

ロシア  
技術ニュースレター  
Russian Technical News Letter

2006年9月29日 No. 2

ロシアの火力発電分野  
における最新技術情報

ROTOBO

社団法人ロシアNIS貿易会

〒104-0033 東京都中央区新川1-2-12 金山ビル

Tel. (03) 3551-6215 Fax. (03) 3555-1052 <http://www.rotobo.or.jp>

# ロシアの火力発電分野における最新技術情報

要 旨 .....	1
1 . 燃料燃焼技術 .....	1
1.1. 低品位石炭使用時における高温液状循環型ベッド (HTCFB) 技術.....	1
1.2. 混合型燃料の燃焼技術.....	4
1.3. 燃焼部分におけるガスバーナーの空気力学 (アエロダイナミック) 制御.....	6
2 . 過渡時におけるプロセスの制御方法.....	7
2.1. ノヴォシビルスク熱併給プラント (CHPP) (AT200-MWe) のコンピューターによる プロセス制御.....	7
2.2. ロシアの火力発電所で推奨されている化学工学自動化 モニタリングシステム (ACEM) .....	9
2.3. 超臨界圧発電ユニット起動時の、異なる熱条件下で、かつ蒸気・水回路全体の 圧力可変時における急激な負荷減少時の技術 .....	11
3 . 熱エネルギーを電気エネルギーに変換する技術.....	12
3.1. RAO “ EES OF RUSSIA ” (ロシア株式会社「ロシア単一電力系統」) の複合式 (蒸気 - ガス) 発電所MES-60プロジェクト.....	12
3.2. 火力発電所 (TPP) の近代化で使用する新型ガスタービンプラント.....	15
4 . 水調節技術.....	17
4.1. フラッシュ蒸発器を使用した蒸留生成物.....	17
4.2. 磁気法を使用した試薬のない水質処理.....	18
4.3. 火力発電所の配管に付着したスケールを圧縮空気とWAD (詰め物) で除去.....	20
5 . 清掃した排出物の除去および環境影響の軽減.....	20
5.1. 火力発電所における燃料ガス中に含まれる硫化アンモニアの除去.....	20
5.2. ガス状のNO <sub>x</sub> およびSO <sub>x</sub> 燃料からTRILON-Bの水性アルカリ溶液を用いた 吸収による沈積物の除去.....	21
5.3. 非触媒回復を使用した火力発電所における燃料ガスのほぼ完全除去.....	22
5.4. 蒸気タービンの復水用配管内部のボールによる除去.....	25
6 . 燃料効率の向上と経済指数の改善に関する方法.....	25

6.1. 安定な水と重油のエマルジョン（乳濁液）を得るための方法と装置.....	25
6.2. ガスタービンプラント（GTP）における排出ラインの近代化 .....	26
6.3. 火力発電所で重油および天然ガスの代替としてのプラズマ法による石炭を使用.....	27

## 要旨

この技術レポートは、ロシアのエネルギー関係（原子力発電および火力発電）コンサルタント会社“IBR™ ( International Business Relations Cooperation )”が作成したものである。一般読者のみならず、火力発電メーカーおよび電力会社の技術関係者にとって非常に有用な情報が含まれており、ロシアにおける火力発電の最新技術情報を表および図を使って具体的に紹介している。

内容は多岐にわたっており、1) 低品位石炭の有効利用、混合型燃料燃焼技術やガスバーナーなどの燃料燃焼技術、2) 熱併給発電所のコンピューター制御や超臨界圧発電ユニットのなどにおける過渡プロセスの制御方法、3) ロシアにおける火力発電の近代化技術、4) 火力発電所の水調節技術、5) 火力発電所で発生する環境に悪影響を及ぼす物質の除去技術、6) 燃料効率の向上と経済指数の向上対策について詳しく紹介している。

注：この技術レポートは、IBRが作成したレポート全体を翻訳したものです。原文（ロシア語、英語（ロシア語から翻訳））にご関心の向きは、当会（webmaster@rotobo.or.jp）までご照会ください。

