

V. JEFIMOV, S. DOILOV, I. PULEMETOV

## **LUFTVERBRAUCH ZUR EFFEKTIVITÄTBEWERTUNG DES SCHWELPROZESSES VON BRENNSCHIEFER IN VERTIKALRETORTEN**

In der Arbeit [1] wurde über die entscheidende Rolle der Absolutmenge von Sauerstoff auf die Ölausbeute beim Schwelen des Brennschiefers berichtet. Sauerstoff wird im Bestande des gasförmigen Wärmeträgers in die Reaktionskammer einer oder anderer Schwelanlage zugeführt und dessen Menge kann durch verschiedene Maßnahmen wesentlich verringert werden. Zu diesem Zweck dient zum Beispiel die Verminderung des Wärmeverbrauchs zum Prozeß, was zum kleineren Luftverbrauch führt [2].

Zwischen Luftverbrauch und Ölausbeute (bezüglich Fischer-Ausbeute) hat man beim Schwelen des grob zerkleinerten Schiefers in industriellen Anlagen eine gute Abhängigkeit mit hohem Korrelationskoeffizient festgestellt [2]. Das beweist, daß unter gegenwärtigen technischen Bedingungen der Schwelkoksvergasung und Gasverbrennung in Feuerungsanlagen ist es nicht möglich einen sauerstoff-freien Wärmeträger zu erhalten und folglich kann man das Geraten von Sauerstoff in die Zone der thermischen Zersetzung des Brennschiefers nicht vermeiden. Das wirkt natürlich negativ auf die Ölausbeute. Durch die Verminderung des Luftverbrauchs wird auch der Wärmeträger weniger Sauerstoff enthalten und deshalb sind entsprechende Forschungen zur Verbesserung des Schwelprozesses in Vertikalretorten von großem praktischen Interesse.

Diese Forschungsarbeit wird nur dann einen positiven Effekt mitbringen, wenn die nicht zu Ölverluste mit festem Rückstand bringt, d.h. daß die Reaktionsbedingungen im Schwelschacht dürfen nicht schlechter gemacht, die Effektivität der Gasverbrennung in Feuerungsanlagen nicht herabgesetzt und die Pyrolyse von flüchtigen Produkten nicht verstärkt werden. Im ersten Fall verringert sich der Luftverbrauch zum Prozeß (dabei bekommt man eine trügerische Vorstellung über die Verbesserung der Schwelungsbedingungen). In zwei übrigen Fällen nimmt dieses Kennzeichen zu.

Die Betriebserfahrungen der thermischen Zersetzung von Brennschiefer in Vertikalretorten (Schwelgeneratoren), die Ergebnisse der entsprechenden Forschungen und durchgeführte Berechnungen beweisen, daß der nötige für Prozeß Wärmeverbrauch durch eine Reihe von Veränderungen der technologischen Bedingungen verringert sein kann. Unter denen sind folgende zu nennen: Temperaturen des Dampf-und-Gas-Gemisches (DGG) im Gasableiter und des gasförmigen Wärmeträgers, Verbrauch von Rücklaufgas in der Kühlzone, Dissoziationsgrad der Karbonaten im mineralischen Teil des Brennschiefers usw.

Um den Einfluß der Temperatur auf den Schwelprozeß zu bewerten, haben wir annähernde Berechnungen durchgeführt [3]. Die beweisen, daß durch Herabsetzung der Temperatur im Gasableiter der Luftverbrauch wesentlich vermindert und folglich die Ölausbeute vergrößert wird. Dabei wird auch das abgeladete Halbkoks mit Rücklaufgas effektiver abgekühlt, was auch zur Verringerung des Luftverbrauchs dient.



Schon ganz am Anfang der Ingebrauchnahme von ersten Vertikalretorten wurde es klar, daß die DGG-Temperatur im Gasableiter herabgesetzt sein muß. Daß kann durch verschiedene Maßnahmen erreicht werden, die vor allem den Wärmeaustausch in der Brennschieferschicht im Schwelschacht verbessern, als zum Beispiel die Verdickung der Schicht und die Verbesserung der Verteilung des Wärmeträgers über den Schachtquerschnitt. Die Zerkleinerung des Rohstoffes (d.h. die Vergrößerung spezifischer Oberfläche) dient ebenfalls diesen Zweck.

