

KIHIPROTSSESS TÜKKPÕLEVKIVI KAHEASTMELISEL PÕLETAMISEL

R. UUESOO

Eesti NSV kommunaalmajanduses ja tööstuses kasutatavates väikestes kütteseadmetes soojustootlikkusega kuni $2 \cdot 10^6$ kcal tunnis põletatakse ligikaudu kolmveerand kogu vabariigis energeetiliseks otstarbeks tarvitatavast kütusest. See asjaolu nõuab erilise tähelepanu pööramist väiketuleseadmetes kütteainete ratsionaalse kasutamise väljaarendamisele.

Eesti NSV tähtsaimat kohalikku kütust — põlevkivi (kukersiiti) on seni väikekollete kütteks vähe kasutatud. Põlevkivi kasutusala laienemist pidurdavad põlevkivi kütuslikud omadused: väike kütteväärtus (2600 kuni 3700 kcal/kg), suur lendainete sisaldus põlevaines (82—90%), samuti suur tuhasisaldus (49—62%) ning tuha paakumine võrdlemisi madala temperatuuri juures (algab juba temperatuuridel üle 1100°)⁽¹⁾. Nende omaduste, eriti aga intensiivse lendainete eraldumise tõttu kitsas temperatuurivahe-
mikus ($350\text{—}500^\circ\text{C}$), toimub põlevkivi põlemine tavalistes väikekolletes mittetäielikult. See ilmneb korstnagaaside suures tahmasisalduses ja kütuse järelpõlemises koldest eemaldatud tuhas. Puuduliku põlemise tõttu koldes jääb seadme kasutegur madalaks ning katla küttepindade kattumine tahma ja lendtuha kihiga ei võimalda küttepindade madala soojusliku erikoormuse tõttu täielikult ära kasutada agregaatide tootlikkust. Koldes tekkivate suitsugaaside suur tahmasisaldus mõjub ümbruskonnale ebahügieeniliselt ja raskendab seadmete teenindamist.

Kaheastmeline põlemisprotsess

Otstarbekohaselt on põlevkivi põletamise küsimus lahendatud üksikute väikeste poolgaaskolletega sepaahjude ja lubjaahjude juures. Tallinnas, M. I. Kalinini nimelises Veduri-Vaguni-Remonditehases sepi-
st kuumutusahjude kütteks kasutatavad poolgaaskolded on töötanud põlevkiviküttel heade tulemustega juba aastakümneid. Nende poolgaaskollete töös on rakendatud põhiliselt kaheastmelist põlemisprotsessi.

Kaheastmeline põletamise menetlus on leidnud Nõukogude Liidus laialdast kasutamist madala kütteväärtusega ja tuharikaste kütuste, eriti aga suure lendainetesisaldusega kohalike kütuste põletamisel⁽³⁾.

Kaheastmeline põletamise menetlus seisneb tahke kütuse põletamises ühes eelneva gaasistamisega. Kütuse täielikuks põletamiseks vajalik õhk on

jaotatud primaarseks ja sekundaarseks põlemisõhuks. Primaarse põlemisõhuga teostatakse tahke kütuse mittetäielikku põletamist kihis. Et saavutada kihiprotsessis eralduva gaasi kõrgemat põlemisväärtust, kasutatakse restil paksemat kütuse kihti kui tavalises koldes ning hoitakse primaarse põlemisõhu hulk väiksem kütuse täielikuks põlemiseks vajalikust õhu hulgast. Kütuse kihist eraldunud kuum, põlev gaas põletatakse täielikult sekundaarse põlemisõhu toimel kolde teises astmes. Kolde teise astme kujundamisel lähtuti kuumgaasi põletamise ratsionaalsetest meetoditest, mis kindlustavad täielikku ja tahmavaba põlemist.

Tööstusahjude juures rakendatud põlevkivikütte poolgaaskollete levikut teistes küttemajanduse harudes on pidurdanud nende kollete põhilised konstruktiivsed iseärasused ja puudused. Tehnoloogilised sepaahjud töötavad madalates tõmbetingimustes. Seepärast kasutatakse nende seadistatud poolgaaskolletes kihiprotsesside kulgemiseks vajaliku tõmbe tekitamiseks kütuse kihi kohal sekundaarse põlemisõhu joa ejekteerivat toimet. Õhujoale vajaliku kiiruse andmiseks tuleb kasutada ventilaatoreid rõhukõrgusega 400 kuni 750 mm vs. (², ⁴). Kõrgrõhu-ventilaatori vajaõus ja kollete raskepärane konstruktsioon ei ole väikekatelde kütmisel õigustanud poolgaaskollete muudatusteta rakendamist.

Tükkpõlevkivi kaheastmelise kolde kihiprotsessi uurimine

Eesti NSV Teaduste Akadeemia Energeetika Instituudis (endises Tööstusprobleemide Instituudis) on viimastel aastatel teostatud uurimistöid põlevkivi ratsionaalsete põletamismeetodite väljatöötamiseks. Küsimuse lahendamisel on aluseks võetud kaheastmeline põletamise menetlus, mis võimaldab täielikumalt ära kasutada põlevkivi soojatootlikkust.

