

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ**  
**AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ**

*Əlyazması hüququnda*

**QURBANOV AZƏR İLHAM OĞLU**

**“AZƏRBAYCAN İES-DƏ MAZUT FORSUNKALARINDA BUXARIN  
ƏVƏZİNƏ İSTİ HAVADAN İSTİFADƏ OLUNMA  
İMKANININ TƏDQIQI”**

mövzusunda

**MAGİSTRİK DİSSERTASİYASI**

*İxtisas:* **060609 – İstilik energetikası mühəndisliyi**

*İxtisaslaşma:* **Sənaye istilik energetikası**

*Elmi rəhbər:* **t.ü.f.d., b/m, Nəsibova Ülviyyə Adil qızı**

**BAKİ – 2023**

## MÜNDƏRİCAT

GİRİŞ.....	3
I FƏSİL. MAYE YANACAQLARIN YANDIRILMA ÜSULLARI VƏ YANDIRICI QURULUŞLAR.....	6
1.1. Yandırılan maye yanacaqların hazırlanma prosesi .....	6
1.1.1. Hava artıqlılıq əmsalının təyin olunması.....	9
1.1.2. Qazan qurğularının istilik balansı və faydalı iş əmsalının təyini .....	17
1.1.3. Energetik qazanların ocaqlarında ayrılan istilik miqdarının hesablanması .....	20
1.2 Maye yanacaqların yanma prosesinin təhlili .....	22
1.3 Ocaqların əsas xüsusiyyəti.....	24
1.4 Maye yanacaqlar üçün yandırıcı quruluşların (forsunkalar) təsnifatı.....	28
II FƏSİL. QAZANDA İSTİFADƏ OLUNAN BUXAR FORSUNKALARIN İŞ PRİNSİPİ .....	39
2.1 Buxar forsunkaların üstünlüyü və çatışmayan cəhətləri .....	39
2.2. Mexaniki buxar forsunkalarının quraşdırılması, istismarı və texniki qulluğu .....	43
2.3. Buxar forsunkaların iş prinsipi.....	45
3. BUXAR FORSUNKALARINDA BUXARIN ƏVƏZİNƏ İSTİ HAVADAN .....	47
İSTİFADƏ OLUNMA İMKANI.....	47
3.1. Mazutun keyfiyyətli tozlandırılması üçün ilkin verilənlər.....	47
3.2. Mazut forsunkalarında istifadə edilən buxarın parametrlərinin təyini .....	48
3.2. Mazutun püskürdülməsi prosesində buxarın əvəzinə təklif edilən havanın parametrlərinin təyini .....	50
NƏTİCƏ .....	51
İSTİFADƏ OLUNAN ƏDƏBİYYAT .....	52

## GİRİŞ

Elmi-tədqiqat işində mazut forsunkalarında buxarın əvəzinə isti havadan istifadə olunması imkanı araşdırılıb.

Mazut yanacağına qızdırılıb ocaq kamerasına verilməsi, püskürdülməsi üçün forsunkalardan istifadə olunur. Püskürdülmə prosesindən asılı olaraq forsunkalar mexaniki, buxar-mexaniki və buxar tipli olur.

Hal-hazırda geniş tətbiq edilən növlərindən biri də mexaniki forsunkalardır. Bu növ forsunkalarda mazutun ocağa püskürməsi üçün təzyiq düşküsündən istifadə edilir (mazut 2,5-4,5 MPa təzyiq altında püskürülür). Mexaniki forsunkaların əsas mənfi cəhəti tənzimləmə sərhədinin az olması, müsbət cəhəti isə buxar forsunkaları ilə müqayisədə iqtisadi cəhətdən əlverişlidir. Buxar forsunkalarında yanacağın püskürmə prosesi buxarın kinetik enerjisi hesabına alınır, lakin, iqtisadi cəhətdən əlverişli deyildir. Bir ton mazut yanacağının xırda damlalar şəkilinə salınıb üfürülməsi üçün yanacağın 60% miqdarına qədər buxar sərf olunur.

Lakin, bu forsunkalarda püskürmə effekti (damlalar daha narın alınır) daha yüksəkdir. Bu forsunkalardan energetikada iqtisadi cəhətdən ancaq qazan qurğusunu işə buraxma zamanı ilkin yandırıcı quruluşlar kimi istifadə olunmalıdır.

Sənayedə keyfiyyətli tənzimləmə sərhəddini artırmaq məqsədi ilə buxar-mexaniki forsunkalardan istifadə olunur. Bu tip forsunkalarda nisbətən az məhsuldarlıq tələb olunan tələb olunan hallarda yanacağın üfürülməsi üçün buxar enerjisindən, yuxarı məhsuldarlıqda isə sadə mexaniki forsunka kimi işləyir. Lakin, bu zaman tənzimləmə sərhədinin artması əldə olunur və sərhəd 20 – 100% intervalda olur. Buxar-mexaniki forsunkanın hər bir ton mazut yanacağın püskürmə prosesi prosesi üçün yanacağın 2-3% miqdarında buxar tələb olunur.

**Mövzunun aktuallığı:** Hal-hazırda “Azərbaycan İES” MMC-nin enerji bloklarında mazut forsunkalarının soyudulması, üfürülməsi və mazutun keyfiyyətli tozlandırılması üçün buxardan istifadə olunur. Buxar itkisinin qarşısının alınması məqsədilə buxarın əvəzinə isti havadan istifadə olunması mümkünlüyünün araşdırılması aktual məsələdir.

**Problemin öyrənilmə vəziyyəti:** Məlum olduğu kimi “Azərbaycan İES” MMC-də buxar itkisinin qarşısının alınması problemi Azərbaycanda həmişə diqqət mərkəzində olmuşdur. Bu problemin tədqiqi ilə ölkəmizin görkəmli alimlərindən K.M.Abdullayev, F.İ.Kərbəliyev, C.P.Məmmədova, Ş.N.Nəsirov, Q.Ə.Hüseynov, G.V.Məmmədova, A.S.Sadiqov, və başqaları məşğul olmuşlar.

Mövcud ədəbiyyatlarda göstərilən araşdırmaların nəticələrini azaltmadan aparılan bu tədqiqat işində mazut forsunkada buxarın əvəzinə isti havadan istifadə olunması mümkünlüyü araşdırılmışdır.

**İşin məqsədi və vəzifələri:** Dissertasiya işinin məqsədi “Azərbaycan İES” MMC-nin enerji bloklarında mazutun tozlandırılması üçün istifadə olunan buxarın itkisinin qarşısının alınması məqsədilə buxarın əvəzinə isti havadan istifadə olunmasıdır.

**Tədqiqatın predmeti:** Tədqiqatın predmeti “Azərbaycan İES”-də qazan qurğularında mazut forsunkaların püskürmə prosesinin səmərəliliyinin artırılmasıdır.

**Tədqiqatın obyektı:** Tədqiqat obyektı kimi, Azərbaycan İstilik Elektrik Stansiyasına və haqqında yazılan məlumatlara istinad edilmişdir.

**Tədqiqatın informasiya təminatı:** Dissertasiya işinin hazırlanmasında “Azərenerji” Açıq Səhmdar Cəmiyyəti, “Azərbaycan Elmi-Tədqiqat və Layihə-Axtarış Energetika İnstitu” MMC, Energetika Nazirliyinin məlumatları, internet matrealları və mövcud ədəbiyyatlar təşkil edir.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi:** Tədqiqatın elmi yeniliyinə aşağıdakılar aiddir:

— Elektrik stansiyanın qazan qurğusunda mazut forsunkalarının püskürmə prosesinin əlverişli üsulla təklifi

— Forsunkaların püskürmə prosesinin modelinin qurulması

**Tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti:** İstilik Elektrik Stansiyasında mazutun keyfiyyətli tozlandırılması üçün işçi cisim kimi isti havadan istifadəni təmin etmək, yaranan problemlərin səbəblərinin aradan qaldırılması yollarının müəyyənləşdirilməsi, bu istiqamətdə konkret tədbirlərin işlənilib hazırlanması və həyata keçirilməsi praktiki əhəmiyyət kəsb edir.

**Dissertasiya işinin strukturu.** Dissertasiya işi giriş, 3 fəsil, nəticə və istifadə olunmuş ədəbiyyatdan ibarət olmaqla 54 səhifədən ibarətdir.

# I FƏSİL. MAYE YANACAQLARIN YANDIRILMA ÜSULLARI VƏ YANDIRICI QURULUŞLAR

## 1.1.Yandırılan maye yanacaqların hazırlanma prosesi

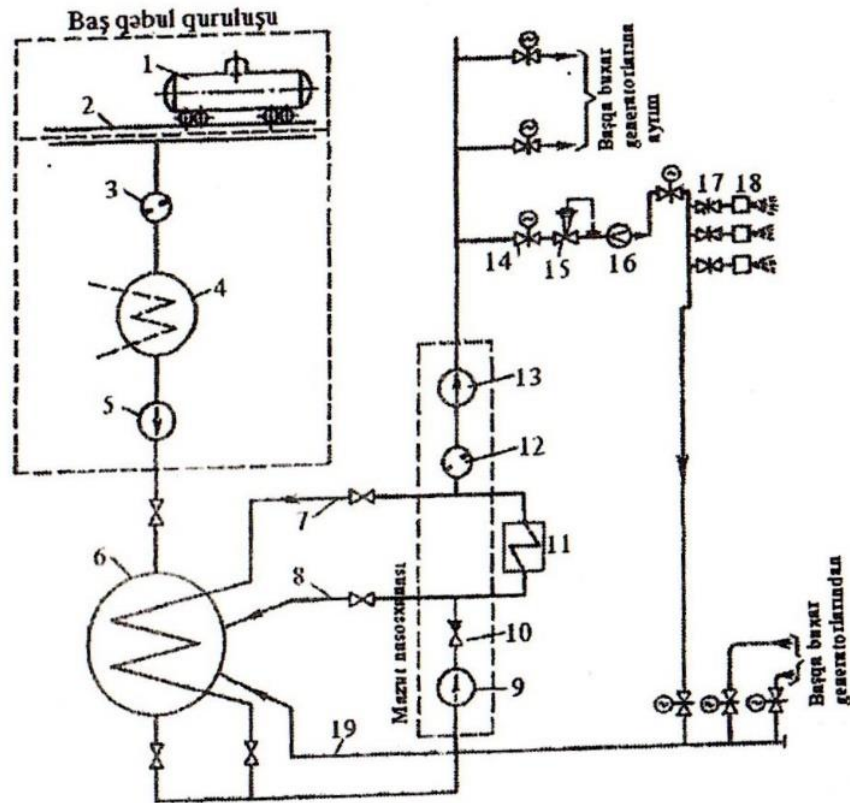
İstilik energetikasında maye yanacaq kimi neftin emalı zamanı onun qalıq fraksiyası olan mazutdan istifadə olunur. Ona görə də, stansiya mazut yanacağı ilə işləyirsə, stansiyada mazut yanacağının qəbulu və yandırılması üçün lazımı hazırlıq əməliyyatları əldə etmək məqsədilə mazut yanacağı təsərrüfatı nəzərdə tutulur. Elektrik stansiyalarına mazut ya nəqliyyat ya da boru kəmərləri vasitəsilə gətirilir. Əksər hallarda isə mazut yanacağı dəmir yol sistemlərində gətirilir. Hətta yay zamanı belə sistemlərdəki mazutun temperaturu soyuma temperaturundan aşağı olur. Ona görə mazutu qızdırılmadan sistemlərdən axıtmaq (mazutu boşaltmaq) olmur. Bu səbəbdən də praktikada sistemləri tam boşaltmaq çətinlik törədir. Çətinlik törədən məsələlərdən biri də ondan ibarətdir ki, mazutun istilikötürməsi az olduğundan qısa bir müddət ərzində sistemi xarici tərəfdən istilikverməklə qızdırmaq mümkün olmur (sistemin diametri 2600-2000 mm olur).

Bunun üçün də əvvəl mazut daxildən buxar axan boru paneldən şüalanma vasitəsilə sonradan isə isti hava ilə qızdırılır ( $t=125^{\circ}\text{C}$ ). Bəzi hallarda mazutu boşaltmaq üçün digər üsullardan misal üçün buxarın yaxud havanın təzyiqi altında, bilavasitə mazuta buxar verməklə və s, istifadə olunur

Mazut yanacağının yandırılması üçün hazırlıq işləri onun tərkibində ola biləcək bəzi mexaniki qatışıqların təmizlənməsi və müəyyən təzyiq altında qazan qurğusunun forsunkalarına verərək ocağ kamerasına püskürtməkdən ibarətdir. Bu məqsədlə mazut təsərrüfatı əsasən stansiyaya gətirilən mazutu qəbul etmək və onu stasionar – ehtiyat rezervuarlarına yığmaq və ötürmək məqsədilə boru kəmərlərindən və nasoslardan ibarətdir. Eyni zamanda mazutun ötürülməsi və onun ocağa püskürülməsi prosesi üçün mütləq mazutu xüsusi səthli qızdırıcılarda buxarla qızdırmaq nəzərdə tutulur və ocağa

verilənə kimi tərkibindən mexaniki qarışıqları azad etmək məqsədilə dəlikli süzgəclərdən keçirilir. Süzgəclərdə bu dəliklərin ölçüləri 1,5 mm və 0,3-0,5 mm olur.

Qeyd etmişdik ki, müəyyən temperaturda mazutun nəql edilməsi praktiki cəhətcə mümkün deyildir, çünki temperatur azaldıqca mazutun özlülüyü azalır. Ona görə də mazut nəql olunan boru kəmərlərində və mazut saxlanılan rezervuarlarda, mazutun temperaturu 60 – 80°C-dən az olmamalıdır. Ona görə də, mazut yanacağı nəinki ocağa verilməmişdən əvvəl və eyni zamanda rezervuarlarda da qızdırılır. Rezervuarlarda mazut xeyli müddət saxlandıqda sıxlıqlar fərqi nəticəsində tərkibində ola biləcək su rezervuarın aşağı hissəsinə yığılır və fasiləli üfürülmə ilə azad edilir.



Şəkil 1.1 Elektrik stansiyasında mazut təsərrüfatının texnoloji sxemi:

1-mazutla dolu sistem; 2- axıdıcı qurğu; 3-kobud təmizləyici süzgəc; 4-qızdırıcısı olan axıdıcı çən; 5,9,13- nasos; 6- əsas çən; 7,8- mazutun resirkulyasiyası xətləri; 10- əks klapan; 11- mazut qızdırıcısı; 12- zərif təmizləyici süzgəc; 14- qapayıcı siyirtmə; 15- yanacaq sərfinin tənzimləyicisi; 16- sərfölçən; 17- siyirtmə; 18- forsunka.