Diese Maßnahmen sind beim Schwelen der relativ armen Brennschiefer genügend leicht zu realisieren. Beim Erhitzen bituminisieren die sich praktisch nicht, der Partialdruck deren Öldämpfe in DGG ist niedrig und, dank dem niedrigen Dissoziationsgrad von Karbonaten, ist deren Wärmeverbrauch beim Schwelen ebenfalls erniedrigt.

Die Beispiele aus Industriepraxis der Vertikalretorten bestätigen den effektiven Einfluß der Verdickung der Schieferschicht im Schwelschacht auf den Prozeß. In der Volksrepublik China wurden die eingebauten Feuerungsanlagen aus der Halbhöhe der Retorte in den unteren Teil des Vergasers umgestellt, was das Herabsetzen der Temperatur im Gasableiter von 210 bis zu 80 °C ermöglichte. Dabei wurde der Luftverbrauch von 1610 bis zu 2420 m<sup>3</sup> per Stunde erhebt. Der tägliche Durchsatz der Retorte stieg dabei von 186 bis zu 251 t [4].

In AG "Kiviöli" wurde das Brennschieferbett in Schwelkammer der Retorte mit Querstrom des Wärmeträgers in der Oberhälfte der Kammer von 1,0 bis zu 1,5 m und in der Unterhälfte bis zu 1,8 m verbreitet (stufenartiges kaltes Gitter), wodurch die DGG-Temperatur im Gasableiter von 210 bis zu 140 °C herabgesetzt wurde [5]. Diese Temperatur wurde praktisch unempfindlich gegen Luftverbrauch zum Prozeß (beim einmetrigen Bett wurde die von der Veränderung der Luftmenge sofort beeinflusst und so waren die Möglichkeiten der Vergrößerung dieser Menge ziemlich begrenzt). Als Resultat wurde einstündiger Luftverbrauch von 1600 bis zu 2000 m<sup>3</sup> und der tägliche Durchsatz der Retorte von 150 bis zu 200 Tonnen vergrößert.

An den Retorten der AG "Kiviöli" ist es gelungen, dank der Verdickung von Schieferbett, den niedrigsten Luftverbrauch zum Prozeß zu erreichen (Tab. 1). Infolge der wesentlich verbesserten Verteilung des Wärmeträgers nahm die DGG-Temperatur im Gasableiter ab. Die geringe Dissoziation von Karbonaten hat in diesem Fall ihrerseits die Verminderung des Luftverbrauchs begünstigt, ungeachtet des verhältnismäßig niedrigen Verbrauchs von Rücklaufgas in der Kühlzone (100 m<sup>3</sup> bezüglich einer Tonne des Brennschiefers).

Es wurde festgestellt, daß beim Schwelen des klumpigen Brennschiefers (meistens arm an organischer Substanz) in denen enthaltene Karbonate nur einigermaßen dissoziieren [6]. Dieser Prozeß läuft hauptsächlich in feinkörnigen Fraktionen, die sich bei der Zerkleinerung des Schiefers formieren, und ist für reiche Brennschiefer charakteristisch. Aus diesem Grunde wird beim Schwelen eines reichen Brennschiefers mehr Wärme gebraucht. Das wird natürlich mit einem erhöhten Luftverbrauch begleitet, was aus der Daten der Tabelle 1 ausdrucksvoll herausgeht.

Als Regel kann der Luftverbrauch durch die Erhebung der DGG-Temperatur im Gasableiter der Vertikalretorte vergrößert werden. Weil beim Schwelen eines angereicherten Brennschiefers mehr Luft verbraucht wird, muß diese Temperatur auf einem notwendig hohen Niveau gehalten sein.

Alle obenangeführte Beispiele bestätigen eindeutig, daß durch Verdickung von Brennschieferbett sowohl gleichmäßige Verteilung des Wärmeträgers als auch Wärmeaustausch im Schieferbett wesentlich verbessert werden. Als Folge nimmt dann die DGG-Temperatur im Gasableiter ab und der Luftverbrauch per Stunde kann so



vergrößert werden, daß dessen spezifischer Verbrauch gleichzeitig vermindert wird. Als Endergebnis steigt die Durchsatzleistung der Retorte und wächst die Ölausbeute.