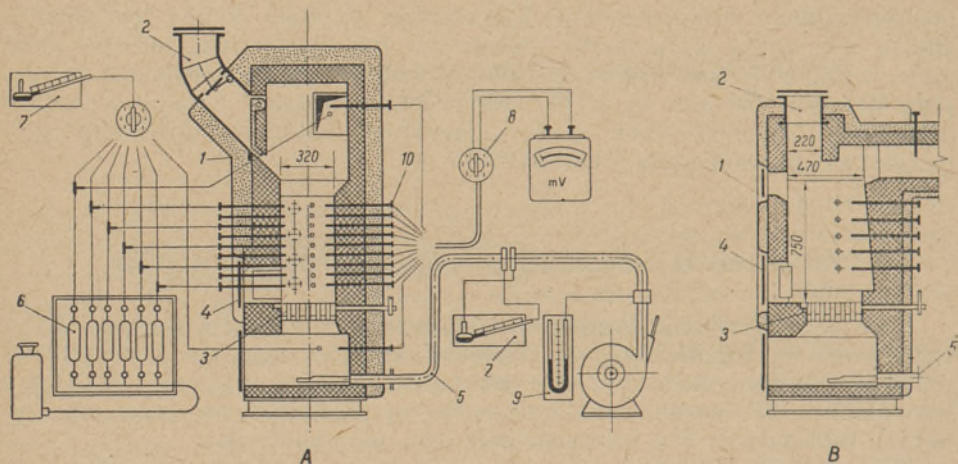
Kaheastmelise põlemisprotsessiga kolde normaalse töötamise määravaks teguriks on tahke kütuse kihis toimuv gaasistamise protsess. Põlevkivile omane intensiivne põleva osa eraldumine lendainetena madala temperatuuri juures ja mineraalse tuha paakumise algus juba temperatuuril üle 1100° püstitavad kihiprotsessidele erilised nõuded, mida tuleb arvestada kolde esimese astme konstruktiivsel kujundamisel ja kolde töörežiimi valikul.

Väikekollete kütteks põlevkivi tarvitamisel tükisuurusega 25 kuni 125 mm on osutunud kaheastmelisel põletamisel otstarbekaks kasutada põlevkivi gaasistamiseks lihtsustatud generaatorprotsessi. Põlevkivi lihtsustatud generaatorprotsessis on tagatud protsessi faaside ratsionaalne paigutus kihis. Õigesti valitud põlemisõhu hulkade andmisega läbi kütuse kihi saab vältida põlevkivi tuha paakumist. Selleks tuleb põlemise tsooni jõudva lendainetest vabanenud koksi põlemise temperatuur hoida madalamal tuha sulamise temperatuurist.

Eeltoodud kaalutlustel teostati uurimistöö eksperimentaalne osa laboratoorse katseseadme — lihtsustatud tüüpi vertikaalse generaatorkoldega (joon. 1), mis oli konstrueeritud töötamiseks kütuse kihi paksusega 500 kuni 750 mm ja mille soojatootlikkus oli $150 \cdot 10^3$ kcal tunnis. Kolde oli seadistatud käsitsi teenindatava käpprestiga, mille pind oli 0,12 m². Restil oli üks liikuv lüli. Kihiprotsesside kulgemiseks vajalik põlemisõhk juhti resti alla ventilaatoriga, et võimaldada õhuhulga mõõtmist. Tuha eemaldamine restialusest tuharuumist toimus perioodiliselt. Lihtsustatud generaatorprotsessiga toodetud kuumgaas juhti koldest välja kolde ülemisest osast väljuva kanali kaudu. Katseseadme esialgse variandiga (joon. 1-A) töötamisel teostati kütuse lisamist kihi pinnale läbi hermeetiliselt suletava kahekambrilise täiteseadme. Esialgse konstruktsiooni juures kasutatud

vertikaalsete seintega koldešaht, mille ristlõige oli võrdne resti pindalaga, ei võimaldanud katseseadme pikemaajalist pidevat töötamist tuha paakumise tõttu kolde seintel. See asjaolu takistas koldešahtis kütuse normaalset allavalgumist. Seepärast tuli katseseade ümber ehitada, muuta koldešahti ristlõige resti pinnast suuremaks, eriti šahti põhja osas, kuna kallakseintega kujundati šaht ülespoole ahenevaks: šahti põhja laiust, võrreldes resti laiusega, suurendati iga külje suunas 60 mm võrra; kütuse täiteseadet lihtsustati pealevarisemise šahtiks. (joon. 1-B). Nende muudatustega kõrvaldati täielikult tuha kleepumine kolde seintele.

Uurimistöö eksperimentaalosas teostati süstemaatilisi katseid generaatorkolde töötamise kohta mitmesuguste erinevate kütuslike koormistega ja



Joon. 1. Tükkpõlevkivi kihiprotsesside inditseerimise katseseade. A — katseseade koos mõõdetehnika skeemiga. B — katseseade pärast ümberehitamist. 1 — kolle; 2 — kütuse täiteseadet; 3 — käpprest; 4 — puhastusüks; 5 — põlemisõhu andmise seade; 6 — gaasi-proovi võtmise seade; 7 — mikromanomeeter; 8 — ümberlülili; 9 — U-toru manomeeter; 10 — termopaar.

põlemisõhu filtratsiooni kiirustega. Kütusena kasutati ühtlase kvaliteediga I sordi põlevkivi, mille kütteväärtus $Q_k = 3534$ kcal/kg, niiskus $W_t = 3,8\%$, $A_t = 39,6\%$ ja $(CO_2)_t = 15,1\%$. Generaatorkoldes kulgevate kihiprotsesside füüsikalise-keemiliste ja aerodünaamiliste näitajate määramiseks mõõdeti temperatuuri ja rõhku põlevkivi kihi 5 kuni 9 kohas erinevatel kõrgustel resti pinnast. Mitmesuguste kolderežiimide järgi töötamisel kütuse kihis toimuvate reaktsioonide selgitamiseks võeti kolde mitmest kohast kihis liikuvate gaaside ja kihi koki proove. Kütuse tüki suuruse mõju kihiprotsesside kulgemisele uuriti katsekütmiste abil mitmesuguse tüki suurusega põlevkiviga.

