαιτείται σε ειδικά καύσιμα.

Πιθανόν το πιο κρίσιμο στοιχείο ενός επιτυχημένου ελέγχου ενός κλιβάνου είναι η επιλογή του καυσίμου ελέγχου. Αν δεν ταιριάζουν τα βασικά συστατικά της πραγματικής εγκατάστασης, οι εκπομπές, η σταθερότητα, το σχήμα της φλόγας που φαίνεται κατά τον έλεγχο του κλιβάνου μπορεί να είναι σημαντικά διαφορετικά εάν συγκριθούν με τα αποτελέσματα του πεδίου. Το καύσιμο μπορεί να αναμιχθεί για να ταιριάσει με τη τιμή της θερμότητας και το μοριακό βάρος με αυτό που απαιτείται.

Το υδρογόνο και το συστατικό του διαλύτη του αερίου πρέπει να είναι παρόμοιο σε ογκομετρική αναλογία με το προσδιορισμένο καύσιμο αέριο για την

πραγματική εφαρμογή γιατί αυτές οι αναλογίες έχουν σημαντική επίπτωση στην απόδοση του καυστήρα.



Εικόνα 1.6: Δεξαμενές αποθήκευσης καυσίμων

Ο δείκτης Wobbe συχνά χρησιμοποιείται σαν κριτήριο για τον προσδιορισμό του μίγματος ελέγχου που θα χρησιμοποιηθεί για να προσομοιάσει ένα καύσιμο.

Ο δείκτης Wobbe είναι η υψηλότερη θερμογόνος τιμή (HHV-Higher Heating Value) ενός καυσίμου διαιρούμενη με τη ρίζα της ειδικής του βαρύτητας (SG-Specific Gravity) :

$$\text{Wobbe index} = \frac{HHV}{\sqrt{SG}} \quad (1)$$

Η ειδική βαρύτητα για ένα αέριο είναι ο λόγος του μοριακού βάρους του αερίου προς το μοριακό βάρος του αέρα. Η ειδική βαρύτητα για ένα υγρό είναι ο λόγος της πυκνότητας του υγρού προς την πυκνότητα του νερού. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι τα δύο ρευστά πρέπει να συγκρίνονται στην ίδια θερμοκρασία. Δύο καύσιμα θα παρέχουν την ίδια απελευθέρωση θερμότητας από μια ποσότητα ενός αερίου σε δεδομένη παροχή πίεσης εάν ο δείκτης Wobbe είναι ο ίδιος.

Ενώ ο δείκτης Wobbe είναι μια καλή ένδειξη για να φανεί εάν ένα καύσιμο είναι παρόμοιο, είναι σημαντικό να δοκιμαστεί και ταυτιστεί η χαμηλότερη θερμογόνος τιμή (LHV-Lower Heating Value), το μοριακό βάρος και η αδιαβατική θερμοκρασία φλόγας για διασφάλιση μια καλής προσομοίωσης. Τα συνήθη διαθέσιμα αέρια καύσιμα για ανάμιξη σε καλά εξοπλισμένες εγκαταστάσεις ελέγχου

περιλαμβάνουν: φυσικό αέριο, προπάνιο, προπυλένιο, βουτάνιο, υδρογόνο, άζωτο και διοξείδιο του άνθρακα. Η σύθνεση του φυσικού αερίου μεταβάλλεται από τη γεωγραφική θέση.

Αφού έχει λυθεί το θέμα με τα καύσιμα ελέγχου, πρέπει να προσδιοριστεί ποιες μετρήσεις χρειάζεται να γίνουν και ποια όργανα θα απαιτηθούν.

1.3 Όργανα μέτρησης και μετρήσεις

Οι μετρήσεις που γενικά χρειάζονται κατά τη διάρκεια του ελέγχου, αν και δεν είναι οι μόνες, είναι η πίεση και η θερμοκρασία του καυσίμου, η μέτρηση της ροής ρευστού, οι διαστάσεις της φλόγας και οι μετρήσεις των εκπομπών.

1.3.1 Μέτρηση πίεσης και θερμοκρασίας αέρα

Οι περισσότερες εφαρμογές για τους υδρογονάνθρακες και τις πετροχημικές βιομηχανίες που ελέγχονται σήμερα είναι εφαρμογές φυσικής ροής όπου πρακτική μέτρηση της ροής αέρα δεν μπορεί να γίνει χωρίς επίπτωση στην ποιότητα των καταγεγραμμένων μετρήσεων.

A) Φυσική ροή

Ο αέρας καύσης για τους καυστήρες φυσικής ροής εισάγεται μέσω του καυστήρα, είτε μέσω της αρνητικής πίεσης μέσα στον κλίβανο ή από την πίεση του αερίου καυσίμου που προωθεί τον αέρα μέσω ενός αγωγού τύπου venturi. Οι καυστήρες αυτής της κατηγορίας είναι οι απλούστεροι και οι λιγότερο ακριβοί και συχνότερα βρίσκονται στις βιομηχανίες υδρογονανθράκων και στις πετροχημικές. Επειδή η διαθέσιμη ενέργεια για εισαγωγή του αέρα μέσα στον καυστήρα είναι σχετικά χαμηλή, δεν υπάρχει πρακτικός τρόπος να μετρηθεί η ροή αέρα μέσω του καυστήρα. Σαν αποτέλεσμα, η θερμοκρασία του αέρα, η πίεση του αέρα περιβάλλοντος, η ροή ρευστού και οι μετρήσεις της περιόσμιας αέρα είναι κρίσιμες για τον ακριβή υπολογισμό της ροής αέρα μέσω ενός καυστήρα φυσικής ροής.

B) Βεβιασμένη ροή

Οι καυστήρες βεβιασμένου ρεύματος ροής είναι παροχετευμένοι με αέρα καύσης σε θετική πίεση. Ο αέρας παρέχεται με μηχανικά μέσα (ανεμιστήρες, φυσητήρες). Χρησιμοποιούν την πίεση του αέρα για να παρέχουν υψηλό βαθμό ανάμιξης μεταξύ καυσίμου και αέρα. Επίσης, με τα συστήματα βεβιασμένης ροής, ο έλεγχος του αέρα μπορεί να ρυθμίζεται καλύτερα, έτσι επιτρέπει στους κλιβάνους να

λειτουργούν σε χαμηλότερους ρυθμούς περίσσειας αέρα πάνω από ευρύ φάσμα καύσης και επιτρέποντας τον χρήστη να πραγματοποιήσει και αντιληφθεί οικονομική ωφέλεια. Η εικόνα 1.7 δείχνει ένα παράδειγμα ενός φορητού προθερμαστή αέρα που χρησιμοποιείται για τον έλεγχο με βεβαιωμένη ροή.



Εικόνα 1.7: Προθερμαντήρας αέρα

Με τη χρήση ενός συστήματος παροχής αέρα, η ροή αέρα μπορεί να μετρηθεί για να παρέχει μια άμεση μέθοδο μέτρησης της αεροροής για την πιστοποίηση της ροής αέρα μέσω του κλιβάνου. Η μέτρηση της ροής καυσίμου επίσης χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της αεροροής. Γνωρίζοντας την ποσότητα του καυσίμου που αναφλέχθηκε και την περίσσεια αέρα που εξέρχεται του κλιβάνου, η ποσότητα του καταναλωθέντος αέρα από την καύση στον καυστήρα μπορεί να υπολογιστεί.

Γ) Καυσαέρια στροβιλομηχανής

Μερικές εφαρμογές χρησιμοποιούν καυσαέρια στροβιλομηχανών, συχνά αναμεμιγμένα με αέρα, σαν την πηγή του οξυγόνου για τους καυστήρες. Το ρεύμα καυσαερίων στροβιλομηχανής ή το μίγμα κανονικά περιέχει μεταξύ 13 και 17% οξυγόνο. Αυτοί οι καυστήρες είναι βεβαιωμένης ροής. Όταν γίνεται έλεγχος καύσης σε αυτή την περίπτωση είναι σημαντικό να ταιριάζουν οι απαιτήσεις της κατασκευασθείσας εγκατάστασης (όπως π.χ. πίεση ρεύματος, θερμοκρασία, περιεχόμενο οξυγόνο) με αυτό του κλιβάνου ελέγχου. Συνήθως κατά τη διάρκεια

αυτού του τέστ, μια δεύτερη σειρά αισθητήρων πρέπει να προσαρμοστεί για να μετρά συνεχώς τη σύνθεση του ρεύματος των καυσαερίων από την στροβιλομηχανή.

1.3.2 Μέτρηση θερμοκρασίας αερίου του κλιβάνου

Ένα πυρόμετρο αναρρόφησης (επίσης γνωστό σαν θερμοζεύγος αναρρόφησης ή θερμοζεύγος ταχύτητας) είναι ευρέως προτιμώμενη μέθοδος για λήψη ακριβών μετρήσεων θερμοκρασίας αερίου στο αφιλόξενο περιβάλλον ενός κλιβάνου. Εάν ένα γυμνό θερμοζεύγος εισαχθεί στο περιβάλλον ενός θερμού κλιβάνου για τη μέτρηση της θερμοκρασίας αερίου, λάθη μέτρησης μπορούν να προκύψουν λόγω της ακτινοβολίας ανταλλαγής μεταξύ του θερμοζεύγους και του περιβάλλοντος χώρου. Ένα θερμοζεύγος αναρρόφησης είναι ένα θερμοζεύγος μέσα σε προστατευτικό κέλυφος ακτινοβολίας. Ένας εγχυτής γρήγορα αναρροφά το θερμό αέριο κατά μήκος του θερμοζεύγους. Αυτή η διαμόρφωση μεγιστοποιεί την μετάδοση θερμότητας στο θερμοζεύγος ενώ ελαχιστοποιεί την ανταλλαγή ακτινοβολίας μεταξύ του θερμοζεύγους και των γειτονικών σημείων, διασφαλίζοντας ότι η θερμοκρασία ισορροπίας είναι κοντά σε αυτήν της πραγματικής θερμοκρασίας του αερίου.

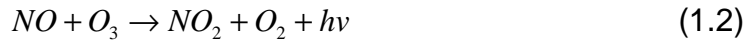
1.3.3 Ανάλυση εκπομπών ρύπων

Η ανάλυση των εκπομπών είναι ένα σημαντικό κριτήριο για τον έλεγχο του κλιβάνου. Οι κύριοι ρύποι στα προϊόντα της καύσης είναι NO_x, CO, UHCs και σωματίδια.

A) Εκπομπές NO_x

Η φωτοχημική μέθοδος χρησιμοποιείται πιο συχνά για την ανάλυση των NO_x. Αυτή η μέθοδος είναι ικανή να μετρήσει οξειδία του αζώτου από λίγα ppm έως και 5000 ppm. Τα νέα μοντέλα αναλυτών είναι ελεύθερα από τα μειονεκτήματα που παρουσιάζονταν στα παλιότερα αναλογικά συστήματα και παρέχουν αυξημένη σταθερότητα, ακρίβεια και ευελιξία στις μετρήσεις, κάτι που είναι και το ζητούμενο σε μια βιομηχανική μονάδα.

Η αρχή λειτουργίας αυτών των αναλυτών βασίζεται στην αντίδραση του μονοξειδίου του αζώτου (NO) με το όζον:



Το δείγμα αφού τοποθετηθεί στον θάλαμο του αντιδραστήρα, αντιδρά με το παραγόμενο όζον που παράγεται από την εσωτερική συσκευή παραγωγής όζοντος. Η παραπάνω αντίδραση παράγει μια χαρακτηριστική λάμψη με μια ένταση ανάλογη με τη συγκέντρωση του NO. Ειδικά, εκπομπή φωτός προκύπτει όταν ηλεκτρονικά διεγερόμενα μόρια NO₂ πέφτουν σε χαμηλότερες ενεργειακές καταστάσεις. Η εκπομπή φωτός ανιχνεύεται από έναν σωλήνα φωτοπολλαπλασιαστή, που παράγει ένα αναλογικό ηλεκτρονικό σήμα. Το ηλεκτρονικό σήμα αναλύεται από έναν Η/Υ μέσω μιας μέτρησης συγκέντρωσης NO. Για να μετρηθούν τα NO_x (NO και NO₂), το NO₂ μετατρέπεται σε NO φτάσει στη θάλαμο αντίδρασης. Αυτή η αλλαγή λαμβάνει μέρος σε έναν μετατροπέα που θερμαίνεται σε περίπου 625°C. Όταν φτάσει στο θάλαμο αντίδρασης, τα αλλαγμένα μόρια μαζί με τα κανονικά μόρια NO αντιδρούν με το όζον. Το τελικό σήμα αναπαριστά τη συγκέντρωση του NO_x.

B) Εκπομπές Μονοξειδίου του Ανθρακα

Το CO που εξέρχεται από έναν κλίβανο θα αρχίσει να αυξάνεται αργά ενώ ο ρυθμός περίσσειας αέρα θα μειώνεται. Η αύξηση θα επιταχυνθεί όσο τα όρια της περίσσειας αέρα θα συνεχίζουν να αποκλίνουν σχεδόν κοντά στο μηδέν. Τυπικά σημεία ορίων ελέγχου είναι μεταξύ 150 και 200 ppm CO. Αυτό το πεδίο συνήθως συντελεί στην καλύτερη συνολική θερμική απόδοση. Συγκεκριμένα σημεία που βρίσκονται οι εγκαταστάσεις ίσως χρειάζονται χαμηλότερα επίπεδα εκπομπών. Η παρουσία ακόρεστων υδρογονανθράκων μπορεί να οδηγήσει σε αντιδράσεις πυρόλυσης και πολυμερισμού, οδηγώντας σε μεγαλύτερη πιθανότητα ότι CO μπορεί να παραχθεί.

Καυστήρες με μεγαλύτερη πτώση πίεσης του αέρα καύσης συνήθως έχουν χαμηλότερες εκπομπές CO σε ισοδύναμα επίπεδα περίσσειας αέρα. Ο λόγος είναι ότι αυτοί οι καυστήρες παρέχουν έναν πολύ μεγάλο βαθμό ανάμιξης που επιτρέπει βελτιωμένη καύση σε χαμηλότερα επίπεδα περίσσειας αέρα.

Αν και το CO μπορεί να παρακολουθείται συνεχώς με χρωματογραφική ανάλυση, χρησιμοποιώντας ανιχνευτές θερμικής αγωγιμότητας ή με μεθόδους φασματοσκοπίας, η ατομική ανάλυση πραγματοποιείται καλύτερα χρησιμοποιώντας μια τεχνική υπέρυθρου μη διασκορπισμού. Τα κύρια πλεονεκτήματα αυτής της

τεχνικής είναι ότι είναι αρκετά προσδιορισμένη στο CO και έχει μικρότερα πεδία μαζί με ευρύτερο δυναμικό πεδίο, αυξημένη ευαισθησία και σταθερότητα και εύκολη λειτουργία λόγω των διαγνωστικών εργαλείων ελέγχου μέσω H/Y. Ένα επιπλέον πλεονέκτημα αυτής της τεχνικής είναι ότι οι αλλαγές στη θερμοκρασία και πίεση του υπό δοκιμή αερίου είναι άμεσα ανιχνεύσιμες από το σύστημα του H/Y και αυτά τα αποτελέσματα δεν επηρεάζονται από τις διακυμάνσεις στις συνθήκες λειτουργίας.

Η βασική αρχή αυτών των αναλυτών βασίζεται στην ακτινοβολία από μια πηγή υπέρυθρου που περνά μέσω ενός φίλτρου αερίου που εναλλάσσεται μεταξύ CO και N₂ εξαιτίας της περιστροφής του κυλίνδρου του φίλτρου. Το φίλτρο αερίου CO δρά για να παράγει μια δέσμη αναφοράς που δεν μπορεί να εξασθενήσει από το CO στο κελί δοκιμής.

Η πλευρά του κυλίνδρου του φίλτρου με το N₂ είναι διαφανής στην IR ακτινοβολία και επομένως παράγει μια μετρούμενη δέσμη που μπορεί να απορροφηθεί από το CO στο κελί ελέγχου. Αυτοί οι αναλυτές μπορούν να μετρήσουν από 0.1 ppm έως 1000 ppm CO υπό καλά ελεγχόμενες συνθήκες.

Γ) Εκπομπή οξυγόνου

Η συγκέντρωση του οξυγόνου μπορεί βολικά να μετρηθεί από χρωματογραφικές μεθόδους χρησιμοποιώντας ανιχνευτές θερμικής αγωγιμότητας και επίσης χαμηλής ανάλυσης φασματοσκοπία. Ατομικές μετρήσεις της συγκέντρωσης του οξυγόνου γίνονται ευρέως από αναλυτές βασιζόμενοι σε βασικές πολωγραφικές τεχνικές.

Δ) Εκπομπές UHCs

Οι UHCs αυξάνονται καθώς ο ρυθμός περίσσειας αέρα μειώνεται. Η καύση του υδρογόνου και του πλούσιου σε παραφίνη καυσίμου θα παράγει μια μικρή ποσότητα υπολειμμάτων καύσης. Η παρουσία ακόρεστων υδρογονανθράκων οδηγεί σε αντιδράσεις πυρόλυσης και πολυμερισμού που καταλήγουν σε περισσότερα παραπροϊόντα καύσης. Οι ακόρεστοι υδρογονάνθρακες, τα χλωρίδια, οι αμίνες και οι συναφείς ενώσεις μπορούν να προκαλέσουν βλάβες στα άκρα του κλιβάνου, διαταράσσοντας και αλλοιώνοντας την επιθυμητή ανάμιξη καυσίμου-αέρα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε μια επιπλέον αύξηση του επιπέδου των παραπροϊόντων. Τα βαρέα κλάσματα του πετρελαίου μπορούν να παράγουν μεγαλύτερα επίπεδα παραπροϊόντων από ότι τα ελαφρύτερα κλάσματα του πετρελαίου. Τα βαρύτερα

συστατικά δεν μπορούν εύκολα να διασπαστούν και καούν και έτσι αντιδράσεις πολυμερισμού και πυρόλυσης είναι πιθανόν να συμβούν.

Οι καυστήρες βεβιασμένης ροής παρέχουν καλύτερη ανάμιξη του μίγματος καυσίμου-αέρα και επομένως παράγουν μειωμένα παραπροϊόντα σε ισοδύναμους ρυθμούς περίσσειας αέρα.

Χρωματογραφικές τεχνικές συχνά χρησιμοποιούνται για τον καθορισμό των VOCs σε εγκαταστάσεις διυλιστηρίων.

Ε) Εκπομπές σωματιδίων

Η σωστή καύση αερίων καυσίμων δεν παράγει σημαντικές ποσότητες σωματιδίων παραγόμενων από την καύση. Η εκπομπές σωματιδίων γενικά συμβαίνουν στον καυστήρα με καύσιμα βαρέα κλάσματα του πετρελαίου. Οι κλίβανοι με μεγάλους στροβιλισμούς και/ή υψηλή πίεση αέρα καύσης είναι λιγότερο πιθανό να παράγουν σωματίδια. Παρέχουν έναν αρκετά υψηλό βαθμό ανάμιξης για να μειώσουν τη δημιουργία σωματιδίων. Μεγαλύτερη διάχυση του βαρέος κλάσματος καυσίμου σε μικρότερα σωματίδια θα μειώσει τις εκπομπές των σωματιδίων. Ο υψηλός βαθμός στροβιλισμού μαζί με την ζώνη αντίδρασης υψηλής θερμοκρασίας, δημιουργεί υψηλού βαθμού καύση των σωματιδίων. Όμως, αυτοί οι κλίβανοι επίσης εκπέμπουν μια αυξημένη ποσότητα NOx.

Τα σωματίδια από τις βιομηχανίες υδρογονανθράκων είναι οι ρύποι που εκπέμπονται από τα καυσαέρια των καπνοδόχων ή τα απορριπτόμενα αέρια των διαφορετικών διαδικασιών και λειτουργιών σε αυτές τις εγκαταστάσεις.

Το πιο σημαντικό κριτήριο για την εκτίμηση των σωματιδίων είναι το μέγεθος τους. Έχει παρατηρηθεί ότι διαφορετικά αποτελέσματα προκύπτουν χρησιμοποιώντας διαφορετικές τεχνικές συλλογής και ανάλυσης των σωματιδίων της καύσης.

Σωματίδια μπορούν να ληφθούν με τεχνικές φιλτραρίσματος, κρούσης και πρόσκρουσης. Ινες γυαλιού και φίλτρα τύπου μεμβράνης είναι αποδοτικά για 0.3 μm μεγέθη σωματιδίων. Αυτά τα φίλτρα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε έναν συγκρατητή φίλτρων εν σειρά, ο οποίος μπορεί να τοποθετηθεί μέσα στην θέση λήψης του δείγματος έτσι ώστε το φίλτρο να λαμβάνει τη θερμοκρασία του ρεύματος του αερίου.

Για τη λήψη σωματιδίων με κρούση ένας δειγματολήπτης σε στοίβα τύπου Anderson μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Εάν ο δειγματολήπτης δεν μπορεί να τοποθετηθεί μέσα στην εσωτερική θέση λήψης δείγματος μπορεί να τοποθετηθεί

εξωτερικά με μια ρύθμιση για να θερμαίνεται έτσι ώστε να αποφευχθεί συμπύκνωση μέσα στο δείγμα.

Η λήψη σωματιδίων με πρόσκρουση πραγματοποιείται χρησιμοποιώντας μια σειρά από τρεις ή τέσσερις σωλήνες με υγρό απεσταγμένο νερό όγκου 250mL ο καθένας, όπου μετά την πρόσκρουση γίνεται συγκράτηση των σωματιδίων και υπολογίζεται η συγκέντρωσή τους.

Τα δείγματα από τα φίλτρα αναλύονται με μικροσκόπιο φωτός και ηλεκτρονικό μικροσκόπιο.

Ο χρόνος για να ληφθεί το δείγμα διαφέρει ανάλογα με την τεχνική που χρησιμοποιείται. Χρειάζονται 1-5 λεπτά για τη λήψη δειγμάτων με τις τεχνικές τύπου Anderson και με φίλτρα ενώ χρειάζονται γύρω στα 20 λεπτά για την τεχνική της πρόσκρουσης.

Πρέπει να σημειωθεί ότι οι τεχνικές λήψης δειγμάτων που προκαλούν συσσώρευση, όπως τα φίλτρα γυαλιού, υγρή λήψη και λήψη απορριπτέων από επιφάνειες λήψης πρέπει να αποφεύγονται λόγω της μεγάλης πιθανότητας λάθους εκτίμησης της ποσότητας των σωματιδίων.

1.3.4 Μέτρηση ρυθμού ροής καυσίμου

Ενας από τους πιο σημαντικά θέματα του ελέγχου ενός κλιβάνου είναι η μέτρηση του καυσίμου. Όταν λειτουργεί ένας καυστήρας φυσικής ροής, είναι δύσκολο να μετρηθεί ο ρυθμός ροής του αέρα καύσης. Επομένως, ακριβής μέτρηση του ρυθμού ροής για κάθε συστατικό ξεχωριστά χρησιμοποιείται για να δημιουργήσει το μίγμα καυσίμου που είναι απαραίτητο για να μετρηθεί η απελευθέρωση θερμότητας του κλιβάνου και η απόδοσή του.

Υπάρχουν πολλοί τρόποι να μετρηθεί η ροή: μέσω διαφορικής πίεσης, με μαγνητισμό, μέτρηση μάζας, με ταλαντωτή, μέσω στροβίλου, μετρητής coriolis και παροχόμετρα.

Για τον έλεγχο του κλιβάνου ένα διαφορικό παροχόμετρο είναι μια αρκετά καλή λύση.

1.3.5 Διαστάσεις φλόγας

Το σχήμα της φλόγας και οι διαστάσεις της προσδιορίζονται από την επικάλυψη του κλιβάνου, τα ανοίγματα για τη ροή του αερίου, το καύσιμο και την αεροδυναμική του κλιβάνου. Κυκλική επικάλυψη (με πλακίδια) του κλιβάνου χρησιμοποιείται για να παράγει κωνικό ή κυλινδρικό σχήμα. Επίπεδης φλόγας

καυστήρες σχεδιάζονται με τετράγωνα πλακίδια καυστήρα και παράγουν φλόγες σχήματος ουράς ψαριού. Πολλοί από τους καυστήρες με υγρά καύσιμα σχεδιάζονται με κυκλικά πλακίδια και παράγουν μια κωνική φλόγα. Το άνοιγμα του άκρου για το καύσιμο προσδιορίζει το σχήμα και το μήκος της φλόγας. Η συνήθης γωνία του άκρου του κλιβάνου είναι από 40 έως και 70°. Με μια γωνία 50°, το μήκος της φλόγας θα είναι περίπου 0.7m ανά MMBtu/hr για ελεύθερης ροής καυστήρες. Μειώνοντας τη γωνία σε 40° παράγεται μια πιο μακριά και λεπτή φλόγα. Αυξάνοντας τη γωνία σε 70° παράγεται μια κοντή και σχετικά μεγάλου πλάτους φλόγα.

Οι βεβιασμένης ροής καυστήρες παράγουν κοντύτερη φλόγα λόγω της καλύτερης ανάμιξης μεταξύ του καυσίμου και του αέρα. Όταν πραγματοποιείται καύση σε συνδυασμό μαζί υγρά και αέρια καύσιμα, αυτό θα αυξήσει το μήκος και τον όγκο της φλόγας και μπορεί να προκαλέσει οπτανθρακοποίηση των άκρων των σημείων εισόδου των καυσίμων.

1.3.6 Ροή θερμότητας

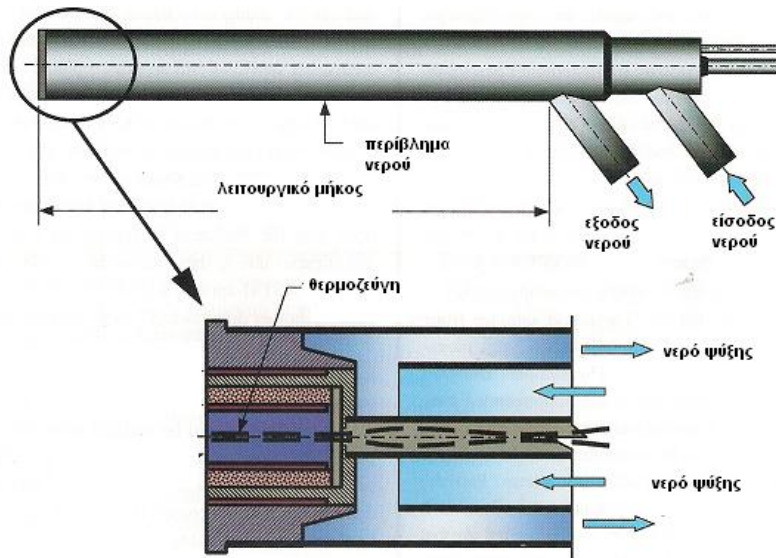
Πολλές τεχνικές έχουν αναπτυχθεί για να μετρηθούν τα επίπεδα της ροής θερμότητας σε διαφορετικές θέσεις μέσα σε έναν κλίβανο. Τα όργανα που έχουν σχεδιαστεί επιτυχώς να λαμβάνουν δεδομένα ροής θερμότητας στο αφιλόξενο περιβάλλον ενός κλιβάνου σε πραγματικές διαστάσεις είναι συνήθως αισθητήρες ψυχόμενοι με νερό, οι οποίοι εισέρχονται μέσω μιας οπής του κλιβάνου στη θέση ενδιαφέροντος. Οι αισθητήρες αυτοί μπορούν να χρησιμοποιούν τα πυρόμετρα που μετρούν ακτινοβολία ή τα συνολικά (ακτινοβολίας και μετάδοσης) επίπεδα ροής θερμότητας.

Το στοιχείο του αισθητήρα συνήθως αποτελείται από θερμικού τύπου αισθητήρα που δίνει σαν έξοδο την τάση την ανάλογη με τη θερμοκρασιακή διαφορά μεταξύ της επιφάνειας του στοιχείου που εκτίθεται στη μεταφορά θερμότητας από τον κλίβανο και της περιοχής που ψύχεται και διατηρείται σε σχετικά σταθερή θερμοκρασία και ανάλογα με το σχεδιασμό του στοιχείου αυτού.

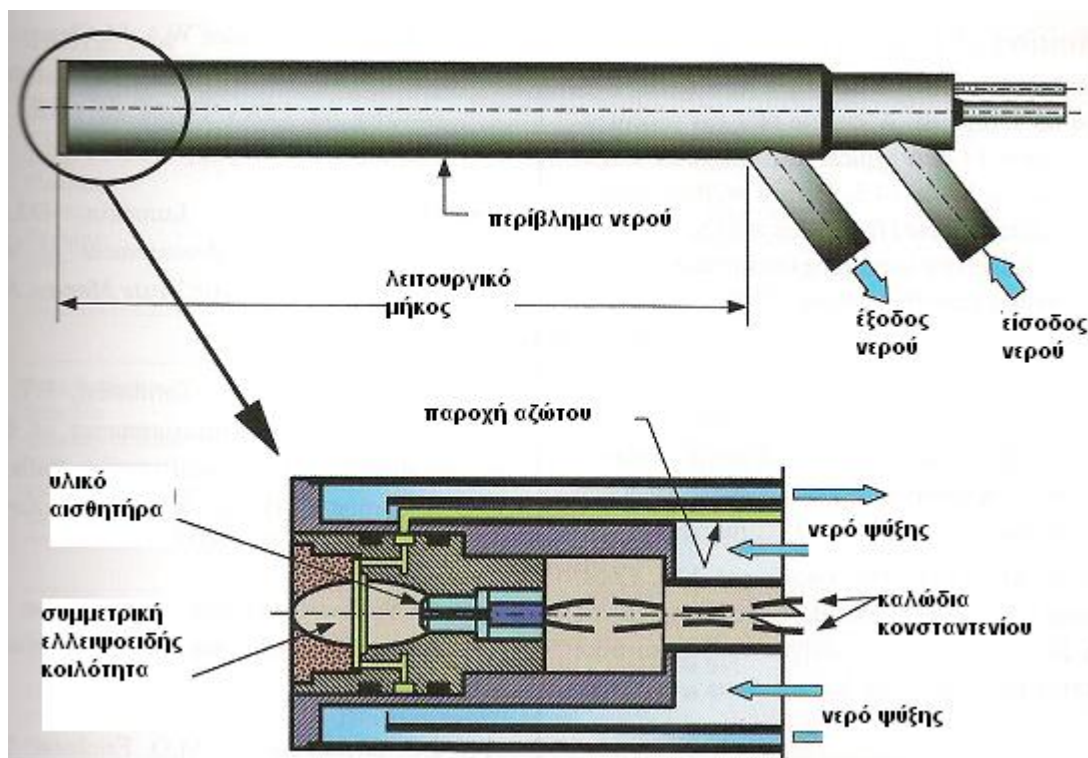
Οι σχεδιασμοί στοιχείων αισθητήρα διαφέρουν λόγω της γεωμετρίας και της διαμόρφωσης των στοιχείων του αισθητήρα. Οι εικόνες 1.8 και 1.9 δείχνουν σχηματικά τυπικούς σχεδιασμούς συσκευών μέτρησης ροής θερμότητας και ακτινοβολίας.

Ενας αισθητήρας που είναι σχεδιασμένος να μετρά μόνο το στοιχείο της ακτινοβολίας της ροής θερμότητας (ραδιόμετρο) μπορεί να χρησιμοποιεί ένα κρύσταλλο, τζάμι

αερίου ή μια ελλειφοειδή κοιλότητα έτσι ώστε να μην λαμβάνει τη μεταφορά θερμότητας στον αισθητήρα.



Εικόνα 1.8: Παράσταση μετρητή ροής θερμότητας



Εικόνα 1.9: Παράσταση ελλειφοειδούς ραδιομέτρου

Κρίσιμοι παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη όταν χρησιμοποιούμε ένα μετρητή ροής θερμότητας περιλαμβάνουν: την ευαισθησία, τη μέθοδο βαθμονομήσεως και ρυθμίσεων, την γωνία θέασης του οργάνου και την τραχύτητα.

