

<https://doi.org/10.3176/tech.phys.math.1956.4.06>

KOLDE AERODÜNAAMIKA UURIMINE MUDELI ABIL

J. IVANOV,
tehniliste teaduste kandidaat

U. SAAR,
tehniliste teaduste kandidaat

H. SUI

Tahke kütuse intensiivsema ja kadudeta põlemise saavutamiseks tuleb uurida kolderuumi aerodünaamikat. Huvi pakub seejuures küsimus, kuidas ratsionaalselt organiseerida teravate jugadena puhutava sekundaar-õhu andmist koldesse. Teravate õhujugade puhumisega seotud küsimuste lahendamisel tuleb arvestada vooluste erineva suuna, kiiruse ja temperatuuri mõju gaaside segunemisele koldes; on vaja leida vooluste liikumise trajektorid ja gaaside kiiruse ning kontsentratsiooni muutumine kolde-ruumis.

Kütuse põlemise protsessis võib eraldada kolme faasi: 1) põlevaine segunemine õhuhapnikuga, 2) segu kuumenemine süttimistemperatuurini, 3) põlemise keemiline reaktsioon.

Et tööstuslikes ahjudes ja kolletes toimub koldegaaside segunemine õhuhapnikuga umbes 1000°C juures ning põlemise keemilise reaktsiooni kestus on mõõdetav sekundi tuhandikes murdosades, siis osutub siin põlemisprotsessi määravaks osaks segunemisprotsess. Seni on aga segunemisprotsessi vähe uuritud: ei ole veel välja selgitatud, kuidas arvutada segunemist olenevalt õhudüüside asetusest, jugade kiirusest ja läbimõõdust.

Praegusel ajal kasutatakse segunemise arvutamise aluseks teravate jugade puhul kas liikumatusse keskkonda voolavate vabade isothermiliste jugade seaduspärasusi või põikvoolusesse suunduva üksiku joa seaduspärasusi. Terava joa ulatuvuse (löögikauguse) arvutamisel jääb seejuures arvesse võtmata, kas sekundaar-õhu düüsid asetsevad koldes ühe- või kahepoolselt; arvestamata jääb ka düüside omavahelise kauguse (sammu) mõju segunemisprotsessile. Samuti ei osata segunemise iseloomustamisel arvesse võtta seda, kas joa ulatuvuse suurendamine saavutatakse kiiruse tõstmise arvel joa väikese läbimõõdu juures või joa läbimõõdu suurendamise arvel madalama kiiruse juures.

Katseline teravate jugade mõju tundmaõppimine mudelite abil pole aga seni jõudnud segunemisprotsessi uurimiseni.

Meil oli ülesandeks uurida koldekambri aerodünaamikat sekundaar-õhu andmisel teravate jugadena.

Kuna küsimuse analüütiline lahendamine meie teadmiste praeguse taseme juures ei ole võimalik, siis tuli lahendust otsida eksperimentaalsel teel, rakendades katseandmete üldistamisel sarnasuse teooriat.

Modelleerimisel tingimata vajalikeks ja ühtlasi ka küllaldasteks tingimusteks osutuvad: 1) geomeetiline sarnasus, 2) gaaside (vedelike) sissevoolamise tingimuste sarnasus, 3) füüsikaliste parameetrite sarnasus, 4) määravate kriteeriumide võrdsus mudeli ja tööstusliku seadme sarnastes ristlõigetes.

Geomeetrilise sarnasuse tagamiseks tuleb käesoleval juhul silmas pidada järgmisi parameetreid: 1) kolde konstruktsiooni tüüpi, 2) sekundaar-õhu koldesse andmise viisi (ühepoolne, kahepoolne jne.), 3) jugade läbimõõtu d , 4) joa struktuurkoefitsienti a , 5) nurka α , mille all juga antakse koldesse, 6) jugade omavahelist suhtelist kaugust ehk suhtelist sammu $\frac{s}{d}$.

Kuna on kindlaks tehtud, et turbulentsete õhujugade voolamisel keh-tivad seaduspärasused ei sõltu Re arvust, siis ei tule viimane arvesse määrava kriteeriumina. Ka Ar kriteerium ei tule antud juhul arvesse määrava kriteeriumina, sest Ar arvu väärtus terava joa jaoks on alla 0,005 (²).

Füüsikaliste konstantide väljade sarnasus määratakse kriteeriumiga $\frac{\Delta T}{T}$, kus T on temperatuur mingisuguses punktis °K; ΔT — erinevus T ja ükskõik millises teises punktis valitseva temperatuuri vahel. Võib oletada, et kui modelleerimisel kolde osade jaoks, milledes temperatuuride erinevus ei ole väga suur, kriteeriumi $\frac{\Delta T}{T}$ samasuse tingimust mõnevõrra rikutakse, siis see oluliselt ei mõjuta tulemusi. Kolderuumis toimuvaid segunemisprotsesse määravaks teguriks on mitte temperatuurivälja ebaühtlusest tingitud difusioon, vaid koldesse antavate sekundaar-õhu jugade elavenergia.

J. Ivanovi tööstest (^{1, 2}) on teada, et jugade trajektooride sarnasuse saavutamiseks (tingimustes, kus $Ar < 0,005$) on vaja tagada parameetri $\frac{\rho_2 \cdot v_2^2}{\rho_1 \cdot v_1^2}$ võrdsus (ρ — tihedus kg sek.²/m⁴; v — kiirus m/sek.; indeks 1 tähistab põhivoolust ja indeks 2 — juga).