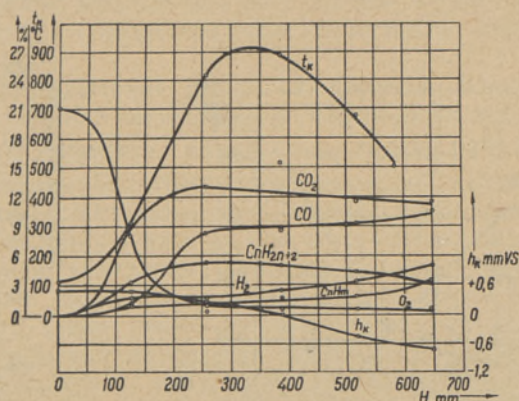
Tükkpõlevkivi kaheastmelise kolde kihiprotsesside eksperimentaalse uurimise eesmärgiks oli põlevkivi kihis toimuvate füüsikalise-keemiliste nähtuste üldise iseloomu selgitamine ja selle põhjal kihiprotsessidele vajalikkude optimaalsete tingimuste leidmine. Vertikaalse, vastuvoolulise, lihtsustatud generaatorprotsessi intensiivsuse tõstmisel tuli lahendada küsimus, kuidas vältida põlevkivi bitumineerumist ja tuha sulamist kütuse kihis. Seejuures tuli saada küllaldase põlemisväärtusega kuumgaasi ja ühtlasi saavutada tekkiva koki täielik läbipõlemine.

Kihiprotsessi eksperimentaalse uurimise tulemused

Eksperimentaalse uurimistööga saadud tulemused võimaldasid teha tükkpõlevkivi lihtsustatud generaatorprotsessi kulgemise iseloomustamiseks järgmisi järeldusi.

1. Lihtsustatud generaatorkoldes toimub põlevkivi termiline muundamine põlevkivi koksi põlemisreaktsioonides eraldunud soojuse toimet. Soojuse hulk, mis on vajalik kütuse ettevalmistamiseks ja koksi süttimiseks, on tunduvalt väiksem soojuse hulgast, mis tekib koksi põlemise tsoonis. Selle tõttu on lihtsustatud generaatorprotsessis põlevkivi ettevalmistamine ja süttimine pidevalt kindlustatud.

2. Tükkpõlevkivi lihtsustatud generaatorprotsess erineb gaasigeneraatorprotsessidest teiste kütustega selles, et madalate temperatuuride tõttu kütuse



Joon. 2. Gaasi koostis, kihitemperatuur (t_k) ja hüdraütilise rõhu langus (h_k) generaatorkolde kihi kõrguses.

kihis praktiliselt puudub taandamise tsoon. Seetõttu ei tõuse ülemistes kihiosades gaasi süsinikhapendi (CO) sisaldus märgatavalt (joon. 2) — põlevkivi kuumgaasi koostises on CO kõikjal 9 kuni 12%.

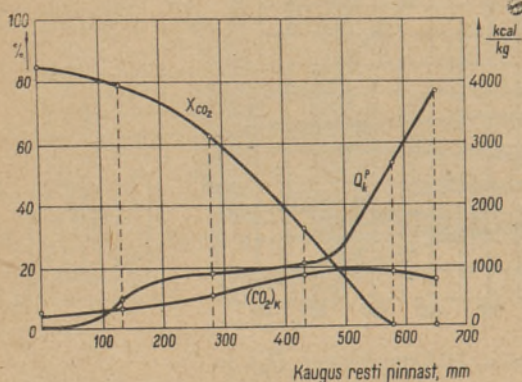
3. Põlevkivi termilisel muundamisel kütuse kihi toimuvat protsessi iseloomustab lendainete kiire eraldumine juba kihi ülemistes osades. See nähtub kihi allapoole liikuva kütuse põlemisväärtuse kiires langemises (joon. 3). Seejuures ei tõuse oluliselt kihi ülespoole liikuva kuumgaasi gaasilise osa kütteväärtus. Sellest järeldub, et lendained kihi ülemises osas eralduvad peamiselt utteaurudena.

4. Koldesse pandava kütuse tüksuuruse erinevus piirides 30—50 mm, 50—65 mm ja 65—100 mm ei avalda kihiprotsessidele märgatavat mõju. See on tingitud kütuse tükkide lõhenemisest ebaühtlase läbisoojenemise tõttu. Seepärast erineb tegelik kütuse kihi koostis tüksuuruselt koldesse pandava kütuse koostisest. Suuremat mõju avaldab ülemäärane (üle 10%) väikeste põlevkivitükkide ($d < 25$ mm) sisaldus lähtekütuses, mis tekitab kütuse kihi poorsuse ebaühtlust, takistades kihiprotsessi normaalset kulgemist.

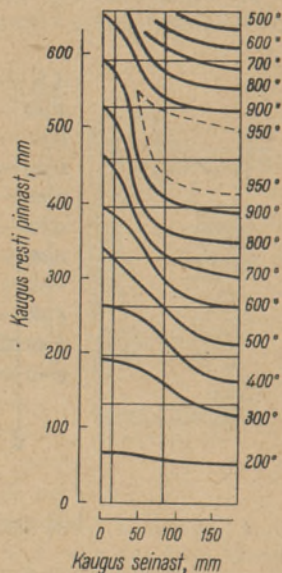
5. Gaaside liikumisele kütuse kihi mõjuva takistuse olenevuse määramine kütuse tüksuurusest (piirides 30—100 mm) ja põlemisõhu filtratsiooni kiirusest (piirides 0,07—0,20 nm³/m² sek.) on raskendatud kihi poorsuse lokaalsete erinevuste tõttu. Kütuse kihi takistus suureneb peamiselt väiksemate tükkide sisalduse suurenemisega kütuses. Samuti oleneb takis-

tus kolde konstruktiivsetest elementidest kütuse pealeandmise ja kihi roo-
bitsemise osas.