1.4 Διαδικασία ελέγχου

A) Προδιαγραφές λειτουργίας καυστήρα

Μερικές από τις παραμέτρους που συνήθως μετρώνται στον έλεγχο του καυστήρα είναι η πίεση του καυσίμου, η πτώση πίεσης του αέρα, εκπομπές θορύβου, εκπομπές NO_x, εκπομπές CO, εκπομπές UHC, εκπομπές σωματιδίων, κατανομές ροής θερμότητας και διαστάσεις φλόγας.

B) Προδιαγραφές διασφάλισης απόδοσης

Οι κύριοι λόγοι που πραγματοποιείται έλεγχος στον καυστήρα είναι ο προσδιορισμός του φακέλου λειτουργίας του καυστήρα όπως και η απόδοση εκπομπών. Με αυτά τα δεδομένα που έχουν συλλεγεί, η απόδοση των καυστήρων στο πεδίο μπορεί να είναι πιο προβλέψιμη και εύκολη στη διαχείριση και λειτουργία.

- Είναι σημαντικό να προσδιοριστεί ποια καύσιμα είναι αυτά για χρήση ή συνεχούς ροής και ποια καύσιμα είναι για εκκίνηση και χρήση σε περιπτώσεις έκτακτης ανάγκης μόνο.

Ετσι, εφόσον είναι προσδιορισμένες επακριβώς οι εκπομπές ρύπων από τα καύσιμα βάσει των προδιαγραφών, ο καυστήρας μπορεί να βελτιστοποιηθεί σε καλύτερο βαθμό και να λειτουργεί με τα καύσιμα κανονικής λειτουργίας.

- Οι εκπομπές θορύβου γίνονται πια τόσο σημαντικές όσο και οι εκπομπές από τις καπνοδόχους των καυσαερίων. Σε εγκαταστάσεις διυλιστηρίων που εδράζονται κοντά σε πυκνοκατοικημένες περιοχές, είναι σημαντικό να διατηρείται ο θόρυβος στο ελάχιστο δυνατό επίπεδο. Ο έλεγχος του καυστήρα συχνά πραγματοποιείται σε έναν μονό καυστήρα και οι εκπομπές θορύβου συχνά μετρώνται περίπου 1m από τον καυστήρα. Τα δεδομένα που θα συλλεχθούν κατά τη διάρκεια του ελέγχου περιλαμβάνουν μια συνολική μέτρηση dBA και μέτρηση μπάντας οκτάβας που κυμαίνεται συνήθως από 30 έως 8000 Hz.

Όταν συλλέγονται τα δεδομένα του θορύβου, είναι σημαντικό να γίνει η μέτρηση και εν λειτουργία του κλιβάνου αλλά και χωρίς να λειτουργεί, έτσι ώστε να ληφθεί και ο περιβάλλον θόρυβος, που ίσως να μην χρειάζεται να προσδιοριστεί η συνεισφορά του θορύβου από τον κλίβανο.

- Το καύσιμο και η πτώση πίεσης του πλευρικού αέρα πρέπει επίσης να επιβεβαιωθεί κατά τη διάρκεια του ελέγχου. Ο έλεγχος επιβεβαιώνει ότι ο καυστήρας θα έχει τη σωστή δυναμικότητα για την απαραίτητη λειτουργία του για τις εφαρμογές που είναι σχεδιασμένος να ικανοποιεί.

Αυτά τα δύο χαρακτηριστικά στοιχεία παρουσιάζονται κατά τη διάρκεια του ελέγχου. Είναι σημαντικό ότι ο μηχανικός ελέγχου πρέπει να είναι σίγουρος ότι το καύσιμο του χρήστη της εγκατάστασης θα ικανοποιήσει την απαίτηση πίεσης σχεδιασμού βασιζόμενος στα δεδομένα που έλαβε από τα καύσιμα ελέγχου.

Όταν επιβεβαιώνεται η πτώση πίεσης του πλευρικού αέρα, ο μηχανικός ελέγχου πρέπει να προσδιορίσει την ανύψωση και το πεδίο θερμοκρασιών του αέρα περιβάλλοντος στο οποίο οι κλίβανοι θα υπόκεινται όταν εγκατασταθούν στο πεδίο.

- Οι διαστάσεις της φλόγας σε έναν κλίβανο σε κανονικό μέγεθος συνήθως βρίσκονται από υποκειμενική μέτρηση. Ο φάκελος της φλόγας συχνά προσδιορίζεται από οπτική παρατήρηση. Αυτή η παράμετρος λειτουργίας είναι σημαντικό να διασφαλίσει ότι η φλόγα δεν θα προσκρούσει στους αγωγούς λειτουργίας του κλιβάνου ή δεν θα έχει αλληλεπίδραση με φλόγα άλλων κλιβάνων.

Η πρόσκρουση της φλόγας στους σωλήνες μπορεί να καταστρέψει τους λειτουργικούς σωλήνες και να οδηγήσει στο πρόωρο σταμάτημα του κλιβάνου για επισκευές με σαφώς μεγάλο κόστος για τον χρήστη της εγκατάστασης.

Η αλληλεπίδραση της φλόγας μεταξύ δύο ή περισσότερων κλιβάνων μπορεί να οδηγήσει σε επιμήκεις, ανεξέλεγκτες φλόγες με υψηλότερες εκπομπές. Με αυτή την πληροφορία ο μηχανικός ελέγχου μπορεί να ρυθμίσει το φάκελο της φλόγας έτσι ώστε να βελτιώσει της απόδοση των κλιβάνων στις εγκαταστάσεις του τελικού χρήστη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: Εγκατάσταση και Συντήρηση

2.1 Εισαγωγή

Η σωστή εγκατάσταση των καυστήρων σε μια θερμική εγκατάσταση είναι μεγάλης σημασίας για την καλύτερη δυνατή απόδοση. Κατά τη διάρκεια της εγκατάστασης, είτε στην αρχική κατασκευή της θερμικής εγκατάστασης ή σε μεταγενέστερο στάδιο, οι κρίσιμες διαστάσεις και κατευθύνσεις των καυστήρων πρέπει να παρατηρηθούν και αξιολογηθούν. Επαρκής συντήρηση θα επιτρέψει στους καυστήρες να παραδώσουν την απόδοση σχεδιασμού για πολλά χρόνια.

2.2 Εγκατάσταση

Μη σωστά εγκατεστημένοι καυστήρες δεν θα λειτουργούν αποδοτικά και μπορούν ακόμα και να καταστρέψουν την θερμική εγκατάσταση κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της. Οι καυστήρες πρέπει να εγκαθίστανται σύμφωνα με την προτεινόμενη διαδικασία του κατασκευαστή του καυστήρα.

2.2.1 Προετοιμασία του θερμαντήρα

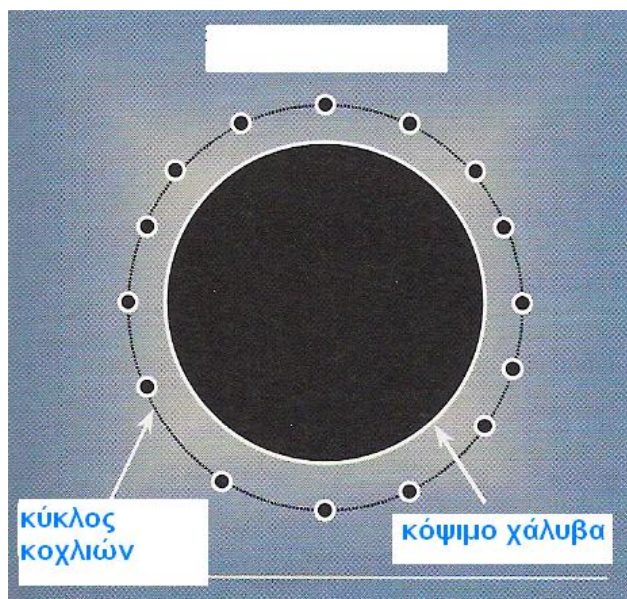
A) Ασφάλεια

Μια λίστα ελέγχου ασφάλειας για την εργασία που θα πραγματοποιηθεί πρέπει να προετοιμαστεί και να διαβαστεί από όλο το προσωπικό που θα δουλέψει. Αυτό μπορεί να διαφέρει και εξαρτάται από τον τύπο της εργασίας και τις απαιτήσεις της εγκατάστασης και της βιομηχανίας που θα εγκατασταθεί. Μια συνήθης απαίτηση είναι η ανεμπόδιστη πρόσβαση για την τελική εγκατάσταση του καυστήρα.

Μια λεπτομερής άδεια που θα περιλαμβάνει τις απαιτήσεις ασφάλειας θα πρέπει να προετοιμάζεται από την εταιρία που θα χρησιμοποιήσει τον εξοπλισμό.

B) Νέοι θερμαντήρες

Εγκαθιστώντας νέους καυστήρες σε νέους θερμαντήρες είναι συχνά πιο εύκολο από την εγκατάσταση νέων καυστήρων σε υπάρχοντες θερμαντήρες. Ο εγκαταστάτης συγκρίνει τα σχέδια του κατασκευαστή του θερμαντήρα και του κατασκευαστή του καυστήρα για τις απαιτούμενες διαμορφώσεις στην εγκατάσταση του θερμαντήρα και την τοποθέτηση του καυστήρα και των μπουλονιών του περιλαμβάνοντας τον κύκλο των μπουλονιών και το μέγεθος (εικόνα 2.1).



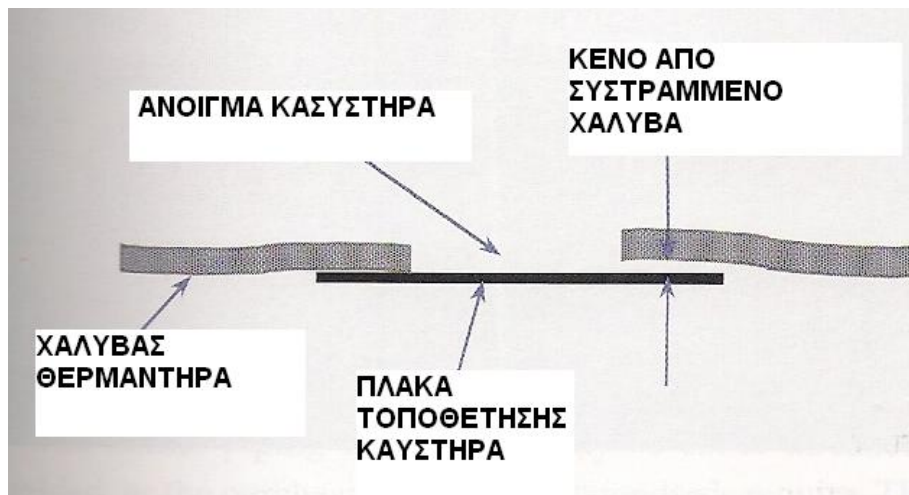
Εικόνα 2.1: Κόψιμο χάλυβα και κύκλος κοχλιών σε νέο θερμαντήρα

Αυτά συγκρίνονται με μετρήσεις πεδίου των ίδιων διαστάσεων. Εάν ανακαλυφθούν διαφορές, πρέπει να επιλυθούν πριν τη διαδικασία της εγκατάστασης γιατί αλλιώς θα υπάρχουν προβλήματα που θα αναγκάσουν τη διακοπή των εργασιών και την καθυστέρηση του έργου με σοβαρές οικονομικές επιπτώσεις για τον τελικό χρήστη λόγω της καθυστερημένης λειτουργίας της εγκατάστασης.

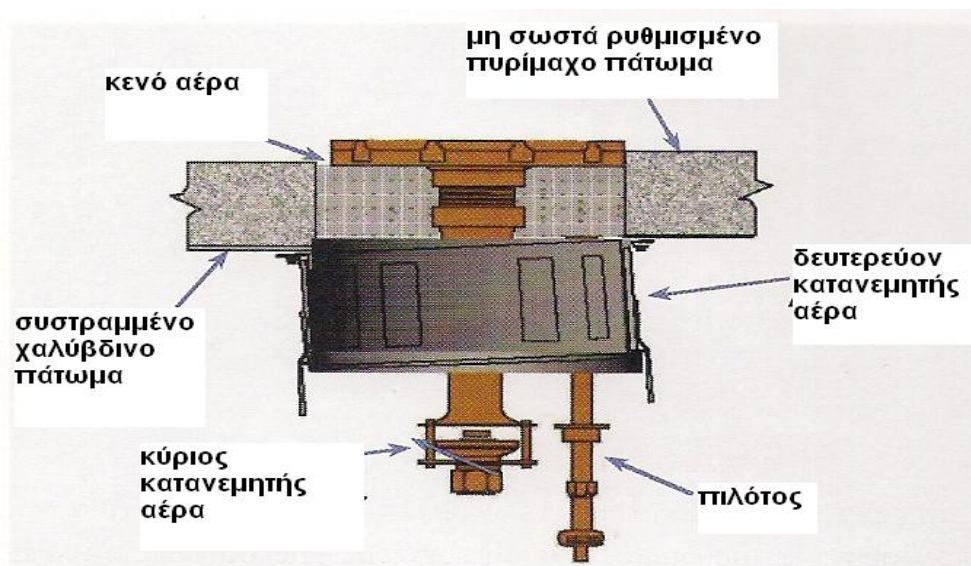
Το μέταλλο του θερμαντήρα ελέγχεται για παρεμβολές με το μέταλλο του καυστήρα και για επιπεδότητα. Κάθε απαραίτητη εργασία πρέπει να ολοκληρωθεί πριν την εγκατάσταση του καυστήρα.

Γ) Υπάρχοντες θερμαντήρες

Εγκαθιστώντας καυστήρες σε υπάρχοντες θερμαντήρες είναι συχνά πιο δύσκολο επειδή κάποιες πυρίμαχες πλάκες χρειάζεται να μετακινηθούν, οι νέοι καυστήρες μπορεί να είναι διαφορετικών μεγεθών από τους παλιούς καυστήρες και/ή το μέταλλο του θερμαντήρα μπορεί να έχει τυλιχθεί μετά από χρόνια σε χρήση (εικόνα 2.2). Η τύλιξη μπορεί να κάνει δύσκολη τη διόρθωση των ανοχών εγκατάστασης που χρειάζονται για τη σωστή απόδοση του καυστήρα. Η εικόνα 2.3 παρουσιάζει την λάθος εγκατάσταση ενός καυστήρα υπό γωνία. Μια τέτοια εγκατάσταση μπορεί να δημιουργήσει ανεπιθύμητα χαρακτηριστικά φλόγας και να κάνει δύσκολη την λειτουργία στοιχείων του καυστήρα όπως τους διανεμητές αέρα.

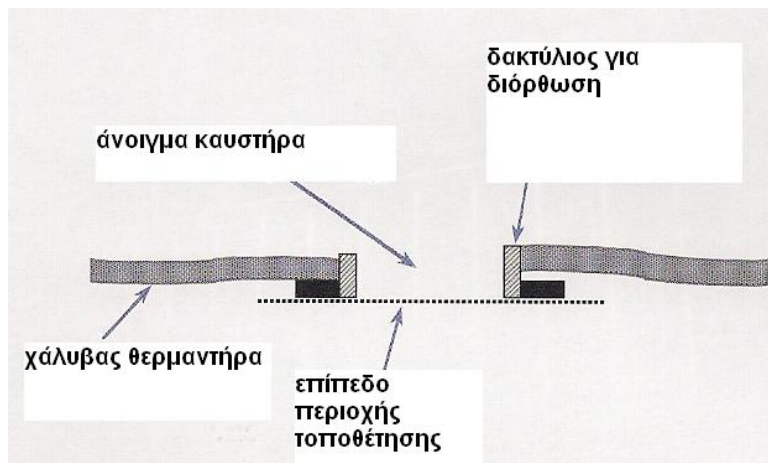


Εικόνα 2.2: Συστραμμένος χάλυβας στο κέλυφος ενός θερμαντήρα.



Εικόνα 2.3: Καυστήρας τοποθετημένος λανθασμένα υπό γωνία λόγω συστραμμένου κελύφους.

Το μέταλλο του καυστήρα πρέπει να έχει τέτοιο επίπεδο έτσι ώστε οι ανοχές να μπορούν να διορθωθούν όταν ο καυστήρας εγκαθίσταται. Εάν το πάχος του μετάλλου του καυστήρα είναι περισσότερο από 6mm εκτός των ορίων, ένα δακτυλίδι ή μια πλάκα προσαρμογής πρέπει να τοποθετηθεί για να παρέχει το κατάλληλο επίπεδο εγκατάστασης. Η πλάκα προσαρμογής είναι ένα ασάλινο δακτυλίδι που εγκαθίσταται στη λειτουργία του καυστήρα και συγκολλάται στο μέταλλο του καυστήρα για να παρέχει την κατάλληλη επιφάνεια μονταρίσματος για τον καυστήρα (εικόνα 2.4).



Εικόνα 2.4: Δακτύλιος διόρθωσης για βελτίωση επιπέδου τοποθέτησης

2.2.2 Εργασίες προεγκατάστασης καυστήρα

A) Υλικά

Ο καυστήρας πρέπει να ανοιχθεί και να ελεγχθεί κατά την παραλαβή έτσι ώστε να διασφαλιστεί ότι όλα τα μέρη είναι σύμφωνα με τον κατάλογο των υλικών που πρέπει να συμπεριλαμβάνονται με τον καυστήρα. Μέρη του καυστήρα που δεν υπάρχουν ή είναι λανθασμένα ή καταστραμμένα πρέπει να αναφερθούν στον κατασκευαστή του καυστήρα έτσι ώστε να διορθωθούν τα λάθη το ταχύτερο δυνατό. Ο κατάλογος των υλικών πρέπει να περιλαμβάνει τα κύρια μέρη του καυστήρα και τα διάφορα μέρη συναρμογής. Ο σωστός τρόπος ελέγχου είναι η επιβεβαίωση των μερών από τα σχέδια του καυστήρα όπως αυτά έχουν διατεθεί από την εταιρία κατασκευής.

B) Σχέδιο καυστήρα

Ο κατασκευαστής του καυστήρα πρέπει να παρέχει σχέδιο για κάθε τύπο από καυστήρα που παραδίδεται σε κάθε πελάτη. Δεν πρέπει να προχωρά η εγκατάσταση του καυστήρα χωρίς τα απαραίτητα σχέδια και οδηγίες. Το σχέδιο του καυστήρα πρέπει να δείχνει τις διαστάσεις του τοιχώματος, την κατεύθυνση του καυστήρα, τις θέσεις των αγωγών του καυσίμου, τη θέση του πιλότου του καυστήρα καθώς και τις μορφές των συνδέσεων στα διαφορετικά σημεία της εγκατάστασης. Όλες αυτές οι πληροφορίες πρέπει να παρέχονται για να διασφαλίζεται η σωστή εγκατάσταση.

Γ) Οδηγίες εγκατάστασης και λειτουργίας

Με κάθε διαφορετική εργασία που αφορά καυστήρα, ο κατασκευαστής του τυπικά στέλνει ένα αντίγραφο από τις οδηγίες εγκατάστασης και λειτουργίας για τον καυστήρα και κάθε βοηθητικό ή δευτερεύοντα εξοπλισμό που παρέχεται. Αυτές οι οδηγίες θα παρέχουν τις ακόλουθες βασικές πληροφορίες:

- Περίληψη κανόνων ασφαλείας
- Προδιαγραφές σχεδιασμού
- Σχέδια αναφοράς
- Λήψη και διαχείριση του εξοπλισμού
- Εγκατάσταση του καυστήρα και του βοηθητικού εξοπλισμού
- Λειτουργία του καυστήρα και του βοηθητικού εξοπλισμού
- Συστάσεις-οδηγίες για τα προβλήματα
- Οδηγίες συντήρησης
- Συστάσεις για κατάλογο επιπλέον υλικών
- Διαθεσιμότητα ομάδας επιδιόρθωσης και συντήρησης

Ο εγκαταστάτης του καυστήρα πρέπει να είναι εξοικειωμένος με το βιβλίο των οδηγιών εγκατάστασης και λειτουργίας που παρέχει τις απαραίτητες οδηγίες για την ικανοποιητική εγκατάσταση.

Εάν παλιοί καυστήρες επανεγκαθίστανται σε θερμαντήρα, ένα νέο σέτ οδηγιών εγκατάστασης πρέπει να απαιτηθεί από τον κατασκευαστή του καυστήρα.

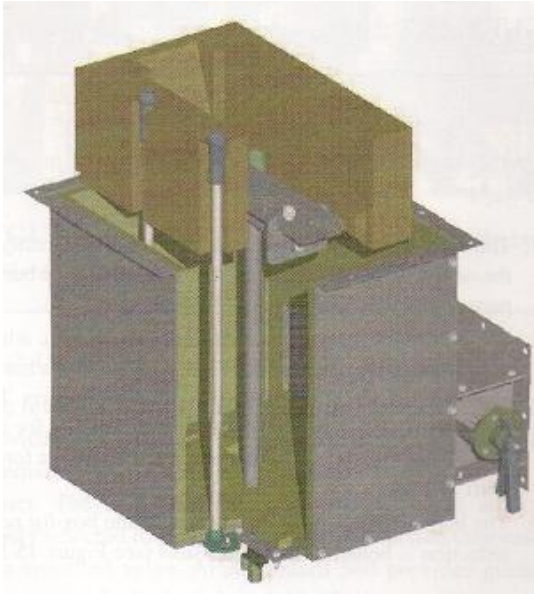
2.2.3 Στήσιμο καυστήρα

A) Θερμαντήρας

Οι καυστήρες μοντάρονται στο μέταλλο του θερμαντήρα με πολλούς τρόπους. Ο σχεδιασμός του θερμαντήρα, οι πρακτικές του κατασκευαστή του θερμαντήρα και η βιομηχανική χρήση που θα χρησιμοποιηθεί καθοδηγούν τη διαδικασία του στησίματος και μονταρίσματος του καυστήρα. Μερικές επιλογές στησίματος περιλαμβάνουν:

- Στο κάτω μέρος, με καύση κάθετα προς τα πάνω (εικόνα 2.6)
- Στο τοίχωμα, με καύση οριζόντια (εικόνα 2.7)

- Στο πάνω μέρος στη ζώνη ακτινοβολίας, με καύση κάθετα προς τα κάτω (εικόνα 2.8)
- Στο μια κοινή εγκατάσταση παροχής αέρα και μείωσης θορύβου, που προσαρμόζεται στο ατσάλι του θερμαντήρα (εικόνα 2.9)
- Σε μια ξεχωριστή εγκατάσταση μείωσης θορύβου που προσαρμόζεται στο ατσάλι του θερμαντήρα (εικόνα 2.5).



Εικόνα 2.5: Εγκατάσταση μείωσης θορύβου.



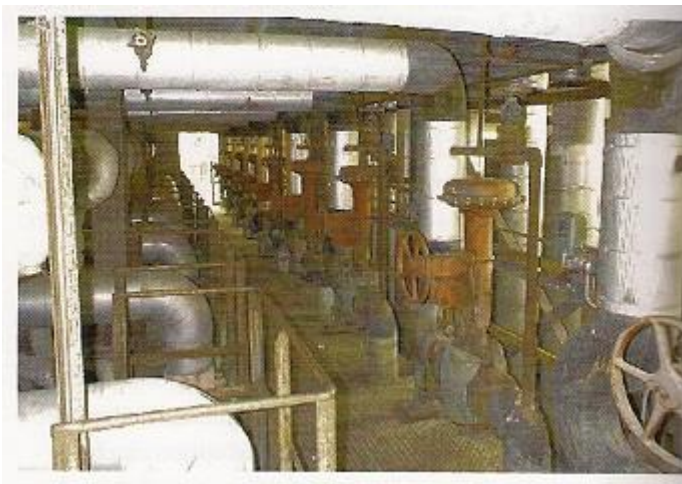
Εικόνα 2.6: Εγκατάσταση καυστήρα στο πάτωμα ενός θερμαντήρα.



Εικόνα 2.7: Καυστήρες τοποθετημένοι στη πλευρά ενός θερμαντήρα.



Εικόνα 2.8: Καυστήρας τοποθετημένος στο πάνω μέρος ενός θερμαντήρα.

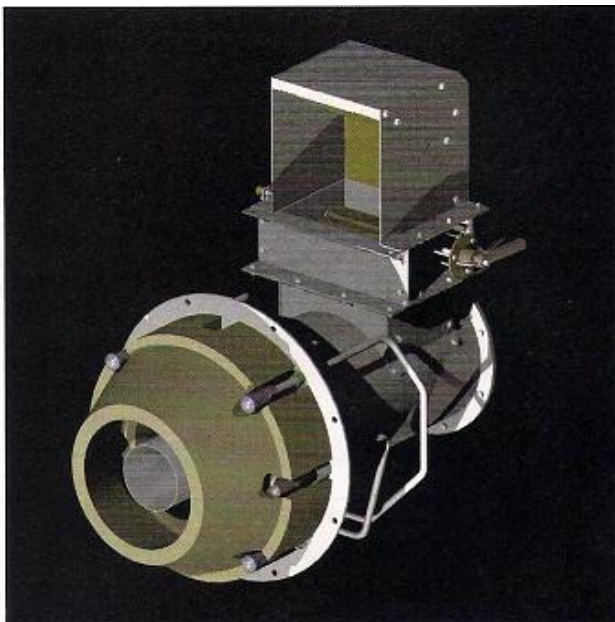


Εικόνα 2.9: Καυστήρας τοποθετημένος σε κοινό πλαίσιο μείωσης θορύβου

B) Καυστήρας

Ο καυστήρας συνήθως προσαρμόζεται στο μέταλλο του θερμαντήρα με έναν από τους παρακάτω τρόπους:

- Η φλάντζα μονταρίσματος της κατανομής αέρα μπορεί να βιδωθεί απευθείας στο ατσάλινο περίβλημα. Ο κατανεμητής αέρα του καυστήρα υποστηρίζει τα μέρη του καυστήρα στο λαιμό του καυστήρα (εικόνα 2.6)
- Η μπροστινή πλάκα του καυστήρα βιδώνεται στην κατασκευή παροχής αέρα που είναι προσαρμοσμένη στο ατσάλινο περίβλημα. Η εικόνα 2.9 δείχνει έναν καυστήρα προσαρμοσμένο σε μια εγκατάσταση με άλλους καυστήρες. Μια τέτοια εγκατάσταση μπορεί να παρέχεται για ελάττωση θορύβου ή για κατανομή πεπιεσμένου και/ή προθερμασμένου αέρα από σύστημα βεβιασμένης κυκλοφορίας.
- Ο καυστήρας με ακέραια εγκατάσταση για μείωση θορύβου βιδώνεται στο μέταλλο του καυστήρα (εικόνα 2.10).



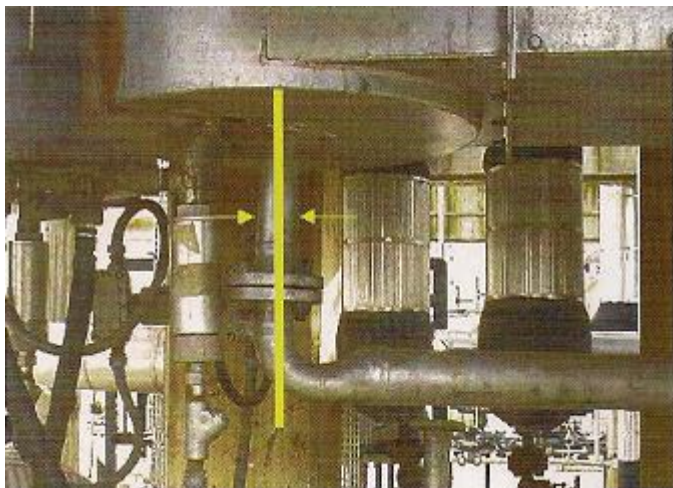
Εικόνα 2.10: Καυστήρας σε ατομική εγκατάσταση μείωσης θορύβου.

Ο τύπος του μονταρίσματος (στησίματος) είναι μια συνάρτηση του μοντέλου του καυστήρα που επιλέγεται κοινά με τους κατασκευαστές του θερμαντήρα και του καυστήρα, λαμβάνοντας υπόψη τα χαρακτηριστικά σχεδιασμού του θερμαντήρα και τη παραγωγική διαδικασία και επίσης τους τοπικούς κανονισμούς.

Πρέπει να πραγματοποιηθεί ένας πλήρης διαστατικός έλεγχος της πλάκας στησίματος του καυστήρα και της θέσης μονταρίσματος του θερμαντήρα για να αναγνωριστούν οποιαδήποτε προβλήματα. Επίσης όταν υπάρχει σύνδεση με εγκατάσταση μείωσης θορύβου ή κατανομής αέρα πρέπει επιπλέον να ελεγχθούν οι διαστάσεις και αυτών των κατασκευών εάν συμβαδίζουν με αυτές του καυστήρα ειδικά εάν πολλοί καυστήρες παρέχονται για έναν θερμαντήρα και έτσι υπάρχει πρόβλημα συναρμογής και συνεργασίας όλων των επιμέρους κατασκευαστικών μερών.

Γ) Σωληνώσεις καυστήρα

Τα μέσα σύνδεσης καυσίμου και ψεκασμού στους καυστήρες πρέπει να έχουν σχεδόν μηδενικό φορτίο στη σύνδεση του καυστήρα, οι καυστήρες δεν είναι σχεδιασμένοι να μεταφέρουν φορτία σωληνώσεων. Τα φορτία αυτά μπορούν να δημιουργήσουν μη σωστή τοποθέτηση του καυστήρα (εικόνα 2.11) και σφάλματα στη επίτευξη σωστών συναρμογών ή τοποθέτησης των εξόδων καυσίμου και αερίων μέσα στον καυστήρα. Φορτία που δεν μπορούν να αντιμετωπιστούν μπορεί να προκαλέσουν και σφάλματα στους διανεμητές αέρα και να κάνουν δύσκολη ή και αδύνατη στη λειτουργία τους. Όλες οι σωληνώσεις πρέπει να υποστηρίζονται ξεχωριστά από τον καυστήρα.



Εικόνα 2.11: Σωληνώσεις λάθος τοποθετημένες σε είσοδο καυστήρα.

Οι σωληνώσεις πρέπει να εγκαθίστανται λαμβάνοντας υπόψη την ανάγκη για μετακίνηση όλου του καυστήρα ή διαφορετικών μερών με την ελάχιστη εργασία για

την επανεγκατάσταση των σχετικών σωληνώσεων. Οι φλάντζες και οι τρόποι συνδέσεων πρέπει να είναι έτσι τοποθετημένες έτσι ώστε οι σωληνώσεις να μπορούν να μετακινηθούν γρήγορα και αποτελεσματικά χωρίς βλάβες και προβλήματα, όταν αυτό θεωρηθεί αναγκαίο.

Εάν οι σωληνώσεις πρέπει να μονωθούν (κάτι που συνήθως πρέπει να γίνει για προστασία τους αλλά και για τη μείωση διαρροής θερμότητας) πρέπει να εγκατασταθούν με τα απαραίτητα διάκενα έτσι ώστε να επιτρέπουν να εγκαθίστανται οι επικαλύψεις.

Οι σωληνώσεις δεν θα πρέπει με κανένα τρόπο να εμποδίζουν τη πρόσβαση του χρήστη στα σημεία ελέγχου του καυστήρα ή τις λειτουργικές διαδικασίες. Ο έλεγχος θα επιβεβαιώσει όλα αυτά τα χαρακτηριστικά.

Ο τρόπος σύνδεσης των σωληνώσεων στον καυστήρα μπορεί να είναι με συγκόλληση ή μέσω συνδέσμων, αυτό εξαρτάται από τις οικονομικές δυνατότητες της εταιρίας και των απαιτήσεων της. Πρέπει γενικά να υπάρχει αρκετή ευελιξία στις σωληνώσεις έτσι ώστε να μετακινούνται γρήγορα οι άκρες των εξόδων των αερίων και του καυσίμου του καυστήρα όταν οι σωληνώσεις είναι εγκατεστημένες (για βελτιώσεις θέσεων και άλλες ρυθμίσεις).

