

## KOLDE AERODÜNAAMIKA UURIMINE MUDELI ABIL

### II. Koldegaaside segunemisprotsessid põlevkivi kihispõlemisel

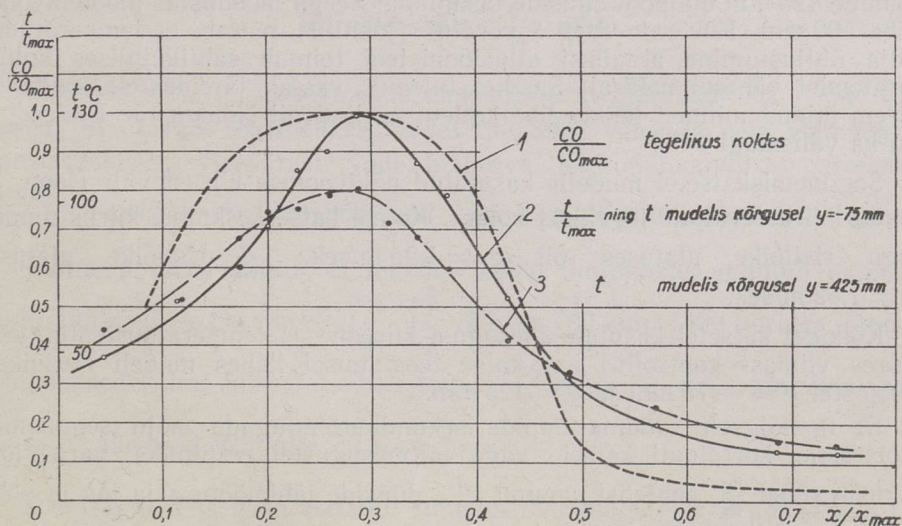
J. IVANOV,  
tehniliste teaduste kandidaat  
Ü. SAAR,  
tehniliste teaduste kandidaat  
H. SUI

Käesoleva uurimistöö ülesanne ja meetodika, samuti katseseadme kirjeldus ja mõõtmiste meetodika on esitatud juba varem ilmunud artiklis [1]. Samas on esitatud ka töö tulemused ühes reas asetsevatest ümmarguse ristlõikega düüsidest väljuvate jugade trajektoore sõltuvuse kohta režiimi ja konstruktiivsetest parameetritest.

Käesolevas artiklis jätkatakse selle uurimistöö materjalide avaldamist, käsitledes põlevkivi kihispõletamise kolletes toimuvaid segunemisprotsesse juhul, kui sekundaarõhku antakse teravate jugadena ühelt poolt.

Gaaside segunemist iseloomustati mudelis loodud algtemperatuurivälja muutumise kindlaksmääramise teel (teatavasti on temperatuuriväli sarnane kontsentratsiooniväljaga).

Algtemperatuuriväli mudeli ristlõikes allpool sekundaarõhuhüüse loodi sarnane tegelikus põlevkivi kihispõletamise koldes mõõdetud CO kontsentratsiooniväljaga\*. See CO kontsentratsiooniväli, mida püüti jäljendada temperatuurivälja loomisega mudelis, on toodud suhtelistes koordinaatides joonisel 1 (kõver 1). Ta maksimaalne väärtus nii põlevkivi kui ka teiste, lendosade poolest rikaste kütuste puhul on kolde esiseina läheduses. Samal joonisel kujutab kõver 2 mudelis loodud algtemperatuurivälja, mis mõnevõrra