6. Väikese ristlõikega generaatorkoldes esineb kihiprotsesside ebaüht-
lane kulgemine kolde ristlõike ulatuses. Kütuse keskmise tükisuuruse ja
kolde ristlõike lineaarmõõdu väikeste suhete puhul avaldavad kihiprotsess-
sidele mõju kolde seinad. Uurimistöös kasutatud katseseadme juures oli
see suhe 1 : 7. Kihiprotsesside ebaühtlane kulgemine nähtub kihi tempera-
tuuride jagunemisest kolde ristlõike ulatuses (joon. 4). Kolde seinte mõju
khiiprotsessidele on seletatav kütuse takistatud allaliikumisega kolde seinte
läheduses, suurema gaaside vooluga poorsemas kolde seinäärises kihis ja
erinevate soojavahetustingimustega gaasilt müüritusele, võrreldes sooja-



Joon. 3. Põlevkivi muundumine generaatorkolde
khiiprotsessis. Kütuse põlemisväärtus — Q_k^p ,
mineraalse CO_2 sisaldus kütuses — $(CO_2)_k$, kar-
bonaatide lagunemise aste — X_{CO_2} .



Joon. 4. Kihitemperatuuride
jaotus generaatorkolde kihi
püstlõikes.

vahetustingimustega kütuse kihi keskosas. Seinte mõju kihiprotsessidele
vähendasid katseseadme ümberehitamisel tehtud, eespool kirjeldatud konst-
ruktiivsed muudatused.

7. Lihtsustatud generaatorprotsessis toimub põlevkivi mineraalosas ole-
vate karbonaatide termiline lagunemine. Kõrge karbonaatidesisalduse tõttu
mõjutab reaktsioonis tekkiv mineraalse päritoluga süsihappegaas (CO_2)
kuumgaasi koostist. Karbonaatide lagunemist vabaks lubjaks allaliikuv
kütuses iseloomustab karbonaatide lagunemise astme muutumine koldes
erinevatel kõrgustel kihi paksuse ulatuses (joon. 3).

8. Lihtsustatud generaatorprotsessis toodetud kuumgaasi iseloomustab
gaasilise osa madal kütteväärtus ja suur, aurudena esinev tõrvainetesisal-
dus. Kõrgematel kuumgaasi temperatuuridel esineb raskemate süsivesinike
lagunemine sügava pürolüüsi toimele. Sellega kaasuv intensiivne tahma
tekkimine ei võimalda kuumgaasi kaugemale juhtimist kanalite kaudu nende
ummistumise tõttu.

Läbiviidud katsed näitasid, et lihtsustatud generaatorprotsessis tükk-
põlevkivi kihi paksusega 600 kuni 650 mm oli võimalik saavutada resti pinna
kütuslikku erikoormust kuni 500 kg ruutmeetrile tunnis. Kütuse mehaanilist

kadu protsessis ei esinenud, kuna katseseadmest eemaldatavas tuhas ei leidunud põlevainet. Kihiprotsessi juures kasutatud põlemisõhu hulk — 1,2 kuni 1,5 nm³ 1 kg kütuse kohta — ei tekitanud kihis tuha paakumist. Maksimaalne temperatuur kihis ei ületanud normaalselt 1000° C. Põlemisõhu filt-ratsiooni kiirus kihis muutus eeltoodud kütuslike erikoormuste ja põlemisõhu hulga töötlamisel 0,07 kuni 0,20 nm³/m² sek. Olenevalt kolde töörežiimi osutus kihi temperatuuride ja gaasikoostiste põhjal põlemise tsooni kõrguseks kihis 140 kuni 220 mm.

Gaaside väikese kiiruse tõttu püsis kütuse kihi takistus 1 kuni 2 mm v. s. piires. Tingituna kihi poorsuse muutumisest kütuse kihi kohalikkude tihenemiste esinemisel, tõusis kihi takistus kuni 5 mm v. s. Kuumgaasi lend-tuhasisaldus oli minimaalne, kuna alumistest kihi osadest gaasiga kaasaminev tuha tolm ei läbinud gaaside väikese kiiruse tõttu kütuse ettevalmistuse tsooni (kütuse kihi ülemist osa). Kütuse koldes viibimise pikk aeg — 1,5 kuni 2,5 tundi — soodustas tuha karbonaatide täielikumat termilist lagunemist.

Katsekoldest eemaldatavat tuhka on võimalik kasutada sideainena, ehitusmaterjalide tööstuse toorainena ja põllumajanduses, kuna see omab kõrget karbonaatide lagunemise astet — $x_{CO_2} = 0,85$ kuni 0,98.

Kuumgaasi tekkimist kihiprotsessis iseloomustas vesiniku ja süsivesinike sisaldus gaasis juba põlemistsoonis. Ülemistes kihiosades tõusis küllastamata süsivesinike osatähtsus kuumgaasis, kuna üldiselt oli märgata metaani-rea liikmete sisalduse vähenemist. Põlemise tsoonist kõrgemal ei esinenud olulist CO-sisalduse tõusu. Ettevalmistustsoonis kulges kihti läbiva kuumade gaaside segu toime intensiivne utmine, mis suurendas kuumgaasis aurudena esinevate lendainete kogust. Kihiprotsessi ebaühtlane kulgemine kolde ristlõikes seinte mõjul, samuti kütuse tükkide suured mõõtmed põhjustasid ebaühtlast kuumgaasi tekkimist kolde ristlõikes. Kihist eralduva kuumgaasi koostis oli erinevatel kütterežiimidel võrdlemisi ühtlane, keskmiselt: CO₂ 14,0%, CO 9,5%, O₂ 1,0%, H₂ 2,5%, C_nH_{2n+2} 2,8%, C_mH_n 2,4%, N₂ 68,3%. Sellele koostisele vastab kuiva gaasi kütteväärtus $Q_k^k = 938$ kcal/nm³.