Das Obenerwähnte berührt die Anlagen, in denen arm an Kerogen oder nur wenigermaßen angereicherter Brennschiefer — Kukersit — verarbeitet wird. Bei der Verarbeitung reicher Schiefer sind die Möglichkeiten zur Verdickung der Schieferschicht und zur Ingebrauchnahme des mehr zerkleinerten Einsatzgutes ziemlich begrenzt. Das bedeutet, daß die DGG-Temperatur im Gasableiter der Vertikalretorte hoch gehalten sein muß. In diesem Fall wurden die besten Resultate in der Retorte mit Schwelringkammer erreicht — dank der Verbesserung der Wärmeträgerverteilung im Bett wurde diese Temperatur im Durchschnitt von 220 bis zu 150 °C herabgesetzt [7].

Übrigens muß man erwähnen, daß unter verschiedenen Konstruktionen der Vertikalretorten, die in der Welt zur Verarbeitung von klumpigen Brennschiefen errichtet sind, die mit Schwelringkammer die beste und gleichmäßigste Verteilung des Wärmeträgers im Bett ermöglichen. Die erste Inbetriebnahme einer solchen Retorte in Maoming (Petrolchemische Kompanie in Maoming, die Chinesische Volksrepublik) hat diese Meinung völlig versichert, und eben beim Schwelen des Brennschiefers arm an organischer Substanz. Falls auch die Schieferschicht genügend breit erhalten und der Wärmeträger ebenfalls genügend gleichmäßig verteilt wird, begünstigt die Konstruktion der Schwelringkammer den Durchfluß des Wärmeträgers, da die Ölausbeute von 60–65 bis zu 70–80 % (bezüglich Fischer-Ausbeute) gestiegen wurde [8].

Der Berechnungen nach [3] können die mit DGG aus der Retorte hinausgeführte Wärmemenge und folglich sowohl der Wärme- als auch Luftverbrauch nicht nur durch Verdickung der Schieferschicht und Verbesserung der Wärmeträgerverteilung, sondern auch durch Erhebung dessen Temperatur vermindert werden. Je höher diese Temperatur, desto weniger braucht man den Wärmeträger und die Gasmenge im Gasableiter wird dadurch ebenfalls kleiner. Die höhere Temperatur führt zu mehr vollkommener Gasverbrennung, was auch den Luftverbrauch zum Prozeß verringert [9].

Die Betriebserfahrungen haben bewiesen, daß bei höheren Temperaturen des Wärmeträgers die Brennschieferschicht im Schwelschacht wesentlich besser durchgewärmt und dadurch deren hydraulischer Widerstand vermindert wird [10]. So schafft man günstige Bedingungen zur Vergrößerung der Rücklaufgasmenge in die Kühlzone und folglich auch zur Verminderung des Luftverbrauchs [3].

Der Dissoziationsgrad von den im mineralischen Teil enthaltenen Karbonaten übt ebenfalls eine wesentliche Wirkung auf den Luftverbrauch. Dieser Grad hängt von verschiedenen technologischen Faktoren ab und kann mit Hilfe von folgenden Maßnahmen verringert werden [11].

- Vergrößerung der Durchsatzkapazität von Retorten bezüglich Brennschiefers;
- Vergrößerung der Rücklaufgasverbrauchs in der Kühlzone bis zu 300–350 m<sup>3</sup> per Tonne;
- Einstellung der Zuschlagerhitzung der Brennschieferschicht im Schwelschacht der Retorten mit Querstrom des Wärmeträgers an deren kalten Seite.