Μερικές φορές ευέλικτοι μεταλλικοί σωλήνες χρησιμοποιούνται για τις συνδέσεις του καυσίμου του καυστήρα έτσι ώστε να γίνεται η ρύθμιση θέσης πιο εύκολη. Αυτοί οι σωλήνες μπορούν να γίνουν από ασάλι για να καλύπτουν τα απαιτούμενα εύρη θερμοκρασιών και πιέσεων και για να παρέχουν ικανοποιητική αντοχή. Οι άκρες αυτών των ευέλικτων ασάλινων σωλήνων είναι σημεία αδυναμίας τους εκτός και εάν είναι σχεδιασμένες και κατασκευασμένες από αξιόπιστους κατασκευαστές με πιστοποιημένα υλικά και τεχνικές προστασίας τους από σπάσιμο και διαρροή του ρέοντος ρευστού. Για αυτό το λόγο πρέπει να έχουν ειδικά κελύφη που θα αντιστέκονται στη σκληρή χρήση και στις κρούσεις γιατί η ξαφνική καταστροφή τους μπορεί να έχει σοβαρές επιπτώσεις στη λειτουργία της εγκατάστασης και στην ασφάλεια της εάν δεν έχουν ληφθεί μέτρα πρόληψης και προστασίας.

2.2.4 Εγκατάσταση πλακιδίων (επένδυση) καυστήρα

Το πλακίδιο του καυστήρα είναι το κλειδί για τη σωστή δημιουργία της μορφής της φλόγας μέσα στο θάλαμο καύσης. Επίσης διαμορφώνει το στόμιο που ελέγχει τη ροή του αέρα στην αντίδραση καύσης. Εάν δεν είναι εγκατεστημένα στο θερμαντήρα

όπως σχεδιάστηκαν από τον κατασκευαστή του καυστήρα και δείχνονται στα σχετικά σχέδια, οι μορφές των φλογών και η κατανομή της θερμικής ροής μέσα στον καυστήρα θα επηρεαστεί δραματικά.

Εξαρτώμενη από το μοντέλο του καυστήρα, η επένδυση του καυστήρα μπορεί να σχεδιαστεί σαν πρωτεύουσα, δευτερεύουσα και σε μερικές περιπτώσεις σαν τριτεύουσα.

A) Πυρίμαχη θερμαντήρα

Η πυρίμαχη περιοχή στην εσωτερική επιφάνεια του περιβλήματος του θερμαντήρα παρέχεται για να προστατεύει το ασάλινο κάλυμμα και τη δομή από τις εσωτερικές θερμοκρασίες και για να μειώσει την απώλεια θερμότητας από τον θερμαντήρα. Τα πυρίμαχα υλικά και τα πάχη συχνά επιλέγονται να ελαττώνουν την εξωτερική θερμοκρασία του ασάλινου πλαισίου σε μια προσδιορισμένη τιμή.

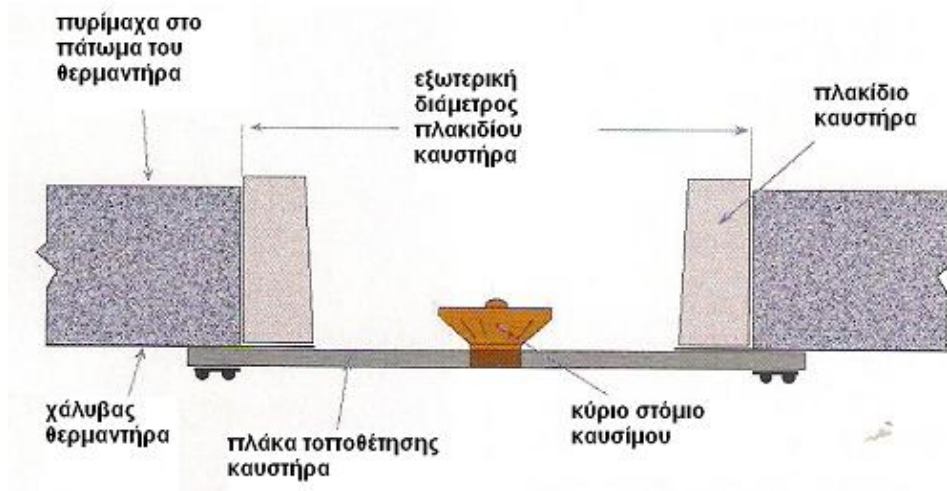
Υπάρχουν ειδικές βάσεις δεδομένων και ειδικοί κανονισμοί που παρέχουν οδηγίες και καθοδήγηση για την επιλογή των κατάλληλων ασάλινων πλαισίων και των αντίστοιχων πυρίμαχων υλικών. Ο σχεδιαστής του θερμαντήρα προσδιορίζει την πυρίμαχο πάχος στο θερμαντήρα. Η δευτερεύουσα πυρίμαχη επίστρωση στον καυστήρα από το πλαίσιο είναι τουλάχιστον τόσο σημαντική όσο το πυρίμαχο πάχος στο θερμαντήρα. Μερικές φορές μερικά πυρίμαχα στοιχεία του καυστήρα εξέχουν επιπλέον 2-3 cm πέρα από τον πυρίμαχο θερμαντήρα.

B) Δευτερεύουσα πυρίμαχη περιοχή

Το δευτερεύον πλακίδιο (επένδυση) κανονικά είναι η κύρια επένδυση του καυστήρα που είναι προσαρμοσμένη στο πάτωμα του θερμαντήρα, στα τοιχώματα, ή στην οροφή εξαρτώμενη από τον προσανατολισμό του καυστήρα. Εάν ο καυστήρας εδράζεται στο πάτωμα, η επένδυση υπάρχει στο ασάλινο πάτωμα γύρω από το άνοιγμα του καυστήρα. Εάν εδράζεται σε τοίχο, ο καυστήρας υποστηρίζεται ταυτόχρονα από το ασάλινο περίβλημα του θερμαντήρα και το πυρίμαχο τοίχωμα του θερμαντήρα. Η δευτερεύουσα επένδυση σε έναν εδραζόμενο σε οροφή καυστήρα είναι ειδικά σχεδιασμένη να κρέμεται από την ασάλινη οροφή του θαλάμου καύσης του καυστήρα.

Η επένδυση είναι συχνά σχεδιασμένη για μέγιστη θερμοκρασία λειτουργίας από 1400°C έως 1700°C και κατασκευάζεται σε ένα ή περισσότερα κομμάτια εξαρτώμενη από το μέγεθος και τον αρχικό σχεδιασμό του καυστήρα. Η εικόνα 2.12

δείχνει μια όψη μιας κυκλικής επένδυσης καυστήρα με αριθμό τμημάτων επένδυσης. Η επένδυση συνήθως παρέχεται από τον κατασκευαστή του καυστήρα.



Εικόνα 2.12: Διαμόρφωση τοποθέτησης πλακιδίου καυστήρα

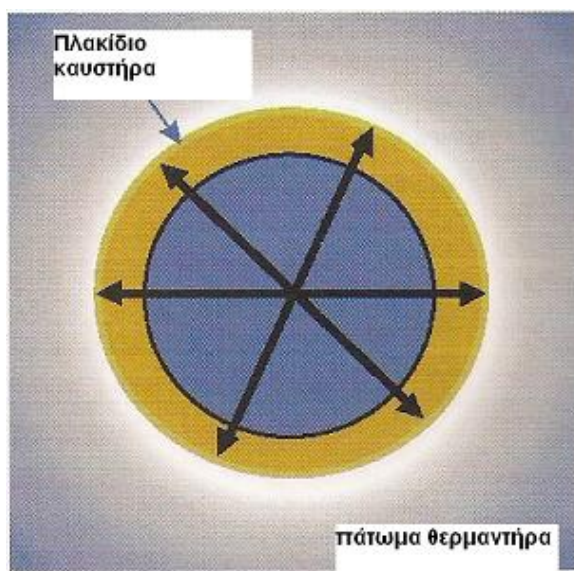
Επειδή αυτή η επένδυση σχηματίζει το στόμιο του αέρα για να ρυθμίζει την αεροροή στην αντίδραση καύσης, οι διαστάσεις της είναι κρίσιμες. Η εγκατάστασή της δεν θα πρέπει να άρει τις εξωτερικές διαστάσεις που φαίνονται στα σχέδια του κατασκευαστή του καυστήρα.

Εγκατάσταση:

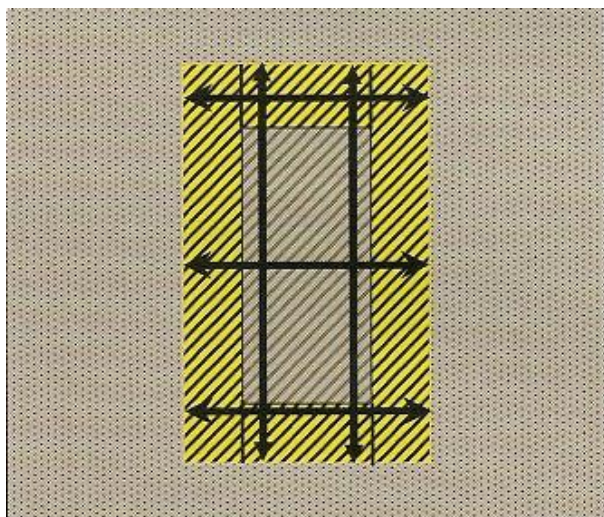
Συχνότερα, ο κατασκευαστής του καυστήρα θα προσδιορίσει την εξωτερική διάμετρο της επένδυσης του καυστήρα στον κατασκευαστή του θερμαντήρα και του εγκαταστάτη. Ο κατασκευαστής ή ο εγκαταστάτης του θερμαντήρα θα διαμορφώσει την πυρίμαχη επένδυση που θα καλύπτει την περιοχή που ο καυστήρας θα τοποθετηθεί, αφήνοντας ένα άνοιγμα για τον καυστήρα που συνήθως περιλαμβάνει ένα διάκενο επέκτασης περίπου έως και 1.5cm γύρω από την περιφέρεια του. Ο εγκαταστάτης του καυστήρα τότε θα εγκαταστήσει τη δευτερεύουσα επένδυση στην κεντρική μέση γραμμή του ανοίγματος του καυστήρα και θα τοποθετήσει πυρίμαχη κεραμική ίνα στο διάκενο επέκτασης μεταξύ του πλακιδίου και της πυρίμαχης περιοχής. Η πυρίμαχη περιοχή του θερμαντήρα πρέπει να τοποθετηθεί πριν την τοποθέτηση του πλακιδίου του καυστήρα.

Ανοχή επένδυσης:

Προτείνεται και είναι σκόπιμο να γίνεται ανάγνωση του σχεδίου του κατασκευαστή για τις διαστάσεις των ανοχών της δευτερεύουσας πυρίμαχης περιοχής, οι ανοχές συνήθως κυμαίνονται σε ± 0.5 in (± 1.3 cm). Κάθε κομμάτι της επένδυσης είναι συνήθως στεγανοποιημένο από τα γειτονικά του με πολύ λεπτή ασβεστόλασπη εντελώς καλύπτοντας και στεγανοποιώντας τα σημεία ενώσεων. Εάν πολλή ασβεστόλασπη τοποθετηθεί, οι ανοχές των πλακιδίων δεν θα είναι σύμφωνες με τις προδιαγραφές και δεν θα μπορούν να συντηρηθούν και αλλαχθούν. Αφού όλα τα κομμάτια της επένδυσης τοποθετηθούν και πριν η επικάλυψη ασβεστόλασπης εφαρμοστεί, οι διαστάσεις του καυστήρα πρέπει να ελεγχθούν. Σε έναν καυστήρα με στρογγυλή φλόγα, η εξωτερική διάμετρος της επένδυσης μετράται σε τέσσερις κατευθύνσεις για να διασφαλιστεί ότι οι διαστάσεις είναι μέσα στις ανοχές (εικόνα 2.13). Εάν η επένδυση είναι τετραγωνικής μορφής, έλεγχος γίνεται σε δύο θέσεις σε κάθε μια από τη μεγάλη και τη μικρή πλευρά (εικόνα 2.14). Αφού όλη η άλλη εσωτερική εργασία στον θερμαντήρα έχει ολοκληρωθεί, έλεγχος των συνθηκών της επένδυσης και των διαστάσεων της και επιβεβαίωση ότι κανένα υλικό δεν μπλοκάρει το λαιμό πρέπει να πραγματοποιηθεί.



Εικόνα 2.13: Σχηματική παράσταση που δείχνει μέτρηση κυκλικού πλακιδίου σε 3 διαφορετικές διαμέτρους.



Εικόνα 2.14: Σχηματική παράσταση που δείχνει μέτρηση τετράπλευρου πλακιδίου σε διαφορετικά μήκη και πλάτη.

Ο πίνακας 2.1 δείχνει τη διαφορά στην περιοχή του καυστήρα που έχει διαφορετικές διαστάσεις επένδυσης.

Πίνακας 2.1: Επιφάνεια λαιμού καυστήρα για διαφορετικές διαστάσεις επένδυσης.

Διάμετρος (in)	Επιφάνεια σε in ²	Διάμετρος (cm)	Επιφάνεια σε cm ²
10	78.54	25.40	506.71
12	113.10	30.48	729.66
14	153.94	35.56	995.15
16	201.06	40.64	1297.17
18	254.47	45.72	1641.73
20	314.16	50.80	2026.83
24	452.39	60.96	2918.63

Ο ρυθμός ροής και η κατανομή του αέρα μέσω του καυστήρα είναι συνάρτηση της ανοικτής περιοχής επένδυσης και του σχήματος της. Μεγαλύτερες ανοικτές περιοχές επιτρέπουν υψηλότερο ρυθμό ροής αέρα από τις μικρότερες περιοχές για την ίδια πτώση πίεσης ή ξαφνική απώλεια. Ακατάλληλη περιοχή επένδυσης θα έχει σαν αποτέλεσμα την λάθος κατανομή αεροροής μέσω πολλαπλών καυστήρων.

Ύψος πυρίμαχης επένδυσης:

Το ύψος της επένδυσης που εγκαθίστανται στο άνοιγμα του καυστήρα παρουσιάζεται στο σχέδιο του κατασκευαστή. Το ύψος εξαρτάται από το πάχος του προσαρμοσθέντος πυρίμαχου του θερμαντήρα. Μερικά μοντέλα καυστήρων έχουν το ύψος ίδιο με το πάχος της πυρίμαχης περιοχής. Για άλλα μοντέλα καυστήρων το ύψος της πυρίμαχης επένδυσης είναι 3 έως 4cm μεγαλύτερο από το προσαρμοσθέν πάχος της πυρίμαχης επένδυσης του θερμαντήρα. Ο εγκαταστάτης και ο ελεγκτής πρέπει να επιβεβαιώσει ότι το ύψος και το πάχος είναι σύμφωνα με τα σχέδια του θερμαντήρα και τις απαιτούμενες σχετικές οδηγίες. Εάν το ύψος της επένδυσης του καυστήρα δεν είναι σωστό, ο καυστήρας θα παρουσιάζει αστάθεια φλόγας, οδηγώντας δυνητικά σε συνθήκες ανασφαλούς λειτουργίας.

Δεν είναι καλή πρακτική να εγκαταστήσεις έναν καυστήρα χωρίς επένδυση, χρησιμοποιώντας μόνο την πυρίμαχη επένδυση του θερμαντήρα για να σχηματίσεις το άνοιγμα του καυστήρα. Η επένδυση του καυστήρα είναι πιο ανθεκτική από τις κοινές πυρίμαχες επενδύσεις των θερμαντήρων και είναι πιο δύσκολο να καταστραφούν εν λειτουργία. Εάν το άνοιγμα του είναι κατεστραμμένο ή φθαρμένο, η κατανομή του αέρα και η ποιότητα της φλόγας υποφέρουν και δεν είναι οι σωστές αναλογίες.

2.2.5 Σύνδεση καυστήρα-θερμαντήρα

Ο καυστήρας συνηθίζεται να βιδώνεται στο ατσάλινο περίβλημα του θερμαντήρα. Ο αριθμός και το μέγεθος των συνδέσμων και η μορφή τους προσδιορίζονται από τον κατασκευαστή του καυστήρα. Οι σύνδεσμοι υποστηρίζουν και σωστά τοποθετούν τον καυστήρα στο πλαίσιο του θερμαντήρα και είναι μετρημένες οι κατάλληλες ανοχές της εγκατάστασης καυστήρα στο κέντρο του ανοίγματος της πυρίμαχης επένδυσης.

Στους νέους θερμαντήρες, οι σύνδεσμοι τοποθετούνται σε επίπεδες ατσάλινες επιφάνειες και η σύνδεση του καυστήρα με τον θερμαντήρα είναι εύκολη μέσα στις ανοχές. Στους θερμαντήρες που έχουν χρησιμοποιηθεί επί μακρών, το ατσάλι του θερμαντήρα δεν είναι συχνά τόσο επίπεδο και οι σύνδεσμοι και η μορφή των συνδέσμων μπορεί να μην εφαρμόζει καλά στο νέο καυστήρα. Η διάμετρος των επιλεγμένων οπών συνδέσμων μπορεί να χρειαστεί να διευρυνθούν στο πεδίο εγκατάστασης. Οι μετατροπές δεν πρέπει να συμβιβάζουν τις διαστάσεις και την

ανοχή της τελειωμένης εγκατάστασης αλλιώς πτωχή απόδοση του καυστήρα θα αναμένεται.

Στους θερμαντήρες βεβιασμένης ροής και προθερμασμένου αέρα, η σύνδεση μεταξύ του ατσαλιού του καυστήρα και του θερμαντήρα πρέπει να γίνει σε θήκη έτσι ώστε να εξασφαλιστεί ότι δεν υπάρχει διαρροή θερμού αέρα από τη συσκευή παροχής αέρα. Αποτυχία στεγανοποίησης του αέρα θα δημιουργήσει πρόβλημα ασφαλείας στο προσωπικό που εργάζεται στο χώρο.

2.2.6 Έλεγχος Εγκατάστασης Καυστήρα

Όταν οι καυστήρες εγκατασταθούν και συνδεθούν στο θερμαντήρα ή στις βοηθητικές εγκαταστάσεις και το πυρίμαχο περιβάλλον τοποθετηθεί, όλα πρέπει να ελεγχθούν για να επιβεβαιωθεί ότι όλες οι διαστάσεις και προσανατολισμοί είναι σωστοί. Επιπλέον, ο έλεγχος των πλακιδίων της επένδυσης, οι θέσεις και οι προσανατολισμοί των εξόδων των αερίων, των εξόδων των καυσίμων και της εξόδου του πιλότου πρέπει να πραγματοποιηθεί. Κάθε προστατευτική ταινία πρέπει να μετακινηθεί από τις εξόδους και αυτό είναι απαραίτητο για να επιβεβαιωθεί ότι όλες οι θύρες είναι καθαρές από ξένο υλικό.

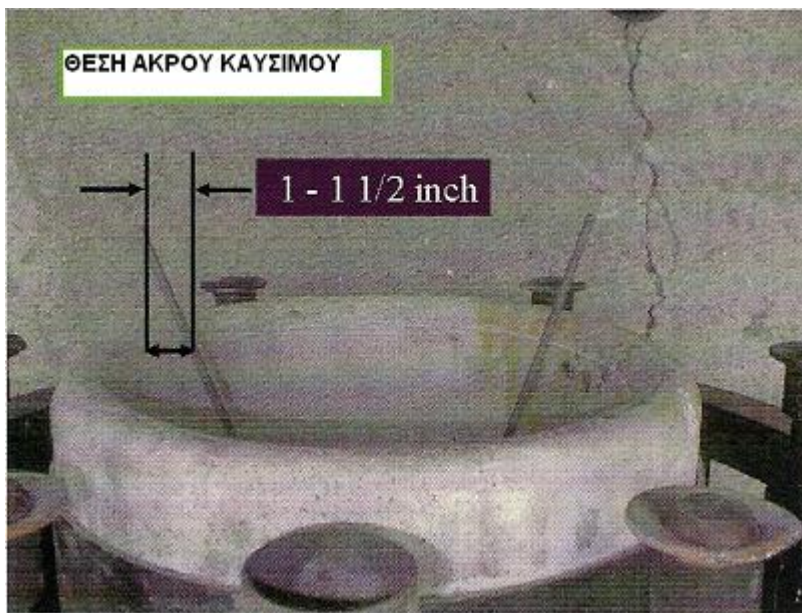
Έξοδοι (άκρες) αερίου

Η θέση των εξόδων αερίου σε σχέση με το συγκρατητή φλόγας πρέπει να είναι σωστή για να εξασφαλιστεί σταθερή λειτουργία του καυστήρα. Ο συγκρατητής φλόγας μπορεί να είναι ένας κωνικός διαχύτης, ένας παραγωγός δινώδους κίνησης ή μια προεξοχή στη δευτερεύουσα πυρίμαχη επένδυση. Οι δέσμες καυσίμου από τις θύρες εξόδου πρέπει να οδηγούνται σωστά, έτσι η κατεύθυνση των θυρών εξόδου είναι επίσης σημαντική. Ο εγκαταστάτης πρέπει να τοποθετήσει και προσανατολίσει τις άκρες των αερίων σύμφωνα με τα σχέδια του κατασκευαστή του καυστήρα.

Έξοδοι (άκρες) καυσίμου

Επειδή υπάρχουν διαφορετικοί σχεδιασμοί αυτών των στοιχείων που χρησιμοποιούνται στους καυστήρες, τα σχέδια πρέπει να αναθεωρούνται για να προσδιορίζονται οι τύποι που χρησιμοποιούνται και οι σωστές παράμετροι εγκατάστασης.

Ένας τρόπος ελέγχου της θέσης του άκρου μέσα στην εγκατάσταση της επένδυσης είναι να εισάγονται ράβδους μέσα στην θύρες εξόδου του άκρου καυσίμου (εικόνα 2.15). Αυτές οι ράβδοι δείχνουν τη μορφή του ψεκαζόμενου καυσίμου που εκρέει από τις θύρες εξόδου. Οι ράβδοι πρέπει να είναι συνήθως περίπου 3 έως 4 cm από την άκρη του πλακιδίου όταν η εγκατάσταση έχει γίνει σωστά. Αυτή είναι μια συνήθης τακτική από τον χρήστη της εγκατάστασης για να επιβεβαιώσει τη σωστή τοποθέτηση.



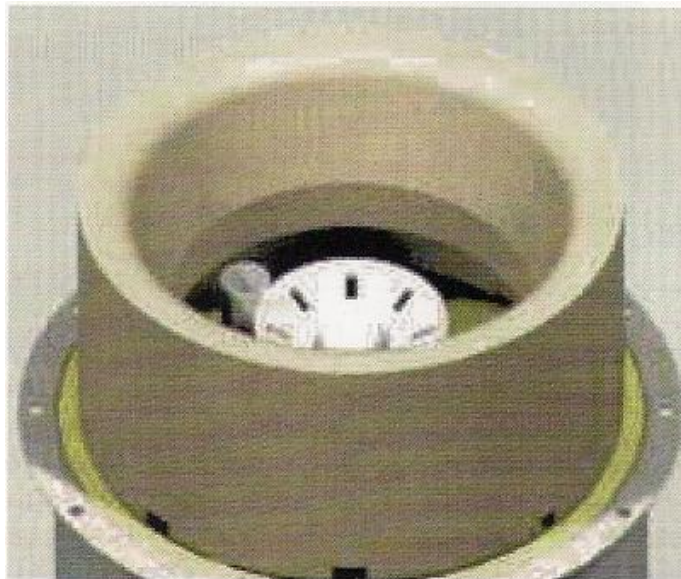
Εικόνα 2.15: Ράβδος σε άκρο υγρού καυσίμου

Έξοδος (άκρο) πιλότου

Το άκρο του πιλότου συνήθως τοποθετείται κοντά στα άκρα των κύριων άκρων των αερίων έτσι ώστε η φλόγα-πιλότος να έχει επαφή και να προκαλεί έναυση του αερίου που εκρέει από τα κύρια άκρα. Το σχέδιο του καυστήρα θα δείξει θέση της εξόδου του πιλότου. Στην εικόνα 2.16, ο πιλότος δεν είναι σωστά τοποθετημένος και θα πρέπει να επανατοποθετηθεί σωστά όπως στην εικόνα 2.17. Η έξοδος του άκρου του πιλότου συνήθως εδράζεται στο επίπεδο του διαχυτικού συγκρατητή φλόγας.



Εικόνα 2.16: Άκρο αερίου καυστήρα σε διαχύτη με πιλότο



Εικόνα 2.17: Σκίτσο κώνου διαχύτη και του άκρου του πιλότου.

2.2.7 Έλεγχος αέρα

Η μέγιστη αεροροή διαμέσου του καυστήρα βασικά ελέγχεται από την πτώση πίεσης διαμέσου του λαιμού της επένδυσης του καυστήρα. Η συνολική αεροροή ρυθμίζεται με τους κατανεμητές αέρα καυστήρα ή αεροφράκτες (διαφράγματα) ή αποσβεστήρες, με στήλη αεροφρακτών του θερμαντήρα ή με έλεγχο ταχύτητας στους ανεμιστήρες. Η ροή αέρα συνήθως ρυθμίζεται να φτάσει σε ένα επίπεδο στόχο περίσσειας οξυγόνου στο θάλαμο καύσης.

Καταναμητές αέρα καυστήρα

Ο συνήθης καταναμητής αέρα αποτελείται από δύο μεταλλικές πλάκες, καθεμιά τυλίγεται και συγκολλάται σε έναν κύλινδρο, με όμοια ανοίγματα σε κάθε πλευρά του κυλίνδρου. Ο ένας κύλινδρος στερεώνεται έτσι ώστε να είναι σταθερός και ακίνητος ενώ ο άλλος κύλινδρος είναι ελεύθερος να περιστρέφεται (εικόνα 2.18). Όταν ο ελεύθερος κύλινδρος περιστρέφεται έτσι ώστε τα ανοίγματα να ταιριάζουν ή να ρυθμίζονται, η μέγιστη ποσότητα του αέρα μπορεί να ρέει μέσω του καταναμητή. Καθώς ο ελεύθερος κύλινδρος περιστρέφεται, η επιφάνεια για τη ροή αέρα μέσω των ανοιγμάτων μεταβάλλεται, σαν το ποσό του αέρα που ρέει στον καυστήρα. Οι καταναμητές αέρα πρέπει να ελέγχονται μετά την εγκατάσταση και περιοδικά μετά από αυτήν για να επιβεβαιώνεται η λειτουργικότητά τους. Εάν παρατηρείται δέσμευση πρέπει να διορθωθεί, λίπανση με γραφίτη ή μετακίνηση ξένου υλικού από τους ασάλινους κυλίνδρους.



Εικόνα 2.18: Καταναμητής αέρα

Οι παλαιότεροι καυστήρες μπορεί να έχουν καταναμητές από χυτοσίδηρο που λειτουργούν όπως περιγράφηκε παραπάνω. Άλλοι καταναμητές μπορεί να αποτελούνται από βάνες, οι θέσεις των οποίων είναι συγκεκριμένες ή μεταβλητές εξαρτώμενες από το σχεδιασμό του καυστήρα. Αλλάζοντας τη θέση των βανών θα μεταβάλλεται ο ρυθμός ροής αέρα στο καυστήρα.

Μετά από όλο το εσωτερικό έργο στον θερμαντήρα να έχει ολοκληρωθεί, οι κατανεμητές πρέπει να ελεγχθούν για να διασφαλιστεί η λειτουργικότητα και η απόδοσή τους.

Αεροφράκτες αέρα καυστήρα

Σε μερικούς νεότερους καυστήρες, οι κατανεμητές αέρα που περιγράφησαν παραπάνω έχουν αντικατασταθεί από έναν αεροφράκτη σε καθένα από τα δοχεία εισόδου αέρα σε καθέναν καυστήρα. Ο αεροφράκτης μπορεί να είναι ένας μονοβάθμιος ή πολυβάθμιος σχεδιασμός για να ελέγχει την εισερχόμενη ροή του αέρα. Οι στεγανοποιητικές διατάξεις πρέπει να προσδιορίζονται και να εγκαθίστανται στις βαθμίδες σε μια προσπάθεια να ελαχιστοποιηθεί η ροή αέρα όταν ο αεροφράκτης είναι κλειστός.

Οι αεροφράκτες πρέπει να ελέγχονται μετά την αρχική εγκατάστασή τους και περιοδικά κατόπιν για να επιβεβαιωθεί η λειτουργικότητά τους. Επίσης, έλεγχος για ξένα αντικείμενα και καθαρισμός των περασμάτων αέρα πρέπει να πραγματοποιείται. Οι στεγανοποιητικές διατάξεις πρέπει να ελέγχονται μετά από κάποια χρονική περίοδο σε λειτουργία και να ρυθμίζονται έτσι ώστε να στεγανοποιούν σωστά όταν ο αεροφράκτης είναι σε κλειστός.

Αεροφράκτης ανεμιστήρα

Οι αεροφράκτες ανεμιστήρα χρησιμοποιούνται για να ελέγχουν την ογκομετρική ικανότητα του ανεμιστήρα και πρέπει να τοποθετούνται κοντά στις εισόδους των βεβιασμένων ροών ανεμιστήρων. Είναι συνήθως πολυβάθμιες μονάδες, με παράλληλη ή αντίστροφη λειτουργία βαθμίδας, που προσαρμόζονται στο κουτί εισόδου του ανεμιστήρα. Μια εναλλακτική σχεδίαση είναι η συνδεσμολογία εσωτερικής βάνας που προσαρμόζεται απευθείας στην είσοδο αέρα του ανεμιστήρα.

Έλεγχος και δοκιμή αυτών των αεροφρακτών για σωστή λειτουργία μετά την εγκατάσταση και μετά από κάθε επισκευή του αεροφράκτη απαιτείται. Εάν δεν λειτουργούν σωστά, οι καυστήρες μπορεί να λειτουργούν με πάρα πολύ αέρα ή με ανεπαρκή αέρα για την πλήρη καύση.

Αεροφράκτες σε δέσμη

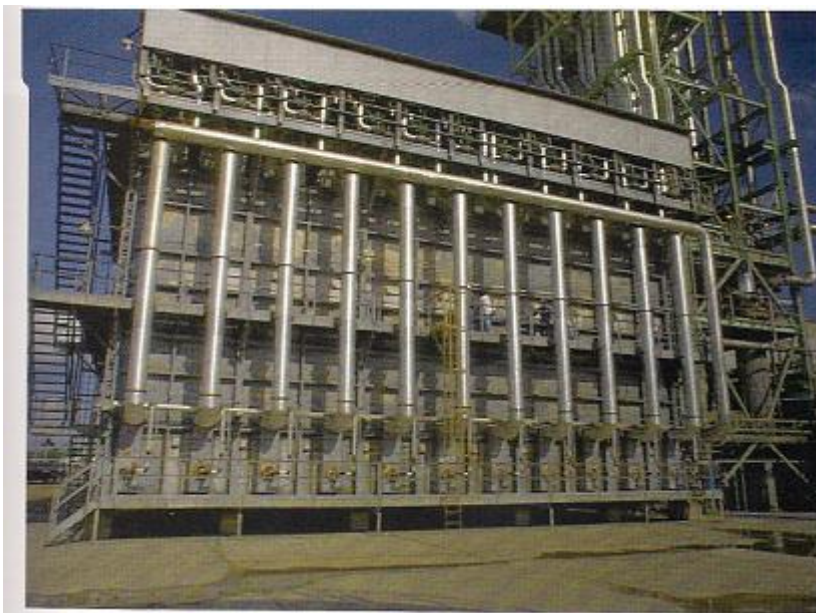
Οι αεροφράκτες σε δέσμη εγκαθίστανται σε συστοιχίες θερμαντήρων έτσι ώστε να ελέγχουν την πίεση μέσα στους θαλάμους καύσης των θερμαντήρων. Οι

αεροφράκτες μπορεί να είναι μονοβάθμιες ή πολυβάθμιες μονάδες εξαρτώμενες από τη διάμετρο της δέσμης. Η αρνητική πίεση μέσα στο θάλαμο καύσης στα επίπεδα του καυστήρα προσδιορίζει την οδηγό δύναμη που ωθεί τον αέρα μέσω των καυστήρων και παρέχει τον αέρα για την καύση. Αυτοί οι αεροφράκτες πρέπει να ελέγχονται για σωστή λειτουργία μετά την εγκατάσταση, μετά από κάθε επισκευή και μετά από κάθε γεγονός διατάραξης της καύσης που μπορεί να υπερθερμάνει τον αεροφράκτη.