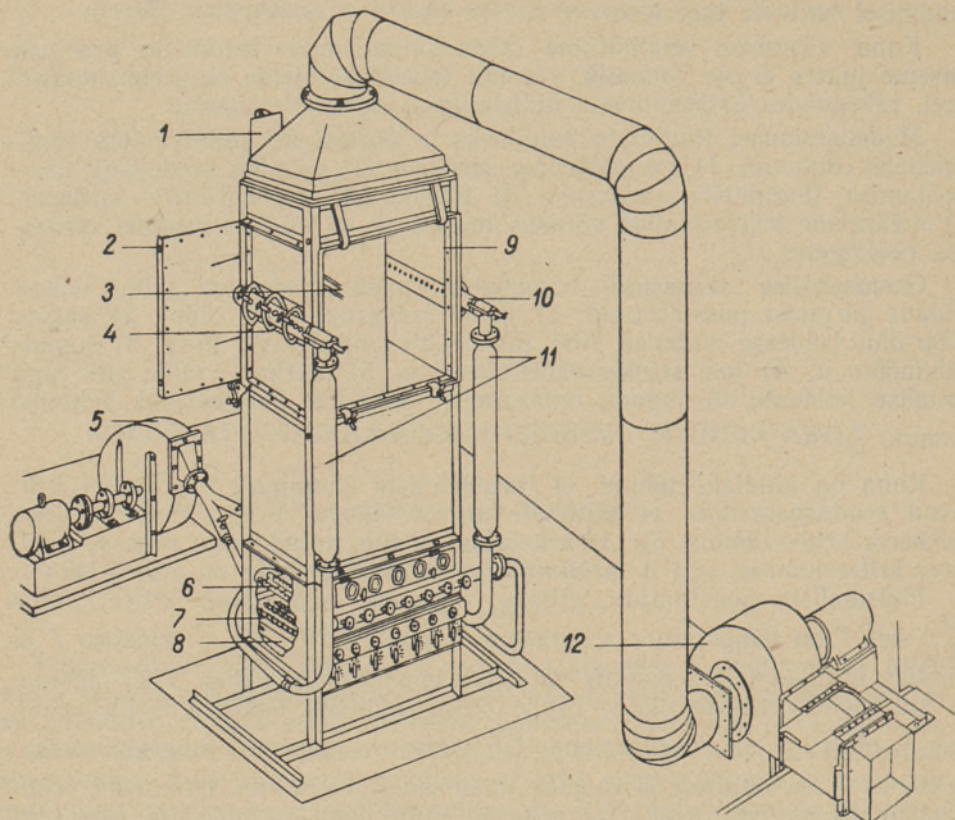
Nii on kolderuumis toimuvate aerodünaamiliste protsesside ligikaudsel modelleerimisel tarvis peale geomeetrilise sarnasuse kindlustada vaid parameetri $\frac{\rho_2 \cdot v_2^2}{\rho_1 \cdot v_1^2}$ võrdsus mudelis ja tööstuslikus seadmes.

Katseseadme kirjeldus ja mõõtmiste meetodika

Katseseadme skeem on toodud joonisel 1, a. Koordinaattelgede asetus katseseadme suhtes on näidatud joonisel 1, b.

Seadme põhilise osa moodustab metallkarkassile toetuv, alt avatud vertikaalne kanal ristlõikega 600×700 mm. Ülaosas see kanal järsult aheneb ja läheb üle õhuvooluse tekitamiseks vajaliku ventilaatori 12, tüüp ЭВР-4, imitoruks.

Kolde mudeliks, kus toimus kolde aerodünaamika uurimine, loome katseseadme keskmist osa, mida piiravad esi-, taga- ja kaks külgeina.



Joon. 1a. Katseseadme skeem.

Üks külgeintest 9 on klaasist ja lahtikäiv, teine 2 aga, olles liigutatav horisontaalsuunas, omab veel vertikaalselt liigutatavat keskmist osa 1. Viimase külge kinnitatakse mõõteriistad (termopaar, pneumomeetriline toru) 3 sellekohase, mööda kolmandat koordinaattelge mõõtmisi võimaldava aluse abil. Mõõteriistade koordinaatide määramiseks on seade varustatud mõõtjaotustega.

Katseseadme esi- ja tagaseinale kinnituvad üles- ja allanihutatavad sekundaar-õhu kollektorid 4 ja 10, millede külge soovi korral saab monteerida erisuguse läbimõõdu ja kujuga düüsidesid koosnevaid düüsigruppe. Ohujugade ja -vooluse vahelise nurga α muutmiseks on düüsigrupp koos kollektoriga pööratav. Kummagi sekundaar-õhu kollektoriga ühendatakse vahetult vertikaalne kaloriifer 11, kuhu õhk juhatakse ühisest kõrgrõhu ventilaatorist 5.

Katseseadme allosas asuvad õhuvooluse temperatuuri muutmiseks vajalikud reguleeritavad gaasipõletite 6 ja elektriliste küttekehade 7 grupid. Veelgi allpool ulatuvad üle kogu põiklõike pööratavad siibrid 8 õhuvooluse reguleerimiseks.

Elektrilised küttekehad (14 tk.) kujutavad endast 20 mm läbimõõduga keraamilistele torudele mähitud kroomnikkel-traadist spiraale. Keraamilisi-

sed torud on asetatud kahte ritta malekorras, sammuga 96 mm, ja ulatuvad ühest külgeisest teiseni. Elektriliste küttekehade all olevad siibrid (7 tk.) võimaldavad kiirustevälja ühtlustamist ning etteantud profiiliga kiirustevälja loomist (kiiruste maksimum ees, keskel jne.).

Elektrilised küttekehad ja siibrid on monteeritud ühisesse blokki, mida soovi korral saab seadmest tervikuna välja tõmmata. Väljapoole, bloki esiküljele on monteeritud 7 lülitit küttekehade paarikaua lülitamiseks ning 7 käepidet siibrite pööramiseks ja arreteerimiseks skaalal fikseeritava nurga all.

Elektriliste küttekehade kohal asetseb teine, soovi korral seadmest väljatõmmatav blokk — gaasipõletite blokk, mis koosneb kollektorist ja 14-st perforeeritud gaasitorust läbimõõduga $\frac{3}{4}$ ". Seadmest väljaspool asuvale kollektorile on monteeritud 7 gaasikraani, milledega põleteid paarikaua reguleeritakse. Bloki esikülje lahtikäival luugil on 5 klaasitud vaateava põlemise jälgimiseks.

Elektriliste küttekehade ja gaasipõletite poolt kiirusteväljas tekitatud kohalike ebaühtluste tasandamist võimaldab põletite kohale paigaldatud metallvõre (augu läbimõõt 5 mm, samm 8 mm).

Seadme ülaosas asub torukimp, mida kasutatakse väljaimetatavate gaaside (õhu) jahutamiseks, kusjuures aga võime vaadelda seda kimpu ka kui katla esimest torukimpu.

Katseseadme juures on ette nähtud võimalus mitmesuguse konfiguratsiooniga kollete modelleerimiseks nende asetamise teel seadme sisse.

Kolde aerodünaamika uurimise ülesanne sekundaar-õhu kasutamisel lahendati erinevate režiimide juures temperatuuri- ja kiirusteväljade kindlaksmääramise teel.

Temperatuurivälja mõõtmine toimus kromel-alumeltermopaariga (traadi $\varnothing 0,2$ mm), mis oli asetatud vasktorust (välise läbimõõduga 8 mm) valmistatud kaitseka. Elektromotoorse jõu mõõtmine toimus ПП-tüüpi potentsiomeetri abil.