Wie oben gesagt, werden die in armen oder nur wenig angereicherten Brennschiefen enthaltene Karbonate beim Schwelen nur schwach dissoziiert. Dann bleiben die großen Klumpen des Rohstoffes meistens heil. Die sind mechanisch und thermomechanisch fest. Die niedrige Dissoziation von Karbonaten ist sowohl von der verhältnismäßig kleiner spezifischen Oberfläche der Schicht und von dieser verursachten unzureichenden Wärmeübertragung von Gas zum Schieferbett als auch von der niedrigen Wärmeleitfähigkeit des überwiegenden in Klumpen mineralischen Teils verursacht. In der AG "Kiviöli" sank der Durchsatz der Retorten gleich nach deren Überführung auf den mehr angereicherten Rohstoff. Der Luftverbrauch wurde wesentlich größer, weil die Zersetzung von Karbonaten von 20–25 bis zu 40–45 % stieg (Tab. 1).

Die Dissoziation von Karbonaten vertieft sich natürlich auch bei höheren Temperaturen des Wärmeträgers. Falls das gleichzeitig mit Zunahme von Durchsatz bezüglich Schiefers und Rücklaufgasmenge in der Kühlzone (ganz real und eben unvermeidlich) begleitet ist, kann dieser Prozeß unterdrückt werden [9].

**Tabelle 1. Verarbeitung von Brennschiefer in Retorten\***  
**der staatlichen AG "Eesti Kiviõli"**

|                                                           | 1985    | 1992    |
|-----------------------------------------------------------|---------|---------|
| <b>Ölschiefer</b>                                         |         |         |
| Feuchtigkeit, %                                           | 8,0     | 8,9     |
| Verbrennungswärme $Q_d$ , MJ/kg                           | 10,05   | 13,69   |
| <b>Arbeitsbedingungen</b>                                 |         |         |
| Durchsatz, t/Tag                                          | 198     | 157     |
| Luftverbrauch, m <sup>3</sup> /t                          | 220–230 | 330–350 |
| DGG-Temperatur im Gasableiter, °C                         | 140–160 | 210–220 |
| <b>Ausbeute der Produkte,<br/>bez. auf Ölschiefer</b>     |         |         |
| Öl, %                                                     | 10,9    | 16,5    |
| bez. auf Fischer-Analyse                                  | 67,3    | 75,4    |
| Abgas, m <sup>3</sup> /t                                  | 345     | 416     |
| Halbkoks, %                                               | 65,7    | 61,1    |
| <b>Halbkoks</b>                                           |         |         |
| Gehalt an (bez. auf Trockensubstanz), %:                  |         |         |
| Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> ) <sub>M</sub> <sup>d</sup> | 22,9    | 17,5    |
| Asche A <sup>d</sup>                                      | 70,3    | 68,3    |
| Kohlenstoff C <sup>d</sup>                                | 6,3     | 10,1    |
| Gesamtschwefel S <sub>t</sub> <sup>d</sup>                | 2,3     | 1,9     |
| Verbrennungswärme $Q_d$ , MJ/kg                           | 2,72    | 4,37    |
| Dissoziationsgrad der Karbonaten, %                       | 25      | 40      |

\*Ohne Halbkoksvergasung.

Aus den obenangeführten Tatsachen ist zu ersehen, daß der Luftverbrauch bei der Verarbeitung des Brennschiefers in Retorten sowohl von der Qualität des Rohstoffes als auch von den technologischen Parametern und Konstruktion der Anlagen abhängig ist. Der Luftverbrauch kann durch folgende Maßnahmen verringert werden:

- Verwendung von wenig angereicherten Schiefer als Einsatzgut statt angereicherten;
- Herabsetzen der DGG-Temperatur im Gasableiter durch die Verdickung von Brennschieferbett und mehr vollkommene Verteilung des Wärmeträgers;
- Erhebung der Temperatur des Wärmeträgers;
- Vergrößerung des Zulaufes von Rücklaufgas in die Kühlzone;



- Ingebrauchnahme von zusätzlichen Feuerungsanlagen an der kalten Seite der Schwelkammer der Retorte mit Querstrom des Wärmeträgers;
- Steigerung der Durchsatzkapazität der Retorten bezüglich Brennschiefers;
- Vorwärmen von nötigen für Prozeß Gas und Luft.

Außerdem zeigten die Betriebserfahrungen, daß der Luftverbrauch auch durch einen größeren Sauerstoffgehalt des Rücklaufgases, was offensichtlich von der undichten Konstruktion der Retorte und Kondensationssysteme verursacht ist, herabgesetzt wird.