Rezervuarlarda mazutu qızdırmaq üçün ilanvari boru dəstəsi nəzərdə tutulur. Borular mazut təbəqəsində yerləşdirilir və boruların daxilindən buxar axaraq öz istiliyi hesabına mazutun temperaturunu lazımı səviyyədə saxlayır. Mazut saxlanılan və nəql olunan sistemdə mazutun soyumaması və temperaturunun lazımı səviyyədə saxlanması məqsədilə nəinki iş zamanı və hətta qazan qurğuları işdən saxlanılmış halda belə mazut sistemdə (bir hissəsi) həmişə sirkulyasiya etdirilir. Ona görə də, xüsusi sirkulyasiya xətti nəzərdə tutulur. Mazutu ocağa püskürtmək üçün ən vacib amillərdən biri də onun özlülüyüdür. Ona görə də, mazutun markasından asılı olaraq lazımı özlülüyünü əldə etmək məqsədilə forsunkaların qabağında onun temperaturu 80 – 130°C-yə kimi qızdırılır. Qızdırılma həddi mazutun alışma temperaturundan asılıdır. Təhlükəsizlik nöqtəyi nəzərindən həmişə qızdırılma temperaturu alışma temperaturundan az olmalıdır.



### 1.1.1. Hava artıqlılıq əmsalının təyin olunması

Hava artıqlılıq əmsalı  $\alpha$  digər amillərlə yanaşı yanma prosesinin tam, yaxud natamam getməsinə təsir edən əsas amillərdən biridir. Əgər yanma prosesi tam getmirsə, deməli yanacağın mövcud kimyəvi əlaqəli istiliyindən tam istifadə edilməyib. Bu isə nəticədə eyni miqdarda buxar alınması üçün sərf olunan yanacağın artmasına gətirib çıxarır. Digər tərəfdən isə buxar qazanının istilik balansından aydın görünəcək ki,  $\alpha$  əmsalının qiyməti yanma prosesi ilə yanaşı eyni zamanda ümumi buxar qazanının faydalılığına təsir göstərən amillərdən biridir. Məhz buna görə də, qazan qurğusunun istismarı zamanı  $\alpha$ -nın qiymətinə mütləq nəzarət edilməlidir. Bu məqsədlə də ocağdan başlanmış bütün qaz yolu boyu onun qiymətini bilmək çox vacibdir (ələlxüsus ocaq seyrəklik altında işləyən qazan qurğularda).

Aşağıdakı ifadəyə əsasən hava artıqlılıq əmsalı  $\alpha = \frac{V_\alpha}{V^0}$ , burada  $V_\alpha$  – bir kq maye və bərk yanacağın və yaxud bir  $m^3$  qaz yanacağının yandırılması üçün sərf olunan (verilən) həqiqi hava miqdarıdır.  $V^0$  – isə həmin miqdarda yanacağın yandırılması üçün tələb olunan havanın nəzəri miqdarıdır.

Praktikada real şəraitdə yanma prosesi üçün verilən atmosfer havasının tərkibində olan azotun da miqdarı yanma prosesində dəyişmədiyindən ifadəni belə yazmaq olar:

$$\alpha = \frac{V_\alpha}{V^0} = \frac{V_{N_2}}{V_{N_2}^0} = \frac{N_2}{N_2^0} \quad (1.1)$$

Bu ifadədə  $N_2$  və  $N_2^0$  uyğun olaraq həcm üzrə faizlə həqiqi və nəzəri havanın tərkibindəki azotun miqdarlarıdır. Onda  $N_2 = N_2^0 + N_2^\alpha$ ;  $N_2^\alpha$  – isə nəzəri havanın miqdarından artıq verilən havanın tərkibindəki azotun miqdarıdır.

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - N_2^\alpha} \quad (1.2)$$

Digər tərəfdən yuxarıda göstərilən ifadədə  $N_2^\alpha$  ilə yanma məhsulunun tərkibində ola bilən artıq qalan  $O_2$  arasında aşağıdakı nisbət mövcuddur.

$$\frac{O_2}{N_2^\alpha} = \frac{21}{79}, \quad N_2^O = \frac{79}{21} O_2 \quad (1.3)$$

(3.3) ifadəsində  $N_2^\alpha$  – nın qiymətini yerinə yazsaq:

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - \frac{79}{21} O_2} = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{N_2}} \quad (1.4)$$

Digər tərəfdən də məlumdur ki, yanacaqın yanma prosesi tam gedirsə, onda quru qazların tərkibi  $RO_2 + O_2 + N_2 = 100\%$  olar. Onda  $N_2 = 100 - (RO_2 + O_2)$  olduğundan bu qiyməti (3.4) ifadəsinin yerinə yazsaq alarıq ki,

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2}{100 - (RO_2 + O_2)}} \quad (1.5)$$

Əgər yanma prosesi natamam gedərsə və fərz etsək ki, yanma məhsulunun tərkibində bəzi natamam yanma məhsulları ( $CO$ ,  $H_2$ ,  $CH_4$ ) vardır, onda (1.5) ifadəsi aşağıdakı şəkli alacaqdır.

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2 - 0,5CO - 0,5H_2 - 2CH_4}{100 - (RO_2 + O_2 + CO + H_2 + CH_4)}} \quad (1.6)$$

(1.6) ifadəsindəki  $0,5CO$ :  $0,5H_2$  və  $2CH_4$  həmin bu natamam yanma məhsullarının tam yanması üçün tələb olunan oksigenin miqdarını göstərir. Və ona görə də, (1.6) ifadəsindəki,  $O_2$  – nin miqdarından bu natamam yanma məhsullarının tam yanması üçün tələb olunan  $O_2$  – nin miqdarı çıxarılmalıdır ki,  $O_2$  – nin həqiqi qiymətini əldə etmək mümkün olsun. Əgər yanma natamam gedirsə, quru qazların miqdarı  $RO_2 + O_2 + N_2 + CO + H_2 + CH_4 = 100\%$  olur və (1.6 ifadəsindən də görüldüyü kimi  $\alpha$ -nın hesablanması üçün yanma məhsullarının tərkibini bilmək çox vacibdir. Ona görə də,  $\alpha$ -nı təyin etmək məqsədilə yanma məhsullarından nümunə götürülür və qaz analizi vasitəsilə tərkibini təyin edərək  $\alpha$ -nı hesablayırlar. Nəzərə alsaq ki, istehsalatda əksər hallarda yanma məhsullarının tərkibində natamam yanma məhsullarından əsas etibarilə  $CO$  olur, və o zaman (1.6) ifadəsindən aşağıdakı şəkildə istifadə edirlər:

$$\alpha = \frac{21}{21 - 79 \frac{O_2 - 0,5CO}{100 - (RO_2 + O_2 + CO)}} \quad (1.7)$$

### Tam yanma tənliyi

Qazan qurğularının istismarı zamanı yanma məhsulundakı  $RO_2$  –ni bilərək  $O_2$  –nin və bir də yanacağıın tam tərkibini bilərək natamam yanma məhsullarından yalnız CO varsa, onu tapmaq və yaxud da yanma tam gedirsə  $RO_2$ -ni bilərək  $O_2$ -ni hesablamaq məqsədilə tam yanma tənliyindən istifadə edilir.

Məlumdur ki, əgər yanma tam gedirsə

$$RO_2 + O_2 + N_2 = 100\% \text{ və yaxud}$$

$$RO_2 + O_2 + N_2^O + N_2^\alpha = 100\% \text{ olur.} \quad (1.8)$$

Bu ifadədəki  $RO_2$  ;  $O_2$  və s.-ni belə də yazmaq olar:

$$RO_2 = \frac{V_{RO_2}}{V_{qq}} \cdot 100; O_2 = \frac{V_{O_2}}{V_{qq}} \cdot 100; N_2^O = \frac{V_{N_2^O}}{V_{qq}} \cdot 100 \text{ və s.}$$

Onda, (1.8) ifadəsi belə şəkil alar.

$$V_{RO_2} + V_{O_2} + V_{N_2^O} + V_{N_2^\alpha} = V_{qq} , m^3/kq \quad (1.9)$$

(1.9) ifadəsinin sol tərəfindəki toplananları, nəzəri hava miqdarından asılıdır və bu asılılığı belə ifadə etmək olar:

$$V_{N_2^O} = 0,79 V^\circ \quad (1.10)$$

$$V_{N_2^\alpha} = 0,79(\alpha - 1)V^\circ \quad (1.11)$$

$$V_O = 0,2(\alpha - 1)V^\circ \quad (1.12)$$

Bu ifadələrdən də aydın olur ki, yanma məhsulunun tərkibindəki azotun və oksigenin həcmələri nəzəri hava miqdarı ilə mütənasib dəyişir və ondan bilavasitə asılıdır. Buna görə də fərz etmək olar ki, onda (1.10) ifadəsindəki üç atomlu quru qazların həcmi ( $V_{RO_2}$ ) də nəzəri hava miqdarından asılıdır və onun hər hansı x%-ni təşkil edir.

Yəni

$$V_{RO_2} = \frac{x}{100} V^\circ \quad (1.13)$$

(1.12) və (1.13) ifadələrini nəzərə alsaq, (1.9) ifadəsindəki  $N_2^O$  və  $N_2^\alpha$  –ni  $RO_2$  və  $O_2$  –ni bu cür ifadə etmək olar:

$$N_2^O = \frac{V_{N_2^O}}{V_{qq}} 100 = \frac{V_{N_2^O}}{V_{qq}} 100 \frac{V_{RO_2}}{V_{RO_2}} = RO_2 \frac{V_{N_2^O}}{V_{RO_2}} = RO_2 \frac{0,79V^\circ}{\frac{x}{100}V^\circ} = \frac{79}{x} RO_2$$

$$N_2^\alpha = \frac{V_{N_2^\alpha}}{V_{qq}} 100 = \frac{V_{N_2^\alpha}}{V_{qq}} 100 \frac{V_{O_2}}{V_{O_2}} = O_2 \frac{V_{N_2^\alpha}}{V_{O_2}} = O_2 \frac{0,79(\alpha - 1)V^\circ}{0,21(\alpha - 1)V^\circ} = \frac{79}{21} O_2$$

$N_2^O$  və  $N_2^\alpha$  –nın qiymətlərini (3.8) ifadəsinin yerinə yazsaq, alırıq.

$$RO_2 + O_2 + \frac{79}{x} RO_2 + \frac{79}{21} O_2 = 100 \quad (1.14)$$

Sonuncu ifadədən  $O_2$  –ni tapırıq. Bunun üçün isə aşağıdakı riyazi çevrilmələri edirik:

$$O_2 + \frac{79}{21} O_2 + RO_2 + \frac{79}{x} RO_2 = 100$$

$$\frac{1}{21} O_2 (21 + 79) + RO_2 \left(1 + \frac{79}{x}\right) = 100$$

$$\frac{1}{21} O_2 \cdot 100 + RO_2 \left(1 + \frac{79}{x}\right) = 100$$

$$\frac{1}{21} O_2 + \frac{1}{100} RO_2 \left(1 + \frac{79}{x}\right) = 1,$$

$$\frac{1}{21} O_2 + \frac{1}{100} RO_2 + \frac{0,79}{x} RO_2 = 1,$$

$$\frac{1}{21} O_2 = 1 - \frac{1}{100} RO_2 - \frac{0,79}{x} RO_2,$$

$$O_2 = 21 \left(1 - \frac{1}{100} RO_2 - \frac{0,79}{x} RO_2\right),$$

$$O_2 = 21 - 21 \left(\frac{1}{100} RO_2 + \frac{0,79}{x} RO_2\right),$$

$$O_2 = 21 - 21 RO_2 \left(\frac{1}{100} + \frac{0,79}{x}\right),$$

$$O_2 = 21 - 21 RO_2 \left(\frac{x+0,79}{100x}\right),$$

$$\begin{aligned}
O_2 &= 21 - \frac{21RO_2x-1659}{100x}RO_2, \\
O_2 &= 21 - \frac{21}{100}RO - \frac{16,59}{x}RO_2, \\
O_2 &= 21 - 0,21RO_2 - \frac{16,59}{x}RO_2, \\
O_2 &= 21 - RO_2 + 0,79RO_2 - \frac{16,59}{x}RO_2, \\
O_2 &= 21 - RO_2 \left(1 - 0,79 + \frac{16,59}{x}\right), \\
O_2 &= 21 - RO_2 \left[1 - 0,79 \left(21 - \frac{21}{x}\right)\right], \\
O_2 &= 21 - RO_2 \left[1 + 0,79 \left(\frac{21}{x} - 1\right)\right], \\
O_2 &= 21 - \left[1 + 0,79 \left(\frac{21}{x} - 1\right)\right]RO_2 \tag{1.15}
\end{aligned}$$

(1.15) ifadəsindəki  $0,79\left(\frac{21}{x} - 1\right)$ -i  $\beta$  ilə işarə etsək, alarıq:

$$O_2 = 21 - (1 + \beta)RO_2,$$

yaxud

$$RO_2 + O_2 = 21 - \beta RO_2 \tag{1.16}$$

Beləliklə (1.16) ifadəsi tam yanma tənliyi adlanır.  $\beta$ -ni hesablamaq üçün

$0,79\left(\frac{21}{x} - 1\right)$  ifadəsindəki  $x$ -in qiymətini yerinə yazaraq, müəyyən hesablamalardan sonra alarıq ki,

$$\beta = 2,37 \frac{H^i - 0,126O^i}{C^i + 0,375S_{üz+k}^i} \tag{1.17}$$

Bu ifadədən görürük ki,  $\beta$  yanacağın tərkibindən bilavasitə asılıdır və ona görə də, yanacağın xarakteristikası hesab olunur. (1.17) ifadəsi bərk və maye yanacaqlara aiddir. Qazşəkilli yanacaqlar üçün isə ədəbiyyatlarda ifadə verilmişdir.

$$\beta = 0,21 \frac{0,01N_2^y + 0,79V^\circ}{V_{RO_2}} - 0,79 \quad (1.18)$$

Burada  $N_2^y$  – həcm üzrə faizlə yanacaqın tərkibindəki azotun miqdarıdır. Əgər fərz etsək ki,  $\alpha = 1$  halında yanacaqın yanma prosesi tam gedir, o zaman (1.16) ifadəsində izafi oksigenin miqdarı sifira bərabərdir. Və bu ifadədə  $RO_2$  öz maksimum qiymətini alacaqdır. O zaman yanma tənliyi belə olacaqdır:

$$RO_2^{max} = 21 - \beta RO_2^{max}$$

və yaxud

$$RO_2^{max} = \frac{21}{1+\beta} \quad (1.19)$$

Bu ifadədən də görünür ki,  $RO_2^{max}$ -un qiyməti  $\beta$  əmsalından aslıdır. Yəni yanacaqın tərkibindən asılıdır. Deməli  $RO_2^{max}$  da yanacaqın xarakteristikası hesab olunur və tərkibindən asılı olaraq hər bir yanacaq üçün müəyyən qiymətə malikdir.

Bütün növ yanacaqlar üçün yəni süni qazlardan başqa,  $RO_2^{max}$ -un qiyməti 11-20% olur. Əgər  $RO_2^{max}$ -un qiyməti 21%-dən çoxdursa, deməli, süni qazda çox miqdarda  $CO_2$  mövcuddur.  $\beta$ -nın qiyməti isə bütün yanacaqlar üçün sıfırdan kiçikdir. Misal üçün bərk yanacaqlar üçün  $\beta$ -nın qiyməti 0,035-0,150 təbii qaz yanacaqlar üçün isə 0,7 – 0,8 qaz yanacaqlar üçün isə 0,33 olur.