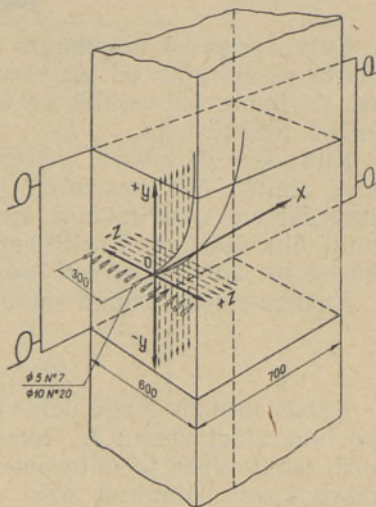
Kiirustevälja, samuti joa trajektoor mõõdeti väikesemõõduliste pneumomeetriliste torudega. Trajektoori mõõtmisel kasutatav pneumomeetiline toru oli pööratav tiguajamiga, kusjuures pöördenurk fikseeriti kraadijao- tust omaval skaalal. Otsasi oli ta painutatud konksukujuliseks selliselt, et üldrõhu ava asetses toru pöörlemisteljel.

Joa nurga leidmist ja kontrollimist kiirusteväljas kergendas toru külge seotud värviline niidike, mis kõverdus vastavalt joa trajektooreile.

Joa trajektoori uurimisel õhuvoolust, mille kiirus oli ca 3 m/sek., ei kuumutatud. Segunemise uurimisel aga temperatuurivälja maksimaalne temperatuur katseseadme mudeliosa ees ulatus kuni 130 kraadini, kusjuures vooluse keskmist kiirust hoiti 1,3 m/sek. piires.

Sekundaar-õhu temperatuur katsete vältel ulatus toatemperatuurist kuni 300 kraadini.

Uurimistöö lõppeesmärgiks oli põlevkivi kihispõletamise kolletes sekundaar-õhu sisseandmisel saavutatud turbulentsse segunemise nähtuste



Joon. 1b.
Koordinaattelgede asetus katseseadme suhtes.

kvalitatiivne ja kvantitatiivne selgitamine ja andmete saamine vastava arvutusmeetodi loomiseks.

Katseadmel töötamise oskuse ja mõõtmiste metoodika omandamine toimus esialgsete katsete käigus. Nende katsete kestel ühtlustati põhivooluse kiirusteväli seadme mudeli osas ning selgitati põhivooluse- ja sekundaar-õhu koguse ning temperatuuri reguleerimise ja konstantsetena hoidmise tingimused. Kokku teostati 20 eelkatset.

Ühes reas asetsevatest ümmarguse ristlõikega düüsidest väljuvate jugade trajektoorid

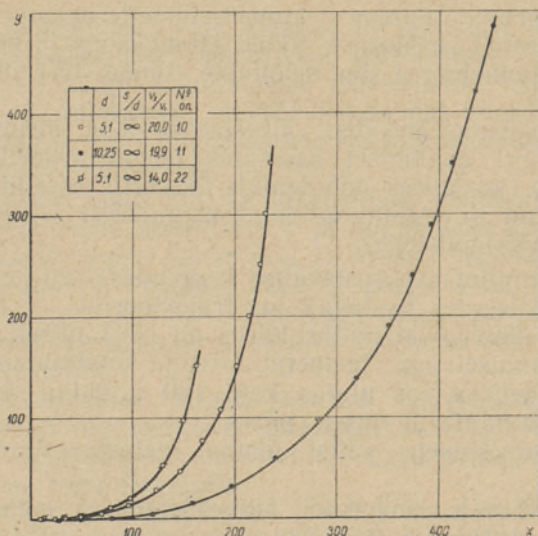
Katsed algasid liikumatus keskkonnas kulgeva joa uurimisega. Nende katsete eesmärgiks oli joa struktuurkoefitsiendi a määramine, mille väärtuse teadmine on vajalik katsetulemuste võrdlemisel teiste uurijate poolt saadud tulemustega.

Kuna kõikide katsete juures, kus määrati sekundaar-õhu joa trajektoor, uuriti ainult ühte (keskmist) juga ja teised joad (arvult 2 kuni 12) loeti samaväärseteks uuritavaga, siis ka katsed liikumatus keskkonnas toimusid ainult ühe düüsiga. Uuriti juga düüsist nr. 7 läbimõõduga $d=5,1$ mm ja düüsist nr. 20 — $d=10,25$ mm.

Katsetulemuste põhjal saadi joa struktuurkoefitsiendi a väärtuseks 0,07.

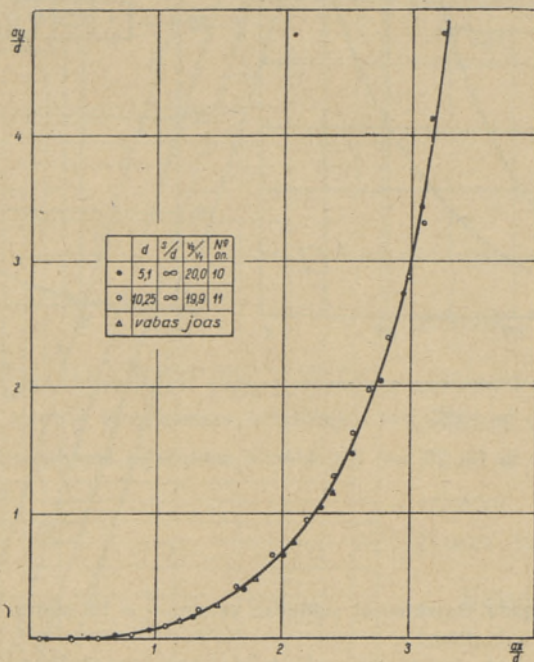
Üksikute jugade trajektoorid

Katsed üksiku joaga pakuvad teoreetilist huvi. Peale selle võimaldavad nad luua sidet varem J. Ivanovi poolt teostatud uurimistööga ⁽¹⁾, milles uuriti isotermilise ja mitteisotermilise üksiku joa kulgemist ühtlases vabas põikvooluses. Mainitud töös esitatud katseandmete võrdlemine autorite poolt teostatud katsete tulemustega annab võimaluse selgitada, millisel määral põhivoolust ümbritsevad seinad avaldavad mõju joa kulgemisele. Mõlema uurimistöö tulemuste kokkulangemise korral võib käesolevas töös kasutada joa trajektoori uurimisel varem ⁽¹⁾ saadud olenevusi joa ja põhivooluse vahelise nurga α , määrava parameetri $\frac{\varrho_2 \cdot v_2^2}{\varrho_1 \cdot v_1^2}$ ja struktuurkoefitsiendi a mõju kohta ja seega vähendada ettenähtud katsete mahtu.



Joon. 2.
Üksik ümmargune juga
seintega piiratud põik-
vooluses (600×700 mm
ristlõikega kanal).