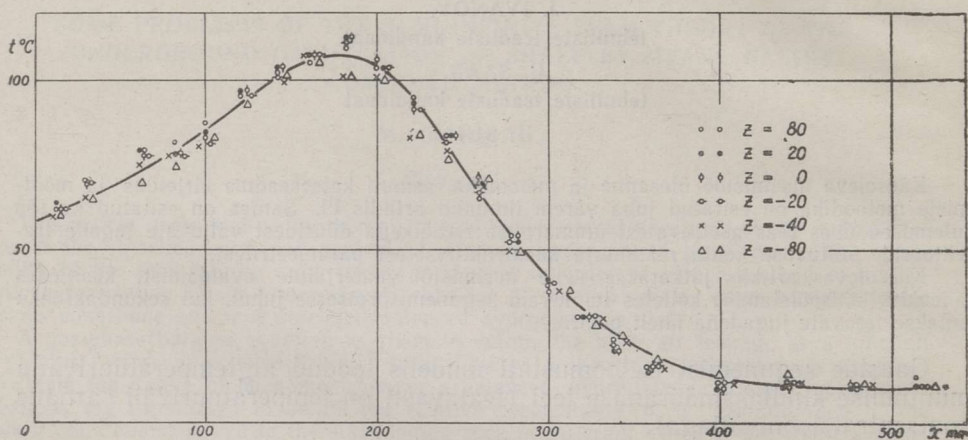


Joon. 1

\* ENSV TA Energeetika Instituudi aruanne. Teema nr. 17., 1949. (Käsikiri.)

erineb aluseks võetud kontsentratsiooniväljast. Sellel ei ole aga olulist tähtsust, sest ka koldes ei ole kontsentratsiooniväli konstantne, vaid muutub pidevalt.

Horisontaaltasapinnas (vt. joon. 1, *b* *xz*-tasapind<sup>[1]</sup>) teostatavate mõõtmiste arvu vähendamiseks ühtlustati enne katsete algust temperatuuriväli *z*-telje suunas gaasipõletite reguleerimise teel. See võimaldas piirduda temperatuuri mõõtmisega vaid mööda *x*-telge. Kontrollkatsed näitasid (joon. 2), et temperatuurid *xz*-tasapinnas erinevad mõlemal pool *x*-telge väga vähe *x*-teljel vastavas punktis mõõdetud temperatuuridest. Seetõttu võis lugeda temperatuurivälja kolde laiuse suunas ühtlaseks.



Joon. 2

Et selgitada, kuidas muutub kontsentratsiooniväli kolde kõrguse suunas, tehti katseid ilma sekundaarõhu andmiseta ja mõõdeti temperatuuriväli mudeli all- ja ülaosas. Alumine temperatuuriväli mõõdeti 75 mm allpool ja ülemine 425 mm ülalpool düüside tasapinda. Seega moodustas mõõtenivoode vahe 500 mm. Kõverate 2 ja 3 võrdlus (joon. 1) näitab, et temperatuurivälja ühtlustumine ainuüksi difusiooni teel toimub šahtikujulises koldes võrdlemisi vähesel määral. Saadud tulemus vastab järeldustele, mida on varem teinud mitmed tööstuslike kollete uurijad nii Nõukogude Liidus<sup>[3–5]</sup> kui ka välismaal<sup>[6–8]</sup>.

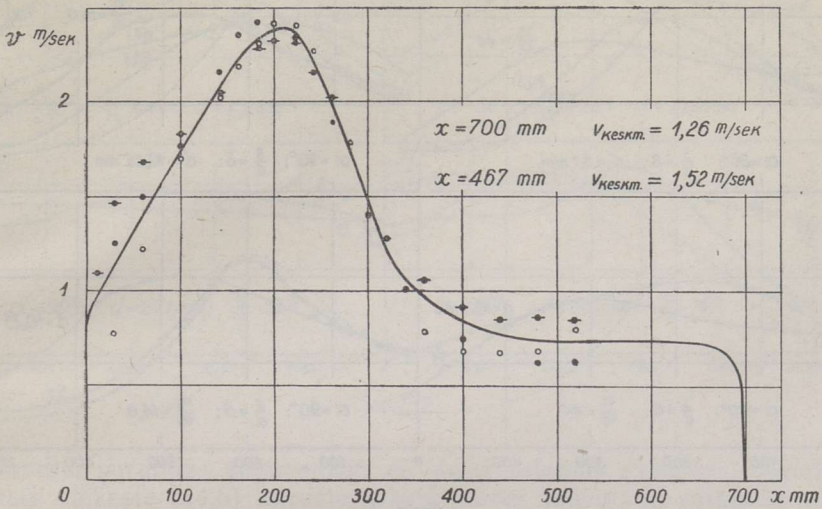
Segunemiskatsetel mudelis kasutatud põhivooluse kiirusteväli (joon. 3) vastab kiirusteväljale tegelikus koldes. Kolme katse keskmine kiirus mudeli kogu ristlõike ulatuses oli  $v_1 = 1,26$  m/sek.;  $\frac{2}{3}$  ristlõike ulatuses  $v_1 = 1,52$  m/sek.