Kuumgaasis auruna esinevate utteproduktide ja veeauru sisaldus määrati kaudse bilansilise arvutusega. Arvutatuna suuremat tüüpi gaasigeneraatoris toodetud põlevkiviõli koostise järgi oli utteaurude sisaldus kuumgaasis 40 kuni 75 g/nm³. Kuumgaasi H₂O-sisaldus oli 90 kuni 130 g/nm³, olenevalt kütuse niiskusest ja kütterežiimist.

Eksperimentaalses uurimistöös tehtud katsetel oli kuumgaasi temperatuur 620° kuni 850° C.

Lihtsustatud generaatorprotsessi kasutamise ratsionaalsus tükkpõlevkivi kaheastmelise kolde esimeses astmes avaldub protsessi väikestes soojakadudes. Kihiprotsesside normaalsel kulgemisel puudub koldes praktiliselt mehaaniline kadu ($q_4 = 0$). Kadu tuha füüsikalise soojuse näol on minimaalne ($q_6^t = 1\%$), sest restil paiknev tuhakiht annab olulise osa oma soojusest ära kihti läbiva põlemisõhu eelsoojendamiseks. Määrava osa väikese ristlõikega generaatorkolde soojakadudest moodustab väikekolletele iseloomulik kõrge jahtumiskadu. Sellele lisandub perioodiliselt töötavates seadmetes esinev kadu soojussalvestusest generaatorkolde müürituses. Põlevkivi kompleksel kasutamisel, kus tuhk leiab kasutamist rahvamajanduses toorainena, ei tule koldekaona arvesse generaatorkoldele iseloomulik kõrge soojakulu tuha karbonaatide lagundamiseks ($q_6^k = 3,5$ kuni 4,0%). Lihtsustatud generaatorprotsessiga toodetud kuumgaasi omadused võimaldavad organiseerida ratsionaalset gaasi põletamist kolde teises astmes.

Tükkpõlevkivi lihtsustatud generaatorprotsessiga saavutatavad suured resti kütuslikud erikoormused (kuni 500 kg kuutmeetrile tunnis) ületavad

rohkem kui kahekordselt tavalistes põlevkivikütte väikekolletes saavutata-
vaid erikoormusi (keskmiselt 150 kuni 180 kg ruutmeetrile tunnis). See loob
soodsad tingimused kollete gabariitmõõdete vähendamiseks põrandapinna
osas. Töötamine kütuse kihi suurema paksusega nõuab küttekollete uute
konstruktsioonide väljatöötamist.

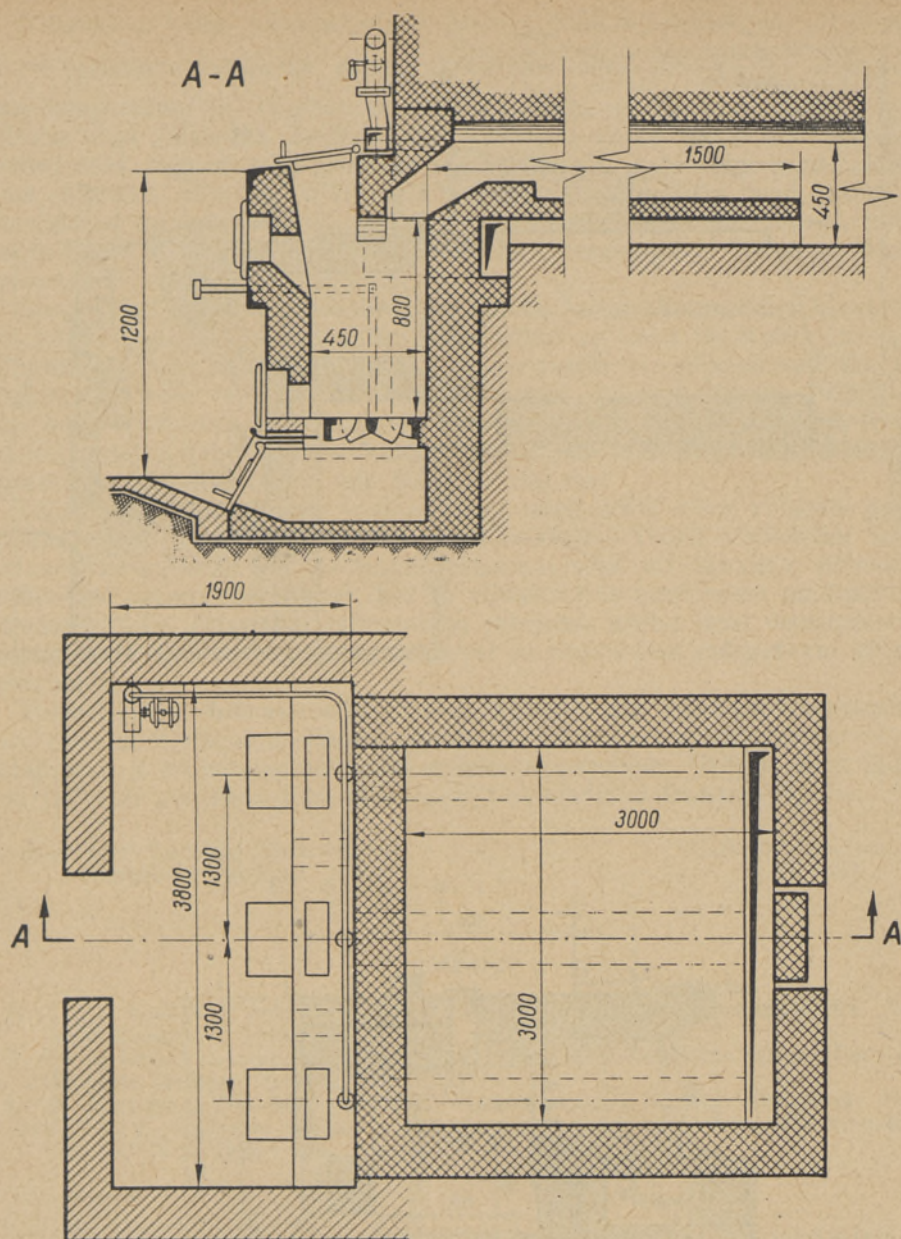
Lihtsustatud generaatorprotsessi rakendamine tükkpõlevkivi kaheastmelisel põletamisel