Πυρίμαχα υλικά πέφτουν από τις συστοιχίες, ακόμα και κατά την εγκατάσταση, και κάνουν τον αεροφράκτη να μη λειτουργεί σωστά. Ενδελεχής έλεγχος του αεροφράκτη ότι κάτι επιδρά στη λειτουργία του ή περιορίζει τη ροή του αερίου από την καμινάδα του θερμοαντήρα είναι απαραίτητος.

2.2.8 Σχεδιασμός σωληνώσεων καυσίμου

Οι σωληνώσεις καυσίμου από την κορυφή (κεφαλή) μέχρι τον καυστήρα πρέπει να αφήνουν την κεφαλή κάθετα προς τα πάνω και κατόπιν να διατρέχουν στον καυστήρα (εικόνα 2.19). Αυτό μειώνει την πιθανότητα ότι υγρά στο σύστημα του αερίου καυσίμου ή στερεά στο σύστημα υγρού καυσίμου θα αφήσουν την κορυφή και θα εισέλθουν στους καυστήρες.



Εικόνα 2.19: Τυπικό σύστημα σωληνώσεων αερίου καυσίμου

Τα υγρά σε καυστήρες αερίου μπορούν να προκαλέσουν επικαθήσεις στις θύρες των άκρων ή στο στόμιο και μπορεί σε μεγάλες ποσότητες να σβήσουν τη φλόγα. Στερεά σε σύστημα υγρού καυσίμου θα κλείσουν τα ανοίγματα των εγχυτήρων καυσίμου και τα άκρα.

Ένα σύστημα σωληνώσεων για καύσιμο πετρέλαιο που χρησιμοποιεί βαρέα κλάσματα πρέπει να είναι ένα μονωμένο σύστημα με ανακυκλοφορία. Αυτό το σύστημα επιτρέπει τη θερμοκρασία του πετρελαίου και το ιξώδες να είναι πιο πραγματικά τοποθετημένα στα επίπεδα που απαιτούνται για επαρκή έγχυση.

Ελαφρύτερα κλάσματα πετρελαίων με μικρότερη ανησυχία για έλεγχο του ιξώδους μπορεί ή δεν μπορεί να χρειάζονται θέρμανση για να φτάσουν στα απαιτούμενα επίπεδα για χρήση.

Διαστασιολόγηση γραμμών

Ο καλός μηχανολογικός σχεδιασμός προσπαθεί να ισορροπήσει τις ροές στις γραμμές καυσίμου οδηγώντας από ένα κύριο αγωγό διανομής σε ατομικούς καυστήρες. Ταυτόχρονα επιδράσεις ορμής και τριβής πρέπει να ληφθούν υπόψη στην κατανομή της ροής από τον κύριο αγωγό. Ισορροπώντας τις ροές του καυστήρα προωθούνται ομοιόμορφες μορφές φλόγας και ακόμα και κατανομή θερμότητας μέσα στο θάλαμο καύσης.

Στα θερμαινόμενα συστήματα καυσίμων πετρελαιοειδών, είναι συχνό να κυκλοφορεί περισσότερο πετρέλαιο από αυτό που καίγεται για να ελαχιστοποιείται η θερμοκρασία του καυσίμου στους καυστήρες λόγω των απωλειών θερμότητας από τα συστήματα σωληνώσεων. Το ποσοστό του πετρελαίου που επιστρέφει άκαυστο στην εγκατάσταση προετοιμασίας καυσίμου και τις θερμικές εγκαταστάσεις μειώνεται όσο το ποσοστό του πετρελαίου που αναφλέγεται αυξάνει. Αυτό οφείλεται βασικά στη μείωση του λόγου της επιφάνειας μόνωσης προς τον όγκο του πετρελαίου που κυκλοφορεί όσο η ροή του πετρελαίου και το μέγεθος των σωληνώσεων αυξάνεται.

Η ροή που επιστρέφει μπορεί να μεταβάλλεται από περίπου $\frac{3}{4}$ της συνολικής ροής σε μικρά συστήματα σε $\frac{1}{3}$ της συνολικής ροής σε πολύ μεγάλα συστήματα, εξαρτώμενη από την ειδική βαρύτητα του πετρελαίου.

Ενας υπολογισμός σύγκρισης μεταφοράς θερμότητας και θερμικής ισορροπίας παρέχει τις απαιτούμενες ροές.

Η περίσσεια ή επιστρεφόμενη ροή παρέχει θερμότητα για διασφάλιση έναντι στερεοποίησως των βαρέων υπολειμμάτων πετρελαίου, πιθανόν απαιτεί αποσύνδεση σωληνώσεων και καθαρισμό ή συνολική αντικατάσταση.

Τα ελαφρύτερα κλάσματα πετρελαίου με μικρό ενδιαφέρον για έλεγχο του ιξώδους και μη ανάγκη για θέρμανση του καυσίμου, δεν απαιτεί σύστημα επιστροφής.

2.3 Συντήρηση

Η απόδοση του καυστήρα τυπικά χειροτερεύει με το χρόνο λειτουργίας εξαιτίας των επικαθήσεων, των στομώνσεων και της φθοράς στα επιμέρους στοιχεία της εγκατάστασης. Αυτά τα προβλήματα μειώνουν την αποτελεσματικότητα της ανάμιξης αέρα και καυσίμου και μπορεί να επηρεάσουν αρνητικά τις μορφές της φλόγας και της ροής θερμότητας με τρόπους που μειώνουν την απόδοση του θερμαντήρα και τη θερμική ικανότητα.

Τα μέρη του καυστήρα που συνήθως απαιτούν συντήρηση για την αποφυγή σοβαρής απώλειας απόδοσης ή θεμάτων ασφάλειας περιλαμβάνουν τα άκρα των σωλήνων του αερίου καυσίμου, τα στόμια του αερίου καυσίμου και τον αναμίκτη, τα άκρα των κλασμάτων καυσίμου πετρελαιοειδών και τους εγχυτήρες, τον κώνο σταθεροποίησης της φλόγας, το άκρο του πιλότου και η πυρίμαχη επένδυση του καυστήρα. Οι κατανεμητές αέρα και οι αεροφράκτες συνήθως χρειάζονται λιγότερο συχνά συντήρηση. Το προσωπικό χρήσης και ελέγχου θα πρέπει να ελέγχουν όλα τα παραπάνω όταν αναπτύσσουν μια λίστα εργασιών συντήρησης.

Πολλές δραστηριότητες συντήρησης στον καυστήρα μπορούν να ολοκληρωθούν ενώ ο θερμαντήρας συνεχίζει να λειτουργεί. Μερικές είναι απλές και μπορεί να συμβαίνουν συχνότερα. Μεταξύ αυτών είναι η αφαίρεση υπολειμμάτων των άκρων των αερίων καυσίμων και οι καυστήρες πιλότου για καθαρισμό, καθώς επίσης και οι κατανεμητές και οι αεροφράκτες των καυστήρων που δεν είναι συνδεδεμένοι με άλλες βοηθητικές εγκαταστάσεις.

Πλήρης απομάκρυνση ενός αδρανούς καυστήρα ενός φυσικής ροής θερμαντήρα μπορεί να γίνει ενώ ο θερμαντήρας λειτουργεί, αλλά θέματα ασφάλειας πρέπει να ληφθούν υπόψη. Ο θερμαντήρας πρέπει να παραμείνει να λειτουργεί σταθερά έτσι ώστε η πίεση του θαλάμου καύσης να παραμένει αρνητική.

Διαδικασίες για ελαχιστοποίηση της έκθεσης του προσωπικού, κατάλληλα προστατευτικά ρούχα, εργαλεία για να χειρίζομαι τον καυστήρα (ειδικά εάν είναι μια

βαρέα μονάδα εδραζόμενη στο έδαφος) και προσωρινή στεγανοποίηση του ανοίγματος του καυστήρα πρέπει όλα να ληφθούν υπόψιν. Εξαρτώμενο από την κατασκευή του καυστήρα, όλα τα μέρη μπορούν να μετακινηθούν και να συντηρηθούν, ή όλα εκτός της δευτερεύουσας και τριτεύουσας επένδυση είναι μετακινήσιμα κατά τη διάρκεια του σέρβις.

Η συντήρηση του καυστήρα για προγραμματισμένα σταματήματα λειτουργίας μπορεί συνήθως να προσδιοριστεί από προβλήματα που παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της λειτουργίας ή από συνθήκες που οπτικά παρατηρήθηκαν μέσα στο θάλαμο καύσης. Πολλά προβλήματα με τους καυστήρες αναπτύσσονται λόγω των φθαρμένων και λίγο επισκευασμένων μερών τους.

Οι επιδιορθώσεις χαλασμένης πυρίμαχης επένδυσης είναι ένα σύνηθες σταμάτημα που μπορεί να αναγνωριστεί από παρατηρηθείσα ζημιά ή από προβλήματα φλόγας.

Τα ανταλλακτικά μέρη μπορούν να παραγγελθούν από τον αρχικό κατασκευαστή έτσι ώστε να υπάρχει κάλυψη με την απαραίτητη ποιότητα και αξιοπιστία. Τα αντίγραφα αυτών των ανταλλακτικών από άλλους κατασκευαστές δεν έχουν τις ίδιες ανοχές όπως τα πραγματικά μέρη και συχνά προκαλούν προβλήματα στις επιμέρους λειτουργίες με αποτέλεσμα αρκετά προβλήματα και μερικές φορές πολύ σοβαρά στη λειτουργικότητα και ασφάλεια της όλης εγκατάστασης.

2.3.1 Καθαρισμός άκρου αερίου και στομίου

Τα άκρα του αερίου καυσίμου (εικόνα 2.20) και το στόμιο του αερίου καυσίμου έχουν θύρες με αυλακώσεις που οδηγούν τη ροή του καυσίμου μέσα στο ρεύμα του αέρα και τη ζώνη καύσης.



Εικόνα 2.20: Τυπικά άκρα αερίου καυσίμου

Αυτές οι θύρες πρέπει να διατηρούνται καθαρές από ξένα αντικείμενα που μπορούν να μειώσουν το αποτελεσματικό μέγεθος της θύρας. Εάν οι θύρες γίνουν μερικώς ή ολικώς φραγμένες, το ποσό και η κατανομή του καυσίμου που εισέρχεται στη ζώνη καύσης μεταβάλλεται από το σκοπό του σχεδιασμού και προβλήματα καύσης θα συμβούν.

Πηγές ξένων υλικών που φράσσουν τα άκρα και τα στόμια περιλαμβάνουν:

- Υπολείμματα συνδετικών υλικών και κολλών από τις εργασίες στις σωληνώσεις του αερίου καυσίμου.
- Συστατικά αμινών από τη διαδικασία απομάκρυνσης σουλφιδίων υδρογόνου από το αέριο καύσιμο
- Στερεοποιημένους ή ακόρεστους υδρογονάνθρακες στο αέριο καύσιμο
- Πολυμερή που δημιουργούνται μέσα στον καυστήρα από χημικές αντιδράσεις που δεν μπορούν να προβλεφθούν ικανοποιητικά
- Νέφη υδρογονανθράκων που εξατμίζονται ή αντιδρούν στα θερμά μέρη του καυστήρα ή στα άκρα του καυσίμου.

Τα ξένα υλικά πρέπει προσεκτικά να μετακινηθούν από τα στόμια των καυσίμων έτσι ώστε να μην αλλάξουν τις διαστάσεις των στομίων. Αντικατάσταση των άκρων του καυσίμου επιβάλλεται όταν τα στόμια ξεπερνούν την σχεδιασμένη διάμετρο περισσότερο από ένα ή δύο μεγέθη. Ο τύπος του υλικού που φράσσει τις θύρες προσδιορίζει πως τα μέρη του καυστήρα θα καθαριστούν.

Όταν το υλικό είναι υπολείμματα συνδετικών υλικών ή κόλλες σύνδεσης, ένα τρύπημα με περιστροφή του ίδιου μεγέθους όπως το στόμιο ή οι θύρες χρησιμοποιείται για καθαρισμό. Το τρύπημα με περιστροφή γίνεται απαλά χειρονακτικά και με μικρή πίεση μέσω της φραγμένης θύρας για να μετακινηθεί η επικάλυψη. Εάν το υλικό δεν αφαιρείται εύκολα, η διαπότιση του μέρους του καυστήρα σε διαλυτική ουσία για να χαλαρώσει η επικάλυψη και ξανά η διαδικασία με το περιστροφικό τρύπημα. Δεν πρέπει ποτέ να χρησιμοποιείται ένα δυνατό εργαλείο με το περιστροφικό τρύπημα επειδή είναι πιθανό να διανοιχτεί μεγαλύτερη οπή και αυτό θα οδηγήσει σε αυξημένη ροή αερίου καυσίμου και προβλήματα φλόγας ή/και καύσης.

Εάν η πηγή του ξένου υλικού είναι συστατικό αμίνης, τα στόμια μπορούν να καθαριστούν με ατμό ή ζεστό νερό επειδή η αμίνες είναι υδατοδιαλυτές. Η φραγή από ενώσεις αμινών είναι σύνηθες στα άκρα των καυστήρων τύπου πρόμιξης. Εάν η φραγή από ενώσεις αμινών είναι συχνή, οι θύρες μπορούν να καθαριστούν χωρίς την μετακίνηση του καυστήρα από διακοπή της βαλβίδας παροχής αερίου καυσίμου και εγχύοντας ατμό στον καυστήρα.

Η χρονική περίοδος της έγχυσης ατμού εξαρτάται από την ποσότητα της επικάθησης στα κύρια μέρη του καυστήρα, στις καπνοδόχους, στα στόμια και στα άκρα του αερίου και των συναφών σωληνώσεων. Πρέπει να σημειωθεί ότι ο καθαρισμός με έγχυση μπορεί να μην καθαρίσει όλα τα σημεία ισοδύναμα.

Η στερεοποίηση υδρογονανθράκων στα άκρα του αερίου καυσίμου εάν είναι πολύ μεγάλη σε έκταση τότε τα άκρα θα πρέπει να αντικατασταθούν. Ελαφρά στερεοποίηση μπορεί να μετακινηθεί με περιστροφικό τρύπημα όπως αναλύθηκε προηγούμενα.

Το φράξιμο με πολυμερή και σαν αποτέλεσμα των ατμών των βαρέων υδρογονανθράκων και υψηλών θερμοκρασιών στη γραμμή του καυσίμου και του άκρου μπορεί μερικές φορές να μετακινηθεί με διαπότιση των άκρων σε διαλύτη υδρογονανθράκων ακολουθούμενο από καθαρισμό με περιστρεφόμενο τρύπημα. Επικαθήσεις σε μεγάλο βαθμό μπορεί να απαιτήσουν αντικατάσταση του άκρου ή του στομίου.

Η στερεοποίηση, τα πολυμερή και οι στερεές αποθέσεις μπορούν να μετακινηθούν ή να μετατραπούν σε εύκολα μετακινούμενα συστατικά με οξείδωση σε ένα μικρό υψηλής θερμοκρασία φούρνο. Πολλά άκρα μπορούν να καθαριστούν με μια μόνο φορά με αυτή την τεχνική.

2.3.2 Καθαρισμός άκρου πετρελαίου και εγχυτήρων

Τα άκρα του καυσίμου πετρελαίου είναι πιο δύσκολα να καθαριστούν από τα άκρα του αερίου και συχνά απαιτούν πιο συχνό καθαρισμό. Τα άκρα σε λειτουργίες με ελαφρά καύσιμα πετρελαιοειδών μπορεί να έχουν μόνο μια μικρή επικάθηση άνθρακα στην επιφάνεια. Αυτή μπορεί να καθαριστεί εύκολα με μια συρμάτινη βούρτσα.

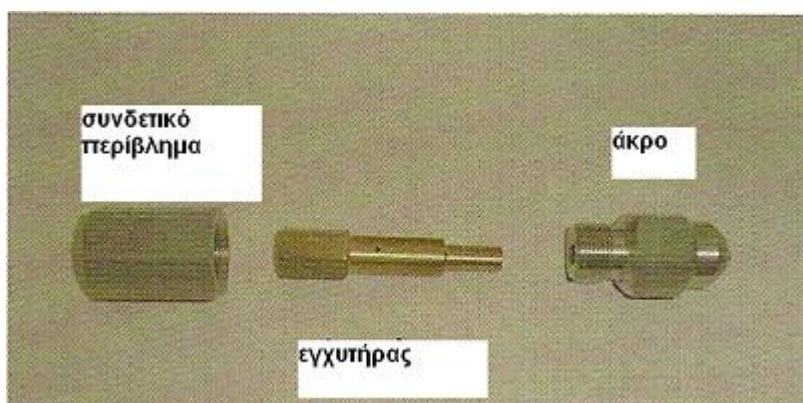
Τα άκρα σε λειτουργίες με βαρέα καύσιμα πετρελαιοειδών συνήθως θα έχουν μια μεγάλη και σκληρή επικάθηση στην επιφάνεια και στις θύρες. Αυτά τα άκρα πρέπει

να μετακινηθούν από τον καυστήρα όταν η επικάλυψη παρατηρείται και να τοποθετηθούν σε νάφθα ή σε λουτρό ντίζελ για να μαλακώσουν οι επικαθήσεις.

Τρίψιμο με συρμάτινη βούρτσα , καθαρισμός με ατμό ή η χρήση περιστρεφόμενης διατρύπησης, ατομικά ή σε συνδυασμό, μπορεί να είναι αποτελεσματικά στην μετακίνηση των επικαθήσεων. Δεν προτείνεται η χρήση ενός ισχυρού τρυπανιού για καθαρισμό των θυρών ή ενός ισχυρού σχετικού εργαλείου για τον καθαρισμό των άκρων αυτών.

Η στερεοποίηση και οι επικαθήσεις στην επιφάνεια του άκρου μπορούν να αφαιρεθούν χωρίς να βγεί εκτός λειτουργίας ο καυστήρας φυσικής ροής και σε κάποιες περιπτώσεις βεβιασμένης ροής εξαρτώμενο από το σχεδιασμό του καυστήρα. Ένα εργαλείο με μορφή κουταλιού με μια μακριά χειρολαβή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να περάσει μέσω των κατανεμητών αέρα και να τρίψει την επικάλυψη ενώ καύσιμο και το υλικό έγχυσης συνεχίζουν να ρέουν. Η επικάλυψη πρέπει να αναγνωριστεί νωρίς πριν γίνει αρκετά μεγάλη σε έκταση έτσι ώστε αυτή η τεχνική να είναι επιτυχής.

Ένας εγχυτήρας φαίνεται στην εικόνα 2.21. Υπάρχουν δύο στόμια στον εγχυτήρα: ένα είναι για ατμό και μπορεί να παρέχει ατμό σε τρεις ή τέσσερις θύρες και το άλλο είναι για παροχή καυσίμου σε μία έως τέσσερις θύρες. Το στόμιο ατμού μπορεί να φράξει με υπολείμματα συγκολλήσεων που μπορούν εύκολα σχετικά να καθαριστούν. Εάν βαρέα πετρελαιοειδή εισέλθουν στο στόμιο ατμού, λόγω μιας πιθανής στιγμιαίας ανισορροπίας πίεσης είτε στον ατμό ή στο καύσιμο, ο εγχυτήρας πρέπει να διαποτιστεί σε διαλυτικό ακολουθούμενο από εκτόξευση ατμού μέσω του στομίου για να αφαιρεθεί ότι υπόλειμμα παραμένει από υγρό ή στερεό επικαθήμενο υλικό.



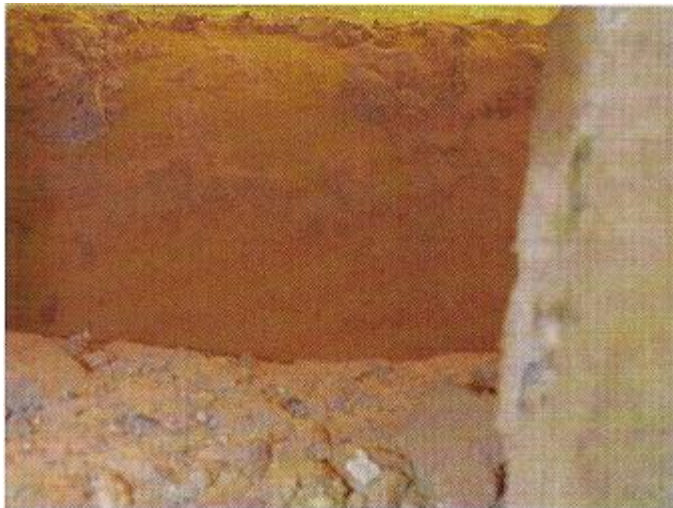
Εικόνα 2.21: Τμήματα εγχυτήρα καυσίμου

2.3.3 Πλακίδιο επένδυσης

Τα πλακίδια του καυστήρα είναι δύσκολο να διορθωθούν και να επιστρέψουν σε χρήση επιτυχώς επειδή το μοναδικό σχήμα της επιφάνειάς τους είναι δύσκολο να αναπαραχθεί. Επίσης, το πυρίμαχο του πλακιδίου έχει υποστεί μετατροπή φάσης εν λειτουργία και οι επιδιορθώσεις του πυρίμαχου δεν προσκολλώνται στην επιφάνεια για μεγάλο χρονικό διάστημα.

Η συντήρηση των πλακιδίων του καυστήρα γενικά περιορίζεται σε επίβλεψη της κατάστασης του πλακιδίου και της αντικατάστασης όταν το πλακίδιο αναγνωριστεί ως φθαρμένο ή καταστραμμένο. Κάθε μεγάλη ρωγμή, ειδικά στο τοίχωμα ή στην οροφή ενός πλακιδίου καυστήρα όταν τα κομμάτια του πλακιδίου είναι πιθανό να πέσουν στο πάτωμα, είναι λόγος να αντικατασταθεί το πλακίδιο. Πολλαπλές ρωγμές σε μια περιοχή παρέχουν ένδειξη θραύσης λόγω της απεριόριστης εκτόνωσης και αυτό είναι λόγος για αντικατάσταση.

Πρέπει τα κύρια πλακίδια να ελέγχονται τακτικά. Εάν είναι με ρωγμή, η επανακυκλοφορία των αερίων μέσα στο πλακίδιο είναι μεγάλη και στερεοποίηση είναι πιθανό να συμβεί στο πλακίδιο. Η εικόνα 2.22 παρουσιάζει μια επικάλυψη καταλύτη μέσα σε πλακίδιο, ο καταλύτης εισήλθε σαν συστατικό του μίγματος καυσίμου. Εάν αυτό παρατηρηθεί το πλακίδιο πρέπει να μετακινηθεί και καθαριστεί.



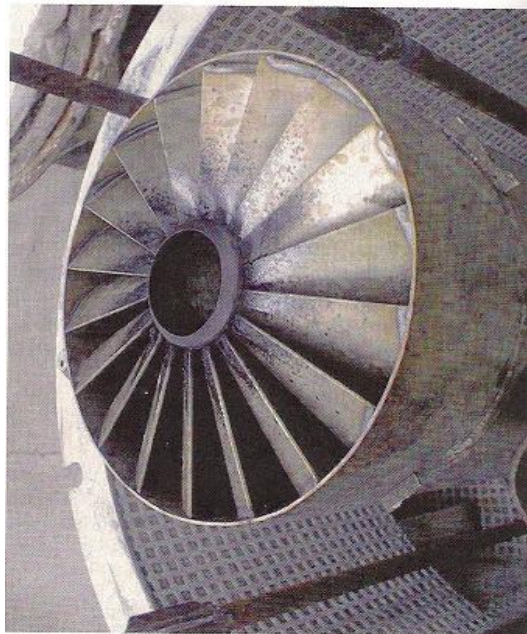
Εικόνα 2.22: Απόθεση καταλύτη μέσα σε πλακίδιο καυστήρα υγρού καυσίμου

2.3.4 Σταθεροποιητής φλόγας

Διάφοροι σχεδιασμοί σταθεροποιητή φλόγας χρησιμοποιούνται για να διατηρήσουν σταθερή τη φλόγα στη ζώνη καύσης ενός καυστήρα. Αυτοί οι σχεδιασμοί περιλαμβάνουν τους κώνους διάχυσης (εικόνα 2.23), τους περιστρεφόμενους διαχύτες (εικόνα 2.24), τις προεξοχές των πλακιδίων και κωνικά πλακίδια στους σχεδιασμούς καυστήρων φυσικής ροής.

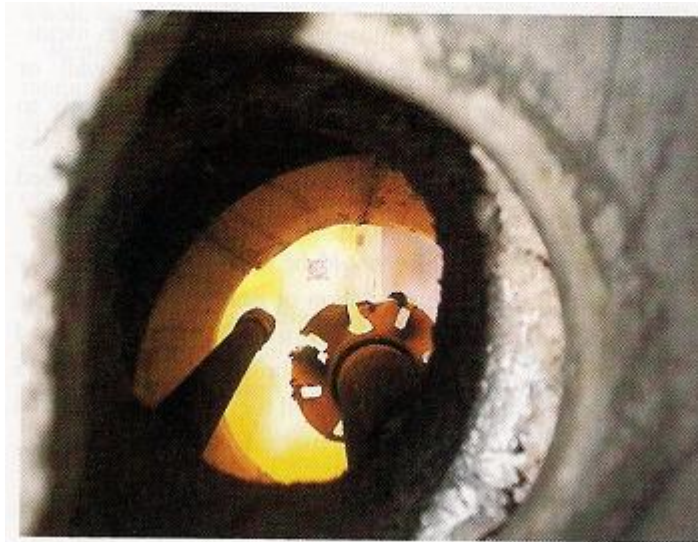


Εικόνα 2.23: Τυπικοί κώνοι διαχύτη



Εικόνα 2.24: Τυπικοί περιστρεφόμενοι διαχύτες

Όλοι αυτά πρέπει να ελεγχθούν, συνθήκες και διαστάσεις να συγκριθούν με τα σχετικά σχέδια και η συσκευή να αλλαχθεί ή επισκευαστεί εάν δεν μπορεί να δράσει σαν αξιόπιστος σταθεροποιητής. Ένας σταθεροποιητής σε κακή κατάσταση ή εάν δεν υπάρχει μπορεί να οδηγήσει σε μη ικανοποιητική μορφή φλόγας ή σε ανασφαλή φλόγα που μπορεί να “απογειώσει” τον καυστήρα και να αδειάσει τη ζώνη όπου η καύση ξεκίνησε. Η εικόνα 2.25 δείχνει έναν καταστραμμένο σταθεροποιητή που πρέπει να αντικατασταθεί. Η λειτουργία με αυτόν το σταθεροποιητή θα οδηγήσει σε μια μονόπλευρη μορφή φλόγας που μέρος της φλόγας να ανυψώνεται εκτός καυστήρα. Η αντικατάσταση του κώνου διάχυσης μπορεί να πραγματοποιηθεί με τον θερμαντήρα σε λειτουργία.



Εικόνα 2.25: Παράδειγμα κατεστραμμένου σταθεροποιητή.

2.3.5 Διανεμητές αέρα και αποσβεστήρες

Οι διανεμητές αέρα και οι αποσβεστήρες χρησιμοποιούνται να μεταβάλουν και να ελέγχουν τη ποσότητα του αέρα που ρέει μέσα στον καυστήρα. Εάν οι διανεμητές και οι αποσβεστήρες δεν είναι ρυθμίσιμοι, το στοχοποιημένο επίπεδο της περισσειας οξυγόνου στον καυστήρα δεν μπορεί να επιτευχθεί στο επιθυμητό πεδίο λειτουργίας. Αυτό μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα πάρα πολύ ή πολύ λίγο οξυγόνο που και τα δύο θα οδηγήσουν σε μη αποδοτική καύση και το τελευταίο θα οδηγήσει σε πιθανή ανασφαλή ή προβληματική λειτουργία.

Όλοι οι διανεμητές και οι αποσβεστήρες πρέπει να εξετάζονται περιοδικά. Εάν οι διανεμητές δεν λειτουργούν, εξέταση στις διατάξεις ενεργοποίησης και επισκευή εάν είναι απαραίτητο πρέπει να γίνει.

Οι αποσβεστήρες είναι συχνά μη προσβάσιμοι κατά τη διάρκεια της λειτουργίας και οι επισκευές πρέπει να περιμένουν μέχρι ο θερμαντήρας να σταματήσει τη λειτουργία του. Εάν ένας διανεμητής αέρα δεν λειτουργεί συχνά μπορεί να μετακινηθεί ενώ ο θερμαντήρας παραμένει σε λειτουργία.

Καθαρισμός του διανεμητή από ξένα υλικά όπως πυρίμαχα κομμάτια σφηνωμένα στο διανεμητή, λάδι που έχει χυθεί, μόνωση που μπλοκάρει την ροή αέρα, σκουριά και άμμος πρέπει να γίνεται σε τακτά διαστήματα.

Εάν ο διανεμητής είναι παραμορφωμένος, πιθανώς λόγω προσπάθειας να λειτουργήσει ή η λαβή λειτουργίας είναι σπασμένη, επισκευή ή αντικατάσταση του κομματιού πρέπει να γίνει άμεσα.

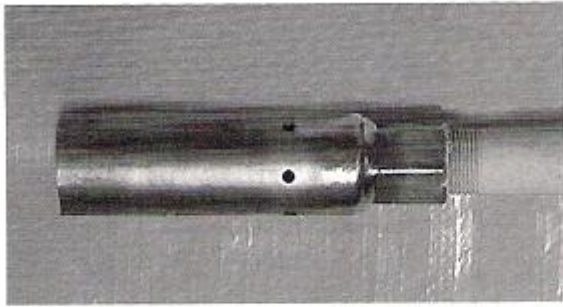
2.3.6 Καυστήρες πιλότοι

Υπάρχουν πολλοί τύποι καυστήρων πιλότων που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία, αλλά ο πιο κοινός είναι ο τύπος καυστήρα πρόμιξης μικρής απελευθέρωσης θερμότητας. Τα βασικά μέρη του περιλαμβάνουν το άκρο του καυστήρα, τον αναμίκτη αερίου και το σωλήνα ανάμιξης και το στόμιο του αερίου. Το στόμιο του αερίου είναι συνήθως έως 2mm σε διάμετρο και είναι εύκολα προσαρμόσιμο και καθαρίζεται με το χέρι μέσω περιστρεφόμενης διάνοιξης όπως περιγράφηκε σε προηγούμενη ενότητα.

Εάν ο έλεγχος εμφανίσει καταστραμμένο άκρο του πιλότου (εικόνα 2.26) το άκρο πρέπει να αλλαχθεί (εικόνα 2.27).



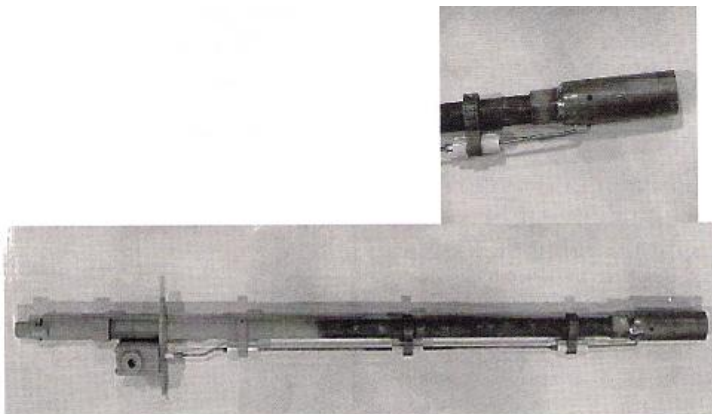
Εικόνα 2.26: Παράδειγμα κατεστραμμένου άκρου πιλότου.



Εικόνα 2.27: Παράδειγμα νέου άκρου πιλότου χωρίς ηλεκτρονική έναυση.

Εάν ο πιλότος είναι εξοπλισμένος με ηλεκτρονική έναυση (εικ. 2.28), η ράβδος έναυσης πρέπει να εξεταστεί για να διασφαλιστεί ότι το τόξο του σπινθήρα είναι κατάλληλα τοποθετημένο για έναυση του αερίου στον καυστήρα πιλότο.

Έλεγχος για μη χρηστικές ηλεκτρικές γειώσεις που θα διαταράξουν το σωστό τόξο πρέπει να γίνει.