Üksikute ümarate jugadega $d=5,1$ ja $10,25$ mm teostatud katsete tulemused on toodud joonisel 2. Nagu näitab ühesuguse läbimõõduga düüsi-dest väljuvate jugade trajektooride (katsed 10 ja 22) võrdlus, kiiruste suhte $\frac{v_2}{v_1}$ suurenemisega joa ulatuvus* kasvab. Erinevate läbimõõtudega düüsidest väljuvate jugade trajektooride võrdlemisel ühesuguse kiiruste suhte $\frac{v_2}{v_1} \approx 20$ juures aga ilmneb, et mida suurem on joa läbimõõt düüsi suudmes, seda kaugemale ulatub joa trajektoor düüsi suudme tasapinnast (katsed 10 ja 11).



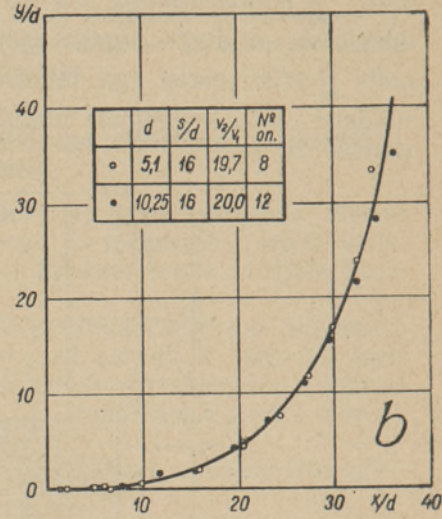
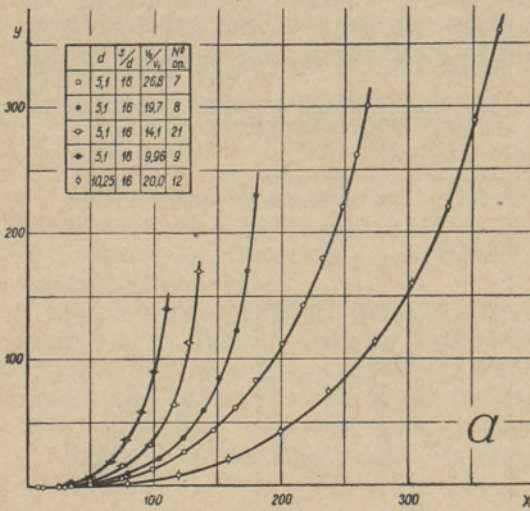
Joon. 3. Piiratud ja vabas põikvooluses kulgevate üksikute jugade võrdlus.

Selleks, et kontrollida, kas saadud katsetulemused vastavad J. Ivanovi ⁽¹⁾ katseandmetele, joonistati jugade trajektoorigid üldistatud koordinaatides $\frac{av}{d} = f\left(\frac{ax}{d}\right)$ (joon. 3), kus on arvestatud struktuurkoefitsienti a . Nagu jooniselt 3 näha, on punktide kokkulangevus hea. Seega otseste mõõtmiste teel selgitati, et seaduspärasused, mis määrati kindlaks vabas põikvooluses kulgevate jugade kohta, kehtivad ka jugade korral, mis kulgevad neljast küljest seintega piiratud põikvooluses, kui seejuures $\frac{B}{d} \geq 60$ (B — kanali laius, d — düüsi läbimõõt).

Märgime siinjuures, et jugade trajektooride fotografeerimisel saadud tulemused ⁽¹⁾ võimaldavad laiendada neid seaduspärasusi ka jugadele, mis kulgevad veelgi kitsamas kanalis $\left(\frac{B}{d} \geq 24\right)$.

* Joa ulatuvuse D all mõistetakse suhtelist kaugust $\frac{x}{d}$ mõõdetuna ristsuunas düüsi suudme tasapinnast kuni põhivoolusega ühise suuna omandanud joa teljeni.

Asjaolu, et erinevatel seadmetel määratud jugade trajektorid langevad ühte, näitab, et käesolevas töös kasutatud mõõtmiste metoodika kindlustab katsete küllaldase täpsuse ja teda võib lugeda vastuvõetavaks.



Joon. 4. Ühes reas asetsevate jugade trajektorid, kui $\frac{s}{d} = 16$:

a) jugade $d=5,1$ ja $10,25$ mm trajektorid mitmesuguse kiiruste suhte juures;

b) jugade $d=5,1$ ja $10, 25$ mm trajektorid suhtelistes koordinaatides $\frac{y}{d} = f\left(\frac{x}{d}\right)$.

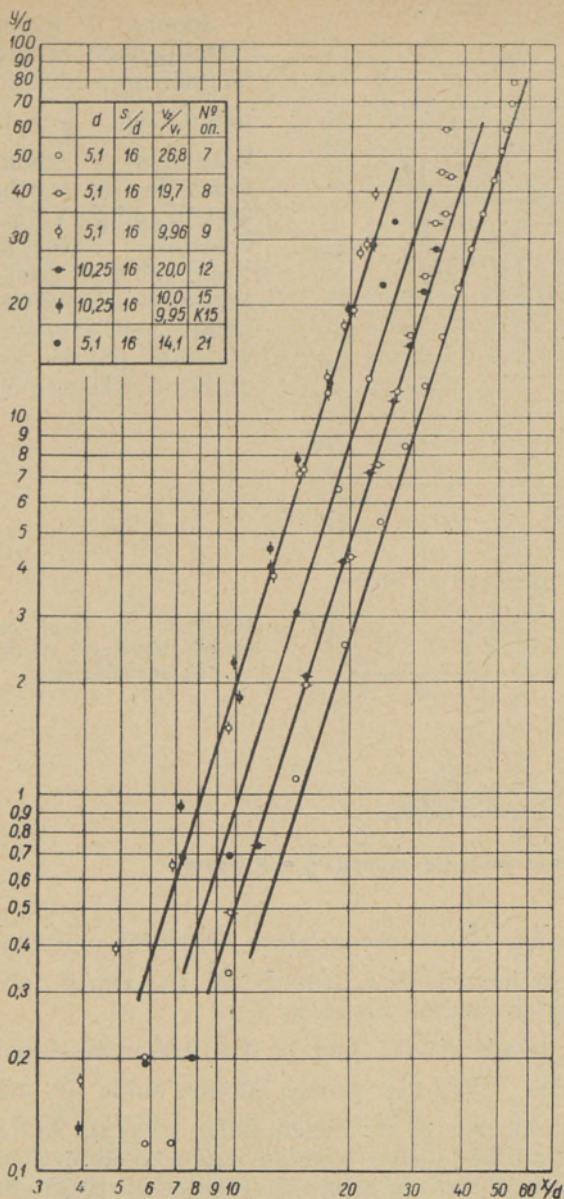
kui $\frac{v_2}{v_1} \approx 20$.