Məlumdur ki,  $\alpha > 1$  halında yanma məhsulunun tərkibindəki üçatomlu qazların, yəni  $RO_2$ -nin miqdarı həmişə  $RO_2^{max}$  –un qiymətindən az olacaqdır. Bu haldan istifadə edərək yanma tam gedən hal üçün  $\alpha$ -nın qiymətini hesablamaq məqsədilə təxmini ifadə almaq olar. Bu məqsədlə (1.20) ifadəsində  $N_2$  və  $O_2$  –nin qiymətlərini yerinə yazmaq lazımdır:

$$\alpha = \frac{N_2}{N_2 - \frac{79}{21} O_2}$$

(1.8) ifadəsinə əsasən  $N_2 = 100 - (RO_2 + O_2)$ .

(1.16) ifadəsinə əsasən  $O_2 = 21 - RO_2(1 + \beta)$ .

(1.4) ifadəsində  $O_2$  və  $N_2$ -nin qiymətlərini birbaşa yerinə yazıb, müəyyən çevrilmələr aparsaq o zaman alarıq:

$$\begin{aligned} \alpha &= \frac{100 - RO_2 - O_2}{100 - RO_2 - O_2 - \frac{79}{21}O_2} = \frac{100 - RO_2[(21 - RO_2(1 + \beta))]}{100 - RO_2 - [21 - RO_2(1 + \beta) - \frac{79}{21}(21 - RO_2)] + \beta} = \\ &= \frac{100 - RO_2 - 21 + RO_2 + \beta RO_2}{100 - RO_2 - 21 + RO_2 + \beta RO_2 - 79 + \frac{79}{21}RO_2 + \frac{79}{21}\beta RO_2} = \\ &= \frac{21(79 + \beta RO_2)}{100\beta RO_2} = \frac{21(79 + \beta RO_2)}{RO_2(100\beta + 79)}, \\ \alpha &= \frac{\frac{79 + \beta}{RO_2}}{\frac{79 + 100\beta}{21}} \end{aligned} \quad (1.20)$$

Bu ifadədə  $\beta$ -ni nəzərə almasaq, alırıq ki,  $\alpha = \frac{\frac{79}{RO_2}}{\frac{79}{21}} = \frac{21}{RO_2}$ ; tam yanma tənliyində  $RO_2 = \frac{21 - O_2}{1 + \beta}$  olduğundan,  $\alpha = \frac{21}{\frac{21 - O_2}{1 + \beta}}$ .  $\beta$ -nin qiymətini nəzərə almasaq,

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2} \quad (1.21)$$

$\alpha$ -nın təqribi hesablanması üçün aşağıdakı ifadədən də istifadə etmək olar:

$$\alpha \approx \frac{RO_2^{max}}{RO_2} \quad (1.22)$$

(1.21) və (1.22) ifadələrindən görünür ki, yanma məhsulunun tərkibindəki  $O_2$  – nin və yaxud  $RO_2$  – nin miqdarını bilərək  $\alpha$  – nı təqribi hesablamaq olar.

İstismar müddətində yanacaqın tərkibi dəyişə bilər. Bu səbəbdən  $\beta$  müəyyən zaman ərzində dəyişər, yəni nəticədə  $RO_2^{max}$  – un qiyməti də dəyişmiş olar. Ona görə də  $\alpha$  –nı (1.22) ifadəsi ilə hesabladıqda böyük bir səhvə səbəb olacaqdır. Bu səbəbdən də  $\alpha$  –nı (1.21) ifadəsi ilə hesablamaq daha məqsədə uyğundur. Bu prinsipə əsaslanaraq istismar zamanı istilik elektrik stansiyalarında bəzi qazan qurğularının qaz yolunda havanın sızılmasına, yəni qaz yolu boyu  $\alpha$  –nın artımına nəzarət etmək məqsədilə yanma məhsulunun tərkibindəki izafi  $O_2$ -nin miqdarını ölçürlər. Yəni  $O_2$ -ə ölçən cihaz qoyulur. Əgər yanacaqın yanma prosesi natamam şəkildə gedirsə və yanma məhsulunun tərkibində natamam yanma məhsullarından ancaq CO mövcuddursa, onda tam yanma tənliyi aşağıdakı şəkli alır:

$$21 - \beta RO_2 = RO_2 + O_2 + (\beta + 0,6)CO \quad (1.23)$$

Bu ifadədən

$$CO = \frac{21 - \beta RO_2 - (RO_2 + O_2)}{\beta + 0,6} \quad (1.24)$$

(1.24) ifadəsindən də görünür ki, əgər  $CO = 0$  olarsa, o zaman yenidən tam yanma tənliyini, yəni  $21 - \beta RO_2 = RO_2 + O_2$  ifadəsini alırıq. Əgər bu ifadənin bərabərliyi pozularsa, deməli, burada yanma prosesi tam getmir və alınan yanma məhsulunun tərkibində natamam yanma məhsulu vardır.



### 1.1.2. Qazan qurğularının istilik balansı və faydalı iş əmsalının təyini

Qazan qurğularında yanacaqların mövcud əlaqəli istiliyindən faydalı istifadə olunması prosesi əsas iki amillə, yanacağın tam yanması və atmosfərə atılan yanma məhsullarının temperaturu ilə müəyyən olunur.

Yanacaqlar yandırıldıqda ayrılan istiliyin əsas hissəsi ilk növbədə istilik mübadiləsi səthləri tərəfindən qəbul edilərək işçi cismə ötürülür. Daha sonra isə bu istilik hesabına qazana verilən bəsləyici su verilmiş təzyiqə uyğun doyma temperaturuna qədər qızdırılır. Və doyma temperaturunda olan su buxarlandırılır. Alınan buxar qızdırılır, yəni qızışmış buxara çevrilir. Bu məqsədlərə sərf olunan istilik əsasən faydalı istifadə olunan istilik adlanır. Ocağda ayrılan istiliyin digər hissəsi itkilərə sərf olur və hazırki energetik məqsədlər üçün istifadə olunan qazan qurğularında bu təxminən ümumi miqdarının 8 – 10% -ni təşkil edir.

Bütün istilik qurğularında olduğu kimi həmçinin qazan qurğularında da istilik balansı dedikdə ocağda ayrılan istiliyin tələbatçılara verilən və itirilən istiliklərin cəmi nəzərdə tutulur:

$$Q_{m.i} = Q_f + Q_i \quad (1.25)$$

İstilik balansı 1 kq bərk, maye və yaxud 1 m<sup>3</sup> qazşəkilli yanacaq üçün tərtib edilir. Yuxarıdakı ifadədə  $Q_{m.i}$  mövcud olan istilik miqdarı adlanır. Daha doğrusu 1 kq bərk maye və ya 1 m<sup>3</sup> qaz yanacaq ocağa verilən ümumi istilik miqdarıdır.

Qazan qurğusunun qərarlaşmış iş rejimi üçün istilik balansı əsasən aşağıdakı şəkildə yazılır:

$$Q_{m.i} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 \quad (1.26)$$

Burada  $Q_1$ - faydalı istifadə olunan istilik miqdarı, kC/kq;  $Q_2$  – tüstü borusundan atmosfərə atılan yanma məhsullarının özü ilə apardığı istilik miqdarı olmaqla çıxan qazlarla itən istilik itkisi adlanır;  $Q_3$  – yanacağın kimyəvi natamam yanmasından yaranan istilik itkisi;  $Q_4$  – yanacağın mexaniki natamam yanmasından yaranan istilik

itkisi;  $Q_5$  – qazan qurğusunun xarici mühitlə görüşən səthlərindən ətraf mühitə verilən istilik itkisidir və bəzi hallarda xaricdən soyuma itkisidə adlanır, kC/kq;  $Q_6$  – şlakın özü ilə apardığı istilik miqdarıdır, əsasən şlakla itən istilik itkisi adlanır.

Yuxarıdakı ifadədə istilik miqdarının mütləq qiymətləri göstərilmişdir, yəni  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_3$ , və s.

Balans tənliyini faizlə ifadə etsək, alarıq:

$$q_1+q_2+q_3+q_4+q_5+q_6=100\% \quad (1.27)$$

Burada

$$q_1 = \frac{Q_1}{Q_{m.i}} 100; q_2 = \frac{Q_2}{Q_{m.i}} 100; q_3 = \frac{Q_3}{Q_{m.i}} 100 \text{ və s.}$$

Digər tərəfdən məlum olur ki, faydalı istifadə olunan enerji miqdarının ümumi sərf olunan enerji miqdarına olan nisbəti həmin prosesin bilavasitə faydalılığını göstərir. Ona görə də,  $q_1 = \frac{Q_1}{Q_{m.i}} 100$  bilavasitə qazan qurğularında mövcud istilikdən nə dərəcədə faydalı istifadə olunmasını göstərir, deməli onun faydalı iş əmsalıdır. Hazırki böyük məhsuldarlıqlı energetik qazan qurğuları üçün  $\eta_{br} = 0,2 - 94\%$  kiçik məhsuldarlıqlı sənaye qazan qurğularında  $-80\%$ -dir.

$$\eta_{br} = q_1 = \frac{Q_1}{Q_{m.i}} 100 \quad (1.28)$$

(1.28) ifadəsi ilə tapılan qazan qurğusunun faydalı iş əmsalına brutto faydalı iş əmsalı deyilir. Burada qazan qurğusunun işini təmin etmək üçün köməkçi avadanlıqlara (nasoslara, hava vuranlara, tüstü soranlara, yanacaq təsərrüfatına üfürücü quruluşlara və s.) sərf olunan elektrik və istilik enerjisinin sərfi nəzərə alınmır.

Əgər köməkçi avadanlıqlara, yəni xüsusi məqsədlərə sərf edilən enerji nəzərə alınarsa, o zaman qazan qurğusunun faydalı iş əmsalı netto faydalı iş əmsalı adlanır.

$$\eta_{netto} = \eta_{br} - q_{xc} \quad (1.29)$$

(1.29) ifadəsi ilə faydalı iş əmsalının hesablanması prosesi düz balansla hesablanma adlanır. Digər tərəfdən də (1.27) ifadəsini nəzərə alaraq (1.28) ifadəsini belə də yazmaq olar:

$$\eta_{br} = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) \quad (1.30)$$

Əgər  $\eta_{br}$  (1.30) ifadəsi ilə tapılırsa, onda bu əks-balans üzrə hesablanma adlanır.

Qazan qurğusunun istilik itkilərini daha dəqiq təyin etmək mümkün olduğundan  $\eta_{br}$ -nin (1.30) ifadəsi ilə hesablanması daha məqsədəuyğundur. Əksər hallarda isə hər iki üsulla təyin edilir, sonra isə nəticələrin müqahisəsi aparılır.

### 1.1.3. Energetik qazanların ocaqlarında ayrılan istilik miqdarının hesablanması

Ümumi halda 1 kq bərk, maye və yaxud 1 m<sup>3</sup> qazşəkilli yanacaq ocağda yandırıldıqda ayrılan istilik miqdarını ( $Q_{m.i}$ ) belə hesablaya bilərik:

$$Q_{m.i} = Q_a^i + Q_{f.y} + Q_h + Q_b - Q_k \quad (1.31)$$

Burada  $Q_a^i$  – yanacaqların müəyyən edilmiş işçi tərkibinə uyğun aşağı istilik törətmə qabiliyyətidir, kC/kq. Əksər hallarda praktiki şəraitdə yanacaqların aşağı yanma istiliyindən istifadə olunur, çünki atmosfərə atılan yanma məhsulunun temperaturu, tərkibində olan su buxarının kondensatlaşma temperaturundan çoxdur. Bu səbəbdən də (1.31) ifadəsində kondensatlaşma istiliyi nəzərə alınmadığından yuxarı yanma istiliyi yox, aşağı yanma istiliyi nəzərə alınmışdır: Və burada  $Q_{f.y}$  – ocağa verilən yanacağın fiziki istiliyidir, Kc/kq.

$$Q_{f.y} = C_y \cdot t_y \quad (1.32)$$

$C_y$  – yanacağın istilik tutumu;  $t_y$  – yanacağın temperaturudur. Əgər bərk yanacaq yandırılırsa və hər hansı bir digər istilik mənbəyi hesabına qızdırılmırsa, o zaman onun temperaturu adi şəraitdə olduğundan  $Q_{f.y}$  az alınır və hesabatlarda demək olarki nəzərə alınmır.

Əgər ki, maye yanacaq yandırılırsa, tələb olunan özlülüyü əldə etmək və keyfiyyətli püskürmə üçün forsunkaların ön hissəsində mazut 90-130 °C temperatúra kimi qızdırılır. Və bu səbəbdən  $Q_{f.y}$  – ni nəzərə almaq məsləhətdir və bu halda mazutun qızdırılma temperaturunun qiymətindən asılı olaraq  $Q_{f.y}$ -nin qiyməti təxminən aşağı yanma istiliyinin 0,4 -0,6% - ni təşkil edir. Əgər qazşəkilli yanacaqlar yandırılırsa, istehsalatda şəbəkədən götürülən təbii qaz istifadə olunduğundan və həmçinin stansiya qabaqcadan qızdırılmadığından  $Q_{f.y}$  nəzərə alınmır. Burada  $Q_h$  –yanma prosesi üçün ocağa verilən havanın özü ilə ocağa gətirdiyi istilik miqdarıdır. Əgər bu hava qazan qurğusundan kənar bir yerdə hər hansı istilik mənbəyi hesabına və yaxud fərdi istilik mənbəyi hesabına qızdırılırsa, o zaman hesabatlarda nəzərə alınır.  $Q_h$  –in (1.31)

ifadəsində sıfıra bərabər götürüldüyü hal yalnızca havanın yanacağı istiliyi hesabına qızdırıldığı halda baş verə bilər.

Başqa bir istilik mənbəyi hesabına hava qızdırılırsa, o zaman  $Q_{h-1}$  belə hesablaya bilərik:

$$Q_h = \beta (J_{i,h}^O - J_{s,h}^O) \quad (1.33)$$

Burada,  $\beta$  – hava qızdırıcısına daxil olan hava miqdarının nəzəri hava miqdarına olan nisbətidir.  $J_{i,h}^O$  və  $J_{s,h}^O$  isə isti və soyuq nəzəri hava miqdarlarının entalpiyasıdır:

$$J_{i,h}^O = V_h^O \cdot C_h \cdot t_{i,h}; J_{s,h}^O = V_h^O \cdot C_h \cdot t_{s,h} \quad (1.34)$$

Maye yanacağı ocağa verilməsi və onun püskürülməsi məqsədilə yandırıcı quruluşlarda buxarın enerjisindən istifadə olunur. Deməli ocağa yanacaq birlikdə buxar da daxil olduğundan buxarın özü ilə gətirdiyi istilik miqdarını nəzərə almaq lazımdır. (1.30) ifadəsində bu istilik miqdarı  $Q_b$  ilə işarə edilir və belə hesablanır:

$$Q_b = G_b (i_b - 2510) \quad (1.35)$$

Burada,  $G_b$  – hər kq maye yanacağı çiləmək üçün yandırıcı quruluşa verilən yeni tələb olunan buxarın miqdarı 0,3 – 0,35 kq/kq götürülür.  $i_b$  – buxarın entalpiyasıdır. 2510 ədədi isə atmosfərə atılan yanma məhsullarının tərkibindəki su buxarının miqdarıdır (kC/kq).