Kõikidel katsetel kasutati ühesugust kiiruste- ja temperatuurivälja, kusjuures viimast kontrolliti iga katse teostamisel kahes mudeli ristlõikes: kõrgustel  $y = -75$  mm ja  $y = 425$  mm.

Et igakülgset tundma õppida sekundaarõhujugade mõju segunemisprotsessile, korraldati katseid väga mitmesugustel režiimidel, varieerides kiiruste suhet  $\frac{v_2}{v_1}$ , suhtelist sammu  $\frac{s}{d}$ , düüside läbimõõtu  $d$  ja joa ja põhivooluse vahelist nurka  $\alpha$ .

Külmade õhujugade sissejuhtimise tagajärjel põhivooluse temperatuuri alanemise ärahoidmiseks kuumutati sekundaarõhku juba eelnevalt sellise

temperatuurini, mis oli võrdne soojussisalduse järgi arvutatud põhivooluse keskmise temperatuuriga.



Joon. 3

Gaaside segunemise tulemused määrati kindlaks  $y = 425$  mm kõrgusel mõõdetud temperatuurikõverate võrdlemise teel. Segunemise absoluutväärtuse hindamiseks on joonistel näidatud punktiiriga temperatuurikõver, mis mõõdeti samal katsel ja samal kõrgusel, kuid ajal, mil sekundaarõhku ei antud. See kõver oli peaaegu ühesugune kõigil katsel. Mitme katse puhul ühele ja samale joonisele kantuna kujutab ta nendel katsel mõõdetud temperatuurikõverate keskmist.

### Kiiruste suhte $\frac{v_2}{v_1}$ mõju

Sekundaarõhu ja koldegaaside temperatuurid (järelkult ka nende tihedused) muutuvad tööstuslikus koldes tavaliselt vähe ja neid võib lugeda konstantseteks. Seepärast võib määrava hüdrodünaamilise parameetri

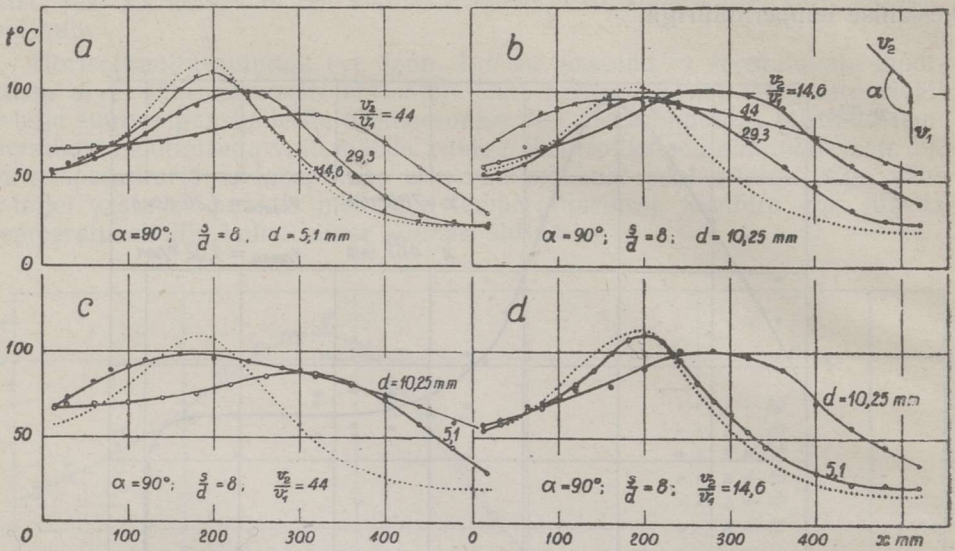
$\frac{\rho_2 \cdot v_2^2}{\rho_1 \cdot v_1^2}$  muutmine toimuda põhiliselt vaid kiiruste suhte muutmise teel.