Seoses kiire vajadusega laiendada Eesti NSV rahvamajanduses põlevkivi
kui kohaliku odava kütuse kasutusala, alustati juba uurimistööde käigus
lähtealuste väljatöötamist väiksemate tööstuslike ja kommunaalotstarbeliste
küttekollete projekteerimiseks. Seejuures arvestati kaheastmelise põletamise
menetlusel töötavate seadmete rakendatavust ka elamisrajoonides. Kaheast-
meliste kollete eksploatatsiooni ökonoomsus ning sanitaarsetele nõuetele
vastavus võimaldab nende kasutamist keskkütteseadmetes ja energiaallika-
tena väiketööstustes.

Tükkpõlevkivi kaheastmelise põletamise menetluse rakendamise lähte-
aluste väljatöötamisel viiakse läbi põhimõte, et põlevkivi gaasistamine toi-
mub lihtsustatud tüüpi generaatorkoldes ning kuumgaasi põletamine teos-
tatakse šamottvooderdisega põlemiskambris. Määravat tähtsust kollete
konstruktiivsel kujundamisel omab normaalse koldeprotsessi kindlustamise
põhinõudeist kinnipidamine. Peamine seejuures on ühtlase vertikaalse kihi-
protsessi saavutamine kolde ristlõike ulatuses, nimelt kütuse juurdeandmise
seadmete ja koldes rakendatava resti abil. Et tükkpõlevkivi on kütusena
kasutatav kolletes, mille suurused võivad erineda 20- ja rohkemakordselt,
tuleb kollete projekteerimisel ette näha mitmesuguseid konstruktiivseid
lahendusi. Sama vajadus esineb ka kollete kohandamisel erineva otstarbega
seadmetele, erinevates ehituslikkudes tingimustes.

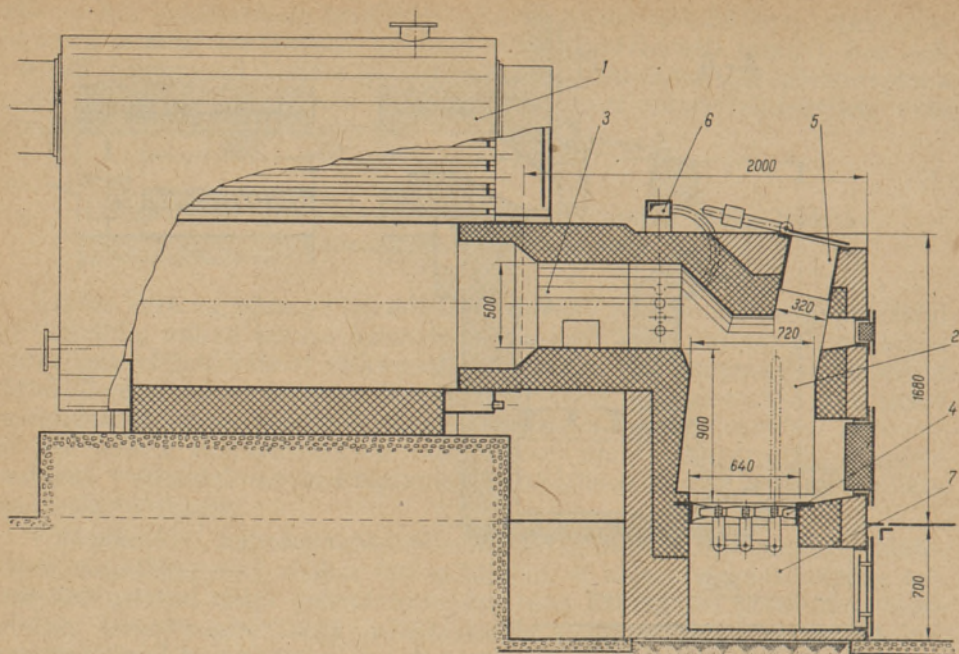
Eesti Vabariikliku Tööstuskooperatsiooni Nõukogu süsteemi artelli
„Šamott” keraamikapõletamise kamberahi konstrueeriti puiduküttelt ümber
põlevkiviküttele kolme väiksemõdulise kaheastmelise koldega (joon. 5).
Hoolimata üksikutest eksploatatsioonis ilmnenu vähematest puudustest,
nagu juhuslikud tuha paakumised kolletes mõnedel põletamisperioodidel ja
raskendatud tuhakõrvaldamise tingimused kitsa kütteruumi tõttu, on see
kamberahi töötnud pidevalt kaks ja pool aastat, kusjuures küttepuude
põlevkiviga asendamise tulemusena on saavutatud rahalist kokkuhoidu ligi-
kaudu 13 000 rubla aastas. Põlevkiviküttele üleminekuga on paranenud too-
dete kvaliteet (kõrgemate temperatuuride tõttu ahju töökambris). Vastavalt
tehnoloogilisele režiimile põletatakse kolmes koldes kokku kuni 150 kg põlev-
kivi tunnis. Kollete resti pinna kütuslik erikoormus on kuni 400 kg ruut-
meetrile tunnis. Kamberahi töötab loomulikul tõmbel (korstna kõrgus on
12 m). Sekundaarset põlemisõhku annab kolletesse väike, 0,6 kW võimsu-
sega elektrimootoriga töötav ventilaator rõhukõrgusega kuni 20 mm v. s.