Slamlar yandırıldıqda ayrılan istiliyin müəyyən hissəsi karbonatların parçalanmasına sərf olunur. Və sərf olunan istilik miqdarı isə yanmada alınan  $CO_2$  –nin miqdarına mütənasib qəbul edilir.

$$Q_k = 4,05 \frac{(CO_2)^k}{100} K \quad (1.36)$$

Burada, 4,05 ədədi 1 kq  $CO_2$  –ya aid karbonatların parçalanmasına sərf edilən istilik miqdarıdır.  $K$  –yanacağı yandırılma üsülündən asılıdır. Və karbonatların parçalanmasına sərf olunan istilik miqdarıdır (kC/kq).

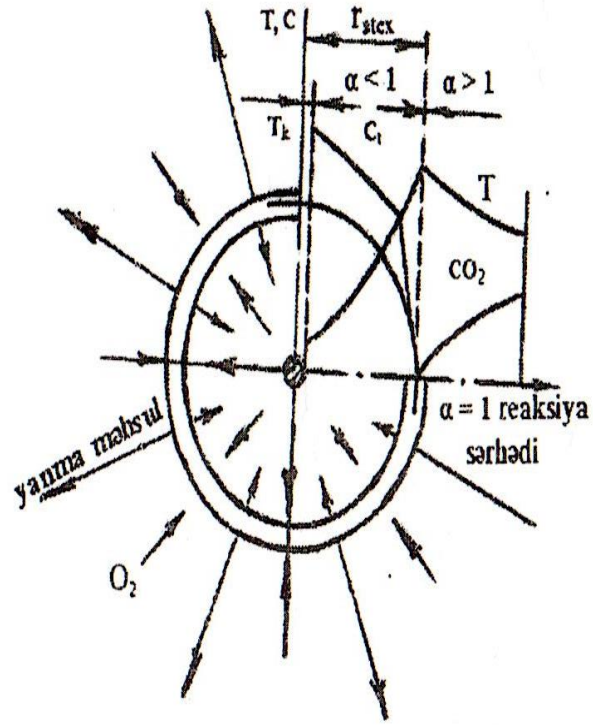
## 1.2 Maye yanacaqların yanma prosesinin təhlili

Qeyd etmişdik ki, istilik energetikasında maye yanacaq kimi mazut yandırılır. Mazut yanacağı xüsusi konstruksiyaya malik yandırıcı quruluşlar vasitəsilə ocağa verilir. Mazut şırnağı ocağ kamerasında xırda damlalara bölünür. Yəni parçalanaraq ocağın həcminə səpələnir. Damlalar ocağ kamerasında qəbul etdiyi istilik hesabına buxarlanmağa məruz qalır, yəni parçalanaraq yanmaya qadir qazlar ayrılır. Yanmaya qadir qazlar hava ilə qarışaraq temperaturunun alışma qiymətinə çatan kimi qarışıqın yanması baş verir və damlanı məşəl bürüyür.

Praktiki olaraq məşəl damlanın səthindən təxminən 1 mm məsafədə yaranır. Damla məşələ bürünməklə yanaşı parçalanma davam edir və yanma zonasına havanın oksigeni diffuziya olunur. Beləliklə, damlanın ətrafında hər hansı  $r_{stex}$  məsafədə parçalanıb damladan ayrılan yanan qazlarla verilən havanın tərkibindəki oksigen arasında stexiometrik nisbət yaranır.  $r_{stex}$  təxminən 5 – 10 dəfə damlanın radiusundan böyük alınır və yanma zonasının temperaturundan və damlanın ölçülərindən aslıdır.

Aydındır ki,  $r_{stex}$  məsafədə  $\alpha = 1$  nöqtəsində temperatur öz maksimum qiymətini alacaqdır. Bu nöqtədən hər iki tərəfə temperatur azalmağa doğru gedir və bu azalma damlaya tərəf daha intensiv olur. Çünki istilik damlanın və ayrılan yanan qazların qızmasına sərf olunur. Beləliklə damlanın yanma sürəti onun qızaraq yanma qazlarının ayrılması, bu qazların yanmasının kimyəvi reaksiya sürəti və bir də yanma zonasına oksigenin daxil olunmasının təşkili ilə təyin olunur.

Damlanın ocağ kamerasında məhdudqalma müddətində tam yanmanı əldə etmək üçün bu amillərdən ən birincisi damlanın ölçüləridir. Belə ki, damlanın ölçüləri nə qədər kiçik olsa, onun qızması və yanma zamanı qazlara parçalanma prosesi daha tez başa çatır, və damlanın tam yanma ehtimalı artır.



Şəkil 1.2 Maye yanacaq damlasının yanma mexanizmi.

Maye yanacağın yandırılması zamanı bu ən əsas məsələlərdən biridir və maye yanacaq ocağ kamerasına veriləndə alınan damlaların ölçüləri bu səbəbdən də püskürmənin keyfiyyəti adlanır. Damlalar nə qədər kiçik alınarsa, püskürmə bir o qədər keyfiyyətli hesab olunur. Çünki qeyd etdiyimiz kimi, damlaların ocağda məhdudqalma müddətində tam yanma ehtimalı artır.

### 1.3 Ocaqların əsas xüsusiyyəti

Qeyd etmişdik ki, maye yanacaqlar üçün yandırıcı quruluşlar forsunka adlanır. Maye yanacağın kiçik damlalar şəklində yandırılma fikri 1864-cü ildə irəli sürülmüş və ilkin olaraq bu məqsədlə neftin hava vasitəsilə ocağ kamerasına püskürülməsi tətbiq olunmuş, bu üsulla yandırılmanın yüksək effektivliliyi sübuta yetirilmişdir. Ocaqların əsas mahiyyəti yanacaqların kimyəvi əlaqəli mövcud enerjisini yanma məhsulları şəklində istilik enerjisinə çevrilməsi prosesini, başqa cür desək, yanacaqları yandırmaq və külli miqdarda istilik enerjisi əldə etməkdən ibarətdir. Ocaqda yanacaqlar yandırıldıqda ayrılan istiliyin müəyyən hissəsini ocağın divarlarında yerləşən buxarlandırıcı borular şüalanma vasitəsilə qəbul etdiyindən, yanma məhsulunun temperaturu ocağın çıxışında nəzərə çarpan dərəcədə azalır. Bu temperaturun azalma həddi ocaqda radiasion səthin qəbul etdiyi istiliyin miqdarından aslıdır. Belə ki, radiasion səth nə qədər çox istilik qəbul etmiş olsa, ocağın çıxışında qazların temperaturu bir o qədər az alınacaqdır.

Qazan quğularının ocaq kamerasının əsas istilik xarakteristikası onun istilik gücüdür, yəni ocaqda müəyyən müddət ərzində ayrılan istilik miqdarıdır. Ocaqda bir saat ərzində yandırılan yanacağın miqdarı və işçi kütlə üzrə aşağı yanma istiliyi  $Q_a^i$  ilə işarə edildiyindən, ocağın istilik gücü aşağıdakı kimi olar.

$$Q_{oc} = B \cdot Q_a^i \text{ kVt} \quad (1.37)$$

Bu istilik gücünün miqdarını  $Q_{oc}$  – ocağın en kəşik sahəsinə bölsək, onda en kəsiyi üzrə ocağın istilik gərginliyini təyin etmiş oluruq.

$$q_f = \frac{Q_{oc}}{f_{oc}} \text{ kVt/m}^2 \quad (1.38)$$

Burada,  $q_f$  – yandırılan yanacağın növündən, yandırıcı quruluşların ocağın divarlarında yerləşdirilməsindən və onların konstruksiyasından aslıdır.

Ocağın dərinliyi dedikdə yandırıcı quruluşlar (qorelka və forsunka) yerləşdirilmiş divarla qarşı divar arasındakı məsafə nəzərdə tutulur. Ocağın dərinliyi



yandırıcı quruluşların yerləşdirilməsindən, onların məhsuldarlığından asılı olmaqla elə seçilməlidir ki, məşəl qarşdakı divardakı buxarlandırıcı borularla görüşməsin.

Ocaq kamerasının hündürlüyü dedikdə döşəməsi ilə onun çıxış en kəsiyinin artması arasındakı məsafə nəzərdə tutulur. Ocaq kamerasının döşəməsi qıf şəkilli olduqda, onda ocağın hündürlüyünü təyin edərkən soyuq qıfın orta kəsiyi ilə çıxış en kəsiklər arasındakı məsafə hündürlük hesab olunur.  $h_{oc}^y = 15-65$  m olmaqla yanacaq ocaq kamerasında tam yanmasına və onun divarlarında tələb olunan radiasion səthin quraşdırılmasına imkan verməlidir. Yanacaq ocaq kamerasında qalma müddətini  $\tau_q$  və en kəsiyi üzrə yanma məhsulun yuxarı istiqamətdə hərəkət sürətini  $W_q$  işarə etsək, onda yanacaq ocağın tam yanma şərtini ödəmək məqsədilə belə olar.

$$h_{oc}^y = W_q \cdot \tau_q \quad (1.39)$$

Aydındır ki, bu zaman ifadədəki  $\tau_q \gg \tau_y$  olmalıdır.  $\tau_y$  – yanacaq ocaqda tam yanması üçün tələb olunan müddətdir. Ocaq kamerasının ən vacib xarakteristikalarından biri onun həcm gərginliyidir ( $kVt/m^2$ ) və  $q_v$  ilə işarə olunur.

$$q_v = \frac{Q_{oc}}{V_{oc}} = \frac{B \cdot Q_a^i}{V_{oc}} \quad (1.40)$$

Burada,  $V_{oc}$  – ocaq kamerasının həcmidir,  $m^3$ ;  $q_v$  – bilavasitə yanma məhsulunun ocaqda qalma müddətini xarakterizə etməklə yanacaq növündən aslıdır.

Ocaq kamerasını əhatə edən divarların səthləri sahələrinin cəmi ümumi ocağın səthinin sahəsini təşkil edir. Ocağın divarlarının sahələri cəmindən başqa ocağın şüa qəbul edən səthinin sahəsi anlayışından istifadə edilir:

$$H_s = \sum F_{oc}^d \cdot x_i \quad (1.41)$$

Burada,  $x_i$  – buxarlandırıcı boruların bucaq əmsalı adlanır və şüalanan istilik enerjisinin buxarlandırıcı borulara düşən hissəsini xarakterizə edir. Ocağın divarlarında buxarlandırıcı borular yerləşən səthin sahəsini  $F_e$  ilə işarə etsək, bu səth prinsip etibarilə  $\sum F_{oc}^d$  bərabər olmalıdır, lakin praktikada bu qiymətlər fərqlənir. Buna səbəb ocağın

dívarlarında yandırıcı quruluşların müşahidə və giriş pəncərələrinin və s. olması və buna görə də ekran borularının dözümlünün dəyişdirilməsidir.

$$F_e = \sum F_{oc}^d - F' \quad (1.42)$$

Bu ifadə  $F'$  – buxarlandırıcı boruların quraşdırılmamış səthinin sahəsidir. Bucaq əmsalı  $x_i$  – borular arası addımdan, hörgü ilə boruların oxu arasındakı məsafədən, cərgələrin sayından və s. aslıdır. Şüa qəbul edən səthin sahəsinin ümumi səthin sahəsinə olan nisbəti ocağın ekranlaşdırma dərəcəsi ( $\varphi$ ) adlanır:

$$\varphi = \frac{H_s}{F_{oc}^d} \quad (1.43)$$

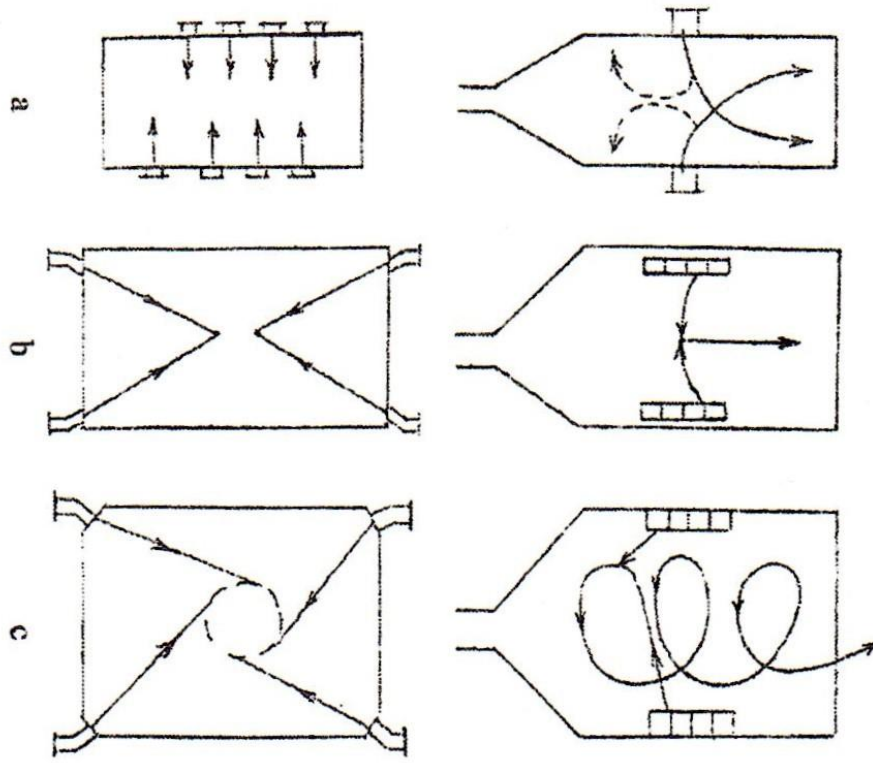
Hesabatlarda  $\varphi$  ilə yanaşı ekran boruların və ocağın istilik effektivliyi əmsalı ( $\psi$ ) anlayışlarından istifadə oluna bilməsi vacibdir.

Ekran borusu üçün bu əmsal

$$\Psi = x \cdot \xi \quad (1.44)$$

Burada,  $\xi$  – boruların xarici səthlərinin çirklənmə əmsalıdır.

Məlumdur ki, hazırda energetikada maye yanacaq kimi neftin emalı nəticəsində alınan mazutdan istifadə edilir. Digər tərəfdən də məlumdur ki, maye yanacaq, o cümlədən də mazut buxarlanaraq qaz halında aktiv yanmaya qadirdir. Ona görə mazut yanacaq ocağda nə qədər xırda damlalar şəklində olmuş olsa, onun vahid buxarlanma səthi bir o qədər çox alınır və ocağda məhdud qalma müddətində damlanın daha tam yanma ehtimalı artır.