Lihtne arvutus näitab, et tegeliku kolde tingimustes muutub määrava hüdrodünaamilise parameetri  $\frac{\rho_2 \cdot v_2^2}{\rho_1 \cdot v_1^2}$  väärtus 700 kuni 1800 piirides. Mudelil

tehti katsed kolme kiiruste suhte juures:  $\frac{v_2}{v_1} \approx 15, 30$  ja 44, haarates seega

$\frac{\rho_2 \cdot v_2^2}{\rho_1 \cdot v_1^2}$  väärtused 225 kuni 1936 piirides.

Joonisel 4,  $a$  ja  $b$  on esitatud suhtelise sammuga  $\frac{s}{d} = 8$  asetatud 5,1 ja 10,25 mm läbimõõduga düüsidest erineva kiiruste suhte juures puhutavate jugadega teostatud katsete tulemused. Nagu näha, toimub mõlema läbimõõdu puhul gaaside segunemine paremini suurema kiiruste suhte juures.



Joon. 4

Joonisel 4, *c* ja *d* on samade katsete andmed grupeeritud teisiti. Selgub, et kiiruste suhte  $\frac{v_2}{v_1} = 44$  juures nihkub temperatuurivälja maksimum 10,25 mm läbimõõduga jugade mõjul kolde esiseinale lähemale ja segunemine on halvem kui 5,1 mm läbimõõduga jugade puhul (joon. 4, *c*). Kiiruste suhte  $\frac{v_2}{v_1} = 29,3$  juures on segunemine nii 5,1 mm kui ka 10,25 mm läbimõõduga jugade toimel enam-vähem ühesugune. Kiiruste suhte  $\frac{v_2}{v_1} = 14,6$  puhul aga saame suurema läbimõõduga jugadega tunduvalt parema segunemise (joon. 4, *d*).

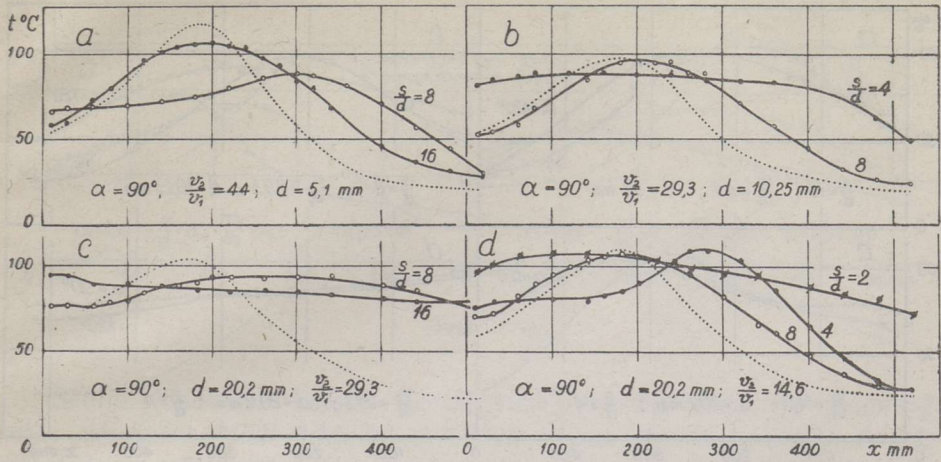
### Jugadevahelise suhtelise sammu $\frac{s}{d}$ mõju

Segunemisprotsessi võrdlust suhteliste sammude  $\frac{s}{d} = 8$  ja 16, kui  $d = 5,1 \text{ mm}$  ja  $\frac{v_2}{v_1} = 44$ , puhul näitab joonis 5, *a*. Suurema sammu puhul halveneb segunemine märgatavalt ja selline sekundaarõhu puhumise viis end ei õigusta. Seepärast sammuga  $\frac{s}{d} = 16$  asetsevate düüsidega väiksematel kiiruste suhtel katseid ei korraldatud.