Jugade trajektorid suhtelise sammu $\frac{s}{d} = 16$ juures

Tuleb märkida, et seniajani pole tehnilises kirjanduses avaldatud andmeid jugade trajektoride kujunemise kohta põikvooluses, kui sekundaarõhku antakse mitmest ühes reas asetsevast düüsist. Järelikult ei ole uurimistöö tulemusi millegagi võrrelda.

Ümarate jugade $d=5,1$ ja $10,25$ mm trajektorid suhtelise sammu $\frac{s}{d} = 16$ puhul (s — kõrvuti töötavate düüside omavaheline kaugus) on esitatud joonisel 4, a. Neljal erineva kiiruste suhtega teostatud katsel (7, 8, 9 ja 21) saadud tulemused näitavad, et ka jugaderea korral suuremale kiiruste suhtele vastab suurem joa ulatuvus. Samalt jooniselt selgub ka, et ühe ja sama kiiruste suhte puhul suuremale joa läbimõõdule vastab joa suurem ulatuvus (katsed 8 ja 12). Katseandmete ümbertöötamine suhtelistes koordinaatides $\frac{y}{d} = f\left(\frac{x}{d}\right)$ näitab, et erineva läbimõõduga joad moodustavad ühise kõvera (joon. 4, b). Seega suhtelise sammu $\frac{s}{d} = 16$ puhul on olemas sarnasus jugaderea kulgemisel seintega piiratud põikvooluses.

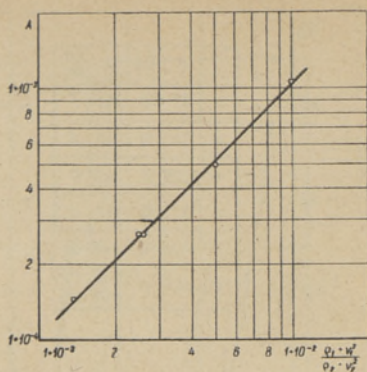
Joonisele 5 on logaritmilises mastaabis koordinaatides $\frac{y}{d} = f\left(\frac{x}{d}\right)$ kantud kõikide suhtelise sammuga $\frac{s}{d} = 16$ teostatud katsete tulemused. Nagu näha, erineva kiiruste suhtega läbiviidud katsetele vastavad punktid moodustavad paralleelsete sirgete grupi.



Joon 5. Ühes reas asetsevate jugade trajektoorid logaritmilistes koordinaatides, kui $\frac{s}{d} = 16$.

Võrrand on kontrollitud piirkonnas $\frac{v_1 v_1^2}{v_2 v_2^2} = 1 \cdot 10^{-2}$ kuni $1 \cdot 10^{-3}$.

Tegeliku kolde tingimustes see piirkond vastab kiiruste suhtele $\frac{v_2}{v_1} = 5$ kuni 50, mis täielikult haarab kõik praktiliselt kasutatavad sekundaarõhu tööstuslikesse kolletesse andmise režiimid.

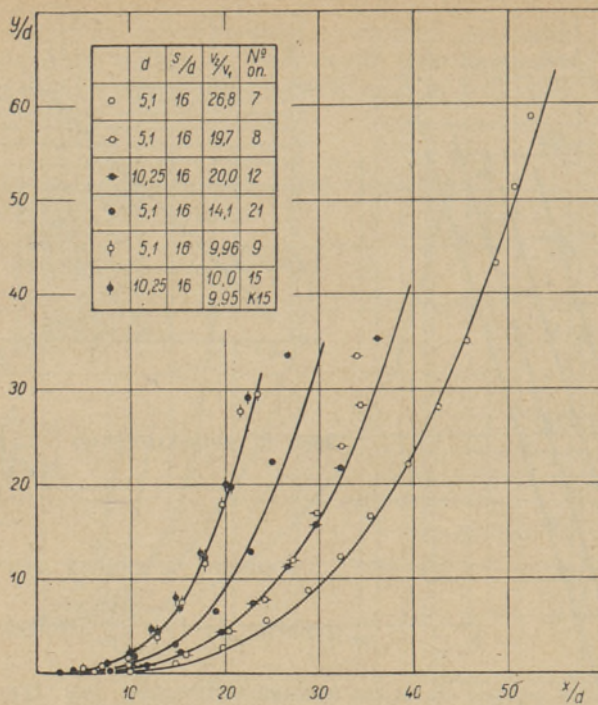


Joon 6. Abigraafik $A = f\left(\frac{v_1^2}{v_2^2}\right)$.

Joonisel 6 toodud abigraafik $A = f\left(\frac{v_1^2}{v_2^2}\right)$ kujutab endast vaheastet joa trajektoori võrrandi saamisel. Punktid sirgel vastavad erineva kiiruste suhte juures teostatud katsetele.

Katseandmete läbitöötamisel saadi ühes reas sammuga $\frac{s}{d} = 16$ asetsevaist düüsidest väljuvate õhujugade trajektooride arvutamiseks järgmine võrrand:

$$\frac{y}{d} = 0,104 \left(\frac{v_1 v_1^2}{v_2 v_2^2}\right) \left(\frac{x}{d}\right)^{3,25} \quad (1)$$



Joonisel 7 näeme katsetulemusi erineva läbimõõduga düüside puhul, kui $\frac{s}{d} = 16$, kusjuures samale joonisele on kantud ka võrrandiga (1) arvutatud kõverad. Võib näha, et eksperimentaalsed punktid küllalt hästi langevad võrrandi põhjal joonestatud kõveratele.

Joon. 7.
Võrrandi (1) järgi tõmmatud kõverate võrdlus katseandmetega.

Jugade trajektoord suhtelise sammu $\frac{s}{d} = 8$ juures

Ühes reas suhtelise sammuga $\frac{s}{d} = 8$ asetsevatest düüsidest väljuvate jugade trajektoord on esitatud joonisel 8, a. Ilmneb, et ka antud juhul suuremale kiiruste suhtele vastab suurem ulatuvus.