Şəkil 1.3 Düz axınlı toz yanacaq qorelkalarının ocağ kamerasının divarlarında yerləşdirilməsi sxemi:

a- qarşılıqlı; b- küncvari vurğulu; c- küncvari tangensial istiqamətli.

#### 1.4 Maye yanacaqlar üçün yandırıcı quruluşların (forsunkalar) təsnifatı

Maye yanacağı yandırılması üçün odluq qurğusu iki əsas hissədən ibarətdir: forsunkalar və hava yönəldən qurğu. Mazutun keyfiyyətli yanması onun tipindən, forsunkanın konstruksiyasından və onun püskürdülme prosesindən asılıdır.

Buxar qazanlarının istismar şərtləri forməşəlsunkalara növbəti tələbləri təqdim edir:

- qurğunun sadəliyi və mazutun bütün markalarında odluğun işinin etibarlılığı;
- yüksək keyfiyyətli tozlanma ilə yanmanın kifayət qədər bütövlüyünün təmin olunması;
- bütün diapazonda püskürdülmenin keyfiyyətinin daimi saxlanılması;
- Prosesi məsafədən idarə etmə imkanı qazanın yüklənməsinin avtomatik nizama salınması.

Bu əsas tələblərdən başqa, həmçinin, forması və forsunkanın məşəlinin uzunluğu və s. böyük əhəmiyyət kəsb edir. Mərkəzi dəliyin sahəsi bütün tangensial qanovların ümumi sahəsinin əlaqəsindən asılıdır. Nə qədər daha az ölçü burulğan olarsa, kameradan çıxan mazutun hissəciyinə hərəkət edən ətalətin o qədər daha çox gücü olar. Bunun nəticəsində, tozlanma konusunun zirvəsi yanında bucaq daha böyük, amma, məşəlin uzunluğu - daha az olacaq.

Maye yanacağı məşəl şəklində yandırmaq üçün onu səpələmək tələb olunur. Maye yanacağı xırda damcılar şəklində səpələmək üçün istifadə olunan qurğuya forsunka deyilir. Maye yanacaqların çiləmə üsulu ilə yanması ilk dəfə rus istilik mühəndisləri tərəfindən işlənib hazırlanmışdır. 1865-ci ildə Şpakovski ilk forsunkanı təqdim etmişdir. Gələcəkdə bu forsunka məşhur alim və ixtiraçı Şuxov tərəfindən təkmilləşdirilmişdir.

Forsunkalara qoyulan tələblər bunlardır.

- bütün növ mazutlar üzərində işləyərkən istismarda sadəlik və etibarlılıq;
- bütün komponentlərin və hissələrin uzun xidmət müddəti;

- yüksək püskürtmə keyfiyyəti, minimum itkiləri təmin etmək
- kimyəvi yanma;
- sabit püskürtmə keyfiyyətini qoruyarkən böyük tənzimləmə dərinliyi (maksimumdan minimum forsunka çıxışına qədər);
- qazanın avtomatik tənzimlənməsi ilə başlığın işini uzaqdan idarə etmək imkanı;

Yanacaq müxtəlif üsullarla səpilir:

- buxardan istifadə etməklə - buxar forsunka
- yanacaq xəttindəki təzyiqə və çiləmə qurğusunun konstruksiyasına görə - mexaniki forsunka
- hər iki çiləmə üsulundan istifadə etməklə. - buxar mexaniki forsunka

Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi, mexanik ucluqlarda yanacaq, xəttəki təzyiqə və püskürtmə başlığının konstruksiyasına görə səpilir. Mexanik ucluqların göstəriciləri bu formada dəyişdirilə bilər:

- Qazanın işdən çıxarılması və spreyn dəyişdirilməsi.
- Yanacaq xəttindəki klapanı bağlamaqla, yəni eyni zamanda yanacaq təzyiqinin miqdarını azaldmaqla (spreyin keyfiyyəti pisləşəcək);
- Burulğan kamerasında yanacaqdan tərs boşalma ilə bir forsunka yaratmaqla, bu da performansın dəyişməsinə səbəb olacaq, lakin spreyn keyfiyyətini pisləşdirməyəcək.

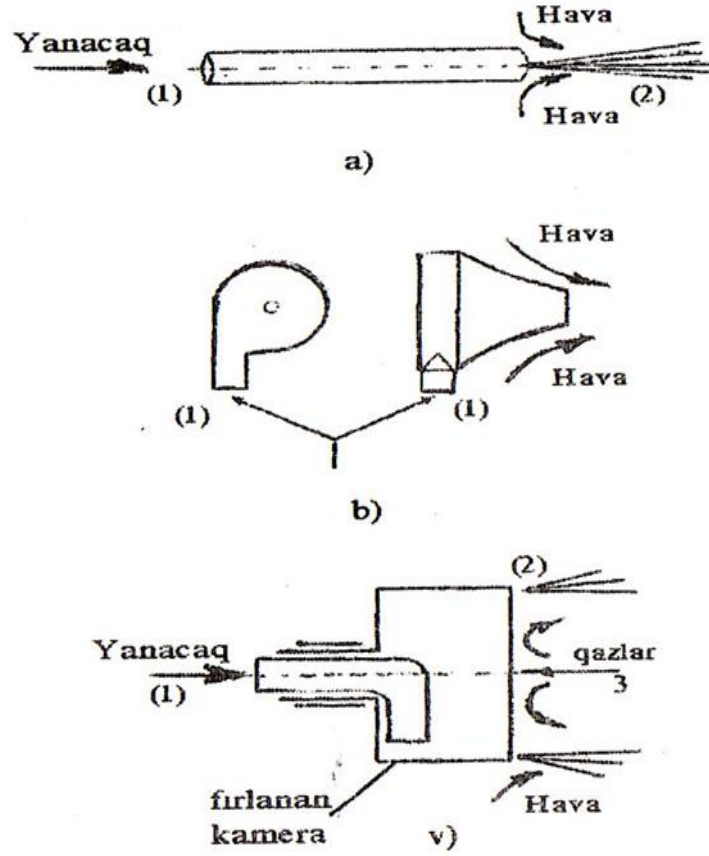
Mexanik ucluqlarda yaxşı atomizasiya aşağıdakılardan asılıdır:

- a) başlığın özünün vəziyyətindən (çiləyici yuyucunun təmizliyi və bütövlüyü)
- b) yanacağın vəziyyətində

Mexaniki forsunka vasitəsilə püskürülmə aparılması üçün maye yanacaq 10...20 ani təzyiqdə, nasos vasitəsilə xüsusi şaybadan keçərkən xırda damcılara parçalanaraq püskürülür. Buxar vasitəsilə maye yanacağın püskürülməsi elektrik stansiyaları üçün

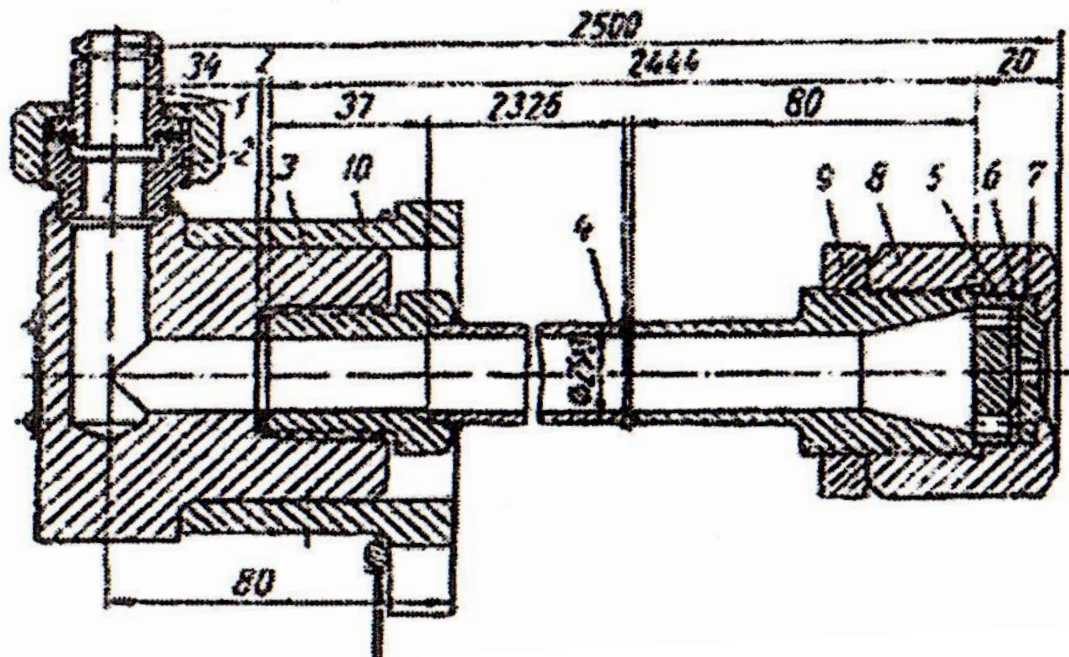
əlverişli hesab edilmir, ona görə ki, buxar itkisi baş verir. Buxarın təzyiqi böyük olduqca maye yanacağı püskürülməsi prosesi də bir o qədər səmərəli olur. Hava vasitəsilə maye yanacağı püskürtmək üçün verilən havadan istifadə edilir. Yanacağı püskürən havanın təzyiqi  $19 \dots 49 \cdot 10^9$  Pa olur. Qaz şəkilli yanacağın yandırılması çox vaxt əvvəcdən nəzərdə tutulan hazırlıq işi olmayan ocağa verilir. Qaz xəttindəki təzyiqlə yanacaq hava ilə birlikdə ocağa verilir.

Mazut yanacağın xırda damlalar şəklində ocağ kamerasına verilməsi üçün (püskürmə) forsunkalardan istifadə olunur. Püskürmə prosesinin hansı üsulla təşkil olunmasından asılı olaraq, forsunkalar mexaniki, buxar-mexaniki və buxar növlü olur. Hazırda ən geniş tətbiq olunan mexaniki forsunkalardır. Bu növ forsunkalarda mazutun ocağa püskürməsi üçün təzyiq düşgüsündən istifadə edilir. Belə ki, mazut 2,5 – 4,5 MPa təzyiq altında tangensial forsunkanın burulğanlı hərəkət yaradan kamerasına verilir və buradan soplo adlanan, diametri 4 – 10 mm olan dairəvi dəlikdən burulğanlı hərəkətə malik mazut lüləsi ocağ kamerasına daxil olur. Şəkil 4-də mazut forsunkalarının sxemləri, şəkil 5-də isə mexaniki mazut forsunkalarının konstruktiv sxemi verilmişdir.



Şəkil 1.4 Mexaniki mazut forsunkalarının prinsipl sxemləri

1 – yanacaq; 2 – hava; 3 – qazlar.



Şəkil 1.5 Mexaniki mazut forsunkasının konstruktiv sxemi:

- 1 – vtulka; 2 – gövdənin ştuseri; 3 – gövdə; 4 – boru; 5 – bölüşdürücü disk;  
 6 – burulğan hərəkət yaradan disk; 7 – taxma; 8 – örtük qaykası; 9 – kontrqayka;  
 10 – dayaq.

Bu mazut lüləsinin ocağ kamerasında xırda damlalara bölünməsi prosesi ardıcıl gedən iki müxtəlif proses nəticəsində baş verir. Birinci proses fırlanma hərəkətinə qadir mazut lüləsinin damlalara parçalanması (bölünmə), ikincisi isə həmin damlaların özlərinin daha xırda damlalara bölünməsindən ibarətdir.

Hər iki proses mazut lüləsinə və damlalarla xarici və daxili nüvələrin təsiri nəticəsində baş verir. Belə ki, fırlanma hərəkət edən mazut lüləsi soplodan yüksək sürətlə ocağ kamerasına daxil olduqda mərkəzdənqaçma və ox istiqamətində təsir edən qüvvələr hesabına çox nazik təbəqəli hiperboloid şəklində mazut-yanacaq məşəli yaranır. Hiperboloidin en kəsiyi artdıqca təbəqənin qalınlığı azalır və damlalara parçalanır. Parçalanmada alınan damlalar da havanın müqavimətinin təsirindən bir daha parçalanmaya məruz qalır. Bunun da səbəbi damlanın və havanın sürətlərinin müxtəlifliyidir, yəni damlanın nisbi sürətidir ( $W_n$ ). Ədəbiyyatlarda göstərilir ki,



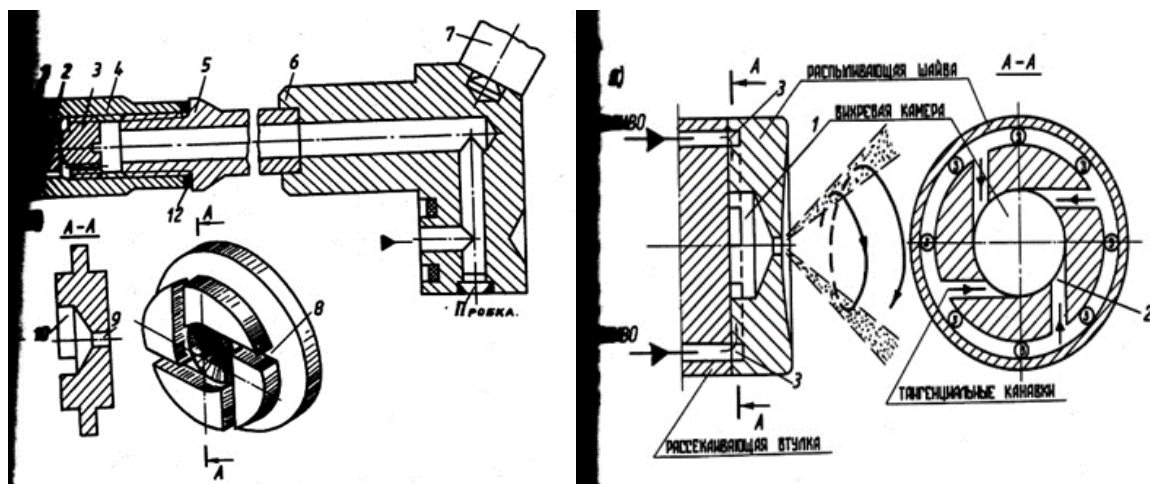
damlanın möhkəmliyi Veber ədədi ( $W_c$ ) ilə təyin olunur və bu ədəd ətalət qüvvəsinin səthi gərginlik qüvvəsinə olan nisbətini təşkil edir.