Joonisel 5, *b* on toodud segunemiskõverad parameetritel  $d = 10,25 \text{ mm}$ ,  $\frac{v_2}{v_1} = 29,3$ ,  $\frac{s}{d} = 4$  ja 8. Joonisel 5, *c* näeme samu katseid, tehtuna 20,2 mm läbimõõduga jugadega.

Katsete näitased, et suhtelise sammu vähendamine 16-lt 4-ni parandab oluliselt segunemisprotsessi. See tulemus jäi kehtima kõikide teiste parameetrite muutmisel.

Üks katse tehti  $d = 20,2 \text{ mm}$ ,  $\frac{s}{d} = 2$  ja  $\frac{v_2}{v_1} = 14,6$  juures. Kuigi sammu



Joon. 5

vähendamine parandab segunemist, ei olnud tulemus rahuldav. Järelikult ei õnnestu väikeste (14,6) kiiruste suhete juures saavutada vajalikku segunemist isegi väikeste (4 ja 2) suhteliste sammudega (joon. 5, d).

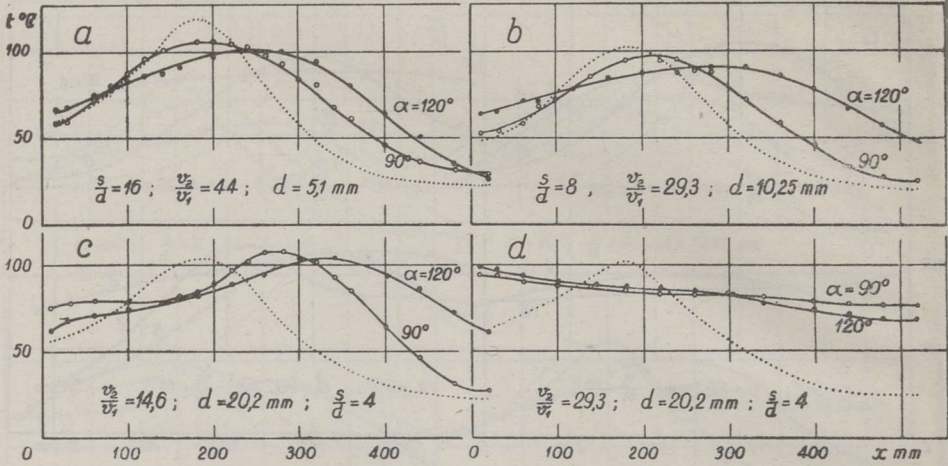
### Joa ja põhivooluse vahelise nurga $\alpha$ mõju

Joa trajektoori uurimisel vabas põikvooluses on juba varem kindlaks tehtud, et määravate konstruktiivsete parameetrite hulka kuulub ka joa ja põhivooluse vaheline nurk  $\alpha$  [2]. Tema mõju joa trajektoorile on selgitatud piirides  $\alpha = 30^\circ \div 150^\circ$ . Seepärast piirduti käesolevas töös ainult  $\alpha$  mõju uurimisega koldegaaside segunemisele. Katseid tehti põhiliselt kahesuguse nurgaga:  $\alpha = 90^\circ$  ja  $\alpha = 120^\circ$ .