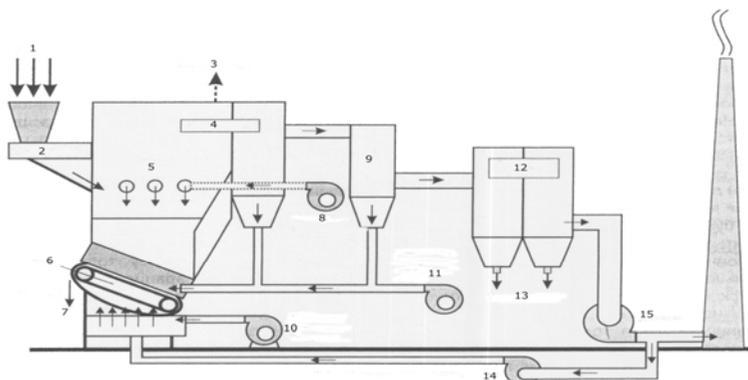
## 1. 燃料燃焼技術

### 1.1. 低品位石炭使用時における高温液状循環型ベッド(HTCFB)技術

この技術はペテロコテル-HTCFB社が開発したもので、出力が1～100MWで、燃料としてリグナイト（褐炭）および低品位石炭を使用し、蒸気および温水ボイラーを持つ火力発電所、複合式熱併給発電所、およびボイラープラントの改造に使用している。

注：HTCFB ( high-temperature circulating fluidized bed )

(第1図)HTCFBボイラー装置のレイアウト



1：燃料、2：燃料供給機、3：蒸気をタービンに送る、4：ボイラーユニット、5：二次空気、6：HTCFBの火床、7：スラグの除去機、8：二次空気ファン、9：サイクロン式集塵機、10：一次空気ファン、11：流動式中間循環ファン、12：サニタリー処理、13：灰の除去、14：排ガスリサイクル用排出機、15：排煙装置

この技術は、現在運転中の工業ボイラーおよび熱供給ボイラーで使用しており下記の特徴をもっている。

\* 改造は各ボイラー毎に適用でき、対流部分には手を加えず、また常用している通風設備についても考慮しなくてよい。

\* これらのボイラーユニットの諸元は、循環型流動床をもつ在来型ボイラーと比較して同じであるため技術的諸元の変更は不要であり、この技術は必要が無い。

- ・ ホットサイクロン集塵装置。
- ・ 補助装置付き中間灰・サイホンプラント。
- ・ ベッド（床）カバー用の特殊な不活性物質。
- ・ 特殊な点火用バーナーおよび起動燃料（重油またはガス）。
- ・ 高出力高圧力ファン。
- ・ オーガー供給器および灰コンジット用ゾーン冷却装置。
- ・ 燃料の調節は、石炭の高温灰のサイズは0～3mm、灰が16%以下の石炭の場合の大きさは0～10mmである。
- ・ 点火バーナーによるベッドの加熱時間は4～8時間で、点火は1時間以下である。
- ・ 循環流動床に接触する配管の腐食防止に使用する特殊鋼およびコーティング。

提案されたHTCFB技術は、EChM-60、DKVr-10、DKVr-20、KE-10、KE-25、KV-TC-10、KV-TS-20、Riley Stoker等のボイラー改造時に使用された。この方法は、TP-10、EP-230-B、TP-100、BKZ-75等の高出力ボイラーを改修するとき最も効果的である。

この技術によるあらゆるボイラーの主要設計要素は、逆方向に傾いた幅の狭い火床（grate）で、これは一次空気の配分およびスラグの運搬に役立つ。格子はボイラーの灰部分に位置しているので炉の温度が高くなり、この格子の場所での粒子の循環が要求される。炉は高温サイクロン式集塵装置として作動するチャンバーから、垂直水配管（tube waterfall）により分離されている。燃料の輸送総量（燃料消費量の1/3まで）は、垂直水配管のすぐ後方に位置している燃焼ゾーンに戻して再燃焼される。この結果、戻ってきた燃料の温度は、700とより高くなる。燃料の一部は設置されたチャンバー中で回収されず、対流型塵埃として捉えられ、更に直接流サイクロン集塵装置の粗い灰も炉に戻される。最終的に、浄化の段階で複数のサイクロン式集塵装置または布製フィルターの設置が可能である。二次空気は、炉側の壁からの複数の流れで供給される。バンカー（燃料庫）からの燃料はコンベヤー、スクレーパー（粉砕機）で運ばれるか、またはらせん型の供給機で加速プレートに運ばれ、スリップしながら下に落ち、HTCFBの火床にある燃焼ゾーン上で燃焼する。改造したボイラーは、多くの場合、一般の石炭すなわち燃焼前の一次燃料の調整（破砕）は不要である。