Εικόνα 2.28: Παράδειγμα νέου άκρου πιλότου με ηλεκτρονική έναυση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΑΝΤΙΜΕΤΩΠΙΣΗ ΠΡΟΒΛΗΜΑΤΩΝ

3.1 Εισαγωγή

Οι βασικές αρχές για τη λειτουργία καύσης ενός θερμαντήρα και καυστήρα είναι:

- Να λειτουργούν με ασφάλεια
- Να προστατεύεται το περιβάλλον
- Να αποφεύγεται οι ζημιές στον εξοπλισμό
- Να ικανοποιούνται οι απαιτήσεις θερμότητας
- Να μεγιστοποιείται η απόδοση του θερμαντήρα

Για να επιτευχθούν αυτοί οι στόχοι, οι διαδικασίες πρέπει να ακολουθηθούν για να καθοδηγήσουν την ενεργοποίηση του καυστήρα, τη συνεχή λειτουργία, τη βελτίωση της απόδοσης, την αντιμετώπιση έκτακτων αναγκών και λειτουργία των συστημάτων παροχής αέρα και καυσίμου. Σε κάθε περίπτωση ο χειριστής πρέπει να αναφέρεται σε μετρήσεις για να ελέγχει σωστά την αντίδραση της καύσης και να επιβλέπει την απόδοση του θερμαντήρα.

Οι πιο σημαντικές μετρήσεις για ασφαλή έλεγχο της καύσης είναι: η πίεση μέσα στην εγκατάσταση του θερμαντήρα-καυστήρα, η περίσσεια αέρα (μετρούμενη σαν περίσσεια οξυγόνου), η ροή του καυσίμου και πίεση, η έγχυση του υγρού καυσίμου και η πίεση και η θερμοκρασία. Επίσης για τη σωστή λειτουργία του θερμαντήρα, ο χειριστής πρέπει να επιβλέπει επίσης τη θερμοκρασία των θερμών αερίων στην έξοδο του θαλάμου καύσης, τη θερμοκρασία των καπναερίων που εισέρχονται στην καπνοδόχο, την οπτική εμφάνιση των φλογών και των σωλήνων, τη θερμοκρασία των σωλήνων λειτουργίας, την εμφάνιση και κατάσταση του πυρίμαχου μέρους, τη ροή ρευστού σε κάθε μέρος της συνολικής διαδικασίας και την πτώση πίεσης του ρευστού και εξωτερική θερμοκρασία σε κάθε πέρασμα της διαδικασίας λειτουργίας.

Η διάγνωση και η επίλυση προβλημάτων με τους καυστήρες σε θερμαντήρες στις βιομηχανίες πετροχημικών και υδρογονανθράκων συχνά φαίνεται να είναι πολύ δύσκολο και επιστήμη αιχμής. Είναι μια βασική επιστημονική παραδοχή ότι οι αρχές της φυσικής, χημείας, ρευστών, υδραυλικής και καύσης δεν αλλάζουν. Επιπλέον οι πολλές μεταβλητές σε μια τυπική πετροχημική διαδικασία μερικές φορές κάνουν να φαίνεται ότι ο εξοπλισμός έχει μια προσωπικότητα. Η περιπλοκότητα των επιστημών πολλαπλασιασμένη με των πολλών σταδίων διαδικασίες σε μια τυπική εγκατάσταση, προκαλεί προβλήματα που δεν αντιμετωπίζονται ή δεν έχουν αντιμετωπιστεί ή δεν

έχουν διαγνωστεί από τους μηχανικούς σχεδιασμού. Αν και οι επιστημονικές αρχές παραμένουν οι ίδιες, αλλαγές στον εξοπλισμό γίνονται με τη χρήση και στις προκύπτουσες ανάγκες. Παράμετροι που έχουν σχεδιαστεί σωστά αλλάζουν με το χρόνο.

Με όλη την περιπλοκότητα των συνθηκών να συμβαίνει, είναι η δουλειά του χρήστη να κάνει την εγκατάσταση να “τρέχει”. Όταν η παραγωγή υποφέρει λόγω της αδυναμίας του εξοπλισμού να λειτουργήσει σε απαιτούμενη ικανότητα, τα κόστη ανεβαίνουν και το κέρδος ή/και τα περιθώρια παραγωγής του προϊόντος μειώνεται. Συχνά ο χρήστης του θερμαντήρα πρέπει να εκπαιδευτεί και να γνωρίζει τον εξοπλισμό και τη λειτουργική μονάδα για να κάνει ρυθμίσεις που φέρνουν τις λειτουργίες στην απαιτούμενη ικανότητα που απαιτείται από το διαχειριστή της μονάδας.

Είναι σημαντικό ότι η επίλυση των προβλημάτων πρέπει να γίνει με έναν συστηματικό καλά οργανωμένο τρόπο. Αποτελεσματική και ασφαλής επίλυση προβλημάτων περιλαμβάνει τέσσερα βασικά βήματα:

- Αναγνώριση προβλήματος
- Παρατήρηση ενδείξεων του προβλήματος
- Προσδιορισμός των αποτελεσμάτων και του κόστους του προβλήματος στη λειτουργία
- Προσδιορισμός λύσεων για το πρόβλημα και λήψη διορθωτικής δράσης.

Η αρχική ένδειξη ότι το πρόβλημα υπάρχει μπορεί να έρθει από τον έλεγχο και τα όργανα του κλιβάνου ή από απευθείας παρατήρηση των συνθηκών μέσα και έξω από τον κλιβάνο. Αλλαγές στη θερμοκρασία λειτουργίας, πτώση πίεση λειτουργίας, περίσσεια οξυγόνου, πίεση καυσίμου, και επίπεδα εκπομπών είναι τυπικά αυτά που πρώτα παρατηρούνται με τα όργανα ελέγχου λειτουργίας.

Αλλαγές στο θόρυβο που εκπέμπεται από τον θερμαντήρα ή αλλαγές στις μορφές φλογών, πρόσκρουση φλογών, διαρροές λαδιού, αστάθεια φλόγας και φλόγες από ανάφλεξη (φαινόμενο flashback) συχνά παρατηρούνται απευθείας κατά τη διάρκεια του ελέγχου του θερμαντήρα.

Όταν ένα πρόβλημα σημειώνεται, είναι απαραίτητο να εκτιμηθεί η επίδρασή του στη διαδικασία ή στο παραγόμενο προϊόν. Μερικές λύσεις μπορεί να απαιτήσουν ο

θερμαντήρας να κλείσει έτσι ώστε να λυθεί το πρόβλημα. Κατόπιν, η διεύθυνση της επιχείρησης πρέπει να προσδιορίσει την οικονομική τιμή της κάλυψης των συμβολαίων παραγωγής σε συνάρτηση της λειτουργίας του εξοπλισμού μέχρι να αποτύχει και να πρέπει να σταματήσει για επισκευές σε υψηλότερο κόστος. Αντίθετα, εάν το πρόβλημα μπορεί να οδηγήσει σε υψηλότερα πρόστιμα από κυβερνητικές υπηρεσίες, μεγάλη καταστροφή του εξοπλισμού ή κίνδυνος σε προσωπικό, τότε λύση θα πρέπει να βρεθεί άμεσα όποιο το κόστος.

Εάν μια λύση πρέπει να επιλεγεί, μια προσεκτική μελέτη των συμπτωμάτων που παρουσιάζονται στον κλίβανο πρέπει να γίνει και μια πιθανή αιτία αυτών των συμπτωμάτων πρέπει να αναγνωρισθεί. Είναι σημαντικό ότι οι πιθανές αιτίες πρέπει προσεκτικά να προσδιοριστούν μήπως μια απόπειρα λύσης κλιμακώσει τη σοβαρότητα του προβλήματος παρά να το λύσει.

Όταν μια αιτία προσδιορισθεί, συνήθεις διαδικασίες πρέπει να ακολουθηθούν για να λυθεί σωστά το πρόβλημα.

Όλο το προσωπικό που εμπλέκεται πρέπει να είναι ενημερωμένο για το πρόβλημα, τις ενέργειες διόρθωσής του, τις συνθήκες ασφαλείας, τα αναμενόμενα αποτελέσματα και την κατάλληλη δράση που πρέπει να ληφθεί εάν το πρόβλημα χειροτερέψει ή δεν επιλυθεί.

Κατά τη διάρκεια των συνήθων διαδικασιών, φροντίδα πρέπει να ληφθεί για αυξητικές αλλαγές και ρυθμίσεις σε παραμέτρους που ελέγχουν τη διαδικασία καύσης. Όμως, κάτω υπό μερικές συνθήκες, μια αλλαγή πρέπει να γίνει γρήγορα και με εμπιστοσύνη για πρόληψη επιπλέον προβλημάτων λειτουργίας.

Οι επόμενες ενότητες περιγράφουν τυπικά προβλήματα, τις ενδείξεις τους και τις επιδράσεις στη λειτουργία, τις αιτίες και τις συνήθεις λύσεις.

3.2 Παλλόμενη φλόγα

A) Ένδειξη του προβλήματος

Το φαινόμενο της παλλόμενης φλόγας συχνά ονομάζεται στη διεθνή σχετική βιβλιογραφία σαν “woofing” ή “breathing” δηλαδή σαν αναπνοή φλόγας ή σαν υπόκωφος ήχος. Έτσι αντί μια σταθερή φλόγα συγκεκριμένου όγκου, η φλόγα πάλλεται και αλλάζει σε μέγεθος συνεχώς. Κατά τη διάρκεια της αλλαγής στη μορφή της φλόγας, χρήστης μπορεί να ακούσει χαμηλής συχνότητας θόρυβο που εκπέμπεται από τον κλίβανο. Η φλόγα ταλαντώνεται κατά μήκος του άξονά της και

μπορεί περιοδικά να επεκτείνεται μέσω του καυστήρα στην εξωτερική επιφάνεια του θερμαντήρα.

Ένας υπόκωφος θόρυβος μπορεί να ακουστεί στην περιοχή του θερμαντήρα. Ο υπόκωφος θόρυβος ή ο θόρυβος “ανάσας” είναι ένας χαμηλής συχνότητας θόρυβος που είναι διαφορετικός από τον κανονικό θόρυβο λειτουργίας γύρω από τον θερμαντήρα. Ο χειριστής που είναι κοντά στον εξοπλισμό καύσης μπορεί άμεσα να προσδιορίσει την αλλαγή στον ήχο. Ο θόρυβος θα συνεχίσει να αυξάνεται σε τέτοια βίαια κατάσταση που ακόμα και ο πιο ανειδίκευτος χειριστής μπορεί να τον αναγνωρίσει. Οπτική επαφή της μορφής της φλόγας όταν ο θόρυβος ξεκινήσει παρουσιάζει μια ασταθή και έκκεντρη φλόγα που μεταβάλλεται σε μήκος και όγκο. Κάτω από εξαιρετικά άσχημες συνθήκες του φαινομένου, οι πλευρές του κλιβάνου μπορεί να παρατηρηθεί να κάμπτονται.

B) Η αιτία και η επίδραση στη λειτουργία

Το αποτέλεσμα στη λειτουργία κατά τη διάρκεια αυτού του φαινομένου είναι κανονικά μια κατάσταση που περνά γρήγορα εάν διορθωθεί άμεσα.

Όμως, εάν η κατάσταση δεν επιλυθεί και επιτρέπεται η συνέχεια της, η ένταση της πίεσης αυξάνεται μέσα στον κλίβανο και μπορεί να δημιουργήσει την πυρίμαχη μόνωση να διασπάται και να καταρρέει μέσα στο πάτωμα του θερμαντήρα. Τα πλακίδια του καυστήρα μπορεί να αρχίσουν να διαλύονται και να πέφτουν από τη θέση τους σε διάφορα σημεία. Η δόνηση του θερμαντήρα μπορεί να σπάσει μέρος των σωληνώσεων, αγωγούς μεταφοράς και όργανα μέτρησης. Η ατελής καύση που συμβαίνει προκαλεί πτώση στη απελευθέρωση θερμότητας και ο θερμαντήρας δεν θα μπορεί να καλύπτει τα απαιτούμενα καθήκοντα στη βιομηχανική διαδικασία. Έτσι, ο θερμαντήρας μπορεί να χρειαστεί να σταματήσει τη λειτουργία του για κύριες επιδιορθώσεις.

Η συνήθης αιτία της παλλόμενης φλόγας είναι έλλειψη οξυγόνου στην αντίδραση καύσης. Όταν το οξυγόνο ή η ροή αέρα είναι ανεπαρκής, η φλόγα θα αναζητήσει οξυγόνο εναλλάξ μέσα στον θερμαντήρα καθώς ο αέρας ρέει κατά μήκος του καυστήρα και εκτός καυστήρα καθώς στερείται όλο και περισσότερο τον αέρα.

Καθώς η φλόγα μετακινείται μέσα στον θερμαντήρα, ένα μέτωπο πίεσης δημιουργείται, ξανά προκαλώντας τη ροή αέρα να παύσει και τη φλόγα να κινείται πίσω στον καυστήρα για οξυγόνο. Η μετακίνηση της φλόγας και η πίεση συνεχίζουν να αυξάνουν την ένταση και με τέτοια δύναμη έτσι ώστε να προκαλέσουν ζημιά στο

θερμαντήρα. Σε ακραίες συνθήκες η φλόγα θα ταλαντωθεί τόσο μακριά από τον καυστήρα που η καύση θα σβήσει και η φλόγα θα χαθεί.

Η συνθήκη ανεπαρκούς οξυγόνου στη ζώνη καύσης του κλιβάνου μπορεί να υπάρχει ακόμα και όταν τα μετρούμενα επίπεδα οξυγόνου στο αέριο απόρριψης δείχνει ότι επαρκές οξυγόνο είναι διαθέσιμο. Αέρας μπορεί να διαρρεύσει μέσα στον θερμαντήρα μέσω φλαντζών μεταξύ της περιοχής μεταφοράς θερμότητας και της περιοχής ακτινοβολίας, από ανοίγματα στο κέλυφος του θερμαντήρα, θύρες θέασης ανοικτές και οπές από διάβρωση στο αστάλινο κέλυφος του θερμαντήρα.

Η διαρροή αέρα μέσα στον θερμαντήρα θα προσθέσει οξυγόνο στα καυσαέρια προκαλώντας ανακριβείς ενδείξεις για το διαθέσιμο οξυγόνο για την καύση στο λαιμό του καυστήρα.

Γ) Διορθωτικές ενέργειες

Όσο συντομότερα μια παλλόμενη φλόγα παρατηρηθεί, ο ρυθμός καύσης πρέπει άμεσα να μειωθεί για να εδραιωθεί επαρκές οξυγόνο για την αντίδραση καύσης έτσι ώστε να ολοκληρωθεί σωστά. Ο χειριστής πρέπει να μειώσει το ρυθμό καύσης μέχρι η παλλόμενη φλόγα να σταματήσει και υπόκωφος θόρυβος να μην ακούγεται. Όταν θόρυβος δεν ακούγεται και οι φλόγες δεν πάλλονται, ο χειριστής θα πρέπει να παρατηρήσει καλή σταθερή καύση. Τότε θα υπάρχει μια μετρούμενη περίσσεια του οξυγόνου στα αέρια της εστίας της φλόγας. Τότε ο χειριστής θα μπορεί να ανοίξει τους κατανεμητές αέρα στον καυστήρα και να αυξήσει το άνοιγμα του αποσβεστήρα για να ρυθμίσει την περίσσεια οξυγόνου και να διορθώσει πρόχειρα τα επίπεδα που απαιτούνται για τον ζητούμενο ρυθμό καύσης. Κατόπιν ο ρυθμός καύσης μπορεί να αυξηθεί έως τη δυναμικότητα του καυστήρα ή στην απαιτούμενη απελευθέρωση θερμότητας που χρειάζεται από το σύστημα ελέγχου του θερμαντήρα.

Ο αέρας καύσης δεν θα πρέπει να αυξάνεται πριν μειωθεί η παροχή καυσίμου και εδραιωθεί μια σταθερή φλόγα. Αύξηση του αέρα πριν τη μείωση παροχής καυσίμου μπορεί να γεμίσει τον κλίβανο με ένα μεγάλο καύσιμο μίγμα καυσίμου και αέρα που μπορεί να οδηγήσει σε εκτόνωση και καταστροφή του εξοπλισμού.

Εάν οι διανεμητές αέρα ή οι αποσβεστήρες είναι εντελώς ανοικτοί, τότε ο θερμαντήρας έχει φτάσει τη μέγιστη ικανότητά του. Κάθε εισροή ανέμου κάτω από τον θερμαντήρα ή κατά μήκος του πάνω μέρους της συστοιχίας των διανεμητών αέρα ή των αποσβεστήρων μπορεί να διακόψει τη ροή αέρα στους καυστήρες και να εκκινήσει το πρόβλημα της παλλόμενης φλόγας.

Μερικές φορές, ένας ανεμοθώρακας ή φράκτης γύρω από τον κλίβανο είναι απαραίτητο για να προλαμβάνει τις επιδράσεις του ανέμου στους θερμαντήρες που λειτουργούν στη μέγιστη ικανότητά τους σε περιοχές υψηλού αιολικού δυναμικού.

Άλλη λύση μπορεί να θεωρηθεί η αλλαγή των καυστήρων ακατέργαστων αερίων σε καυστήρες πρόμιξης που δεν επηρεάζονται από τις συνθήκες του ανέμου αλλά από την πίεση του καυσίμου αερίου.

Εάν ο αναλυτής των καυσαερίων είναι στην καπνοδόχο, μπορεί να εξεταστεί η περίπτωση να αλλαχθεί η θέση του στην έξοδο της εστίας των καυσαερίων, έτσι ώστε η διαρροή του αέρα στο θερμαντήρα δεν θα δίνει λάθος ένδειξη του οξυγόνου του διαθέσιμου στον καυστήρα.

3.3 Πρόσπτωση φλόγας στους σωλήνες

A) Ένδειξη του προβλήματος

Η πιο άμεση ένδειξη της πρόσπτωσης φλόγας είναι η οπτική παρατήρηση από το χειριστή των φλογών που έρχονται σε επαφή με την επιφάνεια του εξωτερικού σωλήνα μέσα στο θάλαμο καύσης. Ο χειριστής πρέπει επίσης να παρατηρήσει σωλήνες με χρώμα έντονο κόκκινο ή διογκώσεις στα τοιχώματα του σωλήνα.

Έμμεσες ενδείξεις της πρόσπτωσης φλόγας όταν συμβαίνει περιλαμβάνουν υψηλότερη πτώση πίεσης στη πλευρά λειτουργίας λόγω της απόθεσης κώκ στα τοιχώματα του σωλήνα, υψηλότερο ρυθμό καύσης λόγω της απώλειας μεταφοράς θερμότητας λόγω του ίδιου λόγου και μια αύξηση της θερμοκρασίας στην καπνοδόχο. Εάν υπάρχει υπόνοια πρόσπτωσης φλόγας αλλά δεν μπορεί να παρατηρηθεί απευθείας, πολλές φωτογραφίες υπερέυθρων των σωλήνων μπορούν να ληφθούν για να προσδιοριστεί εάν υπάρχουν καθόλου υψηλές επιφανειακές θερμοκρασίες στο σωλήνα σαν αποτέλεσμα της άμεσης ή έμμεσης πρόσπτωσης φλόγας.

Επίσης, συστατικά της ακτινοβολούσας φλόγας σε συχνότητες μη ορατές με γυμνό μάτι μπορεί να έρθουν σε επαφή με τους σωλήνες. Για να επιβεβαιωθεί εάν οι φλόγες έρχονται σε επαφή με τους σωλήνες, ο χειριστής μπορεί να εγχύσει μερική μαγειρική σόδα (Na^+) ή ενεργά σωματίδια άνθρακα μέσα στον αέρα καύσης. Η θερμοκρασία της φλόγας προκαλεί το ιόν του Na να κινηθεί πιο ζωντανά και να λάμψει με ένα έντονο κίτρινο χρώμα ή ο άνθρακας να καεί με μια κίτρινη φλόγα. Και τα δύο αυτά στοιχεία θα δείξουν τη μορφή της φλόγας που εκπέμπεται από τον καυστήρα για μικρό χρόνο και επίσης θα δώσουν ένδειξη εάν υπάρχει κάποια πρόσπτωση στους σωλήνες.

B) Η αιτία και η επίδραση στη λειτουργία

Κατά τη διάρκεια κανονικής λειτουργίας, το ρευστό ρέει μέσω των σωλήνων θα παρέχει ικανοποιητική ψύξη της επιφάνειας του σωλήνα και έτσι το χρώμα του σωλήνα είναι κατεξοχήν μαύρο σε αντίθεση με τους συγκρατητές του σωλήνα ή τα υποστηρίγματα. Οι συγκρατητές του σωλήνα ή τα υποστηρίγματα έχουν κανονικά μαύρο χρώμα ή ελαφρώς κόκκινο. Η πρόσπτωση φλόγας στους σωλήνες θα δημιουργήσουν θερμά σημεία και οι σωλήνες εμφανίζονται κόκκινοι ή πορτοκαλί σε χρώμα. Το χρώμα του σωλήνα δείχνει υπερβολική θερμοκρασία του τοιχώματος του σωλήνα που μπορεί να οδηγήσει σε τοπική δημιουργία επικαθήσεων άνθρακα. Το επίπεδο του άνθρακα μονώνει το τοίχωμα του σωλήνα από τις επιδράσεις της ψύξης του ρευστού λειτουργίας και επιτρέπει τη θερμοκρασία του μετάλλου να αυξηθεί. Το φαινόμενο της μόνωσης αυτής δημιουργεί δύο ανεπιθύμητες συνθήκες: (1) μεταφορά θερμότητας στο ρευστό λειτουργίας παρεμποδίζεται έτσι μειώνεται η απόδοσή του και (2) οι σωλήνες είναι ανεπαρκώς ψυχόμενοι από το ρευστό λειτουργίας οδηγώντας σε θερμά σημεία, πιο έντονη απόθεση επικαθήσεων και τελικά ρήξη σωλήνα μέσα στο θερμομαντήρα.

Μερικά υγρά λειτουργίας δεν δημιουργούν επικαθήσεις όταν υπερθερμαίνονται αλλά σχηματίζουν ατμό. Εάν δεν έχει μελετηθεί στο σχεδιασμό του θερμομαντήρα, ο ατμός θα αυξήσει σημαντικά την αντίσταση στη ροή και την πτώση πίεσης. Ο χαμηλότερος ρυθμός ροής συνδυασμένος με συνθήκες βρασμού στη θέση της πρόσπτωσης θα μειώσει το συντελεστή μεταφοράς θερμότητας και θα αυξήσει την τοπική θερμοκρασία στο σωλήνα.

Μια πιθανή αιτία της πρόσπτωσης φλόγας στους σωλήνες μπορεί να είναι η ανεπάρκεια του αέρα καύσης στην αντίδραση καύσης, κάνοντας τη φλόγα να αναζητήσει επιπλέον αέρα καύσης μέσα στο θάλαμο καύσης. Η ανεπάρκεια του αέρα καύσης για την αντίδραση μπορεί να είναι αποτέλεσμα της υπερβολικής καύσης ή της διαρροής αέρα στο θάλαμο καύσης και μη ροή κατά μήκος του στομίου αέρα στον καυστήρα. Η διαρροή αέρα μέσω άλλων ανοιγμάτων στο θερμομαντήρα δεν αναμιγνύεται καλά με τον αέρα καύσης που κινείται σε όλο το λαιμό του καυστήρα.

Συνεπώς, η φλόγα αναζητεί για επιπλέον οξυγόνο από τον αέρα που διαρρέει. Η υπερβολική καύση θα οδηγήσει σε σφάλμα οργάνων, λανθασμένη εγκατάσταση άκρων του καυστήρα, αλλαγή στη σύνθεση του αερίου καυσίμου που επηρεάζει τη μορφή της φλόγας.

Άλλη πιθανή αιτία μπορεί να είναι ότι οι θύρες καύσης του καυστήρα είναι διαβρωμένες (εικόνα 3.1) έτσι ώστε το ρευστό εγχέεται μέσω του αέρα καύσης και ρέει κατευθείαν προς την κατεύθυνση του σωλήνα.



Εικόνα 3.1: Διαβρωμένο άκρο αερίου

Άλλη πιθανή αιτία μπορεί να είναι ότι η ανακυκλοφορία των καυσαερίων μέσα στο θάλαμο καύσης εμποδίζει τη φλόγα να δημιουργήσει μια αποδεκτή μορφή στο χώρο που της έχει παραχωρηθεί. Η ανακυκλοφορία των καυσαερίων μπορεί να ωθεί μερικές φλόγες καυστήρα μέσα στην επιφάνεια του σωλήνα.

Γ) Διορθωτικές ενέργειες

Ο χειριστής λειτουργίας πρέπει να ελέγχει το επίπεδο της περίσσειας οξυγόνου μέσα στο θάλαμο καύσης στο πάνω μέρος της περιοχής ακτινοβολίας για να είναι σίγουρος ότι το όργανο λειτουργεί σωστά, ότι αέρας δεν διαρρέει, και ότι ο όλος ο αέρας που διαρρέει στην περιοχή ακτινοβολίας είναι σφραγισμένος.

Μετά ο χειριστής μπορεί να αυξήσει το ποσό του αέρα καύσης ανοίγοντας τους κατανεμητές αέρα για να επιτραπεί περισσότερος αέρας να ρέει μέσα στον καυστήρα.

Εάν καύσιμο πετρέλαιο καίγεται, ο χειριστής θα χρειαστεί να ελέγξει την πίεση ψεκασμού ατμού για να εξασφαλιστεί πλήρης ψεκασμός και αποδοτική καύση του πετρελαίου καυσίμου. Ο κλίβανος πρέπει να ελέγχεται τακτικά για διαρροές αέρα επιθεωρώντας το κέλυφος του θερμαντήρα, τις περιοχές γύρω από τους σωλήνες

που εισέρχονται και εξέρχονται από το θάλαμο καύσης, τις φλάντζες της περιοχής μεταφοράς θερμότητας, τις θύρες θέασης.

Εάν το καύσιμο είναι πετρέλαιο, τα άκρα πρέπει να καθαρίζονται τακτικά για να προληφθούν επικαθήσεις. Οι θύρες εξόδου του άκρου του καυσίμου πρέπει να ελέγχονται για διάβρωση. Όλων των μορφών οι καυστήρες πρέπει να ελέγχονται για κατάλληλη ευθυγράμμιση και τοποθέτηση των άκρων των καυσίμων μέσα στο λαιμό του καυστήρα.

Εάν η ανακυκλοφορία των καυσαερίων μέσα στο θάλαμο καύσης σπρώχνουν τις φλόγες στους σωλήνες ένα ειδικό τοίχωμα ή τοίχωμα διαχωρισμού μπορεί να χρειαστεί να εγκατασταθεί στο θάλαμο καύσης του καυστήρα. Το ειδικό τοίχωμα επανακατευθύνει την μορφή των ανακυκλοφορούντων καυσαερίων μέσα στο θερμαντήρα ενώ το τοίχωμα διαχωρισμού διακόπτει την κυκλοφορία. Καθένα από αυτά επιτρέπει τη μορφή της φλόγας του καυστήρα να αναπτυχθεί στο χώρο που είναι σχεδιασμένος για την μορφή της φλόγας.

Καταστραμμένα ή τμήματα πλακιδίων του καυστήρα που λείπουν μπορούν να προκαλέσουν ανισόρροπη κατανομή του αέρα μέσα στον καυστήρα. Αυτό θα οδηγήσει σε ζώνες πλούσιες σε καύσιμο, τοπικά μεγαλύτερα τμήματα φλόγας, και τη δυνατότητα να μικρύνει προς και μέσα στους σωλήνες. Έλεγχος της κατάστασης των πλακιδίων και επιδιόρθωση εάν είναι απαραίτητο.

Η πρόσπτωση μπορεί να ξεπεραστεί αλλάζοντας τη μορφή της φλόγας. Π.χ. εάν οι διαστάσεις του θαλάμου καύσης επιτρέπουν μια μακρύτερη φλόγα, η θύρα εξόδου του καυστήρα περιλαμβάνοντας και τη γωνία μπορεί να μειωθεί για να ληφθεί μια πιο λεπτή φλόγα και να μεταφερθεί ο φάκελος της φλόγας πιο μακριά από τους σωλήνες.

3.4 Λάμψη φλόγας (flashback)

A) Ένδειξη του προβλήματος

Το φαινόμενο αυτό συμβαίνει στους καυστήρες πρόμιξης όταν η ταχύτητα της φλόγας είναι μεγαλύτερη από τη ταχύτητα του ρέοντος μίγματος και μέτωπο της φλόγας μεταδίδεται πίσω μέσω του αναμίκτη ή του βεντούρι στο στόμιο ή της περιοχής όπου το καύσιμο και ο πρωταρχικός αέρας αναμιγνύονται. Μετά το ρευστό και ο πρωταρχικός αέρας συνεχίζουν να καίγονται στο βεντούρι ή τον αναμίκτη. Το flashback είναι πιθανό να συμβεί σε καυστήρες που χρησιμοποιούνται καύσιμα που έχουν υψηλή αναλογία μεταξύ των κατώτερων και ανώτερων ορίων ευφλεκτότητας.

Τέτοια καύσιμα που είναι υποψήφια να παρουσιαστεί αυτό το φαινόμενο είναι: ασετυλίνη, οξειδίο του αιθυλενίου, υδρογόνο, αιθυλένιο, θειούχο υδρογόνο κ.α.

Άλλος λόγος παρουσίας του φαινομένου είναι ότι ο σχεδιασμός του άκρου του αερίου δεν είναι βελτιστοποιημένος για το καύσιμο που πρόκειται να αναφλεγεί.

Εάν η ταχύτητα του αερίου και του αέρα που εξέρχεται το άκρο του καυσίμου είναι πολύ χαμηλή, εξαιτίας της μεγάλης διαμέτρου της θύρας καύσης, ύστερα η ταχύτητα του μετώπου της φλόγας μπορεί να είναι μεγαλύτερη από τη ταχύτητα του μίγματος καυσίμου/αέρα που εξέρχεται το άκρο και το flashback θα εμφανιστεί.

Όταν συμβεί μέσα στον αναμίκτη ή στο σωλήνα βεντούρι, μια φλόγα θα παρατηρηθεί να καίγεται εντός τους. Εάν έχει συμβεί στο παρελθόν αλλά δεν έχει παρατηρηθεί, ο αναμίκτης ή ο βεντούρι θα δείξουν σημάδια οξειδωσης στο έξω μέρος του χυτοσιδηρού βεντούρι. Όταν συμβαίνει σε έναν καυστήρα πρόμιξης, υπάρχει πολύ μικρή αμφιβολία στον χειριστή ότι συμβαίνει αυτό το φαινόμενο γιατί ένας τραχύς θόρυβος στον αναμίκτη θα συνεχίσει να εκπέμπεται εωσότου διορθωθεί το πρόβλημα.

B) Η επίδραση στη λειτουργία

Όταν αυτό το φαινόμενο συμβαίνει και παραμένει αδιόρθωτο, ο αναμίκτης του καυστήρα ή ο σωλήνας βεντούρι καταστρέφονται από τις υψηλές θερμοκρασίες που δημιουργούνται μέσα στον αναμίκτη από την αντίδραση καύσης που πραγματοποιείται. Η ζημιά στα τμήματα του καυστήρα θα οδηγήσει σε υψηλότερα κόστη συντήρησης. Όταν συμβαίνει flashback η ικανότητα του καυστήρα περιορίζεται. Όταν συμβαίνει σε πολλούς καυστήρες μέσα στο θερμαντήρα, η θερμοκρασία εξόδου της διαδικασίας δεν μπορεί να ληφθεί. Η καύση μέσα στον σωλήνα βεντούρι και η διακοπτόμενη ανοικτή φλόγα δημιουργεί μεγάλο κίνδυνο ασφαλούς λειτουργίας και για τον εξοπλισμό και το προσωπικό.