Jooniselt 6, a näeme, et võrdsete parameetrite  $d = 5,1 \text{ mm}$ ,  $\frac{s}{d} = 16$  ja  $\frac{v_2}{v_1} = 44$  juures on nurga  $\alpha = 120^\circ$  puhul segunemine parem. Temperatuuri maksimum asub madalamal ja nihkub kolde keskosa suunas ning segunemisest võtab osa suurem kogus koldegaase. Katsed suurema nurgaga, tingimustes  $\frac{v_2}{v_1} = 29,3$ ,  $d = 10,25 \text{ mm}$  ja  $\frac{s}{d} = 8$ , näitasid samuti paremat segunemist kui katsed väiksema nurgaga (joon. 6, b). Sama tulemus saadi ka  $\frac{s}{d} = 4$  juures.

Väikese kiiruste suhtega teostatud katsetel ( $\frac{v_2}{v_1} = 14,6$ ), tingimustes  $d = 20,2 \text{ mm}$  ja  $\frac{s}{d} = 4$ , on eriti selgesti näha segunemise paranemine üleminekul  $90^\circ$  nurgalt  $120^\circ$  nurgale (joon. 6, c). Kiiruste suhte suurendamisel 29,3-ni ei erine segunemiskõverad üksteisest enam nii suurel määral (joon. 6, d). Seega selgub, et joa ulatuvuse lähenemisel düüsi ja vastasseina vahelisele kaugusele ei avalda enam nurga  $\alpha$  suurendamine üle  $90^\circ$  segunemisele olulist mõju.

Kiiruste suhte  $\frac{v_2}{v_1}$  mõju, kui nurk  $\alpha = 120^\circ$ , näitavad joonised 7, a ja b. Siin on olukord samasugune kui  $\alpha = 90^\circ$  puhul: mida suurem on kiiruste

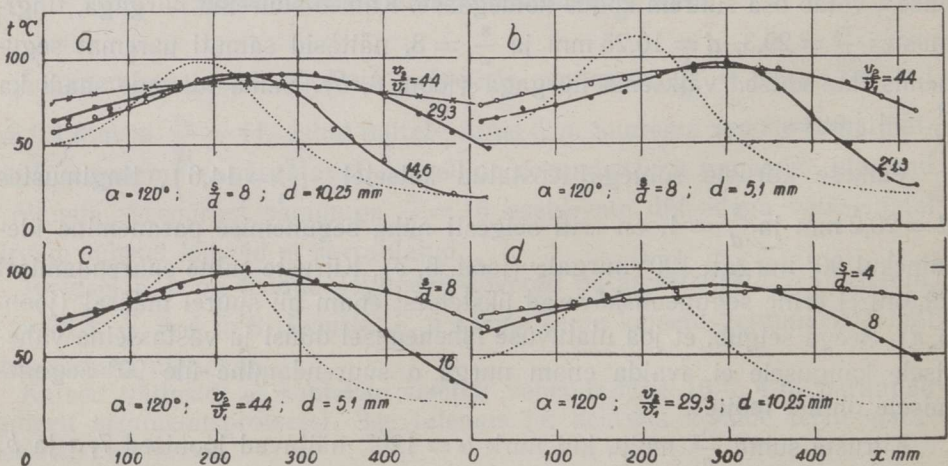


Joon. 6

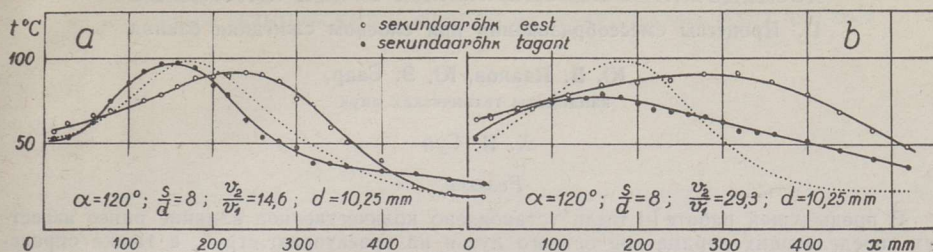
suhe, seda parem on segunemine. Suhtelise sammu  $\frac{s}{d}$  mõju sama nurga juures selgub joonistelt 7, c ja d.