Peamiseks tükkpõlevkivi kaheastmelise põletamise menetluse rakendus-
alaks on kommunaalotstarbeliste keskkütteseadmete ja väiketööstuslike
katelde küttekolded. Tööstusliku katsetamise eesmärgil rakendati uurimis-
töös väljatöötatud joonise järgi koostöös Tallinna Masinaehitustehase töö-
tajatega töösse kaheastmelise eeskolde variant kolmekäigulisele leek-suitsu-
torudega veesoojenduskatlale, küttepinna 50 m² (joon. 6-A). Kolde töö-
tamisel Tallinna Masinaehitustehase töötajate elamutegrupi keskkütte katla-
majas teostatud soojustehnilised kontrollmõõtmised näitasid kolde eksplua-
tatsiooni ökonoomsust. Kolde juures kasutatud tõmbeventilaator võimaldas

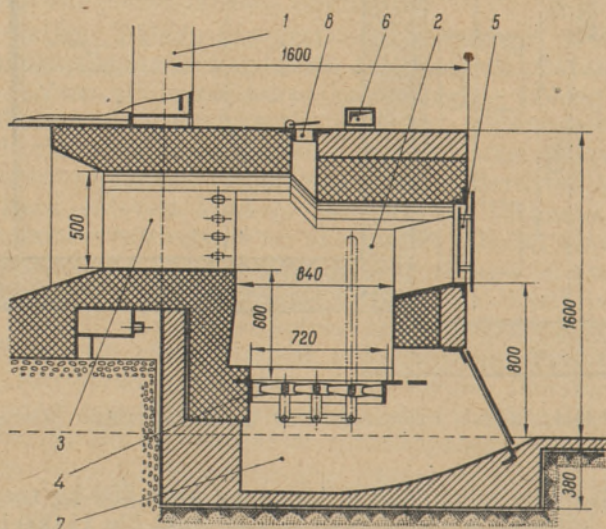


Joon. 5. Põlevkiviküttele rekonstrueeritud keraamikatoodete põletamise kamberahi.

saavutada resti pinna kütuslikku erikoormust kuni 550 kg ruutmeetrile tunnis ning katla küttepinna soojuslikku erikoormust üle 11 000 kcal ruutmeetrile tunnis. Koldegaaside täieliku läbipõlemise kindlustamiseks anti sekundärsel põlemisõhku põlemiskambris ventilaatoriga kolde seintesse monteeritud nelja puhuri läbi. Sekundaarõhu puhurite ehitamisel kolde seintesse kasutati paigutust, mis on ins. Ljahhovski poolt tõusva gaasivooluse puhul soovitatud ⁽³⁾ ja mille rakendamine andis positiivseid tulemusi ka kuumgaasi horisontaalse voolamise juures.



A



B

Joon. 6. Kaheastmeline eeskolle veesoojenduskatlale, küttepinnaga 50 m². A — generaatorikolle. B — lihtsustatud kolde variant. 1 — katel; 2 — eeskolle; 3 — gaasi põlemiskamber; 4 — käpprest; 5 — kütuse täiteluuk; 6 — sekundaarõhu puhumise süsteem; 7 — tuharuum; 8 — lisaõhuavad.

Nimetatud kolde pikemaajalisel pideval töötamisel selgus, et kolde suurte mahuliste soojuslike erikoormuste (kuni $600 \cdot 10^3 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^3 \text{ tunnis}}$) ja kõrgete temperatuuride (ligikaudu 1400°C) tõttu osutus müürituse vastu pidavus liiga väikeseks. Seetõttu tuli uuendada kolde vooderdust põlemiskambri osas. Samuti tehti kindlaks pooltööstusliku katsekolde konstruktiivsetes sõlmedes mitmeid väiksemaid puudusi. Põhiliselt on need puudused kõrvaldatud analoogsete tükkpõlevkivi kaheastmeliste kollete juures, millised töötavad käesoleval ajal Eesti NSV Ehitusmaterjalide Tööstuse Ministeeriumi tellisetehastes.

Eespool kirjeldatud kaheastmeliste kollete konstruktsioonides kasutatud moodus kütuse koldesse viimiseks kolde kohal asetseva täitešahti kaudu ei ole igakord täiesti õigustatud. Eriti tuleb olemasolevate väikeste katlamajade tingimustes leida teid kollete konstruktsiooni lihtsustamiseks, teenindamise kergendamiseks ja gabariitide vähendamiseks. Selleks on välja töötatud lihtsustatud kaheastmelise kolde variant (joon. 6-B), mis on ette nähtud töötamiseks küttekihi paksusega 500 kuni 600 mm.

Tööstuslikult on viimane variant rakendatud mitut tüüpi väikeste auru katelde kütteks Vabariikliku Piima- ja Võitööstuse Trusti ettevõtetes. Selle variandi kasutamine on osutunud ratsionaalseks nii tavaliste põlevkivi küttekollete rekonstrueerimisel, kui ka väikekatelde üleviimisel puiduküttelt põlevkiviküttele. Enamikul juhtudel on lahendus antud ilma ventilaatorite kasutamiseta. Lihtsa teenindamise kõrval on saavutatud märgatavat kütuse kokkuhoidu.