$$We = \frac{d_d * W_n * \rho_v}{\sigma} \quad (1.45)$$

Burada,  $d_d$  – damlanın diametri;  $\sigma$  – maye yanacağıın (mazutun) səthi gərilmə əmsalı;  $\rho_v$  – havanın sıxlığıdır. Tədqiqatlar nəticəsində sübut etmişlər ki, əgər  $W_e$  ədədi 13 - 22 –dən böyük olarsa, onda damlanın parçalanması baş verir. Buradan məlum olur ki, mazut yanacağıını ocağa verməmişdən qabaq qızdırılması əlverişlidir. Ona görə mazut qızdırıldıqda həm səthi gərilmə, həm də özlülük azalır, səpələnmə prosesində alınan damlalar daha narin olur və səpələnmə prosesi daha keyfiyyətli olur. Çünki damlaların ölçüləri azaldıqca onun ocaqda məhdudqalma müddətində daha tam yanma ehtimalı artır. Deməli, yanma keyfiyyətli gedir. Hazırki forsunkalardan alınan damlaların orta ölçüləri 1-1,5 mm təşkil edir və buda keyfiyyətli yanma prosesinin təşkilinə imkan yaradır. Mexaniki forsunkaların məhsuldarlığı aşağıdakı ifadəsi ilə hesablanır.

$$B_m = b \mu f_0 \sqrt{P_m \rho_m} \quad (1.46)$$

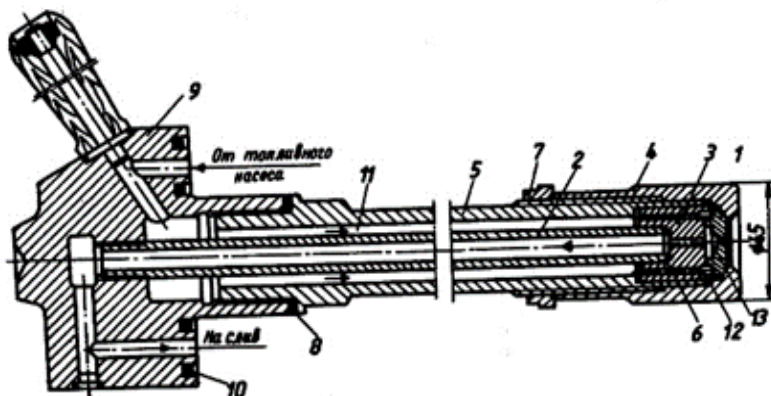
Burada,  $b$  – ədəd əmsalı;  $\mu$  – sərf əmsalı;  $f_0$  – soplunun çıxış en kəsik sahəsi;  $P_m$  – forsunkaya daxil olduqda mazutun təzyiqi;  $\rho_m$  – mazutun sıxlığıdır; yüksək məhsuldarlıqlı forsunkalarda soplunun çıxış dəliyinin diametri 4 – 10 mm olmaqla,  $B_m$  –in miqdarı (3-16 t/saat) təşkil edir. Bu mexaniki forsunkaların əsas mənfə cəhəti tənzimləmə sərhədinin az və bu sərhədin 60 – 100% arasında olması, müsbət cəhəti isə buxar forsunkalara nəzərən iqtisadi cəhətdən əlverişlidir.



Şəkil 1.6 Tənzimlənməyən mexaniki forsunka

1– tangensial yivləri olan sprej diski – (8) və burulma kamerası – (10) və başlıq – (9); 2 – tac püskürtmə qolu ( mərkəzi yanacaq axınıni həlqəvari jetə bölmək üçün); 3 – təzyiqlə sıxılmış qayqa (1 və 2-ci hissələri fındanda saxlamaq üçün). 4 - stəkan (çiləmə hissələrini gövdə ilə birləşdirmək üçün istifadə olunur); 5 – başlıq lüləsi; 6 – tutacaqlı gövdə;

Burada, yanacaq lülədən keçir, çiləyici qolundakı yivlərə düşür, periferik axınlara bölünür, daha sonra isə sprej yuyucunun tangensial yivlərində fırlanma hərəkətini alır və burulğan kamerasının mərkəzinə doğru axır. Yanacaq yuyucuda olan ucluq vasitəsilə sıxılır və atomlaşdırılmış formada sobaya daxil olur. Tənzimlənməyən mexaniki ucluqların dizaynı müxtəlifdir. Qazanın işləməsi zamanı yanacaq kanallarını təmizləmək üçün buxar təmizləyicisi olan forsunkalar var. Belə forsunkalarda bədəndə buxarın verildiyi başqa bir kanal hazırlanır. Bundan əlavə, yanacağın əlavə təmizlənməsi üçün yanacaq kanallarında torlu filtrlər quraşdırılır ki, tangensial yivləri və başlıq dəliyini çirkləndirməsin.



Şəkil 1.7 Tənzimlənən mexaniki forsunka

1- tangensial yivləri və burulğan kamerası olan atomlaşdırıcı disk; 2- burulğan kamerasından yanacaqın boşaldılması üçün daxili çəllək; 3- ayırıcı qol; 4- sıxma şüşəsi; 5- xarici barel (yanacaq təchizatı üçün); 6,8,10 - sızdırmazlıq contaları; 9- bədən; 11- yanacaq kanalı; 12-tangensial yivlər; 13- burulğan kamerası

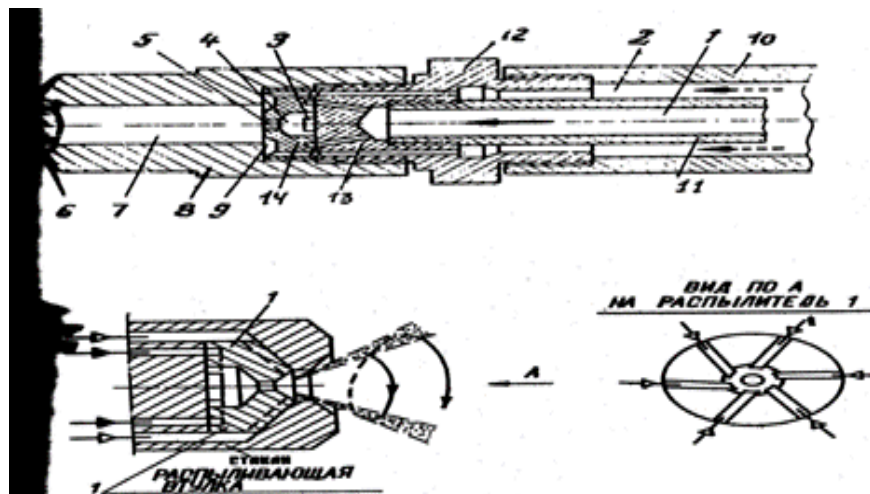
Burada, burun gövdəsi yanacaq təchizatı fitinqinə və yanacaq çıxışı fitinqinə və drenaj xəttinə qoşulub. Drenaj xəttindəki ayırma klapın bağlıdırsa, forsunka tənzimlənmiş kimi işləyir. Yəni, buruna verilən yanacaq tangensial yivlərdə fırlanır və burun vasitəsilə sobaya uçar. Boşaltma klapanı bir az açılırsa, yanacağın bir hissəsi burulğan kamerasından daxili barelin mərkəzi kanalına, sonra isə yanacaq pompasının qəbul xəttinə axır. Bu yolla, sprey keyfiyyətinə xələl gətirmədən burun performansında dəyişiklik əldə edilir.

Burada, yanacaq maksimum çəkisi ilə təmin edilir (təzyiq 1,5 - 4 m su sütunu, axın sürəti 0,15 - 0,6 m / s). Buxar (təzyiq 4 - 5 kqf / sm<sup>3</sup>) həlqəvi kanaldan (6) keçir, çubuğun divarlarını yuyur, və onu qızdırır. Həlqəvari boşluqdan çıxarkən 600 - 800 m/s sürətlə 6 cüt yanacaq yağları aparır və onu çiləyir. Burun işləməsi təzyiqli yanacaq xəttindəki bir klapın tərəfindən idarə olunur. Spreyin keyfiyyəti başlığın əl çarxı ilə tənzimlənir.

Keyfiyyətli tənzimləmə sərhədini artırmaq məqsədilə buxar-mexaniki forsunkalardan istifadə olunur. Buxar-mexaniki forsunkalar, mexaniki və buxar

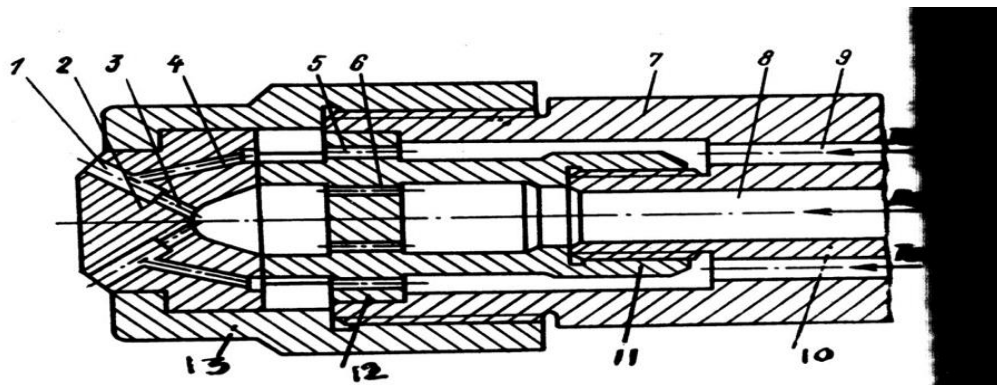
forsunkaların birləşməsidir ki, bu da onlara tam yüklənmədə sırf mexaniki, aşağı yüklərdə isə buxar-mexaniki kimi işləməyə imkan verir. Bu forsunkalar həm əsas, həm də köməkçi qazanlarda quraşdırılır. Əsas üstünlükləri:

- Aşağı təzyiq altında gələn mazutun yüksək keyfiyyətli atomlaşdırılması, yüksək məhsuldarlıq;
- Optimal artıq hava nisbətlərində tam yanmanın təmin edilməsi.
- Gücünə nəzarətin geniş diapazonu;
- Kokslaşan çıxış forsunkalarının buxarla üfürülməklə onların azaldılması;
- Yanma prosesinin təkmilləşdirilməsi, çünki buxar katalizatorudur və yanacağın sərbəst karbonunun oksidləşmə prosesini sürətləndirir. İki işçi orqanın olması, mazut və buxar üçün iki barelin (kanalın), həmçinin püskürtmə qurğusunun olması zərurətini nəzərdə tutur. Buxar-mexaniki forsunka mərkəzdənqaçma və reaktiv qarışdırıcı ola bilər.



Şəkil 1.8 Buxar-mexaniki mərkəzdənqaçma atomizatoru

1. Korpus hissədən; 2. İki paralel bareldən-(10.11); 3. Yanacaq üçün ayrılmış qoldan (13); 4. Atomlaşdırıcı yuyucu (14) tangensial yivlər (3), burulğan kamerası (4), başlıq (5)(yanacaq üçün). Yuyucunun ətrafında 6-8 keçid üçün deşiklərdən; 5. Birləşdirici fitting – (12); 6. Ayırıcı qol – (13); Birləşdirici qol. Burun kanalları ilə - (8)



Şəkil 1.9 Buxar-mexaniki reaktiv qarışdırıcı forsunka

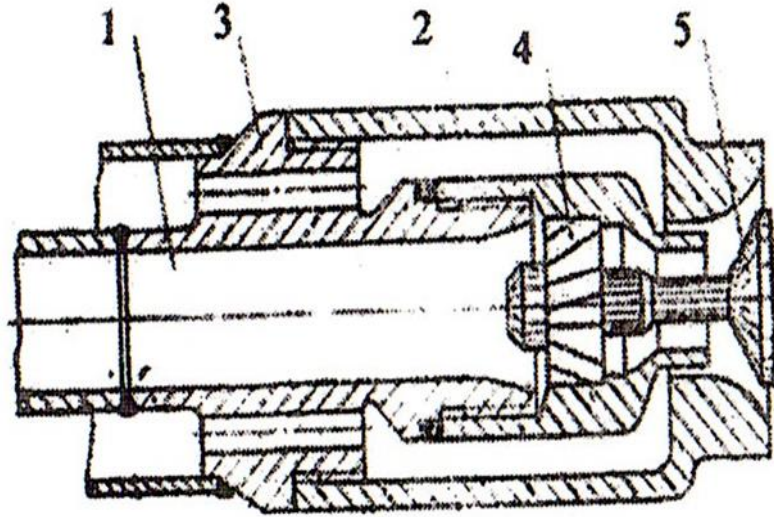
1. Gövdələr-(7.10); 2.ayırıcı qol-(12); 3.sprey yuyan maşın – (2) kəşişən kanallar (3,4) və dörd ədəd ucluq (1); 4. Təzyiqli şüşə (13).

Forsunkanın işləməsi üçün  $35 \text{ kqf/sm}^2$  ( $0,35 \text{ MPa}$ ) qədər təzyiqlə buxar istifadə olunur, mazut  $7 \text{ kqf/sm}^2$  təzyiqlə verilir ( $0,7 \text{ MPa}$ ). Buxar sərfi  $0,05 - 0,15 \text{ kq/kq}$ . Belə burunlar KVG-34K tipli qazanlarda quraşdırılır. Burunlarda simmetrik bərabər konus yaratmaqla bitişik boşluqlara və xaricə sızması olmadan işləməsinə icazə verilir.

Buxar-mexaniki forsunkalar kiçik məhsuldarlıqlardakı yanacağı püskürtmək üçün buxar enerjisindən istifadə etsə də, yuxarı məhsuldarlıqlarda adi mexaniki forsunka kimi işləyir, bu prinsiplə tənzimləmə sərhədinin artması əldə olunur və sərhəd  $20 - 100\%$  təşkil edir. İstehsalatda forsunkaların məhsuldarlıqlarının tənzim edilməsi tələb olunur. Bu məqsədlə iki tənzimləmə üsulundan, yəni keyfiyyət və kəmiyyət tənzimləmə üsullarından istifadə edilir.

Birinci üsul forsunkaların qabağında mazutun təzyiqini dəyişməklə, ikinci üsul isə bəzi forsunkaları tam işdən saxlamaqla icra edilir. İstehsalatda geniş praktiki olaraq forsunkalarda hər iki üsul birgə tətbiq edilir. Məsələn, yalnız birinci üsulu tətbiq edilmiş olsa (mazutun təzyiqi azalmaqla), onda da ancaq tənzimləmə sərhədini saxlamaqla mümkündür, yəni təzyiqi istənilən qədər aşağı salmaqla forsunkanın

məhsuldarlığını azaltmaq olmaz. Çünki püskürmə effekti pisləşir, deməli, hər iki üsulun birgə tətbiqi vacibdir.