Erineva läbimõõduga düüside kasutamisel ( $d = 5,1$  ja  $10,25 \text{ mm}$ ), kui  $\alpha = 120^\circ$  ja teised parameetrid on võrdsed, annavad suurema läbimõõduga joad, vaatamata kaks korda suuremale sekundaarõhu kogusele, ainult veidi parema segunemise (joon. 7).

Soodsa segunemise  $\alpha = 120^\circ$  puhul kindlustavad parameetrid  $d = 10,25 \text{ mm}$ ,  $\frac{s}{d} = 8$  ja  $\frac{v_2}{v_1} = 44$  (joon. 7, a). Peaaegu sama tulemuse saame, kui  $d = 10,25 \text{ mm}$ ,  $\frac{s}{d} = 4$  ja  $\frac{v_2}{v_1} = 29,3$  (joon. 7, d). Jooniselt 7, c aga näeme, et segunemine pole sugugi kindlustatud isegi kiiruste suhte  $\frac{v_2}{v_1} = 44$  juures, kui  $d = 5,1 \text{ mm}$  ja  $\frac{s}{d} = 16$ . Sama kordub ka parameetrite  $\frac{s}{d} = 4$  ja  $\frac{v_2}{v_1} = 14,6$  juures.



Joon. 7



Joon. 8

Senini vaadeldud katsed teostati sekundaarõhu ühepoolse andmisega kolde esiseinast. Võib eeldada, et selline sekundaarõhu andmine on otsustavkohane põlevkivi kihispõlemisel, kus põlevate gaaside kontsentratsiooni maksimum asub kolde eesmisel osas. Võrdluseks anti sekundaarõhku koldesse ka tagaseinas olevast kollektorist. Sel eesmärgil korraldati 2 katset, parameetritel  $d = 10,25$  mm,  $\frac{s}{d} = 8$ ,  $\alpha = 120^\circ$ ,  $\frac{v_2}{v_1} = 14,6$  ja  $29,3$ . Nende katsete tulemusi ja võrdlust näeme jooniselt 8, a ja b. Väikese kiiruste suhte juures ( $\frac{v_2}{v_1} = 14,6$ ) ei ole tagaseinast antava sekundaarõhu mõju peaaegu märgata. Tõstes kiiruste suhet 29,3-ni, paraneb küll segunemine, kuid on siiski halvem kui ta oli esiseinast puhumise korral. Peale selle ei nihku ka temperatuuri maksimum esiseina lähedusest kolde keskele, mis tegeliku kolde tingimustes võib viia esiekraani šlakkumisele.

Seega võime teha järelduse, et sekundaarõhu ühepoolne andmine põlevkivi kihispõletamise kolletesse esiseinast on efektiivsem kui tagaseinast.

## KIRJANDUS

1. J. Ivanov, Ü. Saar, H. Sui, Kolde aerodünaamika uurimine mudeli abil. «Eesti NSV TA Toimetised. Tehniliste ja Füüsikalise-matemaatiliste Teaduste Seeria», nr. 4, 1956.
2. Ю. В. Иванов, Уравнения траекторий струй острого дутья, «Котлотурбостроение», № 8, 1952.
3. А. М. Гурвич и М. А. Стырикович, Исследования шахтно-цепной торфяной топки на Шатурской ГЭС им. Ленина, Известия ВТИ, № 8 (67), 1931.
4. Г. Ф. Кнорре, Метод исследования фазового процесса горения в подвижном слое, Сб. ЛОТИ, вып. 3, 1932.
5. А. П. Смирнов, В. А. Успенский и С. В. Татищев, Исследование работы колосниковой топки и влияние на процесс горения вторичного дутья, «Тепло и сила», № 9, 1937.
6. Rud. Löwenstein, Verbrennungsverlauf von Steinkohle an einer Wanderrostfeuerung, «Wärme», Bd. 57, H. 7/8, 1934, S. 97—101, 121—125.
7. W. Meier, Untersuchungen über die Verbrennungsvorgänge bei Verfeuerung oberbayerischer Pechkohlen in der Wanderrostfeuerung, Diss., München, 1935.
8. O. Lorenzi, Improving Boiler Room Operation, «Combustion», New York, V. 18, Oct. 1928.

## ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИКИ ТОПКИ НА МОДЕЛИ

## II. Процессы смесеобразования при слоевом сжигании сланца

Ю. В. Иванов, Ю. Э. Саар,  
кандидаты технических наук

Х. Н. Суй

Резюме

В предыдущей работе [1] было установлено количественное влияние ранее известных определяющих параметров острого дутья на траекторию струй, а также определен новый определяющий конструктивный параметр — относительный шаг между струями ( $s/d$ ).

В данной работе, также проведенной на модели топки и посвященной исследованию процессов смесеобразования топочных газов при одностороннем подводе острого дутья круглыми струями, представляло большой интерес, наряду с выявлением количественной стороны процесса перемешивания надслойных газов при различных значениях уже известных определяющих конструктивных и режимных параметров острого дутья, установить также количественное влияние на перемешивание нового конструктивного параметра — относительного шага между струями ( $s/d$ ).

Опыты проводились при достаточно широком изменении значений определяющих параметров острого дутья. Из конструктивных параметров были исследованы диаметры струй  $d$  ( $d=5,10$  и  $20$  мм), углы атаки  $\alpha$  ( $\alpha=90$  и  $120^\circ$ ), относительный шаг между струями  $s/d$  ( $s/d=2, 4, 8$  и  $16$ ) и подачи ряда струй с фронта и с противоположной стороны топки. Из режимных параметров был исследован в широком интервале значений (от 200 до 2000) определяющий гидродинамический параметр.

В работе установлено, что новый конструктивный параметр — относительный шаг между струями ( $s/d$ ) — является определяющим конструктивным параметром для процесса перемешивания топочных газов. Недоучет его значения при расчете параметров острого дутья может свести на нее всю пользу, ожидаемую от применения острого дутья. Вместе с тем, проведенное исследование показало, что при слоевом сжигании сланца эффективного перемешивания топочных газов можно достичь только применяя острое дутье при оптимальных значениях всех определяющих параметров, как конструктивных, так и режимных.

Из работы следует, что при слоевом сжигании сланца можно достичь завершения процесса перемешивания топочных газов организацией однофронтного острого дутья при оптимальных его параметрах. Показано также, что при слоевом сжигании сланца подача острого дутья с фронта является предпочтительнее подачи с противоположной стенки топки.

Институт энергетики  
Академии наук Эстонской ССР

Поступила в редакцию  
22 VIII 1957

## INVESTIGATION OF FURNACE AERODYNAMICS ON A MODEL

## II. Processes of Mixture Formation at Combustion of Oil Shale on the Travelling Grate Stoker

J. Ivanov, U. Saar, H. Sui

Summary

In a previous treatise [1] the authors determined the qualitative influence of already known determining parameters of sharp blast jets on the trajectory of jets; furthermore, a definition of the new determining constructive parameter — of the pitch ratio ( $s/d$ ) — was given.

The present research, based on experiments carried out on a model, applying a wide range of determining constructive and regime parameters, resulted in determining the quantitative influence of these parameters on the processes of mixture formation in the furnace. The experiments gave the proof of the new constructive parameter — the pitch ratio ( $s/d$ ) — being also the determining parameter for the processes of mixture formation. Further it was proved that an effective mixing of gases in the furnace will only be attained when applying the sharp blast jets with the optimum values of all determining parameters, constructive as well as regime ones.

A novel item of the present research is the graphical material showing the quantitative influence of single determining parameters of sharp blast jets on the mixing processes of gases in the furnace.

Academy of Sciences of the Estonian SSR,  
Institute of Energetics

Received  
August 22, 1957