Tükkpõlevkivi kaheastmeliste kollete rakendusala edasisel laiendamisel tuleb rohkem tähelepanu pöörata suuremate kollete konstruktsioonide väljatöötamisele ja kollete teenindamise mehhaniseerimisele. Ühtlasi tuleb täiustada ja edasi arendada juba tööstuslikult rakendatud konstruktsioone.

Eesti NSV Teaduste Akadeemia
Energeetika Instituut

Saabus toimetusse
2. IV 1954

KIRJANDUS

1. Н. Труу, Eesti NSV kohalikud kütused ja nende energeetiline kasutamine, RK „Teaduslik kirjandus”. Tartu, 1947.
2. I. Õpi k, Sepiste kuumutusahi põlevkiviküttel, Eesti NSV Teaduslike Insener-Tehniliste Ühingute Nõukogu. Tallinn, 1950.
3. Г. Ф. Кнорре, Топочные процессы, Госэнергоиздат. Москва—Ленинград, 1951.
4. X. К. Труу, Сжигание эстонских сланцев в котельных установках, «За экономию топлива» № 6, 1949.

СЛОЕВОЙ ПРОЦЕСС ПРИ ДВУХСТУПЕНЧАТОМ СЖИГАНИИ КУСКОВОГО СЛАНЦА

Р. Н. УУЭСОО

Резюме

В существующих малых топках не достигается полное сгорание топлива, вследствие чего отходящие газы богаты сажей, обслуживание установок затруднительно и не экономично. Поэтому использование основного местного топлива Эстонской ССР — сланца-кукерсита в промышленных топках с малой теплопроизводительностью приобретает большое народнохозяйственное значение.

Институт энергетики Академии наук Эстонской ССР в последние годы занимался вопросами разработки рациональных методов сжигания сланца-кукерсита. При проведении исследований в основу был взят двухступенчатый способ сжигания, который в отдельных случаях уже и раньше применялся в Эстонской ССР для технологических целей в полугазовых топках.

Фактором, определяющим нормальную работу двухступенчатых топок, является процесс получения горячего газа из кускового сланца. Вследствие этого возникла необходимость исследования слоевого процесса в упрощенной генераторной топке с целью определения необходимых оптимальных условий для нормального протекания процесса.

Экспериментальная часть исследовательской работы проводилась на лабораторной опытной установке (фиг. 1) теплопроизводительностью $150 \cdot 10^3$ ккал/час, с вертикальной генераторной топкой упрощенного типа, оборудованной шиповой решеткой и рассчитанной для слоя высотой от 500 до 750 мм. В качестве топлива использовался сланец первого сорта с теплотворностью $Q_n^p = 3534$ ккал/кг и влажностью $W^p = 3,8\%$ [$A^p = 39,6\%$ и $(CO_2)^p = 15,1\%$].

В ходе экспериментальной работы проводились систематические наблюдения за протеканием слоевого процесса; производились теплотехнические измерения при разных топливных нагрузках и разных количествах подаваемого воздуха.

Результаты экспериментальных исследований слоевого процесса в упрощенной генераторной топке показали, что процесс газификации кускового сланца отличается от процесса газификации других видов топлива при низком слое. В упрощенном генераторном процессе с кусковым сланцем восстановительная зона вследствие низких температур практически отсутствует и поэтому содержание СО в составе горячего газа не превышает 9—12%. На протекание процесса влияет также термическое разложение карбонатов, содержащихся в минеральной части сланца, что видно из изменения степени разложения карбонатов x_{CO_2} по высоте слоя (фиг. 3). Для горючего сланцевого газа характерны низкая теплотворность и большое содержание паров смолы.

В случае генераторной топки с малым сечением наблюдалась неравномерность в протекании слоевого процесса, что было вызвано влиянием стен топки (фиг. 4).

При упрощенном генераторном процессе для кускового сланца толщиной слоя от 600 до 650 мм достигалась удельная топливная нагрузка поверхности решетки до $500 \text{ кг/м}^2 \text{ час}$ при полном отсутствии механических потерь. При количествах воздуха 1,2—1,5 м³ на 1 кг топлива спекания золы в слое не наблюдалось, так как максимальная температура в слое не превышала 1000°. Скорость фильтрации воздуха в слое была в пределах 0,07—0,20 м³/м² сек. Полученная в результате слоевого процесса зола вследствие высокой степени разложения карбонатов ($x_{CO_2} = 0,85—0,98$) указывает на возможность использования зольного остатка в других отраслях народного хозяйства (например, в качестве вяжущих в производстве строительных материалов, в агротехнике и т. д.).

Полученный в слое при различных режимах топки горячий газ имеет (в пересчете на сухой газ) в среднем следующий состав: $CO_2 — 14,0\%$; $CO — 9,5\%$; $O_2 — 1,0\%$; $H_2 — 2,5\%$; $C_nH_{2n+2} — 2,8\%$; $C_mH_n — 2,4\%$; $N_2 — 68,3\%$. Этому составу газа соответствует теплотворность $Q_n^c = 938$ ккал/м³.

Путем балансового расчета в горячем сланцевом газе установлено содержание смолы в пределах 40—75 г/нм³ и содержание Н₂О 90—130 г/нм³.

В ходе экспериментальных работ параллельно определялись данные для проектирования двухступенчатых сланцевых топок и их внедрения в промышленность и коммунальное хозяйство республики. На фиг. 5 и 6 приведены некоторые конструктивные решения разработанных в ходе исследования и уже внедренных в производство двухступенчатых топок.

Внедрение двухступенчатых топок, работающих на кусковом сланце, дает возможность заменить в малых топочных установках дефицитное топливо (дрова, масло и пр.) дешевым местным топливом — сланцем.

*Институт энергетики
Академии наук Эстонской ССР*

Поступила в редакцию
2 IV 1954