Also ist es festgestellt, daß der Luftverbrauch von zahlreichen verschiedenen Faktoren abhängig ist. Es ist sehr wichtig, daß dessen Menge während des Prozesses auf einem gewissen optimalen Niveau aufbewahrt sein muß. Beim zu kleinen Verbrauch werden die Brennstoffverluste mit abgeladenen Halbkoks zu groß. Beim zu großen wird die überflüssige Wärme zur Dissoziation von Karbonaten und zur Pyrolyse von flüchtigen Produkten verbraucht. Folglich muß dieser Luftverbrauch beim Schwelen ganz operativ regulierbar sein. Selbstverständlich ist es nur mit Hilfe der Automatisierung zu leisten. Als Grundparameter kann die DGG-Temperatur im Gasableiter verwendet werden, so wie es bisjetzt in allen Brennschieferverarbeitungsfabriken des Baltischen Ölschieferbeckens schon lange in Gebrauch genommen ist. Unserer Meinung nach erlaubt es am bestens den nötigen Luftverbrauch automatisch zu regulieren.

Man darf nicht vergessen, daß diese Temperatur nicht nur wegen Luftverbrauchs stabil gehalten sein muß. Der andere Grund dazu liegt im Bedürfnis so viel wie möglich das Geraten von Staubeilchen ins Kondensationssystem zu vermeiden.

Man weiß schon lange, daß bei niedrigeren Temperaturen im Gasableiter weniger Staub hinausgeführt wird und daß diese Temperatur durch Verdickung der Schicht im Schwelschacht leicht herabgesetzt wird [12]. Das wurde schon praktisch mehrmahlig bestätigt [13]. Als Beispiel stellen wir hierbei die entsprechenden Daten für die Retorte mit Schwelringkammer (GGS-5, AG "Kiviter", Kohtla-Järve) vor: die Herabsetzung der Temperatur im Gasableiter von 200 bis zu 150 °C hat zur 2–3-fachiger Abnahme des Staubgehalts in DGG geführt [14]. Schon im Jahre 1946 hat V. I. Zabrodnyi in Kohtla-Järve eine 2,5-fachige Abnahme des Staubgehalts fixiert, wenn die Temperatur im Gasableiter für 50 °C herabgesetzt wurde.

In AG "Kiviöli", bei der Rekonstruktion der Retorten mit zentraler Einführung des Wärmeträgers in die Variante mit dessen Querstrom, wurde das Brennschieferbett von zwei bis zu ein Meter verkleinert, was gleich bis zur 2,5-fachiger Zunahme des Staubgehalts des abgeführten Gasmisches geführt hat [13]. Weiter wurde die Bettdicke im oberen Teil der Kammer wieder bis zu 1,5 und in unteren bis zu 1,8 m verbreitert und, wie schon oben gesagt, wurde die Temperatur im Gasableiter dabei durchschnittlich 70° niedriger (von 210 bis zu 140 °C gesunken). Der Staubablauf wurde wesentlich kleiner, ungeachtet auf die wesentliche Erhebung der Durchsatzleistung der Anlagen (der Gehalt des Schwelöles an mechanischen Zusätzen hat von 20 bis zu 4 % abgenommen) [5].

Oben beschriebene Veränderungen der Arbeitsbedingungen, die nach der Verdickung der Schieferschicht stattfinden, sind aller Wahrscheinlichkeit nach zuallererst von der Zunahme der staubauffangenden oder -filtrierenden Fähigkeit der Schicht und von der Abnahme der Ausgangsgeschwindigkeit von Öldämpfen und Gas aus der Schicht verursacht. Die Oberfläche der Schicht wird klebriger und fängt mehr Staub auf. Dieser angeklebte Staub wird geschwelt und bleibt auch auf der Oberfläche der Klumpen. Dieser Prozeß wird sich durch die Kondensation eines gewissen Teils der Öldämpfe über dem Schieferbett noch vertiefen, weil ölige Staubeilchen sich auf die Oberfläche niederschlagen. Vermutlich verbessert solche Befeuchtung ebenfalls die Staubadsorptionsfähigkeit der Schicht [15, 16].