Şəkil 1.10 Buxar-mexaniki forsunkası 1-mazutun verilməsi;

2- buxarın verilməsi; 3- qurtaracağıın gövdəsi; 4- burulğan hərəkət yaradan 5-axını  
kəsən - yayan

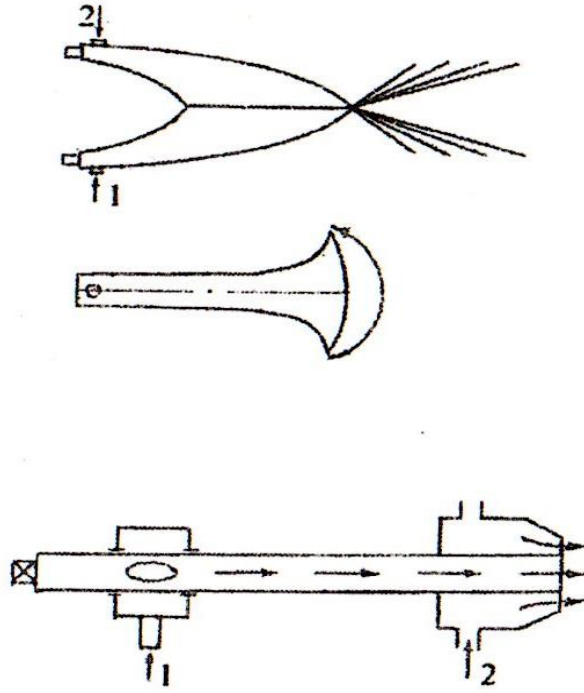
## II FƏSİL. QAZANDA İSTİFADƏ OLUNAN BUXAR FORSUNKALARIN İŞ PRİNSİPİ

### 2.1 Buxar forsunkaların üstünlüyü və çatışmayan cəhətləri

Əgər forsunkada püskürmə prosesi buxarın kinetik enerjisi hesabına əldə edilərsə, bu cür forsunka buxar forsunkası adlanır və burada mazut lüləsinin ilkin damlalara parçalanması buxarın enerjisi hesabına baş verir. Buxar forsunkalarında mazut daşıyan buxar tellərinin yüksək sürəti (1000 m/s-ə qədər) nəticəsində yüksək atomlaşma effekti əldə edilir. Buxar forsunkası yaxşı püskürtmə qabiliyyətinə malikdir. Ən sadə və istismarda ən etibarlıdır. Buxarla çiləmənin üstünlüyü ucluğun sadəliyi, həmçinin geniş məhsuldarlıqda (100-20%) çiləmənin yüksək keyfiyyətidir. Püskürtmə üçün doymuş və bir qədər qızdırılmış buxar istifadə olunur.

Bu növ forsunkaların əsas mənfi cəhəti isə iqtisadi cəhətdən əlverişsizliyi və əhəmiyyətli buxar istehlakı, aşağı məhsuldarlıq, yanma məhsullarının həcmində nəzərə çarpacaq artım, yüksək səs-küy, soyuducu təsiri səbəbindən sobada temperaturun azalmasıdır. Buna görə də, buxar atomizasiyası yalnız toz halına salınmış yanacaqları alovlandırmaq və ya yaxşı atomizasiyanı təmin etmədikdə, güclü mexaniki ucluqlarda aşağı yükdə ağır nefti, atomizasiya etmək üçün istifadə olunur.

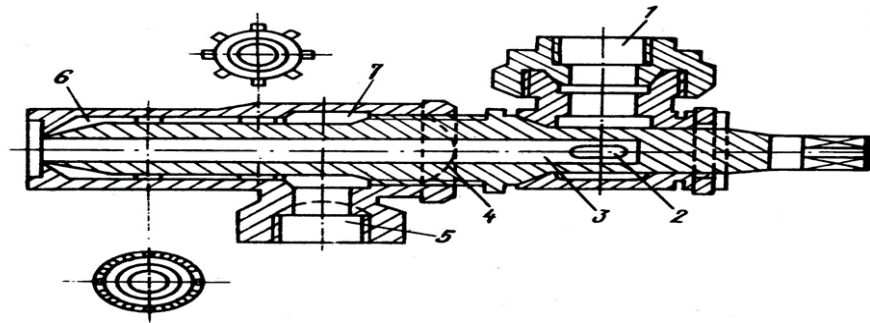
Hər bir ton mazut yanacağın püskürmə prosesi üçün yanacağın 40 – 60% miqdarında buxar tələb olunur. 1 kq yanacaq üçün 0,4 - 0,5 kq buxar istehlakı tələb olunur ki, bu da qazanın buxar çıxışının təxminən 2-5% -ni təşkil edir. Buna görə də, bir sıra üstünlüklərə baxmayaraq, buxar forsunkaları o qədər də geniş istifadə edilmir.



Şəkil 2.1 Buxar forsunkaların sxemləri

1 - mazut; 2 - buxar

Bu forsunkaların püskürmə effekti (damlalar daha narın alınır) daha yüksəkdir. Bu forsunka tez və tam yanma üçün əlverişli olan atomlaşdırılmış formada sobaya yanacaq vermək üçün nəzərdə tutulub. Bu forsunkalardan energetikada iqtisadi cəhətdən ancaq qazan qurğusunu işə buraxma zamanı ilkin yandırıcı quruluşlar kimi istifadə olunur.



Şəkil 2.2 Dairəvi alov başlığı cihazı



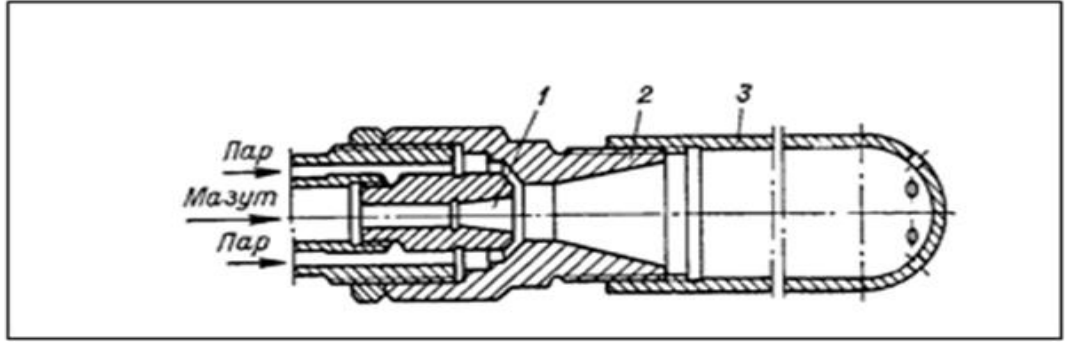
Qurğu polad çubuq, fitinqli ucluq, yanacaq fitinqin-dən ibarətdir. Polad çubuq keçirməyən daxili kanala (3) və eninə keçidə (2) malikdir. Çubuğun bir ucu (4) çubuğu döndərən volan ilə hedronla bitir. Ucu polad çubuğa vidalanır və onun ətrafında həlqəvari boşluq (7) və həlqəvari yarıq (6) əmələ gətirir ki, bu da oradan buxar keçir. Yanacaq birliyi və ucluq hərəkətsizdir. Çubuq, volan döndürüldükdə, ucuna çəkilir və ya ondan çıxarılır. Bu zaman həlqəvi boşluğun kəsiyi dəyişir, buxarla mazut püskürən buxarın miqdarı artır və ya azalır.

İşin əsas göstəriciləri əzmə keyfiyyəti və 1 kq yanacağın səpilməsi üçün çiləyici maddənin sərfiyyatıdır. Bu tip burunlarda yanacaq və atomlaşdırıcı agent axınlarının qarşılıqlı təsiri həm burun içərisində, həm də onun xaricində həyata keçirilir. Qarşılıqlı təsir göstərən axınların təmas səthi nə qədər böyükdürsə, ucluqların işləməsi bir o qədər səmərəlidir (daha yüksək əzmə keyfiyyəti, çiləmə agentinin daha az xüsusi istehlakı).

İlmarine zavodunun buxar forsunkalarında (OST 108.836.04-80) yanacaq burun və diffuzor tərəfindən əmələ gələn həlqəvi boşluq vasitəsilə normal olaraq buxar axınına verilir. Buxar Laval forsunka formasına malik olan mərkəzi dəlikdən daxil olur. Yanacaq-buxar qarışığının sonrakı hərəkəti diffuzorun genişlənən kanalında baş verir. 60-1800 kq/saat tutumlu 6 forsunkanın ölçüləri istehsal edilmişdir (maksimum gücü 125; 240; 850; 1225; 1650; 1800 kq/saat); buxar təzyiqi 0,4-2,5 MPa, mazut təzyiqi 0,05 MPa.

Bu forsunkaların istismarı təcrübəsi göstərir ki, ən azı 1,2-1,3 MPa buxar təzyiqində qənaətbəxş keyfiyyətli atomizasiya əldə edilir. Çiləmə üçün xüsusi buxar sərfi 0,3 kq/kq təşkil edir. Məşəlin uzunluğunu azaltmaq üçün çoxlu burunlu ucluq quraşdırılmışdır. Forsunkanın müqavimətinə görə yanacağın təzyiqi 0,4-0,5 MPa-a qədər artırılmalıdır.

Böyük alov uzunluğu, aşağı yanacaq sərfiyyatı keyfiyyətinə nəzarət əmsalı və bir qayda olaraq, istilik qazanlarında buxarın olmaması səbəbindən buxar püskürtmə ucluqları hazırda aşağı güclü qazanlarda istifadə edilmir.



Şəkil 2.3 Buxar başlığı (OST 108.836.04-80):

1 - yanacaq ucluğu; 2 - spreya başlığı; 3 – nozzler

Kiçik miqdarda, DKVR qazanlarında GA tipli qaz-yağ ocaqlarının avadanlıqlarında istifadə olunur.

## 2.2. Mexaniki buxar forsunkalarının quraşdırılması, istismarı və texniki qulluğu

Mexaniki buxar forsunkalarının quraşdırılmasına, istismarına və texniki qulluğuna dair bütün məlumatlar İstismar Təlimatında (İT) əks olunur. İT-nin tələblərinin yerinə yetirilməsi mexaniki buxar forsunkalarının imkanlarından tam şəkildə yararlanmağa kömək edir.

Təyinatı və konstruksiyası:

Buxar forsunkaları enerji daşıyıcılarının (buxar və ya sıxılmış hava) minimal sərfiyyatı ilə yüksək keyfiyyətli püskürmənin əldə edilməsi üçün nəzərdə tutulub.

Forsunka püskürdücü başlıq və korpusdan ibarətdir və kipləşdiricinin vəziyyəti sabitdir. Kipləşdirici çubuq və buxar borusuna boltlu qulaqcıqlarla bərkidilərək ocağa bağlanır.

Ocaq isindikdən sonra onun yerdəyişməsi zamanı ocağa gələn borular hərəkət edə bilməlidir, bu zaman kipləşdirici öz vəziyyətini dəyişməməlidir, kipləşdirici arasında hərəkət edən borular olmalıdır.

Forsunkasının püskürdücü başlığı 6 hissədən ibarət olur:

1. tangensial kanalları və filteri olan soplo
2. buxar burulducusu
3. buxar soplosu
4. çöl qaykası
5. paylaşdırıcı

Tangensial kanallardan soploya qədər olan hissə troidal formadadır. Bu da püskürdücünün istismar müddətini uzadır.

Forsunkanın qurasdırılması:

Forsunka qazanxana qurğusunda onun üçün nəzərdə tutulmuş farsunka borusunda yerləşir. Quraşdırmadan əvvəl forsunkanın gövdəsinə nizamlayıcı planka bərkidilir. Vint vasitəsi ilə forsunkanın buxar mazut borusuna kip sıxılması təmin

edilir. Kipliyin əldə edilməsi üçün uzadıcı qollardan istifadə qadağandır. Forsunka kilidlə birlikdə gövdəyə bərkidilməlidir. Kipləyiciyə kilid qaynaq edildikdən sonra buxar və mazut boruları ona ən yaxın əyridən 300-500 mm məsafədə bir-birinə möhkəm bağlanmalıdır.

Forsunka və kilid quraşdırılmış halda kipləyiciyə ən yaxın əyri açıq qırmızı rəng alana qədər qızdırılmalıdır.

### 2.3. Buxar forsunkaların iş prinsipi

Maye yanacaq daxili boru vasitəsi ilə filtrdən keçir. Burada, yanacaq mexaniki hissəciklərdən təmizlənir. Tangensial kanallarda fırlanma hərəkəti alaraq konus şəkilində püskürdülür.

Buxar borular arası kanalla hərəkət edərək sürətlənir və yanacağı daha xırda hissələrə parçalanır.

Forsunkanın alovlanması:

Forsunkanın alovlanması üçün ilk növbədə buxar verilməlidir, təzyiğin verilməsi isə cədvəldə göstərildiyi kimi olur.

Cədvəl 2.1

$R_{\text{mazut}}$ , kqf /sm <sup>2</sup>	35	25	18	10	6	1
$R_{\text{para}}$ , kqf /sm <sup>2</sup>	0.5	1.0	2.0	4	6	3

Təzyiq zamanı qazanda müəyyən miqdarda istilik yaranır.

Forsunkanın işinə nəzarət:

Forsunkanın işləməsi yalnız ona verilən yanacağın təzyiqindən asılıdır və atomizasiyaya verilən atomlaşdırıcı buxarın təzyiqindən asılı deyildir. Çiləmə və ya püskürdülmə üçün yaranan buxarın temperaturu ən azı 200 C° olmalıdır. Buxar borularında kondensatlaşma prosesinin yaranmasına icazə verilmir. Forsunkaya verilən buxarın təzyiqi bəzi proseslər əsasında müəyyən edilir.

Yuxarı atomlaşdırıcı buxarın təzyiq həddi yalnız burnerin aerodinamik sahəsi, hava axınının burulmasının parametri ilə müəyyən edilir. Bükülmə parametri nə qədər böyükdürsə, icazə verilən buxarın təzyiqi də bir o qədər yüksəkdir. Bu, yalnız yanma

prosesinin tənzimlənməsi dövründə müəyyən edilir. Püskürdülmədə buxarın təzyiqi nə qədər yüksək olarsa, damcıların diametri bir o qədər kiçik olar. Bu isə yanacaqın yanmasına və işlənmiş qazlarda azot oksidlərinin konsentrasiyasına birbaşa təsir göstərir. Püskürtmə üçün buxar sərfinin artırılması tüstü qazlarında azot oksidlərinin konsentrasiyasını 30% - ə qədər azaldır.

Forsunkanın dəyişdirilməsi:

Forsunkanı qazanxana qurğusundan çıxarmazdan əvvəl,  $4 + 6 \text{ kqf/sm}^2$  təzyiqdə buxarla yanacaq yağı kanalından üfürülməlidir və tənzimləmə müddəti ən azı 5 dəqiqədir. Verilən buxar dayandırıldıqdan sonra, qazan işləyirsə, forsunka dərhal ocaqdan çıxarılmalıdır.