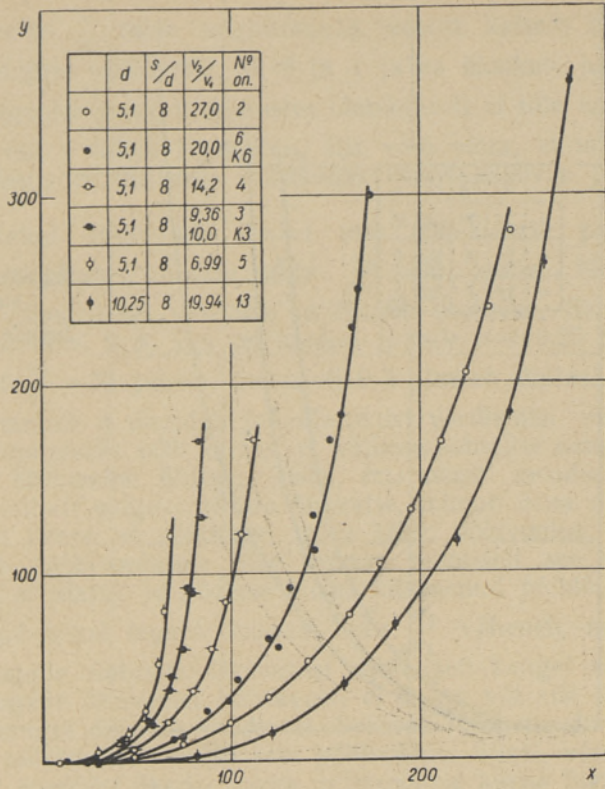
Joonisel 8, b võrreldakse jugade $d = 5,1$ mm ja $d = 10,25$ mm trajektoore suhtelistes koordinaatides $\frac{y}{d} = f\left(\frac{x}{d}\right)$ võrdse kiiruste suhte $\frac{v_2}{v_1} \approx 20$ juures. Nagu näha, need trajektoord ei moodusta ühist kõverat. Äratab tähelepanu, et kuigi düüside suudme lähedal kõverad langevad ühte, siiski kaugemal nad üha enam eemalduvad teineteisest, kusjuures 10,25 mm läbimõõduga joa trajektoord asetseb ordinaatteljele lähemal kui 5,1 mm läbimõõduga joa oma. Võttes arvesse seda, et katsetel ei tekkinud kahtlusi mõõtmiste täpsuse suhtes (sellist punktide hajumist ei esinenud teistel katsetel), võib oletada, et märgitud erinevust jugade trajektoordides põhjustab mingisugune uuritavale nähtusele omane seaduspärasus.

Selle erinevuse tõttu ei esitata jugade trajektoore sammu $\frac{s}{d} = 8$ juures üldistatud koordinaatides. Ka ei osutu võimalikuks üldise võrrandi tuletamine jugade trajektoordide arvutamiseks.

Kirjeldatud nähtust põhjustava seaduspärasuse leidmiseks on vajalik järgnevas uurimistöös täpsemalt selgitada märgitud erinevuste kvantitatiivset külge. Sellelt seisukohalt pakub teatud huvi uurida edaspidi lapiku joa kulgemist põikvooluses.

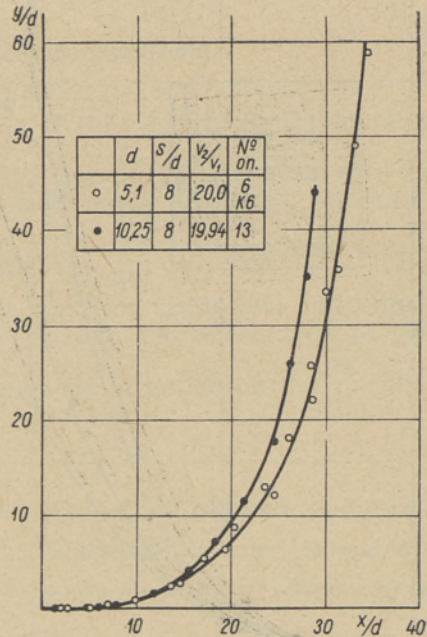
Joon. 8a.

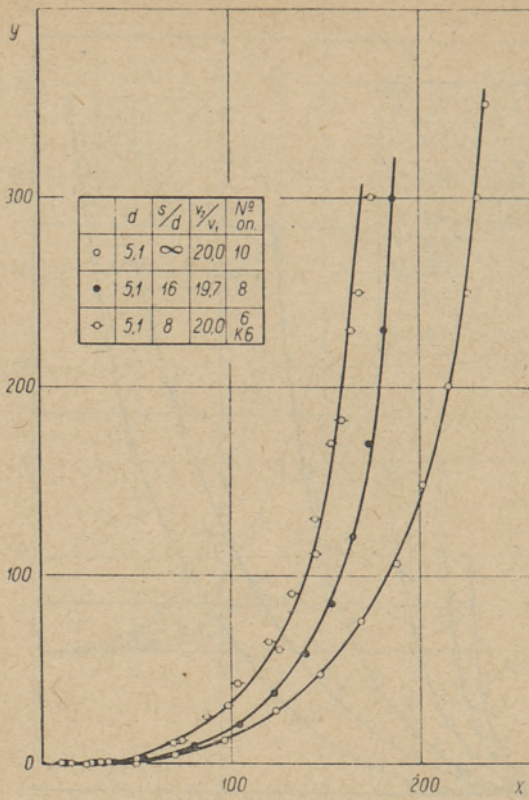
Ühes reas asetsevate jugade trajektoorid, kui $\frac{s}{d} = 8$: jugade $d = 5,1$ ja $10,25$ mm trajektoorid mitmesuguse kiiruste suhte juures.



Joon. 8b.

Ühes reas asetsevate jugade trajektoorid, kui $\frac{s}{d} = 8$: jugade $d = 5,1$ ja $10,25$ mm trajektoorid suhtelises koordinaatides $\frac{y}{d} = f\left(\frac{x}{d}\right)$, kui $\frac{v_2}{v_1} \approx 20$.

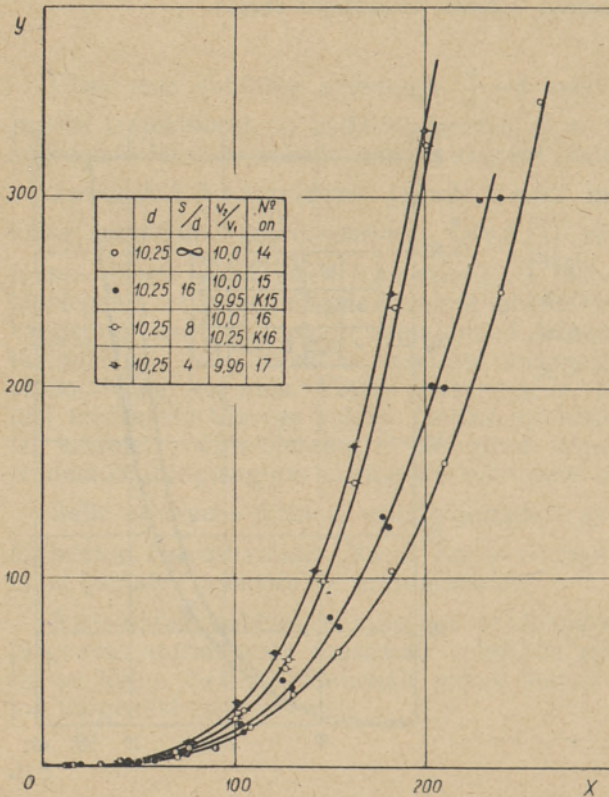




Joon. 9a.