Die umfangreiche Betriebspraxis der heimischen und gleichartigen an Konstruktion ausländischen Vertikalretorten, in welchen der grob zerkleinerte Brennschiefer verarbeitet wird, beweist, daß je reicher an organischer Substanz Rohstoff, desto höher muß die Temperatur im Gasableiter gehalten sein (Tab. 2).

Diese Gesetzmäßigkeit ist folgenderweise zu erklären: beim Schwelen des reichen Brennschiefers darf dessen Schicht im Schwelschacht nicht zu breit sein, weil der sich leicht bituminisiert. Der Wärmeaustausch in Schicht ist nicht genügend intensiv und die Temperatur im Gasableiter scheint deswegen erhöht zu sein. Außerdem darf man nicht vergessen, daß in diesem Fall wegen des hohen Partialdrucks der Öldämpfe im Gasstrom diese Temperatur nicht niedrig sein darf, weil dann gleich eine intensive Kondensation der Öldämpfe stattfindet.

Man weiß, daß beim Schwelen des Brennschiefers, zum Beispiel in Tunnelöfen und in Anlagen mit festem Wärmeträger, Schwelgas mit sehr hohem Partialdruck der Öldämpfe hinausgeführt wird und deswegen die Temperatur am Ausgang zum

**Tabelle 2. Temperatur des Gasgemisches im Gasableiter beim Schwelen der Brennschiefer verschiedener Verbrennungswärme**

| Verfahren, Ölschieferverarbeitungsbetrieb und Staat | Verbrennungswärme des Ölschiefers $Q_d$ , MJ/kg | Temperatur des Gasgemisches im Gasableiter, °C |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------|------------------------------------------------|
| "Kiviter":                                          |                                                 |                                                |
| Kohtla-Järve, Estland                               | 13,0–14,0                                       | 220–240                                        |
| Kiviõli, Estland                                    | 9,5–10,0                                        | 140–160                                        |
| Slantsõ, Rußland                                    | 12,0–12,5                                       | 200–210                                        |
| Fuschun-Retorten, China                             | 5,5–6,0                                         | 85–95                                          |
| "Paraho", USA                                       | 5,9                                             | 60                                             |
| "Petrosix", Brasilien                               | 6,0                                             | 150                                            |

Vermeiden der Kondensation von Ölprodukten sehr hoch — 480–520 °C — aufbewahrt sein muß.

## Schlußfolgerung

Um die Ölausbeute beim Schwelen des klumpigen Brennschiefers in Vertikalretorten zu erhöhen, muß der Luftverbrauch des Prozesses verringert werden. Zu diesem Zweck dienen:

- Herabsetzung der DGG-Temperatur in Gasableitern, was durch Verdickung der Schieferschicht im Schwelschacht, Gleichmäßigung der Verteilung des Wärmeträgers und eben durch Gebrauch von Brennschieferklumpen kleinerer Korngröße zu erreichen ist;
- Erhebung der Wärmeträgertemperatur;
- Vergrößerung des Rücklaufgaszulaufes in die Kühlzone des abgeladenen Halbkokes;
- Verminderung der Dissoziationsstufe von Karbonaten durch Ingebrauchnahme von wenig angereicherten Brennschiefen statt angereicherten, Vergrößerung der Durchsatzkapazität der Retorten und Verbesserung der Erhitzungsbedingungen der Schicht im Schwelschacht (in Retorten mit Querstrom des Wärmeträgers können die seitigen Feuerungsanlagen an der kalten Seite der Schwelkammer in Gebrauch genommen werden);
- Vorwärmen von brauchbaren in Feuerungsanlagen Luft und Gas.

Durch die Herabsetzung der Temperatur im Gasableiter werden sowohl der Luftverbrauch zum Prozeß als auch die Staubentfernung mit DGG wesentlich vermindert. Unter Berücksichtigung des entscheidenden Einflusses der obengenannten Temperatur auf den Schwelprozeß kann diese Kennzahl der Automatisierung des Prozesses zugrunde liegen.

## Dank

Die Autoren danken dem Estnischen Fonds der Wissenschaft (Grant No. 693) für die finanzielle Unterstützung dieser Arbeit.