Γ) Η αιτία και οι Διορθωτικές ενέργειες

Η λύση στο πρόβλημα μπορεί να διαφέρει και εφαρτάται τι είναι διαθέσιμο στο χειριστή. Ο χειριστής πρέπει αμέσως να ελέγξει την θύρα εκροής στην έξοδο του αερίου και το κύριο στόμιο του αερίου για να διασφαλιστεί ότι και τα δύο είναι καθαρά. Εάν το στόμιο είναι βρώμικο, η ροή του καυσίμου θα μειωθεί μέχρι του σημείου να δημιουργηθεί συνθήκη flashback. Εάν η θύρα εκροής στην έξοδο του αερίου είναι βρώμικη, η ροή του καυσίμου/αέρα μειώνεται στη θύρα εκροής μέχρι του σημείου να

δημιουργηθεί συνθήκη flashback. Επομένως, ο χειριστής πρέπει να καθαρίσει και τα δύο σημεία για να επιτραπεί η ταχύτητα του καυσίμου/αέρα να παραμένει υψηλότερη από την ταχύτητα της φλόγας έτσι ώστε να μην συμβεί flashback.

Εάν η σύνθεση καυσίμου ή η απαίτηση θερμότητας αλλάξει, οδηγώντας σε χαμηλότερες πιέσεις λειτουργίας, οι καυστήρες πρέπει να σταματήσουν για να αυξηθεί η πίεση του αερίου καυσίμου ή νέα στόμια απαιτούνται στους αναμίκτης ή στο βεντούρι για να διατηρηθεί η πίεση του αερίου καυσίμου σε επίπεδο επαρκές να πρόληψη του flashback.

Εάν αυξάνοντας την πίεση του καυσίμου δεν λυθεί το πρόβλημα, κάποιος μπορεί να προσέξει την ταχύτητα της φλόγας του μίγματος καυσίμου/αέρα για άλλη λύση. Η ταχύτητα της φλόγας σχετίζεται με το ποσοστό του αέρα στο αέριο καύσιμο. Μια αλλαγή σε αυτό το ποσοστό, ρυθμίζοντας τη θύρα αέρα του καυστήρα, μπορεί να αυξήσει ή να μειώσει την ταχύτητα της φλόγας. Μειώνοντας τη ροή του αρχικού αέρα μειώνεται η ταχύτητα φλόγας του μίγματος. Επίσης, ρύθμιση των δευτερευόντων κατανεμητών αέρα έτσι ώστε να ρυθμιστεί το στοχευμένο επίπεδο της περίσσειας οξυγόνου θα μειώσει τον κίνδυνο εμφάνισης του φαινομένου.

3.5 Ακανόνιστες μορφές φλόγας

A) Ένδειξη του προβλήματος

Σε έναν μονό καυστήρα, η μορφή της φλόγας είναι ασύμμετρη. Μια ακανόνιστη μορφή φλόγας συνεπάγεται ότι η φλόγα μεταβάλλεται σε μήκος ή σχήμα κατά μήκος του πλάτους του καυστήρα. Για πολλαπλούς καυστήρες σε ένα θερμαντήρα, η μορφή της φλόγας από τον έναν καυστήρα στον άλλο δεν είναι του ίδιου σχήματος ή όγκου για τις ίδιες συνθήκες.

Ακανόνιστες μορφές φλόγας μπορούν να εμφανιστούν με δύο τρόπους. Ένας μονός καυστήρας μπορεί να έχει τη μία πλευρά της μορφής της φλόγας μεγαλύτερη από την άλλη πλευρά (εικόνα 3.2) ή μέρος της φλόγας να αναδύεται σε διαφορετική γωνία από την κύρια φλόγα. Σε έναν κλίβανο πολλαπλών καυστήρων, μερικοί καυστήρες μπορεί να έχουν μεγαλύτερη μορφή φλόγας από άλλους καυστήρες στον κλίβανο όταν η ίδια πίεση καυσίμου και το ίδιο άνοιγμα των διανεμητών αέρα παρέχεται σε καθέναν από τους καυστήρες.



Εικόνα 3.2: Ακανόνιστη μορφή φλόγας.

B) Επίδραση στη λειτουργία

Είτε σε μονό καυστήρα ή πολλαπλό καυστήρα, η ακανόνιστη μορφή μπορεί να προκαλέσει στο κλίβανο να έχει θερμά σημεία στους σωλήνες. Στην περίπτωση των κλιβάνων πολλαπλών καυστήρων, οι καυστήρες με μεγαλύτερα μήκη φλόγας μπορεί να δημιουργήσουν πρόσπτωση φλόγας στους σωλήνες λειτουργίας ενώ οι άλλοι καυστήρες έχουν μικρότερα μήκη φλόγας, συμπαγείς φλόγες και δεν δημιουργούν θερμά σημεία στους σωλήνες. Ακανόνιστα σχήματα φλόγας μπορεί να οδηγήσουν σε υψηλότερα λειτουργικά κόστη ή μετάκαυση λόγω της ατελούς καύσης του καυσίμου που καίγεται.

Γ) Η αιτία και οι Διορθωτικές ενέργειες

Στην περίπτωση μιας ακανόνιστης φλόγας από έναν μονό καυστήρα (εικ. 3.2) το πρόβλημα μπορεί να είναι ένα βρώμικο άκρο καυστήρα, ένα διαβρωμένο άκρο ή ένα άκρο που δεν έχει τοποθετηθεί σωστά λαμβάνοντας υπόψη το πυρίμαχο μέρος. Σε μια τέτοια περίπτωση μερικά στόμια μπορεί να είναι μερικώς φραγμένα ενώ άλλα λειτουργούν κανονικά. Εάν μέρος της φλόγας αναδύεται σε διαφορετική γωνία από την κύρια φλόγα, διάβρωση άκρου μπορεί να συμβαίνει. Λανθασμένα τοποθετημένα άκρα μπορεί να είναι πολύ κοντά ή πολύ μακριά ή να είναι γυρισμένα σε λάθος κατεύθυνση λαμβάνοντας υπόψη την προεξοχή του πυρίμαχου πλακιδίου έναυσης. Η ακανόνιστη φλόγα μπορεί να προκαλείται από ένα ξένο υλικό όπως μια μόνωση του πυρίμαχου υλικού στο λαιμό του καυστήρα ή από χαλασμένο πλακίδιο. Καθένα

από αυτά μπορεί να επηρεάσει τη τοπική ανάμιξη του καυσίμου και του αέρα, καθυστερώντας την ανάμιξη σε μέρος του λαιμού και μακραίνοντας τη φλόγα σε αυτόν τον καυστήρα.

Στην περίπτωση των πολλαπλών καυστήρων στον ίδιο θάλαμο καύσης, το πρόβλημα μπορεί να είναι πιο πολύπλοκο. Κάποιοι από τους καυστήρες μπορεί να είναι φραγμένοι ενώ άλλοι να λειτουργούν κανονικά. Οι κατανεμητές αέρα μπορεί να είναι σε διαφορετικές ρυθμίσεις προκαλώντας άνισες ροές αέρα κατά μήκος κάθε καυστήρα. Μια πρόχειρα σχεδιασμένη συσκευή συλλέκτη μπορεί να παρέχει αέρα καύσης σε ποσότητες ανάλογες των αναγκών δηλαδή περισσότερο σε άλλους καυστήρες και λιγότερους σε άλλους καυστήρες.

Το προσωπικό συντήρησης και εγκατάστασης μπορεί να έχουν τοποθετήσει τα άκρα των καυστήρων σε λανθασμένη θέση σε σχέση με την προεξοχή της πυρίμαχης περιοχής.

Τα άκρα του καυστήρα που είναι σχεδιασμένα να έχουν συγκεκριμένη κατεύθυνση σε σχέση με τα άλλα άκρα ή την πυρίμαχη προεξοχή μπορεί να έχουν στραφεί σε λάθος θέση δημιουργώντας παρεμβολή φλόγας σε φλόγα. Το πυρίμαχο πλαίσιο μπορεί να έχει καταστραφεί δημιουργώντας πτωχή ή άνιση κυκλοφορία αέρα γύρω από τα άκρα του καυστήρα.

Προφανώς, είναι καλή πρακτική να ρυθμίζεις τα άκρα του καυστήρα για να διασφαλίσεις ότι δεν είναι βρώμικα ή φραγμένα. Πολλές ακανόνιστες μορφές φλόγας διορθώνονται απλά διατηρώντας τα άκρα του καυστήρα σε καλή λειτουργική κατάσταση.

Εάν το καύσιμο είναι πετρέλαιο ή κάποιος βαρύτερος υδρογονάνθρακας, μερικά στόμια στα άκρα μπορεί να φράξουν εντελώς από επικαθήσεις άνθρακα. Με το χέρι μπορεί να εισαχθεί ένα περιστρεφόμενο τρυπάνι μέσα στο στόμιο και εισάγοντας ατμό μέσω του στομίου μπορεί να καθαριστεί πλήρως το στόμιο. Δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται με ισχύ διατρητικά εργαλεία ή τρυπάνια γιατί μπορεί λόγω της μεγάλης τους διατρητικής ικανότητας να μεταβάλλουν το σχήμα και το μέγεθος του στομίου και σαφώς δημιουργώντας σοβαρά προβλήματα λειτουργίας στην εγκατάσταση αφού αλλάζουν τα γεωμετρικά στοιχεία της και οι ρυθμίσεις της.

Εάν μεγαλύτερο ή διαφορετικού μεγέθους στόμιο τότε ρέει καύσιμο σε διαφορετικό ρυθμό και επομένως οδηγεί το άκρο να παράγει μια ακανόνιστου σχήματος φλόγα.

Σε κλιβάνους πολλαπλών καυστήρων, όλα τα άκρα των καυστήρων πρέπει να ελέγχονται, να καθαρίζονται και να είναι του ίδιου μεγέθους τα στόμια. Όλοι οι

κατανεμητές αέρα πρέπει να είναι ρυθμισμένοι στο ίδιο σχετικό άνοιγμα. Όλες οι πιέσεις των καυσίμων στους καυστήρες πρέπει να είναι του ίδιου επιπέδου. Εάν οι φλόγες μετά από όλες αυτές τις ρυθμίσεις είναι ακανόνιστου μεγέθους τότε ένας έλεγχος στα σχέδια του κατασκευαστή για τον έλεγχο της θέσης του άκρου του καυστήρα και την κατεύθυνση του είναι απαραίτητος.

Έλεγχος όλων των άκρων ότι είναι στο σωστό ύψος και κατεύθυνση σε σχέση με τη θέση έναυσης είναι απαραίτητος. Έλεγχος για βλάβες στα πυρίμαχα πλακίδια ειδικά στις ενδιάμεσες περιοχές των άκρων είναι απαραίτητος.

Προβλήματα κατανομών αέρα είναι δύσκολο να διαγνωστούν. Τέτοια προβλήματα συχνά συμβαίνουν όταν η κατασκευή αυτή συλλογής και διανομής αέρα δεν είναι σωστά διαστασιολογημένη. Σαν αποτέλεσμα, κάποιοι καυστήρες λαμβάνουν περισσότερο αέρα καύσης και άλλοι καυστήρες “λιμοκτονούν” για αέρα καύσης. Ο χειριστής χρειάζεται να διασφαλίσει ότι όλοι οι κατανομείς αέρα έχουν το ίδιο μέγεθος ανοίγματος. Ο σχεδιαστής πρέπει να διασφαλίσει ότι οι συσκευές συλλογής και κατανομής αέρα είναι κατάλληλα διαστασιολογημένες για καλή κατανομή αέρα σε όλους τους καυστήρες. Προτείνεται να μοντελοποιούνται αυτές οι εγκαταστάσεις και έτσι να υπάρχει μια ασφαλιστική δικλείδα όσον αφορά τα απαιτούμενα χαρακτηριστικά τους. Σε μεγάλες εγκαταστάσεις κατανομής και συλλογής αέρα για χρήση σε καυστήρες μπορεί να δώσει λύση στο πρόβλημα η προσθήκη εισόδων αέρα σε καίρια σημεία έτσι ώστε να βελτιωθεί η κατανομή του αέρα.

3.6 Διαρροή καυσίμου

A) Ένδειξη του προβλήματος

Στους θερμαντήρες, ο χειριστής μπορεί να παρατηρήσει σταλαγματιές διαρροής καυσίμου και δημιουργία μικρών λιμνών από καύσιμο κάτω από τη θέση του θερμαντήρα. Δημιουργία τέτοιας κατάστασης σε μια εγκατάσταση διανομής αέρα μπορεί να προκαλέσει μια φωτιά στην εγκατάσταση, καταστροφή των καυστήρων και της δομής του θερμαντήρα. Η ασάλινη επένδυση της εγκατάστασης του αέρα δεν μπορεί να προσεγγιστεί από τον χειριστή λόγω της υψηλής επιφανειακής θερμοκρασίας. Τότε παρατηρείται ότι η επίστρωση και το χρώμα στην εξωτερική επιφάνεια της εγκατάστασης να αλλοιώνεται και να ξεφλουδίζει οπότε αλλοιώνεται και η δομή και η ανθεκτικότητα της εγκατάστασης και σαφώς η λειτουργία της υποβαθμίζεται με συνέπειες σε όλα τα παρελκόμενα συστήματα.

B) Η αιτία και η Επίδραση στη λειτουργία

Μια ανοικτή “λίμνη” με καύσιμο υπό έναν κλίβανο σε λειτουργία είναι καθαρά ένας κίνδυνος πυρκαγιάς που πρέπει άμεσα να διορθωθεί για να διασφαλίσει ο χειριστής τη δική του ασφάλεια αλλά και του εξοπλισμού. Εάν αυτή η λίμνη καυσίμου κάτω από τον θερμαντήρα επιτραπεί να αναφλεγεί και καεί, βλάβη θα υπάρξει για τον θερμαντήρα. Επιπλέον, το καύσιμο που δεν καταναλώνεται στην αντίδραση καύσης, θα προκαλέσει υψηλότερα λειτουργικά κόστη καυσίμου.

Ο κύριος λόγος της διαρροής καυσίμου ή σταγόνες καυσίμου από τον καυστήρα είναι συνήθως η ελλιπή έγχυση και ψεκασμός του καυσίμου όταν η θερμοκρασία του καυσίμου είναι μικρότερη από τη απαιτούμενη ή ο εγχυτήρας είναι χαλασμένος ή φραγμένος. Σε χαμηλότερες θερμοκρασίες καυσίμου πετρελαίου ή άλλων κλασμάτων με υψηλότερο ιξώδες καυσίμου, οι σταγόνες του καυσίμου που κινούνται είναι μεγαλύτερες σε μέγεθος. Αυτές έρχονται σε επαφή με τα πλακίδια του καυστήρα και αρχίζουν να ρέουν προς τα κάτω στον καυστήρα μέσα στη βάση του.

Θα πρέπει η θερμοκρασία του καυσίμου να είναι τόσο έτσι ώστε το ιξώδες του καυσίμου να είναι στα προδιαγεγραμμένα όρια για να μην αλλοιώνεται το μέγεθος των σταγόνων του.

Βέβαια όλες οι διαρροές δεν οφείλονται στην λάθος έγχυση αλλά και σε άλλους λόγους. Εάν το στόμιο του καυσίμου δεν εισέρχεται αρκετά μακριά μέσα στον καυστήρα, το σπρέι θα έρθει σε επαφή με το πλακίδιο και θα προκαλέσει επικάθηση στο πλακίδιο όπως και δημιουργία σταγόνων καυσίμου και διαρροή. Αυτό συνήθως συμβαίνει όταν το στόμιο του καυσίμου από τον έναν καυστήρα λανθασμένα εγκατασταθεί σε άλλον. Αρα ο χειριστής θα πρέπει να συμβουλευτεί τα σχέδια του κατασκευαστή για να ελέγξει τις θέσεις των άκρων των αγωγών καυσίμου και να προσδιορίσει τις θέσεις του σε κάθε καυστήρα.

Γ) Διορθωτικές ενέργειες

Οι χειριστές πρέπει να είναι προσεκτικοί με τις ενδείξεις της πτωχής έγχυσης έτσι ώστε δράση να γίνει πριν συμβεί η διαρροή καυσίμου. Πολλές μικρές φλόγες ή αναφλέξεις που αφήνουν την κύρια φλόγα είναι ένδειξη χαμηλής έγχυσης ή παρουσίας σταγονιδίων νερού στο σπρέι καυσίμου. Φλόγες με καπνό, επικαθήσεις στο άκρο του καυστήρα και μη ελεγχόμενες φλόγες που φτάνουν το τμήμα της

μεταφοράς θερμότητας μπορεί επίσης να είναι ένδειξη του προβλήματος της έγχυσης.

Ο χειριστής πρέπει να ελέγχει τη θερμοκρασία του καυσίμου στον καυστήρα και θα πρέπει να ελέγχει τη θερμοκρασία σε ένα ιξώδες περίπου 50 centistokes ή λιγότερο. Ο χειριστής πρέπει να ελέγχει όλα τα μέρη του συστήματος παροχής καυσίμου. Να καθαρίζονται τα άκρα του αγωγού του καυσίμου και ο εγχυτήρας και να ελέγχεται η παρουσία ξένων υλικών που δεν θα πρέπει να είναι παρόντα σε κανένα σημείο με τους αγωγούς και τις συσκευές που αφορούν τη μεταφορά και κατανομή του καυσίμου. Τα άκρα του αγωγού του καυσίμου πρέπει να ελέγχεται για διάβρωση και να αντικαθίσταται εάν είναι απαραίτητο.

Επίσης ο χειριστής θα πρέπει όπως είναι προφανές και τα σχέδια του κατασκευαστή για να ελέγξει και επιβεβαιώσει ότι οι θέσεις των άκρων του καυσίμου είναι σύμφωνα με τις προδιαγραφές και τις οδηγίες εγκατάστασης.

Η διαφορική πίεση ατμού σε καύσιμο πρέπει επίσης να ελέγχεται και να ρυθμίζεται σύμφωνα με τους ισχύοντες κανονισμούς. Οι παγίδες ατμού που έχουν τοποθετηθεί πρέπει να ανοίγονται σωστά και τακτικά για να διασφαλιστεί ότι καθόλου συμπυκνώματα ή νερό δεν είναι παρόντα στο ατμό έγχυσης και η μόνωση σε αυτά τα σημεία πρέπει να είναι σε καλή κατάσταση.

3.7 Μεγάλες φλόγες με καπνό

A) Ένδειξη του προβλήματος

Οπτική παρατήρηση μέσα στο θάλαμο καύσης αποκαλύπτει μακριές, βρώμικες, φλόγες με καπνό που πιθανόν να πλησιάζουν το τμήμα μεταφοράς θερμότητας του θερμαντήρα. Καπνός μπορεί να παρατηρηθεί στην έξοδο της καπνοδόχου. Η φλόγα ενώ θα πρέπει να είναι προσαρμοσμένη σε μορφή σύμφωνα με το χώρο στο θάλαμο καύσης, μπορεί να έχει πρόσπτωση στους σωλήνες στο τμήμα της μεταφοράς θερμότητας. Η ζώνη καύσης μπορεί να εμφανίζεται θαμπή αντί να είναι καθαρή και αστραφτερή.

Ο χειριστής του θερμαντήρα ίσως να παρατηρήσει ότι η εξωτερική θερμοκρασία της διαδικασίας δεν μπορεί να επιτευχθεί. Επίσης και η θερμοκρασία στη καπνοδόχο είναι πάνω από τις προδιαγραφές σχεδιασμού.

B) Επίδραση στη λειτουργία

Μακριές και καπνώδεις φλόγες είναι αποτέλεσμα ατελούς καύσης και μπορούν να καταναλώσουν πολύ περισσότερο καύσιμο από το απαραίτητο για να πετύχουν την επιθυμητή μεταφορά θερμότητας και εξωτερική θερμοκρασία. Καπνιά (άκαυστος άνθρακας) μπορεί να επικάθεται στις επιφάνειες των σωλήνων στην περιοχή μεταφοράς θερμότητας μειώνοντας την. Η δημιουργία επικαθήσεων άνθρακα μπορεί να παρατηρηθεί στο πλακίδιο του καυστήρα. Οι απαιτούμενες εξωτερικές θερμοκρασίες της διαδικασίας δεν μπορούν να δημιουργηθούν.

Γ) Διορθωτικές ενέργειες

Οι διορθωτικές ενέργειες στοχεύουν να διασφαλίσουν ότι ικανοποιητικός αέρας παρέχεται σε κάθε καυστήρα και ότι αυτός ο αέρας αναμιγνύεται γρήγορα και εντελώς με το καύσιμο έτσι ώστε να επιτευχθεί γρήγορη καύση και μικρότερος όγκος φλόγας. Ο αέρας που δεν αναμιγνύεται με το καύσιμο στον καυστήρα περνά σε λιγότερο τυρβώδες θάλαμο καύσης όπου ανάμιξη του καυσίμου και του αέρα δεν είναι πιθανή και οι θερμοκρασίες ανάφλεξης είναι πολύ χαμηλές για πραγματοποίηση καύσης.

Ο χειριστής πρέπει να ελέγχει τα επίπεδα του απαραίτητου οξυγόνου και του οξυγόνου σε περίσσεια στο πάνω μέρος του τμήματος ακτινοβολίας του θερμαντήρα για να προσδιορίσει εάν υπάρχει επαρκές οξυγόνο για να κάψει το καύσιμο. Εάν το οξυγόνο σε περίσσεια είναι χαμηλότερο από το στόχο, τότε πρέπει τα επίπεδα του να ρυθμιστούν στα σωστά επίπεδα βάσει κανονισμών και μελετών.

Επίσης ο χειριστής θα πρέπει να ελέγξει την θερμοκρασία του υγρού καυσίμου στον καυστήρα. Εάν δεν είναι σωστή η θερμοκρασία και το σωστό ιξώδες, η διαδικασία έγχυσης δεν θα είναι σωστή και έτσι θα παρουσιαστούν προβλήματα στην καύση και κατ' επέκταση στη παρουσία καπνωδών φλογών. Ο χειριστής πρέπει να ελέγχει όλα τα μέρη του συστήματος παροχής καυσίμου. Να καθαρίζονται τα άκρα του αγωγού του καυσίμου και ο εγχυτήρας και να ελέγχεται η παρουσία ξένων υλικών που δεν θα πρέπει να είναι παρόντα σε κανένα σημείο με τους αγωγούς και τις συσκευές που αφορούν τη μεταφορά και κατανομή του καυσίμου. Τα άκρα του αγωγού του καυσίμου πρέπει να ελέγχεται για διάβρωση και να αντικαθίσταται εάν είναι απαραίτητο.

Εάν οι καυστήρες δείχνουν μακριές φλόγες και οι περισσότεροι έχουν το ίδιο μήκος φλόγας, ο ρυθμός καύσης χρειάζεται να ελεγχθεί. Καύση πάνω από την ρυθμισμένη μεταφορά θερμότητας, ειδικά με παρόμοιου μεγέθους καυστήρες ή με μερικούς καυστήρες εκτός λειτουργίας, θα δημιουργήσει μια έλλειψη οξυγόνου στους καυστήρες και μακριές φλόγες να δημιουργούν καπνό. Η τοποθέτηση περισσότερων καυστήρων σε λειτουργία ή μείωση της παροχής καυσίμου θα ήταν μια λύση. Επίσης μπορεί να ερωτηθεί η κατασκευάστρια εταιρία εάν μεγαλύτεροι καυστήρες είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθούν για να αυξηθεί η απελευθέρωση θερμότητας και το φαινόμενο να εξαλειφθεί.

Επίσης έλεγχος του μεγέθους των θυρών στα άκρα του καυστήρα είναι σημαντικός μιας και λάθος στο μέγεθος τους ή λανθασμένη κατασκευή θα επέτρεπε άνιση παροχή καυσίμου για τον διαθέσιμο αέρα, άρα λάθος διαδικασία καύσης και παρουσία καπνού στις φλόγες.

Όταν αναφλέγεται αέριο καύσιμο σε μικρή επάρκεια αέρα και οι φλόγες γίνονται μακριές και καπνώδεις, υποψιαστείτε μια αλλαγή στη σύνθεση του αερίου καυσίμου. Η αντικατάσταση με υψηλότερης θερμικής αξίας, βαρύτερα συστατικά με μειωμένη πίεση καυστήρα θα αυξήσει την απαίτηση του οξυγόνου. Οι διανεμητές αέρα πρέπει να είναι ανοικτοί για να παρέχουν περισσότερο αέρα σύμφωνα με τις απαιτήσεις της εγκατάστασης για την σωστή της λειτουργία χωρίς την παρουσία προβλημάτων και σφαλμάτων.

3.8 Διακοπή καυστήρα σε λειτουργία

A) Ένδειξη του προβλήματος

Αν και ο χειριστής ακολουθεί τις διαδικασίες να ενεργοποιήσει τον καυστήρα, δεν υπάρχει ένδειξη της έναυσης του. Επίσης, αφότου ο θερμαντήρας είναι σε λειτουργία, ένας ή περισσότεροι καυστήρες χάνουν τη φλόγα τους ξαφνικά.

B) Επίδραση στη λειτουργία

Εάν ο καυστήρας αποτύχει να ξεκινήσει, η εξωτερική θερμοκρασία της μονάδας δεν θα επιτευχθεί ή το ξεκίνημα του θερμαντήρα θα καθυστερήσει. Επιπλέον εάν ο καυστήρας αποτύχει να ξεκινήσει τη λειτουργία του ή χάσει τις φλόγες του, ο κλίβανος θα γεμίσει με ένα επικίνδυνο μίγμα αερίου και αέρα που μπορεί να έχει σαν αποτέλεσμα μια έκρηξη στο θάλαμο καύσης.

Γ) Διορθωτικές ενέργειες

Η πιο συνήθης αιτία αποτυχίας έναυσης είναι η λανθασμένη τοποθέτηση του καυστήρα πιλότου σε σχέση με τον κύριο καυστήρα. Εάν ο πιλότος δεν είναι τοποθετημένος έτσι ώστε η φλόγα του να κατευθύνεται μέσα στο μίγμα καυσίμου/αέρα που αφήνει τον κύριο καυστήρα, η θερμοκρασία ανάφλεξης δεν επιτυγχάνεται και η κύρια φλόγα δεν ενεργοποιείται.

Ο χειριστής πρέπει να ελέγξει όλα τα στοιχεία του πιλότου και του καυστήρα για να διασφαλίσει ότι έχουν τοποθετηθεί σύμφωνα με τις προδιαγραφές στα σχέδια του κατασκευαστή.

Έλεγχος ότι καύσιμο αέριο παρέχεται στον καυστήρα. Πριν την εκκίνηση, η γραμμή παροχής καυσίμου πρέπει να ελέγχεται για την κατάλληλη πίεση με ένα αδρανές αέριο. Εάν αυτό το αέριο μετά τη χρήση του δεν αντικατασταθεί με καύσιμο, ο χειριστής θα δοκιμάσει έναυση ενός αδρανούς υλικού. Θα πρέπει να ακολουθηθούν οι συνήθεις διαδικασίες να απομακρυνθεί το αέριο αυτό και να ελεγχθεί η παρουσία ενός αναφλέξιμου υλικού.

Έλεγχος για κλειστές ή μπλοκαρισμένες βαλβίδες, “τυφλές” γραμμές παροχής καυσίμου, συνδεδεμένα φίλτρα και σύνδεσμοι ή θύρες του καυστήρα καθώς και λάθος συνδεσμολογίες αγωγών. Το μπλοκάρισμα και το πρόβλημα συνδέσεων είναι ένα σύνηθες πρόβλημα κατά το ξεκίνημα εάν οι σωληνώσεις είναι καινούργιες ή προέρχονται από αναθεωρήσεις λόγω των ξένων υλικών που έχουν παραμείνει στις γραμμές παροχής.

Όταν η φλόγα των καυστήρων σβήσει σε λειτουργία, το πρόβλημα είναι συνήθως μια διακοπή στην παροχή καυσίμου ή αέρα που παρέχεται στον καυστήρα. Διακοπή παροχής καυσίμου μπορεί να προκληθεί από σφάλματα οργάνων μέτρησης όπως το κλείσιμο και το άνοιγμα μιας βαλβίδας ελέγχου καυσίμου. Εάν ο πιλότος του καυστήρα είναι μικρός, το καύσιμο θα επαναφλεγεί μόνο με μια μικρή παροχή καυσίμου ή μια μικρή εκτόνωση. Εάν δεν υπάρχει πιλότος, το καύσιμο μπορεί να μην αναφλεγεί και το αέριο καύσιμο θα συνεχίσει να ρέει με αποτέλεσμα ένα εύφλεκτο μίγμα να δημιουργηθεί και να οδηγήσει σε έκρηξη.

Οι καυστήρες αερίου είναι πιθανό να σβήνουν εάν μια σημαντική ποσότητα υγρού εισέλθει στον καυστήρα σαν οτιδήποτε άλλο από σταγονίδια. Οι καυστήρες αερίου δεν έχουν την δυνατότητα να διασπούν το υγρό σε λεπτά διαχωρισμένα σταγονίδια που μπορούν να καούν. Έτσι η φλόγα χάνεται εάν το υγρό εκρέει μέσω του καυστήρα. Τα υγρά μπορεί να είναι αμίνες που προέρχονται από εγκαταστάσεις

απομάκρυνσης θειωδών από υδρογονάνθρακες, από (λόγω κρύου καιρού) συμπυκνωμένα βαρέα αέρια όπως προπάνιο ή βουτάνιο που προστίθεται σαν συμπλήρωμα στη κανονική παροχή καυσίμου ή συμπυκνωμένος ατμός νερού.

Εγκαταστάσεις απαλλαγής από υγρά πρέπει να ληφθούν υπόψη για να εγκατασταθούν.

Όλοι οι καυστήρες μπορεί να χάσουν τη φλόγα τους εάν η παροχή του αέρα διακόπτεται είτε από ανοιγοκλεισίματα των αγωγών αέρα είτε από αναρροφήσεις μέσα στο θάλαμο καύσης. Πρέπει να διασφαλιστεί ότι οι συνθήκες λειτουργίας της εγκατάστασης επιτρέπουν την παροχή αέρα να ρέει κατά μήκος των καυστήρων όλες τις στιγμές.

Επίσης μεγάλη ροή αέρα μπορεί να προκαλέσει χάσιμο της έναυσης ή προβλήματα σβησίματος του καυστήρα. Πολύς αέρας θα οδηγήσει σε ένα μη αναφλέξιμο μίγμα στον καυστήρα. Επίσης μεγάλη περίσσεια αέρα μπορεί να οδηγήσει το μίγμα καυσίμου/αέρα κάτω από τη θερμοκρασία ανάφλεξης. Εάν αυτό συμβαίνει, κλείσιμο των διανεμητών αέρα και του συστήματος στην καπνοδόχο για να μειωθεί ο υπερβάλλον αέρας στο θάλαμο καύσης στα επιθυμητά όρια ή σε ένα ελάχιστο επίπεδο κατά τη διάρκεια της εκκίνησης.

Όταν καίγεται υγρό καύσιμο, το μέσο έγχυσης μπορεί να σβήσει τη φλόγα εάν η πίεση του καυσίμου είναι πολύ χαμηλή, εάν η θερμοκρασία του καυσίμου είναι πολύ χαμηλή, ή εάν οι συνθήκες λειτουργίας του μέσου έγχυσης δεν είναι οι σωστές. Έλεγχος όλων των παραπάνω παραγόντων και επίβλεψή τους σε τακτά χρονικά διαστήματα θα επιτρέψει τη αποφυγή αυτής της κατάστασης.

3.9 Φλόγες υπό κλίση

A) Ένδειξη του προβλήματος

Στο πάτωμα ή σε κλιβάνους με ανάφλεξη στο πάνω μέρος, οι φλόγες μπορεί να γέρνουν στη μια πλευρά αντί να καίγονται σε κάθετη γραμμή. Σε κλιβάνους που η καύση γίνεται σε τοίχωμα, οι φλόγες μπορεί να γέρνουν στην πλευρά αντί να καίγονται οριζόντια και προς τα πάνω.

Παρατήρηση της μορφής της φλόγας μέσα στο θάλαμο καύσης αποκαλύπτει ότι η κεντρική γραμμή της φλόγας δεν ακολουθεί το σχεδιασμένο μονοπάτι όπως έχει προσδιοριστεί από τον κατασκευαστή του καυστήρα. Η φλόγα συχνά αναμένεται να διαδοθεί σε μια γενική κατεύθυνση της κεντρικής γραμμής του στομίου αέρα ή του

πυρίμαχου πλακιδίου. Όμως σε μερικούς καυστήρες, η φλόγα μπορεί να έχει σχεδιαστεί να διαδίδεται στη γενική κατεύθυνση του στομίου του καυσίμου αερίου.