Forsunkanı işləyən bir qazanın burnerinə quraşdırarkən, onu düzəltdikdən və möhrünü sıxdıqdan dərhal sonra püskürtmə və soyutma üçün buxar tədarükünü açın. Əks halda, forsunkanın həddindən artıq qızması və qızan hissələrdə güc itkisi baş verə bilər. Forsunkanın kalibrlənməsi:

Kalibrləmənin məqsədi forsunkanın istehlak xüsusiyyətlərini, atomizatorun və buxar başlığının işçi səthlərinin işlənməsinin keyfiyyətini müəyyən etmək, həmçinin, müəyyən edilmiş çatışmazlıqları aradan qaldırmaqdır. Kalibrləmə stenddə aparılmalıdır. Kalibrləmə zamanı suyun təzyiqi  $5+35 \text{ kqf/sm}^2$  daxilində olmalıdır. Lakin optimal təzyiqi  $35 \text{ kqf/sm}^2$  təyin etmək məsləhətdir. Su təzyiqi optimal dəyərdən  $35 \text{ kqf/sm}^2$  –dən fərqlənirsə, o zaman forsunkanın axın xarakteristikasını düsturla nominal dəyərə çatdırmaq lazımdır.

$$G_{35} = G_x \sqrt{\frac{35}{X}} \quad (2.1)$$

Burada x-stenddəki təzyiqin dəyəridir. Mazutun sərfiyyatının yenidən hesablanması aşağıdakı düsturla təyin edilir.

$$G_{maz} = G_{su} \cdot \frac{U_{maz}}{U_{su}} \quad (2.2)$$

Burada  $U_{maz}$  – mazutun xüsusi çəkisi,  $U_{su}$  – suyun xüsusi çəkisidir.

### 3. BUXAR FORSUNKALARINDA BUXARIN ƏVƏZİNƏ İSTİ HAVADAN İSTİFADƏ OLUNMA İMKANI

#### 3.1. Mazutun keyfiyyətli tozlandırılması üçün ilkin verilənlər

Mazutun keyfiyyətli tozlandırılması üçün işçi cism – su buxarı (real qaz) olanda

İlkin verilənlər:

- Forsunkanın məhsuldarlığı  $B_m = 4600$  kq/saat (1,278 kq/san)
- Mazutun təzyiqi  $P_m = 3500$  kPa
- Mazutun temperaturu  $t_m = 90$  °C
- Təzyiq soplodan əvvəl  $P_{bux1} = 4,0$  bar
- Təzyiq soplodan sonra  $P_{bux2} = 0,5$  bar
- Temperatur  $t_{bux} = 200 – 230$  °C
- Buxarın sərfi  $G_{bux} = 0,02$  kq/kq (0,0255 kq/san)
- Soplunun sürət əmsalı  $\varphi = 0,98$

### 3.2. Mazut forsunkalarında istifadə edilən buxarın parametrlərinin təyini

$$\beta = \frac{P_{bux2}}{P_{bux1}} = \frac{0,5}{4,0} = 0,125 \quad (3.1)$$

$\beta < \beta_{kr} = 0,546$  , səsdən sürətli axın rejimidir.

$P_{bux1} = 4,0$  bar,  $t_{bux} = 230$  °C – buxarın entalpiyası  $i_1 = 2922,9$  kC/kq

$P_{bux2} = 0,5$  bar –  $i_2 = 2200$  kC/kq

ÇıXış sürəti

$$C_2 = \sqrt{2 \cdot (i_1 - i_2)} = \sqrt{2 \cdot (2922,9 - 2435) \cdot 10^3} = 987,8 \text{ m/san} \quad (3.2)$$

Axının həqiqi sürəti

$$C_2^{həq} = \varphi \cdot C_2 = 0,98 \cdot 987,8 = 968,07 \text{ m/san} \quad (3.3)$$

Soplonun kritik kəsiyində:

$$Təzyiq  $P_{kr} = \beta_{kr} \cdot P_{bux1} = 0,546 \cdot 4,0 = 2,184$  bar \quad (3.4)$$

Entalpiya  $i_{kr} = 2600$  kC/kq

$$\text{Sürət } C_{kr} = \sqrt{2 \cdot (i_1 - i_{kr})} = \sqrt{2 \cdot (2922,9 - 2485,4) \cdot 10^3} = 935,41 \text{ m/san} \quad (3.5)$$

Həqiqi sürəti

$$C_{kr}^{həq} = \varphi \cdot C_{kr} = 0,98 \cdot 935,41 = 916,7 \text{ m/san} \quad (3.6)$$

$$v_{kr} = 1,244 \text{ m}^3/\text{kq} \quad v_2 = 2,8 \text{ m}^3/\text{kq}$$

Soplonun

$$\text{minimal en kəsiyi } F_{min} = \frac{G_{bux} \cdot v_{kr}}{C_{kr}^{həq}} = \frac{0,0255 \cdot 1,244}{916,7} = 0,0000346 \text{ m}^2 \quad (3.7)$$

$$\text{maksimal en kəsiyi } F_{max} = \frac{G_{bux} \cdot v_2}{C_2^{həq}} = \frac{0,0255 \cdot 2,8}{968,07} = 0,00007375 \text{ m}^2 \quad (3.8)$$

$$\text{minimal diametri } D_{min} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{min}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,0000346}{3,14}} = 0,0066 \text{ m} \quad (3.9)$$

$$\text{maksimal diametri } D_{max} = \sqrt{\frac{4 \cdot F_{max}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,00007375}{3,14}} = 0,00969 \text{ m} \quad (3.10)$$

Soplodan mazutun axma sürəti

$$w_m = \mu \sqrt{\frac{2 \cdot P_m}{\rho_m}} = 0,2 \sqrt{\frac{2 \cdot 3500 \cdot 1000}{960}} = 17,08 \text{ m/san} \quad (3.11)$$

Mazut soplonun diametri



$$d_m = \sqrt{\frac{B_m \cdot 10^6}{0,785 \cdot w_m \cdot \rho_m}} = \sqrt{\frac{1,278 \cdot 10^6}{0,785 \cdot 17,08 \cdot 960}} = 9,96 \text{ mm} \quad (3.12)$$

Soplonun kritik en kəsiyində buxarın sürəti

$$w_{kr} = \varphi \cdot M \cdot P_{bux} \sqrt{\frac{t_{müh}}{\rho_{bux} \cdot t_{bux} \cdot P_{müh}}} = 0,8 \cdot 0,667 \cdot 400 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{373}{0,804 \cdot 503 \cdot 50000}} = 916,69 \text{ m/san} \quad (3.13)$$

Soplonun en kəsiyinin sahəsi

$$F_{kr} = \frac{B_m \cdot G_{bux} \cdot 10^6}{w_{kr} \cdot \rho_{bux}} = \frac{1,278 \cdot 10^6 \cdot 0,02}{916,69 \cdot 0,804} = 34,68 \text{ mm}^2 \quad (3.14)$$

Soplonun çıxış en kəsiyinin sahəsi

$$F_{çix} = F_{kr} \cdot A = 34,68 \cdot 2,1392 = 74,187 \text{ mm}^2 \quad (3.15)$$

Qarışdırıcıya verilən buxarın sıxlığı

$$\rho_{çix} = \rho_{bux} \cdot \frac{t_{müh}}{t_{bux}} \cdot \Pi = 0,804 \cdot \frac{373}{503} \cdot 1,276 = 0,759 \quad (3.16)$$

Qarışdırıcıya verilən buxarın sürəti

$$w_{çix} = \frac{B_m \cdot G_{bux} \cdot 10^6}{F_{çix} \cdot \rho_{çix}} = \frac{1,278 \cdot 0,02 \cdot 10^6}{74,187 \cdot 0,759} = 453,9 \text{ m/san} \quad (3.17)$$

toz halına gətirilmiş mazut damcısının radiusu

$$r = \frac{0,275}{w_{çix}^2 \cdot \rho_{çix}} = \frac{0,275}{453,9^2 \cdot 0,759} = 1,757 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad (3.18)$$

### 3.2. Mazutun püskürdülməsi prosesində buxarın əvəzinə təklif edilən havanın parametrlərinin təyini

$$\rho_{\zeta l x} = \rho_{hava} \cdot \frac{t_{müh}}{t_{hava}} \cdot \Pi = 1,29 \cdot \frac{373}{606} \cdot 1,028 = 0,816 \quad (3.19)$$

$$w_{\zeta l x} = \sqrt{\frac{0,275}{r \cdot \rho_{\zeta l x}}} = \sqrt{\frac{0,275}{1,757 \cdot 0,816 \cdot 10^{-6}}} = 437,9 \text{ m/san} \quad (3.20)$$

$$G_{hava} = \frac{w_{\zeta l x} \cdot F_{\zeta l x} \cdot \rho_{\zeta l x}}{B_m \cdot 10^6} = \frac{437,9 \cdot 74,187 \cdot 0,816}{1,278 \cdot 10^6} = 0,0207 \text{ kq/san} \quad (3.21)$$

$$F_{kr} = F_{\zeta l x} / A = 74,187 / 1 = 74,187$$

$$w_{kr} = \frac{B_m \cdot G_{hava} \cdot 10^6}{F_{kr} \cdot \rho_{hava}} = \frac{1,278 \cdot 10^6 \cdot 0,0207}{74,187 \cdot 1,29} = 276,4 \quad (3.22)$$

$$P_{hava} = w_{kr} / \varphi \cdot M \cdot \sqrt{\frac{t_{müh}}{\rho_{hava} \cdot t_{hava} \cdot P_{müh}}} = 276,4 / 0,8 \cdot 0,667 \sqrt{\frac{373}{1,29 \cdot 606 \cdot 50000}} = 167,7 \cdot 10^3 \text{ Pa} \quad (3.23)$$

Havanın temperaturu  $t_{hava} = 333 \text{ }^\circ\text{C}$  olanda

$$\text{Sərfi } G_{hava} = 0,0207 \frac{\text{kq}}{\text{san}},$$

$$\text{Təzyiqi } P_{hava} = 167,7 \text{ kPa (1,7 bar)}$$

Havanın temperaturu  $t_{hava} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$  olanda isə

$$\text{Sərfi } G_{hava} = 0,0237 \frac{\text{kq}}{\text{san}},$$

$$\text{Təzyiqi } P_{hava} = 192,147 \text{ kPa (1,9 bar)}$$

İşin birinci hissəsində mazutun keyfiyyətli tozlandırılması üçün işçi cism – su buxarı olan halda püskürmə prosesi zamanı verilənlər, mazut forsunkalarında istifadə edilən buxarın parametrləri təyin edilmişdir. Həmin parametrlili üfürülmüş mazutun alınması üçün mazutun püskürdülməsi prosesində buxarın əvəzinə təklif edilən havanın parametrlərinin təyini aparılmışdır və müvafiq nəticələr alınmışdır.

## NƏTİCƏ

1. Aparılan hesabatdan nəticəyə gəlmək olar ki, buxar-mexaniki forsunkalarında mazutun keyfiyyətli tozlandırılması üçün buxardan istifadə zamanı toz halına gətirilmiş mazut damcısının radiusu  $1,757 \cdot 10^{-6}$  m-dir.
2. Mazutun isti hava ilə tozlandırılması zamanı mazut damcılarının bu ölçüdə saxlanması üçün havanın temperaturu  $t_{hava} = 333$  °C olanda, sərfi  $G_{hava} = 0,0207 \frac{kq}{san}$ , təzyiqi  $P_{hava} = 167,7 kPa$  (1,7 bar) olmalıdır.
3. Havanın temperaturu  $t_{hava} = 100$  °C olanda isə sərfi  $G_{hava} = 0,0237 \frac{kq}{san}$  təşkil edir.
4. Havanın təzyiqi  $P_{hava} = 192,147 kPa$  (1,9 bar) qədər qaldırılmalıdır.

## İSTİFADƏ OLUNAN ƏDƏBİYYAT

1. Котельные установки промышленных предприятий - Н. А. Семёненко, Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев, Госэнергоиздат. 1960 г.
2. Парогенераторы промышленных предприятий - Л. Н. Сидельковский, В. Н. Юренев, «Энергия». 1978 г.
3. Распыление жидкости форсунками – Витман Л.А., Кацнельсон Б.Д., Палеев И.И., ГЭИ Москва. 1962
4. Горелки мазутные и амбразуры стационарных паровых котлов. ОСТ 24.836.06-74, Москва
5. Процессы гидродинамики, диспергирования и тепломассобмена при эксплуатации форсунок - Шутов В.С. Конференция: развитие науки и техники: Механизм выбора и реализации приоритетов Омск, 25 декабря 2017 года
6. Повышение эффективности использования газа и мазута в энергетических установках - В.А. Спейшер, А.Д. Горбаненко. 1982
7. Форсунки стационарных паровых котлов, Расчет и проектирование механических форсунок. РТМ 24.030.37-74, Москва
8. Qazan qurğuları – Abdullayev K.M., Bakı «Zaman-3», 2010
9. Shet U S P, T Sundararajan, J M Malakerjuna 2014 Refrigeration Cycles (Mandroa: Indian Institute of Technology)
10. Pianthong K, W Seehanam, M Behnia, T Sriveerakul, S Aphonratana 2007 Investigation and Improvement of Ejector Refrigeration system Using Computational Fluid Dynamics Technique Energy conversion & Manajement 48 2556-2564
11. Mitchley S R 1998 Vacum Boiling of Water in a Steam Jet Refrigeration System Dissertation (Johannesburg: Faculty of Engineering University of The Witwatersand)

12. Saengmanee C, Pianthong K 2010 Design of a Steam ejector by co-operating the ESDU design method and CFD Simulation The First TSME International Conference on Mechanical Engineering 20-22 October Ubon Ratchathani
13. Sahni R 2015 Ejector Expansion Refrigeration Systems Reaserch Inveny International Journal of Engineering and science 5 (2) 25-29
14. Elbel S, Hanjak P 2008 Ejector Refrigeration: An Overview of Historical and Present Development with an Emphasis on Air- Conditioning Applications Internationalrefrigeration and Air Conditioning Conference at Purdue July 14-17 (2350) 1-9
15. Chunnannond K, S Aphornratana 2004 Ejectors: Application in refrigeration technology, Renewable and Sustainable Energy, Reviews 8 129-155
16. Vadalía D R 2017 Performance Optimization of Steam Jet Ejector Using CFD A Review, International Research Journal of Engineering and technology (IRJET) 4 (2)
17. Petel A R and Khunt J 2013 Performance Optimization of Steam Jet Ejector using CFD International Journal Innovative Research in Science and Technology 2 (1)
18. Pansari K and Jilani S A K 2013 Numerical Investigation of the Performance of Convergent, Divergent Nozzle 3 (3) 2001-2006
19. Surya S D, Vesu T A, Raghavan K S, Chavali M 2017 CFD Simulation of Ejector in Steam Jet Refrigeration Journal of Applied Mechanical Engineering 6 263
20. Rao G R, Ramakanth U S, Lakshman A 2013 Flow Analysis in a Convergent-Divergent Nozzle Using CFD International Journal of Research in Mechanical Engineering 1
21. Satyanarayana G, Varun C, Naidu S S 2013 CFD Analysis of Convergent-Divergent Nozzle. Acta Technica Corviniensis- Bulletin of Engineering, Tome VI (Year 2013) Vascicule 3
22. Sudakhar B V V N, Sekhar B P C, Sekhar B P, Mohan P N, Ahmad M D S 2016 Modelling and simulation of Convergent-Divergent Nozzle Using

Computational Fluid Dynamics. International Research Journal of Engineering and Technology (IJRET) 3 (8)

23.Lakshmi K S, Vakatesh K 2016 Modelling and Simulation of Supersonic Nozzle using Computational Fluid Dynamics Technology Management and Research 3