*В. М. ЕФИМОВ, С. К. ДОЙЛОВ, И. В. ПУЛЕМЁТОВ*

## УДЕЛЬНЫЙ РАСХОД ВОЗДУХА КАК ПОКАЗАТЕЛЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОЛУКОКСОВАНИЯ СЛАНЦА В ВЕРТИКАЛЬНЫХ РЕТОРТАХ

### Резюме

Одно из эффективных направлений в совершенствовании вертикальных реторт для полукоксования кускового сланца, которое обеспечивает увеличение выхода смолы, — это уменьшение удельного расхода воздуха на процесс. Этому способствуют:

- снижение температуры парогазовой смеси в газоотводах;
- повышение температуры теплоносителя;
- увеличение расхода обратного газа в зону охлаждения;
- уменьшение степени диссоциации карбонатов.

Снижение температуры парогазовой смеси в газоотводе может быть достигнуто за счет увеличения толщины слоя в шахте полукоксования и улучшения равномерности распределения теплоносителя в слое, а также за счет уменьшения крупности кусков технологического сырья. Такие условия легче организовать при переработке в ретортах горючих сланцев, сравнительно бедных органической массой.

По мере повышения содержания в технологическом сырье органической массы температуру парогазовой смеси в газоотводе реторт следует поддерживать на более высоком уровне из-за ухудшения условий теплообмена в слое вследствие невозможности увеличить его толщину по причине битуминизации сланца, а также вследствие повышения парциального давления паров смолы в парогазовой смеси и усиления их конденсации в самом агрегате.

С повышением температуры теплоносителя уменьшается удельный расход воздуха на процесс: за счет как уменьшения удельного количества выводимой через газоотвод парогазовой смеси, так и более полного сжигания газа в топочных устройствах. Поскольку при повышении температуры теплоносителя одновременно улучшаются условия для равномерного прогрева слоя в шахте полукоксования и при этом уменьшается его гидравлическое сопротивление, создаются благоприятные возможности для увеличения расхода обратного газа в зону охлаждения выгружаемого полукокса, что также способствует уменьшению удельного расхода воздуха на процесс.



Диссоциация карбонатов минеральной части сланца при полукоксовании его в ретортах понижается при:

- увеличении пропускной способности по сланцу;
- увеличении удельного расхода обратного газа в зону охлаждения;
- улучшении равномерности нагрева слоя в шахте полукоксования (в ретортах с поперечным потоком теплоносителя, например, при наличии боковых топочных устройств, расположенных с холодной стороны камер полукоксования);
- при переходе на переработку с обогащенного на малообогащенное технологическое сырье.

Уменьшение удельного расхода воздуха на процесс достигается также при предварительном нагреве воздуха и газа, поступающих в топочные устройства реторты, и в случае повышения концентрации кислорода в обратном газе.

Снижение температуры парогазовой смеси в газоотводе реторт способствует не только уменьшению удельного расхода воздуха на процесс, но и сокращению уноса пыли с парогазовой смесью в конденсационную систему установок. При снижении указанной температуры на 50 °C унос пыли из реторт с парогазовой смесью снижается в 2,0–2,5 раза.

Учитывая существенное влияние на эффективность процесса полукоксования кускового сланца в ретортах температуры парогазовой смеси в газоотводе, а также зависимость ее от множества различных факторов, указанный технологический параметр целесообразно принять в качестве основного при автоматизации процесса, с тем чтобы обеспечить возможность поддерживать эту температуру на постоянном оптимальном уровне.