Jugade trajektoordid mitmesuguse suhtelise sammu puhul.

Jugade $d=5,1$ mm trajektoordid, kui $\frac{v_2}{v_1} \approx 20$.



Joon. 9b.

Jugade $d=10,25$ mm trajektoordid, kui

$$\frac{v_2}{v_1} \approx 10.$$

Konstruktivise parameetri $\frac{s}{d}$ mõju selgitamiseks teostati katseid düüsidevahelise suhtelise kauguse väärtustel 16, 8 ja 4 ja ka üksikute jugadega ($\frac{s}{d} = \infty$)*. Kuna tegeliku kolde tingimustes tõenäoliselt ei tule kasutada väiksemat sammu kui 4 düüsi läbimõõtu, siis võib väita, et uuriti selle parameetri mõju kogu praktilisest seisukohast huvipakkavas piirkonnas.

Joonisel 9, a on esitatud õhujugade $d=5,1$ mm trajektoorid parameetri $\frac{s}{d}$ mitmesugustel väärtustel, kiiruste suhte $\frac{v_2}{v_1} \approx 20$ juures. Nagu näha, suhtelise sammu vähenemisel väheneb ka õhujoa ulatuvus. Samasugust pilti näeme ka joonisel 9, b, kus on toodud jugade $d=10,25$ mm trajektoorid kiiruste suhte $\frac{v_2}{v_1} \approx 10$ juures. Jooniselt 9, b ilmneb ühtlasi, et üleminek sammult 8 sammule 4 muudab joa ulatuvust võrdlemisi vähe.

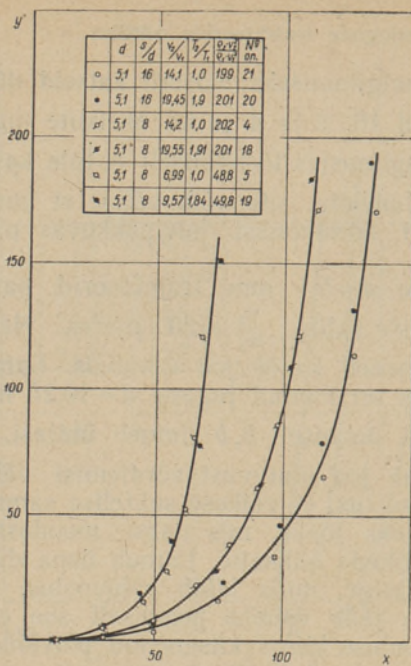
Mainitud nähtuse seletamiseks tehti oletus, et väikese suhtelise sammu korral üksikute jugade ühinemine ühiseks joaks, mis nagu moodustab katseseadme ristlõiget osaliselt sulgeva tiheda õhkkatte, toimub üsna düüside suudme ligidal. On ilmne, et põiklõige, mida läbib põhivoolus, sel juhul tunduvalt väheneb (põhivoolusele jääb vabaks peamiselt see osa kolderuumist, kuhu joad ei ulatu) ja vooluse kiirus kitsenenud põiklõikes suureneb. Järelikult antud kohal tegelik kiiruste suhe $\frac{v_2}{v_1}$ väheneb, mille tagajärjel väheneb ka jugade ulatuvus. Üksteisest suhteliselt kaugel asetsevate düüside korral jugade ühinemist nähtavasti ei toimu või siis ühinevad joad võrdlemisi kaugel düüside suudmest. Sellised joad moodustavad nagu resti, millest põiksuunas voolab läbi põhivoolus. Siiski, võrreldes juhuga, kus meil on tegemist üksiku joaga, põhivooluse kiirus jugade rea korral mõnevõrra suureneb, mistõttu ka üksiku joa ulatuvus on suurem jugaderea ulatuvusest.

Selle jugade ja põhivooluse koosmõju mehhanismi kohta tehtud oletuse õigsust kavatsetakse kontrollida edaspidises uurimistöös.

Mitteisotermiliste õhujugade trajektoorid

Et kontrollida, kas parameeter $\frac{\rho_2 v_2^2}{\rho_1 v_1^2}$ osutub määravaks ka juhul, kui on tegemist terve rea jugadega, viidi osa katseid antud uurimistöös läbi mitteisotermilistes tingimustes. Õhujoa jaoks, mille trajektoori oli uuritud isotermilises olukorras, arvutati parameetri $\frac{\rho_2 v_2^2}{\rho_1 v_1^2}$ väärtus ja seejärel teostati katse, milles düüside läbimõõt ja suhteline samm jäid küll samaks, kuid jugadena sisseantavat õhku soojendati ette kaloriiferis. Joa ja põhivooluse kiirused aga valiti selle katse jaoks nii, et parameetri $\frac{\rho_2 v_2^2}{\rho_1 v_1^2}$ arvuline suurus jäi samaks.

* Üksiku õhujoa juhtimisel neljast küljest piiratud põikvoolusesse saab suhtelist sammu tinglikult arvutada võrrandist $\frac{s}{d} = \frac{B}{2} : d$. Uurimistöös teostatud katsete tingimustes moodustas tinglik suhteline samm üksiku joa puhul 30 ja 60, milliseid väärtusi praktiliselt võib hinnata lõpmata suurteks.



Isotermilistes ja mitteisotermilistes tingimustes tehtud katsetel (selliseid katseid teostati 3 paari) määratud trajektooride võrdlus on esitatud joonisel 10. Nagu näha, külmade ja kuumade jugade trajektoorid ühtivad kõigil kolmel juhul. Seega sekundaarõhu ühepoolisel puhumisel osutub parameeter $\frac{Q_2 v_2^2}{Q_1 v_1^2}$ määravaks ka reateravate jugade korral.

Joon. 10.

Isotermiliste ja mitteisotermiliste jugade trajektooride võrdlus.

Järeldused

1. Üksiku õhujoa juhtimisel kanalis voolavasse põikvoolusesse langeb joga trajektoori ühte vabas põikvooluses kulgeva joga trajektooriga tingimisel, kui $\frac{B}{2} : d \geq 30$. Joga trajektoori on määratav J. Ivanovi poolt soovitatud ⁽¹⁾ võrrandiga.