B) Επίδραση στη λειτουργία

Οι φλόγες που δεν έχουν τα αναμενόμενα σχήματα και κατεύθυνση μπορούν να δημιουργήσουν προβλήματα όπως πρόσπτωση στους σωλήνες λειτουργίας που θα έχουν σαν αποτέλεσμα θερμά σημεία και μπορεί να δημιουργήσουν τελικά ρήξη των σωλήνων.

Γ) Αιτίες και Διορθωτικές ενέργειες

Λανθασμένη τοποθέτηση και κατεύθυνση των άκρων του καυστήρα σε σχέση με τα πυρίμαχα τοιχώματα ή το πάτωμα του θαλάμου καύσης μπορεί να δημιουργήσει φλόγες υπό κλίση. Αυτό οφείλεται σε λανθασμένη εγκατάσταση του καυστήρα ή σε παραμόρφωση του ασάλινου κελύφους του θερμαντήρα. Και τα δύο πρέπει να ελεγχθούν και διορθωθούν.

Το λάθος άκρο του καυστήρα, μια ακατάλληλη διάνοιξη του άκρου, ή η στροφή του άκρου σε λάθος κατεύθυνση μπορεί να δημιουργήσει φλόγες υπό κλίση. Όλα πρέπει να ελεγχθούν και να γίνει αναφορά στα πρωτότυπα σχέδια του κατασκευαστή για να διαπιστωθεί η κατεύθυνση και οι θέσεις εάν είναι σωστές ή όχι και να ληφθούν τα κατάλληλα μέτρα.

Λανθασμένη εγκατάσταση ή ζημιές του πυρίμαχου μέρους μπορεί να επηρεάσει την κατεύθυνση της διάδοσης της φλόγας. Όταν παρατηρείται, τέτοια τμήματα πρέπει να επιδιορθώνονται. Καταστραμμένοι κώνοι διαχύτη μπορεί να προκαλέσουν φλόγες υπό κλίση και άνισες μορφές φλόγας (εικ. 3.3) και πρέπει να αντικατασταθούν. Καταστραμμένο άκρο του καυστήρα θα πρέπει να αντικαθίσταται εάν συνεισφέρει στο φαινόμενο αυτό.

Κυκλοφορία ροών από καπναέρια μέσα στο κλίβανο μπορεί επίσης να είναι αιτία φλογών υπό κλίση. Η κυκλοφορία μπορεί να παρατηρηθεί εάν εγχυθεί μαγειρική σόδα ή ενεργοποιημένος άνθρακας στον καυστήρα. Τα σωματίδια που ακτινοβολούν δείχνουν τη κυκλοφορία των καπναερίων μέσα στον θερμαντήρα. Η πιο αποτελεσματική διορθωτική επέμβαση είναι η εγκατάσταση ειδικών τοιχωμάτων ή τοιχωμάτων διαχωρισμού όπως αναλύθηκε σε προηγούμενη ενότητα για να λυθεί το πρόβλημα αυτό από αυτήν την αιτία.

Αναρρόφηση αέρα εν λειτουργία με ελάχιστο οξυγόνο μπορεί να προκαλέσει φλόγες να έχουν κλίση προς την πηγή που διαρρέει ο αέρας. Σημεία διαρροής μπορούν να αναγνωριστούν με δοκιμές καπνού και να στεγανοποιηθούν.



Εικόνα 3.3: Κατεστραμμένος κώνος διαχύτη

3.10 Υψηλή θερμοκρασία καπνοδόχου

A) Ένδειξη του προβλήματος

Κάτω από κανονικές συνθήκες λειτουργίας του κλιβάνου, η θερμοκρασία των καπναερίων που μετρώνται στην καπνοδόχο θα είναι κοντά στις θερμοκρασία λειτουργίας που προβλέφθηκε από το σχεδιαστή του κλιβάνου και ήταν στα καθήκοντά του. Υψηλές θερμοκρασίες στην καπνοδόχο δείχνουν μειωμένη απόδοση του θερμαντήρα, υψηλότερη κατανάλωση καυσίμου και αυξημένα λειτουργικά κόστη. Υψηλές θερμοκρασίες στην καπνοδόχο μπορούν να δείχνουν υπερβολική θερμότητα στη περιοχή της μεταφοράς θερμότητας του θερμαντήρα. Λειτουργία για μεγάλες χρονικές περιόδους σε υψηλότερες από κανονικές θερμοκρασίες καπνοδόχου μπορεί να καταστρέψει τον κλίβανο ειδικά στο τμήμα της οροφής της περιοχής διάδοσης θερμότητας.

B) Επίδραση στη λειτουργία

Υψηλές θερμοκρασίες στην καπνοδόχο δείχνουν μειωμένη απόδοση του θερμαντήρα. Όσο υψηλότερη είναι η θερμοκρασία τόσο χαμηλότερη η απόδοση της

ανάκτησης θερμότητας από τη διαδικασία και υψηλότερα τα λειτουργικά κόστη για να παραχθεί ένα προϊόν. Λειτουργία για μεγάλες χρονικές περιόδους σε υψηλότερες από κανονικές θερμοκρασίες καπνοδόχου μπορεί να καταστρέψει τον καπνοδόχο του κλίβανου και την περιοχής διάδοσης θερμότητας.

Υψηλές θερμοκρασίες καπνοδόχου μπορεί να δείχνουν μετάκαυση στην περιοχή διάδοσης θερμότητας. Η μετάκαυση μπορεί να οφείλεται σε έλλειψη επάρκειας οξυγόνου μέσα στον λαιμό του καυστήρα και στο θάλαμο καύσης. Αέρας που διαρρέει μέσα στο τμήμα της μεταφοράς θερμότητας και η θερμοκρασία του καπναερίου είναι επαρκή να προκαλέσουν την ολοκλήρωση της αντίδρασης καύσης για να συμβεί η μετάκαυση στην περιοχή μετάδοσης θερμότητας του θερμαντήρα. Η μετάκαυση θα οδηγήσει στην καταστροφή της εκτεταμένης επιφάνειας στους σωλήνες στην περιοχή μετάδοσης θερμότητας στον θερμαντήρα. Η απώλεια των επιφανειών αυτών οδηγεί στην απώλεια της μεταφοράς θερμότητας στη αντίστοιχη περιοχή. Η μετάκαυση μέσα στη περιοχή αυτή μπορεί να οδηγήσει σε καταστροφή των σωλήνων στον θερμαντήρα.

Γ) Διορθωτικές ενέργειες

Η θερμοκρασία της καπνοδόχου ελέγχεται από την ποσότητα της περίσσειας οξυγόνου στα καπναέρια. Έτσι, ο χειριστής μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία της καπνοδόχου και να χαμηλώσει την περίσσεια οξυγόνου στα καπναέρια ελέγχοντας την παροχή αέρα από τους διανεμητές και τις άλλες σχετικές συσκευές. Αυτή πρέπει να είναι η αρχική δράση του χειριστή.

Ο χειριστής πρέπει μετά να προσδιορίσει εάν υπάρχουν καθόλου διαρροές αέρα μέσα στον κλίβανο και να μονώσει και απομονώσει όλες τις πιθανές ρωγμές και ανοίγματα που διαρρέει ο αέρας. Η περίσσεια οξυγόνου στο πάνω μέρος του τμήματος ακτινοβολίας πρέπει κατόπιν να ελεγχθεί για να διασφαλιστεί ότι υπάρχει ικανή περίσσεια οξυγόνου στον καυστήρα για να κάψει όλο το καύσιμο υδρογονανθράκων που έχει εγχυθεί. Ένα δεν υπάρχει επάρκεια τότε μετάκαυση θα συμβεί οδηγώντας στις υψηλότερες από τις κανονικές θερμοκρασίες στην καπνοδόχο.

Εάν υπάρχει επάρκεια οξυγόνου μέσα στον θερμαντήρα για να διασφαλιστεί ότι όλοι οι υδρογονάνθρακες θα καούν εντελώς στη ζώνη ακτινοβολίας του θερμαντήρα και οι διαρροές αέρα είναι ελάχιστες τότε ο χειριστής πρέπει να ελέγξει για ξένα επικαθήσεις στους σωλήνες της περιοχής μετάδοσης θερμότητας.

Εάν υγρά καύσιμα καίγονται, ο χειριστής μπορεί να χρειαστεί να φυσήξει την καπνιά από τους σωλήνες του τμήματος μετάδοσης θερμότητας.

Πολλές φορές για το πρόβλημα αυτό χρησιμοποιείται μια απλή τεχνική. Έτσι αλλάζουμε από καύση υγρού καυσίμου σε καύση αερίου καυσίμου μαζί με μέτρια αύξηση στην περίσσεια αέρα, έχει παρατηρηθεί ότι απομακρύνει τις επικαθήσεις μέσα σε λίγες εβδομάδες χωρίς την λήψη άλλων μέτρων και αποφεύγονται δαπανηρές και οδυνηρές λύσεις. Οι επικαθήσεις οξειδώνονται αργά και απομακρύνονται σταδιακά στον καπνοδόχο σαν αέρια.

Επίσης, ο χειριστής πρέπει να ελέγξει εάν υπάρχουν ξένα σώματα μεταξύ των βαθμίδων στους σωλήνες της περιοχής μετάδοσης θερμότητας ή φθαρμένα πτερύγια (βαθμίδες) από προηγούμενες μετακαύσεις.

Ο χειριστής πρέπει να ελέγξει τη θερμοκρασία του υγρού καυσίμου για να διασφαλιστεί η κατάλληλη έγχυση του υγρού καυσίμου μέσα στο φάκελο καύσης του καυστήρα όπως και να ελεγχθεί και διασφαλιστεί η απουσία νερού στο ατμό έγχυσης. Μικρός βαθμός έγχυσης θα οδηγήσει σε μεγάλες σταγόνες καυσίμου που θα μεταφερθούν μέσα στην περιοχή μετάδοσης θερμότητας, θα επικαθήσουν στους σωλήνες και θα οδηγήσουν σε υψηλή θερμοκρασία όπως πριν αναλύθηκε.

Μερικές φορές η υψηλή θερμοκρασία στην καπνοδόχο δημιουργείται από την κατασκευή του θερμαντήρα. Θερμό καπναέριο θα ακολουθήσει το μονοπάτι της ελάχιστης αντίστασης στην είσοδο της καπνοδόχου. Αν δεν ληφθούν κάποια κατασκευαστικά μέτρα για να ελαχιστοποιήσουν αυτή τη διάβαση που μπορεί να συμβεί στις κεφαλές ή στο τέλος των κυρίων περασμάτων του καπναερίου, μια σημαντική ποσότητα καπναερίου φτάνει στην καπνοδόχο χωρίς να μεταφέρει πολύ θερμότητα στους σωλήνες διάδοσης.

3.11 Υπερθέρμανση της περιοχής μεταφοράς θερμότητας

A) Ένδειξη του προβλήματος

Οπτικός έλεγχος του μέσα μέρους του θαλάμου καύσης, υπάρχει πολύ πυρίμαχο υλικό που κείται στο πάτωμα και στους καυστήρες. Το κέλυφος του θερμαντήρα και η δομή στην περιοχή μετάδοσης δείχνει σημάδια υπερθέρμανσης. Οι σωλήνες και οι κατασκευές συγκράτησης αποτυγχάνουν στη χρήση τους. Όταν οι θύρες θέασης ανοίξουν, ζεστά καπναέρια θα φύγουν με δύναμη προς τα έξω και έτσι δημιουργούν μια επικινδυνότητα ασφάλειας στο χειριστή.

B) Επίδραση στη λειτουργία

Το τμήμα μετάδοσης θερμότητας είναι σχεδιασμένο να μεταφέρει θερμότητα από θερμά καπναέρια που εξέρχονται του τμήματος ακτινοβολίας σε θερμοκρασίες 650 έως 1100°C και να μεταφέρει θερμότητα από τα καπναέρια στο υγρό λειτουργίας μέσω μετάδοσης θερμότητας. Εάν τα θερμά καπναέρια διαρρεύσουν μέσω των ρωγμών στο τμήμα μετάδοσης κατόπιν το δομικά φτιαγμένο από ασάλι κέλυφος του θερμαντήρα θα υπερθερμανθεί οδηγώντας σε βλάβη στο θερμαντήρα.

Η υπερθέρμανση αυτή θα οδηγήσει σε καταστροφές δομικών στοιχείων της όλης εγκατάστασης και των διαφόρων υποστηρικτικών δομών και των διατάξεων συγκράτησης πυρίμαχων υλικών με αποτέλεσμα υλικά να πέφτουν στο πάτωμα του θερμαντήρα. Σαν αποτέλεσμα περισσότερη θερμότητα φτάνει το δομικό ασάλι και τελικά το τμήμα μετάδοσης θερμότητας πέφτει μέσα στο τμήμα ακτινοβολίας του θερμαντήρα και η μονάδα της εγκατάστασης σταματά για συντήρηση και επισκευή.

Γ) Διορθωτικές ενέργειες

Ο χειριστής πρέπει αρχικά να πάρει μια πρόχειρη ανάγνωση στο πάνω μέρος του τμήματος της ακτινοβολίας και να το συγκρίνει με την ανάγνωση που πρέπει κανονικά να υπάρχει. Εάν η πρόχειρη ανάγνωση δείχνει θετική πίεση, τότε τα θερμά καπναέρια που εξέρχονται από όλες τις ρωγμές πρέπει να σταματήσουν πριν το ασάλινο κέλυφος υπερθερμανθεί και τα άγκιστρα συγκράτησης του πυρίμαχου τμήματος καταστραφεί και τα πυρίμαχα στοιχεία πέφτουν μέσα στο πάτωμα του θερμαντήρα. Όταν ο χειριστής μετρήσει θετική πίεση στο θερμαντήρα πρέπει να ανοίξει το ρυθμιστή της καπνοδόχου σε φυσικής ροής συστήματα ή τον ανεμιστήρα σε βεβιασμένης ροής συστήματα καπνοδόχου εάν υπάρχει μετρημένη περίσσεια οξυγόνου στην έξοδο του θαλάμου καύσης. Εάν δεν υπάρχει καθόλου περίσσεια οξυγόνου, ελάττωση του ρυθμού καύσης μέχρι η περίσσεια να επιτευχθεί στα επιθυμητά επίπεδα και μετά αύξηση της παροχής καυσίμου. Τότε μια αρνητική πίεση θα πρέπει να εμφανιστεί για να εξαλείψει την υπερθέρμανση της περιοχής μεταφοράς θερμότητας.

Εάν οι συσκευές ελέγχου και τα σχετικά ανοίγματα του αέρα στην καπνοδόχο είναι εντελώς ανοικτές τότε ο χειριστής θα πρέπει να μειώσει το ρυθμό καύσης στο θερμαντήρα, έτσι ώστε να υπάρχει μια ελαφρά αρνητική πίεση στο πάνω μέρος της περιοχής ακτινοβολίας του θερμαντήρα. Επίσης έλεγχος της περισσειας οξυγόνου

και ελάττωση του στη τιμή στόχο. Υψηλή περίσσεια αέρα οδηγεί σε θετική πίεση στο θάλαμο καύσης.

3.12 Μη ανύψωση (lift-off) φλόγας

A) Ένδειξη του προβλήματος

Η πρώτη ένδειξη του προβλήματος lift-off είναι όταν ο χειριστής παρατηρήσει ότι η φλόγα αποσπάται από τον καυστήρα όταν ελέγχει τις μορφές της φλόγας μέσα στο θάλαμο καύσης.

Κανονικά, μη ανύψωση φλόγας συμβαίνει σε έναν ή δύο καυστήρες σε μια πολλαπλών καυστήρων εγκατάσταση και όχι σε όλους τους καυστήρες την ίδια χρονική στιγμή.

Η εξωτερική θερμοκρασία της διαδικασίας, η περίσσεια οξυγόνου στον κλίβανο, οι πιέσεις του καυσίμου και ο θόρυβος από τη λειτουργία του καυστήρα μπορεί να μην δώσει καμία ένδειξη του προβλήματος της μη ανύψωσης της φλόγας.

B) Επίδραση στη λειτουργία

Η μη ανύψωση της φλόγας από τον καυστήρα είναι ένα σοβαρό πρόβλημα ασφαλείας. Εάν η μη ανύψωση είναι σοβαρή, πρέπει να υπάρχει ολική απώλεια της φλόγας στον καυστήρα και άκαυστο καύσιμο θα εγχυθεί στο θάλαμο καύσης. Εάν το πυρίμαχο τμήμα παραμένει σε σημαντικά υψηλή θερμοκρασία ή ο πιλότος είναι αδύναμος, τότε επανέναυση μπορεί να συμβεί. Επανέναυση μπορεί επίσης να ξεκινήσει από προσκολλημένες στον καυστήρα φλόγες.

Η επανέναυση μπορεί να δημιουργήσει μια μικρή ή μεγάλη έκρηξη, εξαρτώμενη από το ποσό του καυσίμου που θα εγχυθεί στο θάλαμο καύσης, με την έκταση της ζημιάς να εξαρτάται από το σχεδιασμό του θερμαντήρα και τη διαμόρφωση.

Εάν η έκρηξη μέσα στο θάλαμο καύσης είναι μικρή, οι θύρες έκρηξης θα ανοίξουν και θα ανακουφίζουν την εσωτερική πίεση που έχει αναπτυχθεί μέσα στο θάλαμο καύσης. Εάν δεν υπάρχουν θύρες έκρηξης στο θερμαντήρα να ανακουφίσει από την πίεση ο θερμαντήρας μπορεί να καταστραφεί από μια τέτοιου μεγέθους έκρηξη.

Εάν η έκρηξη μέσα στο θάλαμο καύσης είναι μεγάλη, ολόκληρος ο θερμαντήρας μπορεί να χωριστεί σε κομμάτια οδηγώντας στο σταμάτημα της βιομηχανικής διαδικασίας.

Η απώλεια του θερμαντήρα θα προκαλέσει απώλεια προϊόντων και επομένως απώλεια κερδών που προέρχονται από τη βιομηχανική μονάδα.

Στις περισσότερες σοβαρές εκρήξεις μέσα στο θάλαμο καύσης, μπορεί να υπάρχει και χάσιμο ανθρώπινης ζωής ή/και τραυματισμός του προσωπικού που χειρίζεται την εγκατάσταση.

Γ) Διορθωτικές ενέργειες

Η ταχύτητα της φλόγας και η ταχύτητα παροχής του αέρα/καυσίμου πρέπει να ισορροπείται για να διασφαλιστεί ότι η φλόγα είναι προσαρτημένη στο άκρο αντί να ανυψώνεται πάνω του.

Όταν παρατηρείται μη ανύψωση φλόγας από έναν καυστήρα πρώτη φορά, άμεσα ελάττωσε τη πίεση του καυσίμου σε αυτόν τον καυστήρα με μερικό κλείσιμο της ειδικής βαλβίδας ελέγχου του καυστήρα. Εάν η φλόγα συνεχίζει να μην ανυψώνεται, ο χρήστης πρέπει να κλείσει εντελώς τον καυστήρα.

Σε κάθε περίπτωση πρέπει να ληφθεί άμεση μέριμνα του προβλήματος μιας και η μη ανύψωση της φλόγας δημιουργεί ανασφαλείς συνθήκες και πρέπει να διορθώνεται άμεσα πριν μια πιο σοβαρή κατάσταση συμβεί που θα δημιουργήσει σοβαρά προβλήματα τόσο στη λειτουργία της εγκατάστασης αλλά και στο εργαζόμενο προσωπικό.

Η ρύθμιση και η τοποθέτηση των άκρων των καυστήρων πρέπει να ελεγχθεί και διασφαλισθεί ότι είναι σύμφωνα με τις οδηγίες και τις προδιαγραφές του κατασκευαστή και της βιομηχανικής μονάδας. Τα άκρα του αερίου πρέπει να είναι τοποθετημένα σε συνάρτηση με την προεξοχή του πλακιδίου ή το συγκρατητή φλόγας όπως στα πρωτότυπα σχέδια και σχετικές μελέτες όπως και τα άκρα του υγρού καυσίμου πρέπει να είναι τοποθετημένα σε σχέση με το διαχύτη ή το λαιμό εισόδου του πλακιδίου. Εάν το άκρο του καυσίμου είναι πολύ ψηλά σε σχέση με το συγκρατητή φλόγας ή το πλακίδιο, τότε η φλόγα μπορεί να μην ανυψώνεται.

Οι θύρες του αερίου καυσίμου και οι θύρες ανάφλεξης πρέπει να ελέγχονται για να διασφαλιστεί η μη φραγή τους. Εάν υπάρχει φραγή πρέπει να καθαριστούν κατά προτίμηση χειρονακτικά με διατρυπητή ίδιου μεγέθους με τις θύρες για να απομακρύνει κάθε ξένο υλικό από τη θύρα.

Εάν ο καυστήρας είναι πρόμιξης, τότε η αρχική θύρα αέρα πρέπει να είναι προσαρμοσμένη στην κατάλληλη θέση. Σε έναν τέτοιο καυστήρα το μίγμα αερίου/αέρα εξέρχεται το άκρο του αερίου σε μια δεδομένη ταχύτητα. Η φλόγα που

αναφλέγεται πάνω από τη θύρα καύσης έχει μια ταχύτητα φλόγας που οδηγείται στην αντίθετη κατεύθυνση γιατί προσπαθεί να οδηγηθεί πίσω στην πηγή του μίγματος αέρα/καυσίμου. Εάν η ταχύτητα του μίγματος είναι πολύ μεγάλη και η ταχύτητα της φλόγας πολύ μικρή, τότε η φλόγα αρχίζει την μη ανύψωση από το άκρο του αερίου του καυστήρα. Για να διορθωθεί η ταχύτητα εξόδου από την θύρα καύσης, η κύρια θύρα του αέρα κλείνεται για να μειωθεί η ποσότητα του αέρα καύσης που εισέρχεται με το αέριο, έτσι επιτυγχάνεται μια μείωση στην ταχύτητα του αερίου/αέρα. Με αυτήν την ταχύτητα, η φλόγα επαναπροσκολλάται στο άκρο του αερίου του καυστήρα ή στον συγκρατητή φλόγας.

Εάν καυστήρας με υγρό καύσιμο παρουσιάζει lift-off, ο χειριστής χρειάζεται να ρυθμίσει την πίεση δημιουργίας ατμού έγχυσης σύμφωνα με τις οδηγίες του κατασκευαστή. Εάν η πίεση ατμοποίησης είναι πολύ υψηλή, η φλόγα του καυσίμου θα τείνει να μην ανυψώνεται από τον καυστήρα.

Ανεξεπέργαστου αερίου καυστήρες που χρησιμοποιούν κώνο σταθεροποίησης μπορεί να εμφανίσουν lift-off εάν ο κώνος λείπει ή έχει καταστραφεί. Πρέπει να σταματήσει η λειτουργία κάθε τέτοιου καυστήρα και να αντικατασταθεί ο κώνος διάχυσης ή ο συγκρατητής της φλόγας έτσι ώστε να λειτουργήσει ξανά με ασφάλεια.

3.13 Μη λειτουργία πιλότου καυστήρα

A) Ένδειξη του προβλήματος

Το πρόβλημα είναι η αποτυχία του πιλότου-καυστήρα να αναφλεγεί ή σβήνει ενώ είναι σε λειτουργία.

Οι πιλότοι-καυστήρες είναι συνήθως μικροί καυστήρες πρόμιξης σχεδιασμένοι να αναφλέγει τον κύριο καυστήρα ενώ απελευθερώνει μόνο μια μικρή ποσότητα θερμότητας. Επειδή οι πιλότοι-καυστήρες έχουν μικρές θύρες, είναι πιο επιρρεπείς σε φραγές. Πολλοί χρήστες χρησιμοποιούν έναν πολύ καθαρό, “αφοσιωμένο” και αξιόπιστο αέριο καύσιμο πιλότου για να εξαφανίσουν αυτό το πρόβλημα.

Η φλόγα του πιλότου θα παραμείνει σταθερή και θα καίγεται καθ’ όλο το πεδίο λειτουργίας του καυστήρα. Είναι εντεταλμένος να επαναφλέγει τον κύριο καυστήρα όταν η κύρια ροή καυσίμου εδραιωθεί πριν ένα δυνητικά καταστροφικός σωρός από αναφλέξιμα αέρια εμφανιστεί με άσχημα λειτουργικά αποτελέσματα.

Σε ένα τέτοιο πρόβλημα με τον πιλότο αν και ο χειριστής ακολουθεί όλες τις προβλεπόμενες διαδικασίες έναυσης και παροχής καυσίμου, ο πιλότος αποτυγχάνει να ανάψει ή μπορεί να μην συνεχίσει να λειτουργεί όταν έχει ήδη ανάψει μια φορά.

Έτσι θα υπάρξει η απώλεια της φλόγας του πιλότου-καυστήρα κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.

B) Επίδραση στη λειτουργία

Εάν ο πιλότος δεν ανάψει πάνω στο ξεκίνημα του θερμαντήρα, ο αντίστοιχος κύριος καυστήρας δεν θα λειτουργήσει ή ο κύριος καυστήρας θα λειτουργεί σε πολύ μικρό βαθμό χρησιμοποιώντας μια δάδα. Η 2^η περίπτωση είναι η λιγότερο ικανοποιητική μέθοδος επειδή μια μεγάλη βαλβίδα παροχής αερίου πρέπει να ανοιχτεί αντί μια μικρή βαλβίδα παροχής αερίου για τον πιλότο. Εάν λάθος γίνει μια μεγάλη ποσότητα άκαυστου αερίου εισέρχεται στο θάλαμο καύσης συγκρινόμενη με τη μικρή ποσότητα από τον πιλότο. Αυτή η μεγάλη ποσότητα άκαυστου αερίου είναι μια ανασφαλής κατάσταση και έχει τη δυνατότητα να δημιουργήσει ένα εκρηκτικό μίγμα μέσα στο θάλαμο καύσης.

Γ) Διορθωτικές ενέργειες

Επιβεβαίωση ότι αέριο καύσιμο ρέει στον πιλότο. Εάν οι σωληνώσεις του καυσίμου έχουν ελεγχθεί για πίεση ή έχουν παροχετευθεί με αδρανές αέριο, αυτό το αέριο θα πρέπει εντελώς να απομακρυνθεί με το καύσιμο πριν ένα επιτυχές σβήσιμο συμβεί. Επίσης, έλεγχος για κλειστές βαλβίδες ή τυφλές σωληνώσεις, συναρμογές και συνδέσεις των γραμμών καυσίμου του πιλότου ή φίλτρα και συνδετικούς μηχανισμούς. Επειδή οι θύρες στον πιλότο είναι μικρές είναι επιρρεπής σε φραγές και αν κάτι τέτοιο έχει συμβεί σε κάποιο στόμιο τότε πρέπει να καθαριστεί άμεσα.

Μερικές φορές το μίγμα αερίου-αέρα του πιλότου που αφήνει το άκρο δεν είναι στη αναφλέξιμη περιοχή, συχνά πολύ πτωχό μίγμα για να υποστηρίξει καύση. Μια λύση είναι να κλειστεί η θύρα του αέρα έτσι ώστε να εμπλουτιστεί το μίγμα. Το αέριο του πιλότου μπορεί να είναι με λάθος σύνθεση ή με πίεση που προκαλεί επαρκή ροή αέρα. Έλεγχος των προδιαγραφών της σύνθεσης του αερίου και των στοιχείων του κατασκευαστή για να διορθωθεί το πρόβλημα.

Ο πιλότος μπορεί να είναι υγρός από συμπυκνωμένο ατμό μετά απο απόπλυση και έτσι να μην ανάβει. Πρέπει ο πιλότος να στεγνώσει ή να στεγνώσει με τη χρήση τεχνικών μέσων πριν εισαχθεί το καύσιμο.

Ο άνεμος κάνει επίσης το άναμμα του πιλότου και τη συνεχή λειτουργία δύσκολη. Μια λύση είναι η χρήση αντιανεμικού άκρου στον πιλότο αλλά σύμφωνα με τις

οδηγίες και τις προδιαγραφές του κατασκευαστή και εφόσον επιτρέπεται από την κατασκευή και την όλη σχετική εγκατάσταση.

Εαν κάνουμε χειρονακτικό άναμμα του πιλότου και παρατήρηση της φλόγας του για σταθερότητα και δούμε ότι η φλόγα εμφανίζεται πολύ ψηλά πάνω από το άκρο του πιλότου τότε πρέπει να κλείσει η κύρια θύρα αέρα στον αναμίκτη του πιλότου. Εαν η φλόγα εμφανίζεται να καίγεται με κίτρινη φλόγα, άνοιγμα της κύριας θύρας του αέρα στον αναμίκτη του.

Εαν ένα θερμοζεύγος ή μια ράβδος διόρθωσης φλόγας χρησιμοποιούνται για να επιβλέπω τον πιλότο, ο χειριστής θα πρέπει να είναι σίγουρος ότι αυτές οι συσκευές παρέχουν σωστές πληροφορίες και λειτουργούν σωστά.

3.14 Εκπομπή καπνού από την καπνοδόχο

A) Ένδειξη του προβλήματος

Καπνός εμφανίζεται στο πάνω μέρος της καπνοδόχου

B) Επίδραση στη λειτουργία και εξοπλισμός

Ο καπνός δείχνει είτε ατελή καύση ή μια διαδικασία ρήξης σωλήνα εάν το ρευστό που χρησιμοποιείται είναι υδρογονάνθρακας. Επειδή η εκπομπή είναι με κανονισμούς και νομοθεσία σχετική προσαρμοσμένη, η συνεχής εκπομπή καπνού μπορεί να οδηγήσει σε πρόστιμα και σταμάτημα των λειτουργιών της βιομηχανίας.

Γ) Διορθωτικές ενέργειες

Εάν ο καπνός εμφανίζεται ενώ καίγεται υγρό καυσίμο, υποψία υπάρχει για μη σωστή και πτωχή σε βαθμό ατμοποίηση του καυσίμου. Έλεγχος της θερμοκρασίας του καυσίμου, τις συνθήκες του μέσου ατμοποίησης, τις πιέσεις του καυσίμου και του μέσου ατμοποίησης και τις κατάσταση του στομίου του καυσίμου. Μια αλλαγή σε παροχή αερίου καυσίμου μέχρι το πρόβλημα να λυθεί προτείνεται.

Έλεγχος στην περίσσεια οξυγόνου στο θάλαμο καύσης για προσδιορισμό κάθε έλλειψης. Προσδιορισμός εάν υπάρχει κάποια αλλαγή στη σύνθεση του καυσίμου. Όταν λειτουργεί με συνθήκες χαμηλής επάρκειας σε οξυγόνο, μια αλλαγή στη σύνθεση του αερίου καυσίμου – πρόσθεση μερικών αερίων μεγαλύτερου μοριακού βάρους- μπορεί να εκκινήσει την εκπομπή καπνού λόγω της έλλειψης αύξησης της ροής αέρα.

Μια διαρροή σε σωλήνα, διαρροή υδρογονανθράκων μέσα στο θάλαμο καύσης θα δημιουργήσει συνθήκες ατελούς καύσης και καπνό στην καπνοδόχο. Αυτή η κατάσταση απαιτεί τον θερμαντήρα να σταματήσει και να εισαχθεί ατμός μέσα στο θάλαμο καύσης να ψύξει κάθε πυρκαγιά και να μειώσει την ποσότητα του αέρα και την ένταση της καύσης.

3.15 Υψηλές εκπομπές NOx

A) Ένδειξη του προβλήματος

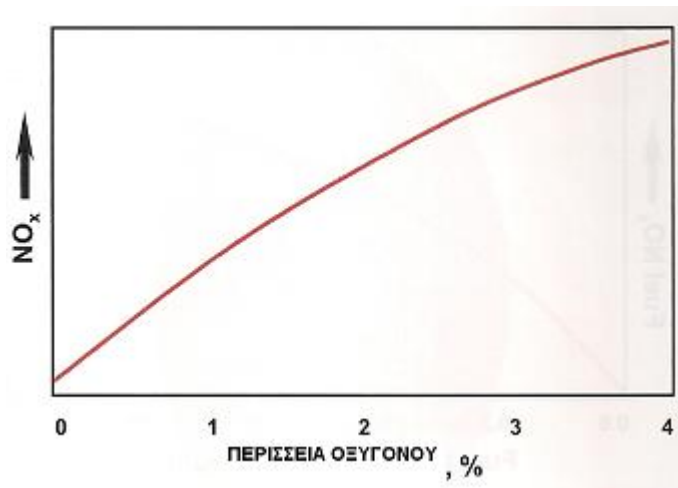
Η μετρούμενη συγκέντρωση NOx στα καπναέρια της καπνοδόχου ξεπερνά τα επιτρεπόμενα όρια λειτουργίας.