## SCHRIFTUM

1. Kundel H. A., Aitsen E. V., Halevina T. A., Peredkova N. M. Einfluß des oxydierenden gasförmigen Mediums auf die Ausbeute und Qualität des Öles beim Schwelen der Brennschiefer // Problemen der Effektivität und Qualität der brennschieferverarbeitenden Industrie. In: Tr. NIISlantsev (Sammlung des Instituts für Ölschieferforschung). 1984. Bd. 23. S. 25–38 (in Russisch).
2. Jefimov V. M., Kundel H. A., Doilov S. K. Influence of secondary pyrolysis processes upon the yield and characteristics of oil shale thermal decomposition products: Summary // Oil Shale. 1990. Vol. 7. N. 3–4. P. 283.
3. Jefimov V. M., Löpper R. A., Raad H. E. Effektivität der Abkühlungszone der Retorten beim Schwelen des Brennschiefers Kukersit // Problemen der Effektivität und Qualität der brennschieferverarbeitenden Industrie. In: Tr. NIISlantsev (Sammlung des Instituts für Ölschieferforschung). 1991. Bd. 25. S. 17–28 (in Russisch).
4. Jefimov V. Über Erfahrungen im Gebiet der Brennschieferverarbeitung in der Chinesischen Volksrepublik // Gorjutschie Slantsy (Ölschiefer) / EstNIINTI (Estonische Forschungsinstitut für Wissenschaftstechnische Information). 1970. Nr. 3. S. 19–24 (in Russisch).
5. Jefimov V. M., Raad H. E., Doilov S. K., Shaganov J. V. Erfahrungen der Verarbeitung in Retorten des klumpigen Brennschiefers mit ermäßigter Verbrennungswärme // Chimia tverdogo topliva (Chemie der festen Brennstoffe). 1983. Nr. 3. S. 123–127 (in Russisch).
6. Jefimov V. M., Löpper R. A., Doilov S. K., Tsyplakov, P. N. Influence of kukersite oil shale quality on dissociation of carbonates contained in mineral matter thereof upon processing that in generators: Summary // Oil Shale. 1992. Vol. 9. N 2. P. 172–173.
7. Yefimov V., Nazinin N., Piik E., Löpper R. Oil shale generators with circular retorting chamber // Oil Shale. 1991. Vol. 8. N 1. P. 50–57.



8. *Yefimov V.* A business trip to China // *Oil Shale*. 1993. Vol. 10. N 1. P. 87–89.
9. *Jefimov V. M., Piik E. E., Lööper R. A., Zhurakovsky Yu. P.* Specific features of temperature regime at processing kokersite in Kiviter retorts: Summary // *Oil Shale*. 1993. Vol. 10. N 2–3. S. 209.
10. *Jefimov V. M., Piik E. E., Nazinin N. A., Zhurakovsky Yu. P.* Hydraulischer Regime der Verarbeitung des großstückigen Brennschiefers in Retorten // Problemen der Errichtung von mächtigen Retorten für Verarbeitung der Brennschiefer. In: *Tr. NIISlantsy* (Sammlung des Instituts für Ölschieferforschung). 1991. Bd. 25. S. 63–73.
11. *Jefimov V. M., Lööper R. A., Kundel H. A., Zhurakovsky Yu. P.* Water soluble sulfides in the solid residue from processing kokersite in 1000 T/D generators: Summary // *Oil Shale*. 1989. Vol. 6. N 4. P. 402.
12. *Rambusch N. E.* Gasgeneratoren. — Leningrad—Moskau, 1939, S. 55 (in Russisch).
13. *Schaganov J., Raad H., Jefimov V., Rapper L.* Zur Frage der Verminderung des Abführens von festen Teilchen aus Gasgeneratoren in Kiviöli // *Gorjutschiey Slantsy* (Ölschiefer) / *EstNIINTI* (Estnische Forschungsinstitut für Wissenschaftstechnische Information). 1972. Nr. 2. S. 15–20 (in Russisch).
14. *Nazinin N. A., Piik E. E.* Gasgenerator mit Schwelringkammer // *Slantsevaya promyshlennost* (Brennschieferindustrie) / *EstNIINTI* (Estnische Forschungsinstitut für Wissenschaftstechnische Information). 1986. Nr. 8. S. 6–7 (in Russisch).
15. *Thermische Verarbeitung von Brennschiefer — Kukersit* / Unter Red. von M. Gubergrits. — Tallinn, 1966. 356 S (in Russisch).
16. *Zeidler R.* Neue Wege zum Gebrauch des Brennschiefers und dessen Verarbeitung zum Öl. — Leningrad—Moskau, 1935. S. 28 (in Russisch).

*Institut für Ölschieferforschung*  
*Kohtla-Järve, Estland*

Eingegangen am 03.08.1993

*Oil Shale Research Institute*  
*Kohtla-Järve, Estonia*