2. Hüdrodünaamiline parameeter $\frac{Q_2 v_2^2}{Q_1 v_1^2}$ on määravaks ka piiratud põikvoolusesse juhitava üksiku, samuti ühes reas asetseva mitme isotermilise kui ka mitteisotermilise joga korral.

3. On tuletatud võrrand suhtelise sammuga $\frac{s}{d} = 16$ asetsevatest düüsidest väljuvate jugade trajektooride arvutamiseks sõltuvalt parameetrist $\frac{Q_1 v_1^2}{Q_2 v_2^2}$.

4. Määrav konstruktiivne parameeter $\frac{s}{d}$ avaldab olulist mõju põikvoolusesse juhittavate jugade trajektooridele. Mida väiksem suhteline samm, seda väiksem on joga ulatus.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Energeetika Instituut

Saabus toimetusse
9. VII 1956

KIRJANDUS

1. Ю. В. Иванов, Уравнение траекторий струй острого дутья. «Котлотурбостроение», 1952, № 8, стр. 14—19.
2. Ю. В. Иванов, Плоская струя во внешнем поперечном потоке воздуха. Известия Академии наук Эстонской ССР, 1953, т. II, № 2, стр. 216—234.
3. И. В. Кирпичев и М. А. Михеев, Моделирование тепловых устройств, Изд. АН СССР, 1936.

ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ТОПКИ НА МОДЕЛИ

ТРАЕКТОРИИ РЯДА КРУГЛЫХ СТРУЙ ОСТРОГО ДУТЬЯ ПРИ ОДНОСТОРОННЕМ ПОДВОДЕ

Ю. В. ИВАНОВ,
кандидат технических наук

Ю. Э. СААР,
кандидат технических наук

Х. Н. СУИ

Резюме

Из топочной техники известно, что при сжигании в слое твердых топлив с высоким содержанием летучих веществ из-за генераторности процесса на решетке не достигается полнота выгорания.

При решении вопросов борьбы с химическим недожогом в топке и интенсификации ее работы одно из важных мест занимает аэродинамика тспочного пространства и, в частности, проблема рациональной организации струй острого дутья.

Опыты по изучению острого дутья на моделях до сих пор проводились с единичной струей и не затрагивали процессов перемешивания, происходящих в топке.

Данная работа посвящена исследованию аэродинамики топки на модели при подаче ряда струй острого дутья.

В настоящей статье приводится обоснование выбранного метода исследования, описание экспериментальной установки и методики исследования и сообщаются результаты изучения траекторий струй, развивающихся в ограниченном стенками поперечном потоке при различных режимных ($\frac{v_2}{v_1} \cong 7, 10, 14, 20$ и 27) и конструктивных ($d=5,1$ мм и $10,25$ мм; $\frac{s}{d} = \infty, 16, 8$ и 4) параметрах.

Показано, что при отношении полуширины канала $\left(\frac{B}{2}\right)$ к диаметру струй в устье (d) равном ~ 30 и больше, траектория единичной струи полностью определяется уравнением, предложенным в работе (1). В исследовании было выяснено, что определяющий гидродинамический параметр $\frac{\rho_2 \cdot v_2^2}{\rho_1 \cdot v_1^2}$, предложенный в этой же работе, является определяющим и в условиях, когда одна или ряд струй, как изотермических, так и неизотермических, развиваются в ограниченном стенками поперечном потоке.

Предложено уравнение для расчета траекторий струй с относительным шагом $\frac{s}{d} = 16$.

Траектории струй с шагом $\frac{s}{d} = 8$, построенные в относительных координатах, не дают единой кривой для струй различных диаметров.

Показано, что относительный шаг $\frac{s}{d}$, исследованный в широком интервале значений (от ∞ до 4), является конструктивным определяющим

параметром. Чем меньше относительный шаг, тем меньше дальность струй D , понимаемая как относительное расстояние $\frac{x}{d}$ по нормали от плоскости, в которой расположено устье струи до оси струи, принявшей направление основного потока.

Институт энергетики
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию
9 VII 1956

INVESTIGATION OF FURNACE AERODYNAMICS ON A MODEL

TRAJECTORIES OF A SERIES OF ROUND SHARP BLAST JETS AT A UNILATERAL SUPPLY

J. IVANOV, U. SAAR, H. SUI

Summary

From the furnace technics it is known that by burning solid fuels in a layer with a high content of volatile substances no complete combustion is attained owing to the generating action of the process on the grate.

In solving the question of how to fight against the chemical under-combustion taking place in the furnace and of intensifying its work an important part belongs to the aerodynamics of the furnace space and, in particular, to the problem of a rational organisation of the sharp blast jets.

Tests upon models for the purpose of sharp blast study have up to now been carried out with a single jet and did not affect the mixing processes taking place in the furnace.

The present work is aimed to investigate the aerodynamics of the furnace on a model at a supply of a series of sharp blast jets.

The article explains the bases of the chosen investigation method, descriptions of the pilot plant, the methods of investigation, and quotes the results of the study of jet trajectories developing in the transverse stream limited by walls at different regime ($\frac{v_2}{v_1} \cong 7, 10, 14, 20$ and 27) and constructive ($d=5.1$ mm and 10.25 mm and $\frac{s}{d} = \infty, 16, 8$ and 4) parameters.

It is shown that at the ratio of half the breadth of the canal ($\frac{B}{2}$) to the diameter of jets in the month (d) equal to ~ 30 and more, the trajectory of a single jet is entirely determined by the equation proposed in the work (1). In the course of the investigation there has been elucidated that the determining hydrodynamic parameter $\frac{\rho_2 \cdot v_2^2}{\rho_1 \cdot v_1^2}$, proposed in the same work, is to be considered as determining also in conditions when

one or a series of jets, isothermal as well as inisothermal ones, develop in the transverse stream limited by walls.

An equation is proposed for the computation of jet trajectories with a pitch ratio $\frac{s}{d} = 16$.

The trajectories of jet with a pitch ratio $\frac{s}{d} = 8$, construed in relative coordinates, do not give a unitary curve for jets of different diameters.

The article shows that the pitch ratio $\frac{s}{d}$, which is investigated in a wide interval of value changes, from ∞ to 4, represents the constructive determining parameter. The smaller the pitch ratio, the lesser the longrangedness of jets D , understood as relative distance $\frac{x}{d}$ along the normal from plane in which the mouth of the jet is situated up to the axis of the jet which has acquired the direction of the basic stream.

*Academy of Sciences of the Estonian SSR,
Institute of Energetics*

Received
June 9, 1956