B) Επίδραση στη λειτουργία και εξοπλισμός

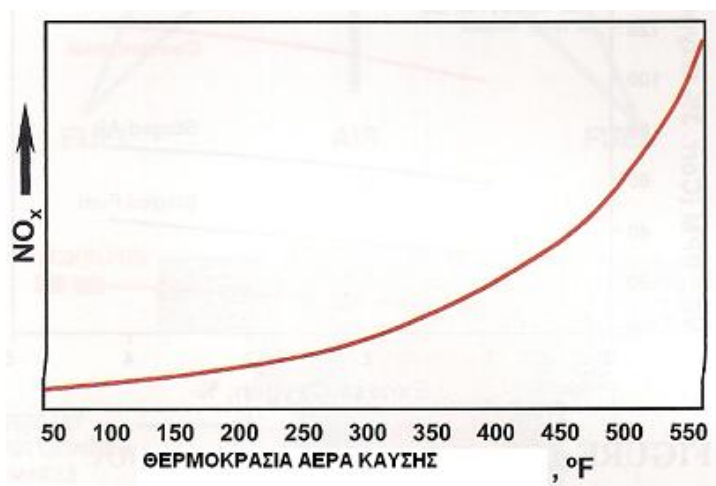
Συνεχής λειτουργία πάνω από τα επιτρεπτά όρια μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλα πρόστιμα και απώλεια της άδειας λειτουργίας από κυβερνητικές υπηρεσίες.

Γ) Διορθωτικές ενέργειες

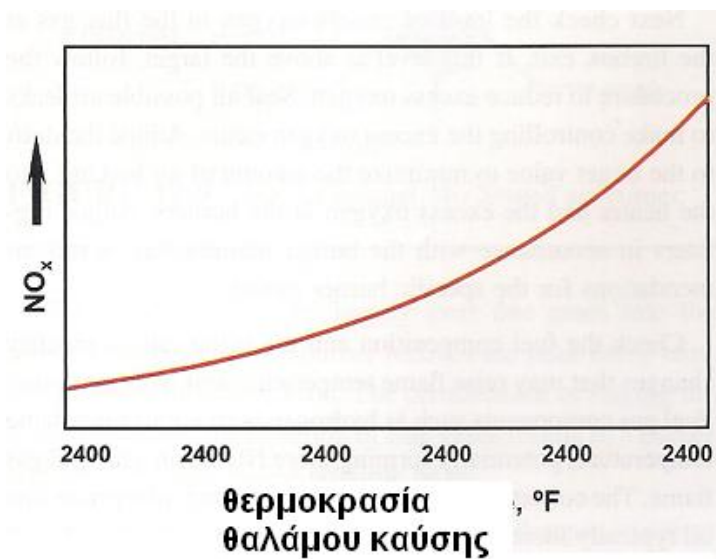
Η δημιουργία θερμικού NOx μπορεί να μειωθεί σημαντικά από την τεχνολογία των καυστήρων, έτσι μειωμένες εκπομπές μπορούν να ληφθούν από αλλαγές στους καυστήρες. Στην εικόνα 3.8 φαίνεται το αποτέλεσμα για τις εκπομπές του NOx ανάλογα το μοντέλο του καυστήρα. Αφού οι υψηλές θερμοκρασίες φλόγας δείχνουν προτίμηση στην αυξημένη δημιουργία NOx, ελαττώνοντας τη μέγιστη θερμοκρασία φλόγας θα μειώσει το ρυθμό της παραγωγής NOx. Ο ρυθμός της παραγωγής NOx είναι επίσης συνάρτηση της σύνθεσης του καυσίμου. Εάν το καύσιμο περιέχει χημικά δεσμευμένο άζωτο, οι εκπομπές του NOx θα αυξηθούν σε συνάρτηση με τη συγκέντρωση του αζώτου. Η εικόνα 3.7 δείχνει την επίδραση του δεσμευμένου αζώτου που συχνά βρίσκεται στα υγρά καύσιμα στην παραγωγή NOx. Οι εικόνες 3.4 έως και 3.6 δείχνουν την επίδραση άλλων παραμέτρων στη δημιουργία NOx όπως: περίσσεια οξυγόνου, θερμοκρασία αέρα καύσης, θερμοκρασία θαλάμου καύσης.



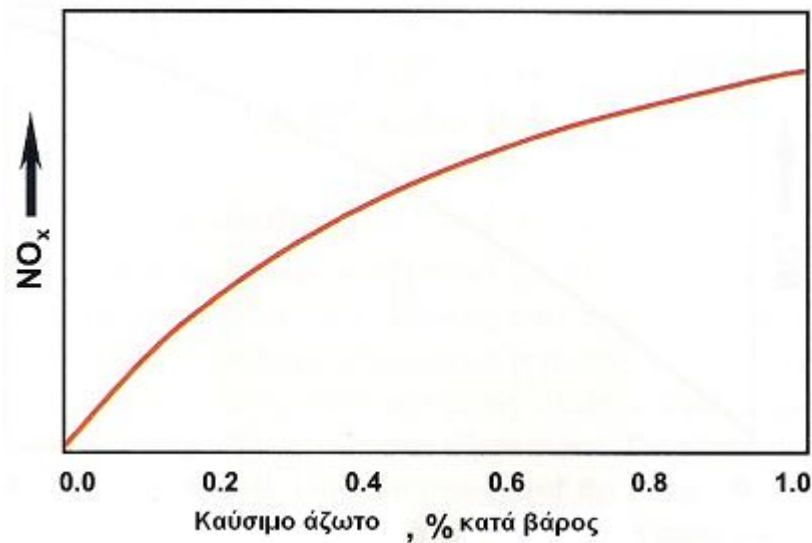
Εικόνα 3.4: Επίδραση της περίσσειας Οξυγόνου στις NO_x



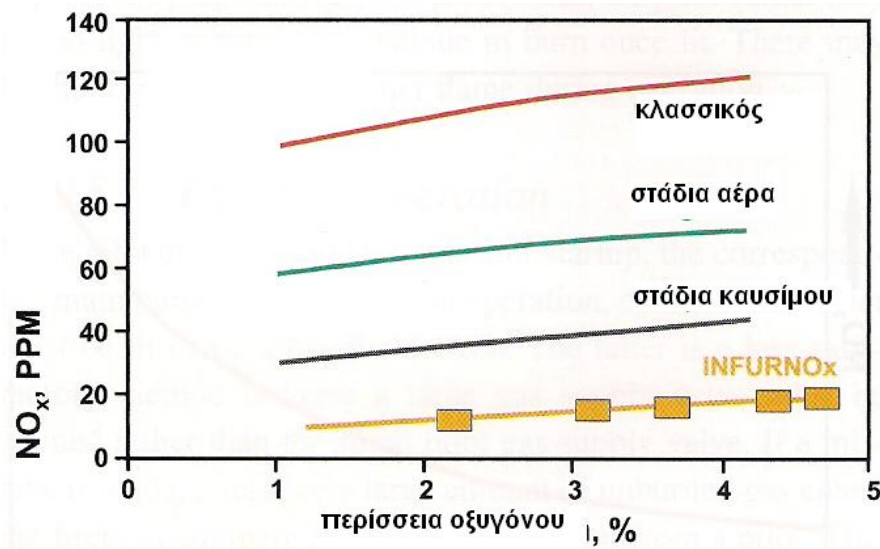
Εικόνα 3.5: Επίδραση της θερμοκρασίας του αέρα καύσης στις NO_x.



Εικόνα 3.6: Επίδραση της θερμοκρασίας του θαλάμου καύσης στις NO_x.



Εικόνα 3.7: Επίδραση του δεσμευμένου αζώτου στο υγρό καύσιμο στις NO_x.



Εικόνα 3.8: Επίδραση του μοντέλου καυστήρα στις NO_x.

Για να ελεγχθεί η συγκέντρωση NO_x σωστά, ο χειριστής πρέπει πρώτα να καταλάβει τον τύπο και το μοντέλο του καυστήρα που έχει εγκατασταθεί στον θερμαντήρα και τα σχεδιαστικά του χαρακτηριστικά. Οι τύποι των καυστήρων που σχεδιάστηκαν να μειώσουν τις εκπομπές NO_x περιλαμβάνουν: καυστήρες αέρα με στάδια, καυστήρες καυσίμου με στάδια, καυστήρες Ultra Lo NO_x (πολύ χαμηλού NO_x) και καυστήρες τεχνολογίας COOL κ.α.

Επειδή η λειτουργία του θερμαντήρα μπορεί να εξαρτάται από τις χαμηλές εκπομπές NOx, είναι σημαντικό ότι ο κατασκευαστής του καυστήρα έχει ενδελεχώς εξετάσει τον επιλεγμένο καυστήρα, έχει την φήμη ότι παρέχει ένα γνήσιο προϊόν που κατέχει πλήρως την τεχνογνωσία του και προσφέρει αξιόπιστο σέρβις στο χώρο της βιομηχανίας.

Το πρώτο πράγμα που πρέπει να γίνει εάν οι εκπομπές του NOx εμφανιστούν μεγάλες είναι ο έλεγχος του αναλυτή. Όπως όλα τα όργανα μέτρησης αυτού του τύπου, μπορεί να είναι εκτός καλιμπραρίσματος ή το σύστημα δειγμάτων μπορεί να μην λειτουργεί σωστά.

Κατόπιν, πρέπει να γίνεται έλεγχος του επιπέδου της περισσειας του οξυγόνου στο καπναέριο στην έξοδο του θαλάμου καύσης. Εάν το επίπεδο είναι πάνω από το στόχο, πρέπει να ακολουθηθεί η διαδικασία να μειωθεί το επιπλέον οξυγόνο. Στεγανοποίηση όλων των πιθανών διαρροών αέρα κάνουν τον έλεγχο του οξυγόνου ευκολότερο. Επίσης ρύθμιση των διανεμητών αέρα σε συνάρτηση με τις οδηγίες του κατασκευαστή για το συγκεκριμένο μοντέλο καυστήρα.

Έλεγχος στη σύνθεση του καυσίμου και στο ρυθμό καύσης για προσδιορισμό αλλαγών που μπορεί να αυξήσουν τη θερμοκρασία της φλόγας και την εκπομπή NOx. Συστατικά του αερίου καυσίμου όπως καύση υδρογόνου με υψηλή θερμοκρασία φλόγας πιθανώς θα δημιουργήσει πιο πολύ NOx από ότι μια φλόγα φυσικού αερίου. Η συγκέντρωση του χημικά δεσμευμένου αζώτου στα υγρά καύσιμα τυπικά αυξάνει με την πυκνότητα του καυσίμου, π.χ. τα βαρέα καύσιμα θα έχουν τυπικά πιο πολύ άζωτο από ότι τα πιο ελαφριά κλάσματα καυσίμων.

Καθώς οι ρυθμοί καύσης αυξάνουν, μεγαλύτερες φλόγες θα δημιουργηθούν. Η μεγαλύτερη φλόγα μπορεί να έχει έναν πυρήνα που δεν χάνει θερμότητα και ψύχεται γρήγορα συγκρινόμενη με μια μικρότερη φλόγα τυπικά μικρότερων ρυθμών καύσης. Κάποιες τεχνολογίες ξεπερνούν αυτό το μειονέκτημα των μεγάλων φλογών.

Οι καυστήρες σχεδιασμένοι για μειωμένη παραγωγή NOx τυπικά απαιτούν ότι το καύσιμο, ο αέρας και κάθε αέριο του θαλάμου καύσης ή καπναέρια που εγχύονται μέσα στο φάκελο της φλόγας είναι καλά αναμεμιγμένα και συγκρατώνται κοντά στις αναλογίες σχεδιασμού. Καθετί που θα κάνει τον καυστήρα να λειτουργήσει εκτός παραμέτρων σχεδιασμού θα τείνει να αυξήσει την παραγωγή NOx. Πιθανά προβλήματα αυτού του είδους και σχετικές λύσεις φαίνονται παρακάτω:

- Μερικώς φραγμένο ή σπασμένο άκρο καυσίμου: καθαρισμός ή αντικατάσταση του άκρου

- Άκρο καυσίμου λάθος τοποθετημένο ή σε λάθος κατεύθυνση: αναφορά στα σχέδια του κατασκευαστή και διόρθωση θέσης
- Ακατάλληλα άκρα εγκαταστάθηκαν (συνήθως κατά τη συντήρηση): αναφορά στα σχέδια του κατασκευαστή για το σωστό άκρο και αντικατάσταση με τη συνιστώμενη τοποθέτηση.
- Καταστραμμένος συγκρατητής φλόγας ή σταθεροποιητής: αντικατάσταση των χαλασμένων μερών.
- Καταστραμμένο ή λάθος τοποθετημένο το πλακίδιο στον καυστήρα: αντικατάσταση και σωστή τοποθέτηση του πλακιδίου
- Ασταθής φλόγα: σταθεροποίηση σύμφωνα με κατευθύνσεις που έχουν αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα
- Μερικώς φραγμένα ή καταστραμμένα στόμια καπναερίων: καθαρισμός ή αντικατάσταση.
- Περάσματα αέρα μερικώς φραγμένα εμποδίζοντας ομοιόμορφο αέρα ή ανακυκλοφορούσες ροές: μετακίνηση του υλικού που φράσσει τα περάσματα.
- Η θερμοκρασία ή η πίεση του καυσίμου ή κάθε εγχυόμενου υλικού δεν είναι σύμφωνα με το σχεδιασμό: ρύθμιση των παραμέτρων λειτουργίας στις προτεινόμενες τιμές.

Ο πιλότος-καυστήρας δεν είναι ένας χαμηλού NOx τύπος καυστήρα. Εάν ο πιλότος είναι πολύ μεγάλος ή ασταθής, μπορεί να κάνει μια σχετικά μεγάλη συνεισφορά στο μετρούμενο NOx. Θα ήταν σκόπιμο τότε να μειωθεί με ασφάλεια η απελευθέρωση θερμότητας του πιλότου.

Η ρύθμιση των διανεμητών για να ελέγχουν και ρυθμίζουν τον καύσιμο αέρα ποικίλει με τον τύπο ή το μοντέλο του καυστήρα χαμηλών-NOx.

Οι παράμετροι των σωλήνων έγχυσης του καυσίμου όπως: μέγεθος, θέση κατεύθυνση, καθορίζονται από τον κατασκευαστή του καυστήρα και δεν πρέπει να γίνονται ρυθμίσεις από τον χειριστή εκτός και χρειάζεται να συμφωνούν με τα σχέδια του κατασκευαστή.

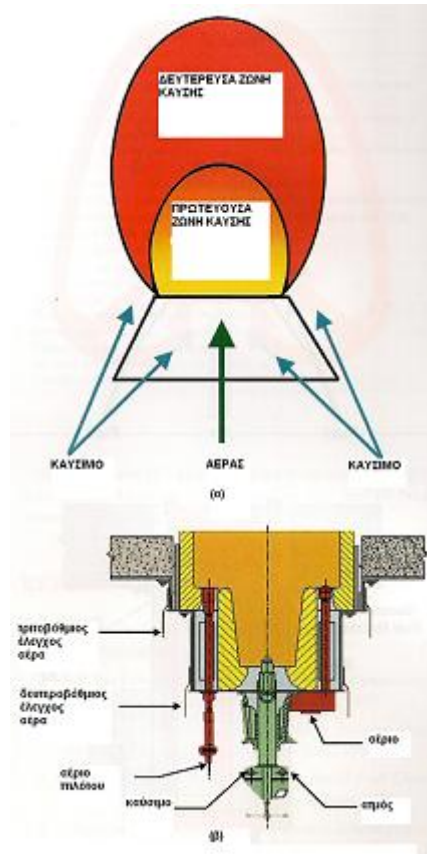
Εάν τα επίπεδα εκπομπών παραμένουν σε υψηλά επίπεδα πάνω από τα αναμενόμενα ακόμα και μετά από τους παραπάνω ελέγχους και βελτιώσεις τότε πρέπει να αναζητηθούν άλλες πιθανές λύσεις σύμφωνα και με την κατασκευάστρια εταιρία.

3.16 Τύποι καυστήρων για χαμηλές εκπομπές NOx

1) Καυστήρας σταδίων αέρα

Αυτός ο καυστήρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε για καύση αερίου είτε υγρού καυσίμου. Αυτός ο τύπος του καυστήρα συνήθως έχει τρεις διανεμητές αέρα για να ελέγχει το ρυθμό ροής και την κατανομή του αέρα καύσης μέσω του καυστήρα και με ένα αγωγό έγχυσης καυσίμου. Όμως πολλοί σχεδιασμοί έχουν μόνο δύο διανεμητές αέρα.

Εάν ο καυστήρας έχει τρεις διανεμητές αέρα, αυτοί ονομάζονται πρωτοβάθμιος, δευτεροβάθμιος και τριτοβάθμιος διανεμητής, και καθένας από αυτούς πρέπει να τοποθετηθεί επιτυχώς για να ελαχιστοποιηθεί η παραγωγή NOx. Ο πρωτοβάθμιος διανεμητής αέρα υπάρχει σε καυστήρες που έχουν ικανότητα καύσης υγρού καυσίμου και ελέγχει τη ροή αέρα στη θέση παροχής του καυσίμου. Ο δευτεροβάθμιος ελέγχει τη ροή του αέρα καύσης μέσω του λαιμού του καυστήρα. Ο τριτοβάθμιος διανεμητής αέρα ελέγχει τη ροή του αέρα καύσης που περνά το λαιμό του καυστήρα και μετά αναμιγνύεται στη φλόγα στη δευτερεύουσα ζώνη καύσης του καυστήρα (εικόνα 3.9).



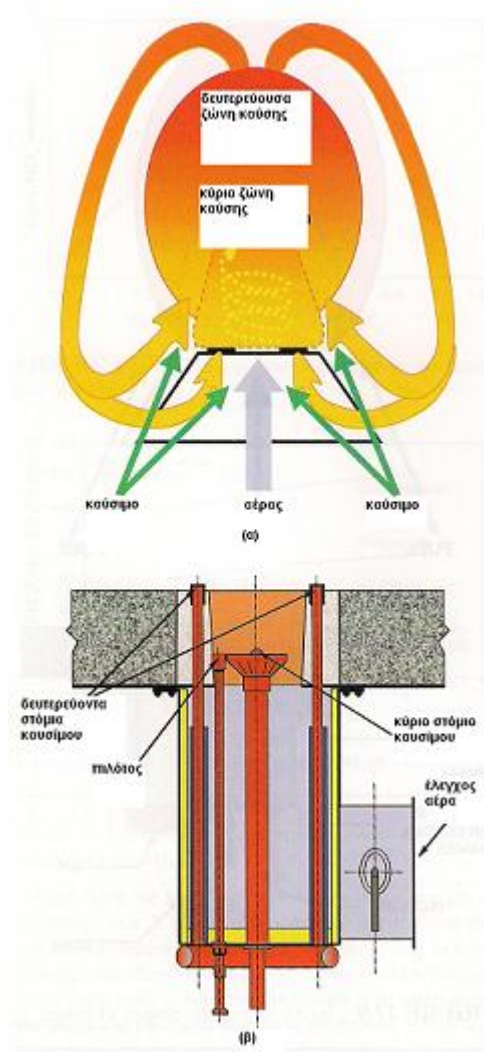
Εικόνα 3.9: (α) στάδια αέρα, β) καυστήρας με στάδια αέρα.

Για σωστή ρύθμιση, ο πρωτοβάθμιος διανεμητής πρέπει να είναι όσο ανοικτός είναι δυνατό και να παρέχει σταθερή φλόγα. Ο δευτεροβάθμιος και ο τριτοβάθμιος διανεμητής πρέπει ο καθένας να είναι περίπου 50% ανοικτοί. Εάν χρειαστούν επιπλέον ρυθμίσεις του δευτεροβάθμιου αυτές πρέπει να γίνουν με βάση στο αποτέλεσμα του αναλυτή οξυγόνου. Ο αναλυτής NOx χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τον τριτοβάθμιο διανεμητή αέρα στο επιθυμητό άνοιγμα. Εάν ο στόχος της ελάττωσης της συγκέντρωσης NOx δεν επιτευχθεί με τις ρυθμίσεις του δευτεροβάθμιου και του τριτοβάθμιου διανεμητή, τότε ο πρωτοβάθμιος πρέπει να κλείσει και οι ρυθμίσεις των άλλων δύο διανεμητών να επαναληφθούν.

Στους καυστήρες σταδίων αέρα με μόνο δύο διανεμητές, οι διανεμητές ονομάζονται σαν δευτεροβάθμιος και τριτοβάθμιος. Ο αναλυτής οξυγόνου θα χρησιμοποιηθεί για να οδηγήσει τη ρύθμιση του δευτεροβάθμιου διανεμητή αέρα και το αποτέλεσμα του αναλυτή NOx θα καθοδηγήσει τη θέση του τριτοβάθμιου διανεμητή αέρα.

2) Καυστήρας σταδίων καυσίμου

Αυτός ο καυστήρας συνήθως εφαρμόζεται με αέρια καύσιμα για να μειώσει τη δημιουργία NOx. Όμως, μπορεί να σχεδιαστεί να έχει σε στάδια τα αέρια καύσιμα ενώ έχει την ανεξάρτητη ικανότητα να καίει υγρά καύσιμα με κανονική, όχι χαμηλών NOx τεχνολογία καυστήρα. Ο καυστήρας σταδίων αερίου καυσίμου χρησιμοποιεί έναν διανεμητή αέρα καύσης για να ελέγχει τη ροή του αέρα κατά μήκος του καυστήρα και δύο σέτ σωλήνων έγχυσης καυσίμου για να σταδιοποιεί τη ροή καυσίμου μέσα στη αντίδραση καύσης (εικ. 3.10). Η θέση του κατανεμητή αέρα ρυθμίζεται με βάση την έξοδο του αναλυτή οξυγόνου στην έξοδο των καπναερίων από το τμήμα ακτινοβολίας.



Εικόνα 3.10: Καυστήρας με στάδια καυσίμου.

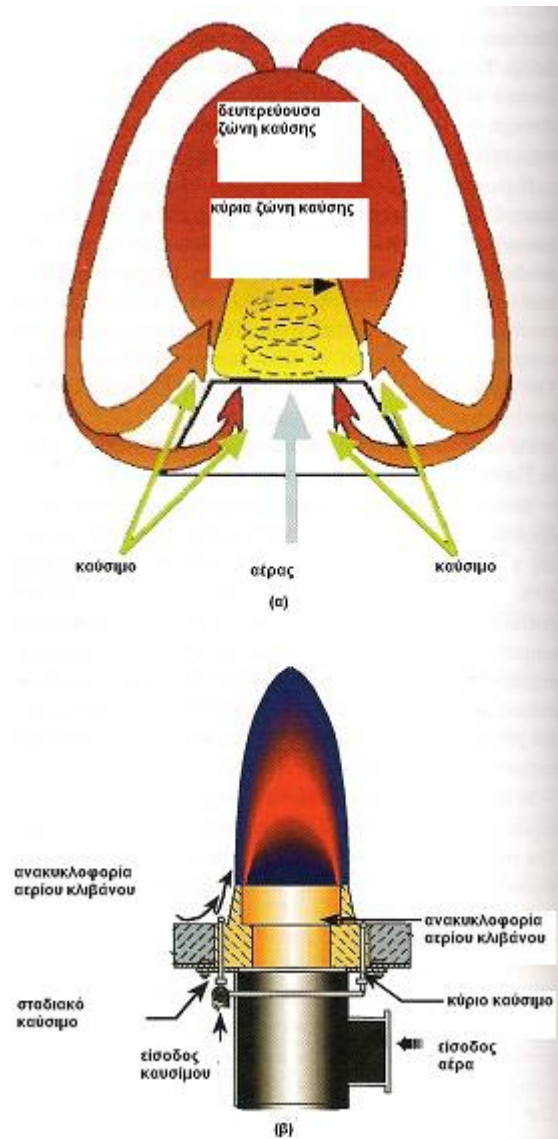
3) Ultra Low (υπερ χαμηλός) -NOx καυστήρας

Αυτός ο τύπος καυστήρα χρησιμοποιεί την ιδέα του καυστήρα σταδίων καυσίμου και επίσης γεμίζει με καπναέρια από τη ζώνη ακτινοβολίας την πρωτεύουσα και δευτερεύουσα ζώνη αντίδρασης καύσης (εικ. 3.11).

Η εισαγωγή μεγαλύτερων ποσοτήτων καπναερίων μέσα στις ζώνες καύσης του καυστήρα μειώνει την μέγιστη θερμοκρασία φλόγας και τη δημιουργία NOx. Ο συνδυασμός της σταδιοποίησης του αέριου καυσίμου και της έγχυσης καπναερίων οδηγεί σε έναν καυστήρα με το χαμηλότερο δυνατό ποσοστό NOx.

Αυτός ο τύπος καυστήρα έχει έναν διανεμητή αέρα για να ρυθμίζει την ροή αέρα κατά μήκος του καυστήρα. Ο καυστήρας έχει μαζί πρωτοβάθμιους και δευτεροβάθμιους σωλήνες έγχυσης καυσίμου που δρούν για να εγχύσουν αέριο καύσιμο στη ζώνη καύσης μαζί με καπναέριο από το θάλαμο καύσης.

Η θέση του διανεμητή αέρα του καυστήρα ρυθμίζεται με αναφορά στην έξοδο του αναλυτή οξυγόνου που είναι τοποθετημένος στην έξοδο των καπναερίων από το τμήμα της ακτινοβολίας.



Εικόνα 3.11: Ultra Low (υπερ χαμηλός) -NOx καυστήρας.

4) Καυστήρας τεχνολογίας COOL

Όταν αδρανή συστατικά αναμιγνύονται με το αέριο καύσιμο, η θερμοκρασία της φλόγας μειώνεται και ο ρυθμός παραγωγής NOx μειώνεται. Οι καυστήρες αυτής της τεχνολογίας παίρνουν πλεονέκτημα από αυτό και απαιτούν ότι το ποσό του αδρανούς αερίου που εγχύεται με το αέριο καύσιμο να ελέγχεται μέσα σε όρια που έχουν τεθεί από τον κατασκευαστή του καυστήρα.

Είναι απαραίτητο να γίνεται έλεγχος των θυρών της συσκευής έγχυσης για να διασφαλιστεί ότι είναι καθαρές έτσι ώστε το αδρανές αέριο να προστίθεται στις ποσότητες που είναι σχεδιασμένο από τον κατασκευαστή του καυστήρα.

Επίσης πρέπει κάθε φορά ο διανεμητής της παροχής του αδρανούς αερίου να είναι ανοικτός. Εάν το καπναέριο είναι το αδρανές υλικό που εγχύεται, πρέπει να είμαστε σίγουροι ότι οι κεφαλές των καπνοδόχων των καπναερίων είναι κατάλληλα μονωμένες και ότι το μίγμα του αερίου καυσίμου διατηρείται στις κατάλληλες συνθήκες λειτουργίας.

Οι καυστήρες αυτής της τεχνολογίας έχουν ένα διανεμητή αέρα για να ρυθμίζουν τη ροή αέρα κατά μήκος του καυστήρα. Ο καυστήρας έχει μαζί και πρωτοβάθμιους και δευτεροβάθμιους σωλήνες έγχυσης καυσίμου που δρουν να εγχύσουν το αέριο καύσιμο και να οδηγήσουν καπναέρια του θαλάμου καύσης στην ζώνη καύσης.

Η θέση του διανεμητή αέρα του καυστήρα ρυθμίζεται με αναφορά στην έξοδο του αναλυτή οξυγόνου που είναι τοποθετημένος στην έξοδο των καπναερίων από το τμήμα της ακτινοβολίας.

Σαν συμπέρασμα, η επίλυση προβλημάτων σε έναν καυστήρα περιλαμβάνει: (1) παρατήρηση του προβλήματος, (2) προσδιορισμός του προβλήματος, (3) προσδιορισμός της επίδρασης του προβλήματος στη διαδικασία λειτουργίας του καυστήρα και (4) προσδιορισμός της λύσης και της διορθωτικής δράσης που πρέπει να ληφθεί για να διορθωθεί το πρόβλημα.

Εάν το πρόβλημα δεν μπορεί να αναγνωριστεί και επιλυθεί, πρέπει ο υπεύθυνος να αναζητήσει πληροφορίες στο κατασκευαστή του καυστήρα για να πάρει συμβουλές και οδηγίες πως θα προχωρήσει στην επίλυσή του.

Δυστυχώς είναι συνηθισμένο να αφήνουμε τα προβλήματα να χρονίζουν και έτσι η μετέπειτα αντιμετώπισή τους είναι πιο δύσκολη και πολυέξοδη.

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Burners for Fired Heaters in General Refinery Services, API Publication, American Petroleum Institute, Washington, D.C., 2010.
2. D.W. Spitzer, Practical Guides for measurement and control, Instrument society of America, 2005.
3. B.K.Gullett, M.L. Lin, P.W.Groff and J.M. Chen, NO_x removal with combined selective catalytic reduction and selective non catalytic reduction: pilot scale test results, J. Air waste manag. Assoc., 2004.
4. W.Chun, J.Perry et al, Speciated hydrocarbon emission from the combustion of single component fuels: effect of fuel structure, J. Air waste manag. Assoc., 2006.
5. E.A. Barrington, Fired Process Heaters, Course Notes, Univ. of Sussex, 2009.
6. K.E. Tormonen, A.A. Ross, Field measurements of flue gases from combustion of miscellaneous fuels using a low resolution FTIR gas analyser, J. Air waste manag. Assoc., 2006.
7. Moss Barrie, Burner School course notes, Univ. of Cranfield, 2010.
8. R.D. Reed, Furnace Operations, 5th edition, Gulf Publishing, Houston, TX, 2000.
9. R. Jayanti and B.W. Jay, Measurements of toxic and related air pollutants, J. Air waste manag. Assoc., 2005.
10. Calculation of Heater-tube thickness in petroleum refineries, API Publication, American Petroleum Institute, Washington, D.C., 2009.
11. N.P. Lieberman, Troubleshooting process operations, 4th edition, Penn Well Publishing, Tulsa, OK, 2000.
12. S.R. Turns, An Introduction to Combustion, McGraw-Hill, New York, 1996.
13. IHEA, Combustion Technology Manual, 6th edition, Industrial Heating Equipment Assoc., Arlington, VA, 2000.
14. R.A. Meyers, Handbook of Petroleum Refining Processes, 2rd edition, McGraw-Hill, New York, 1997.
15. W. Bartok and A.F. Sarofim, Fossil fuel combustion: A source book, John Wiley & Sons, 2001.

16. A. Bejan, Heat Transfer, John Wiley & Sons, New York 1993.
17. J.P. Holman, Heat Transfer, 7th edition, McGraw Hill, New York, 1990.
18. A. Garg, Better burner specifications, Hydrocarbon processing, 2007.J
19. R.O. Anderson, Fundamentals of the Petroleum Industry, Univ. of Oklahoma press, Norman, OK, 2004.
20. G.R. Martin, Heat-flux imbalances in fired heaters cause operating problems, Hydrocarbon processing, 2003.
21. M.Sandell, Putting NO_x in a box, Pollution Engineering, 1998.
22. J.O. Hinze, Turbulence, Classic Textbook, Re-issue series, Hill, New York, 1997.
23. www.eia.doe.gov (Energy Information administration office of gas & oil).
24. USA EPA report: Nitrogen Oxide Control for combustion sources, 2010.
25. M.Sandell, Putting NO_x in a box, Pollution Engineering, 1998.
26. Κούτμος Παναγιώτης, Σημειώσεις Καύσης, Παν. Πατρών, Τμ. Μηχ/γων Μηχανικών, 2009.
27. www.api.org
28. <http://www.epowerwash.com>
29. <http://www.bacharach-inc.com>
30. http://www.engineeringtoolbox.com/combustion-testing-d_1023.html
31. www.nist.gov
32. <http://www.astm.org>