HTCFB方式によるベッド材料の内部回路は、在来のCFB方式と同じである。工業用のCFBおよびHTCFB炉では壁際に下方向の流れがあり、不安定な下方向の流れで拡散された物質が溜まる。この事実があるにもかかわらず、CFBおよびHTCFB炉の内部にあるガスの速度は自由落下速度より速く、このベッドは一般のバブル流動ベッドと同様に、火床の近くに作られている。提案された技術は乱流型を参考としており、多くの場合、循環方式に近い。一般的特徴は次に示した高い流動率、破片（fraction）の排出が多く、ベッドの冷却用配管の水受けが不要で、固体粒子のリサイクルが高く、ダブルステージによる空気供給である。

この技術の主な原理を次に示した：

- ・混合を活発化するための高温と質量移転。
- ・十分な熱負荷によりCFBを20倍に増加。
- ・ベッドから出るガスの減少によるNO<sub>x</sub>の抑制。
- ・ベッド寸法の多様化。
  - (a) 水平部分はゲートから火炉のトップに向かって延びているので、物質の移動は高速度、かつ高温で、火炉の上部では速度を落とし、ベッドからの粒子の放出が制限される可能性がある。
  - (b) 効果的にすり碎くエリアは、負荷（圧力ゾーンの品質により可変）により変化し、広い制御範囲を保証する。
  - (c) 水平部分の延長部では固体層の最小逆混合が減少し、効果的なカーボンの再燃焼がある。
- ・移動可能なパーツとして、火床はベッドの温度が灰の軟化および灰の溶融の範囲にある時（Godel現象が適応される場合）、ベッドから灰を取り除く。
- ・自然な側面スロープでコークスを燃焼することにより高温を維持し、低品位燃料が燃焼する間、炎が安定する。
- ・火床には少しの面積が必要（CFBの面積の1/10以下）で、これにより燃料供給が容易になる。200～300mmの低層で稼働する時に強度を大きくできるので、高圧ファンを使用せずに、半分の空気量で燃料に特別な調整をすることなく、火床に燃料を供給できる。
- ・この方法は、石炭粉塵を燃焼するのに比較して電力消費量が少ない。
- ・提案しているHTCFBの技術を使用したボイラー価格は、CFBまたは炭塵ボイラーより相当安い。

この技術を使用することにより、最小の費用でボイラーを改造し、灰分の多い燃料と低品位燃料を含む燃料の燃焼効率を高め、また炉内抑圧により有害物質の放出量を減少し、ボイラー出力を50%上げることができる。炉への空気供給を2段階（ダブルステージ）にすることにより、窒素酸化物生成量を最小化することができた。すなわち、燃焼後の生成物であるNO<sub>x</sub>濃度は、燃料ベッドの燃焼期間に発生したNO<sub>x</sub>濃度より25～30%低かった。硫黄含有量が高い石炭の場合、安い石灰岩を炉内に添加物として導入した場合、酸化硫黄を抑えなければならない問題がもちあがる。

定格モードで炉を安定に運転している場合、分離した灰粒子はGodel効果により互いに焼結される。この場合、もし粒子が炉に戻ってきたら直接ベッドに入り、塊状になった殆どの灰は火床に残され、スラグと一緒に取り除かれる。高燃焼の程度はベッドで観察されるだけでなく、炉の中でも観察されており、これは補助送風系でも確認されている。上述の技術は、加熱空気の送風を必要としないし、または特殊装置の設置をしたり、またはボイラーを点火するための補助燃料を使用したりすることはない。

HTCFB技術により燃料は2段階で点火する。火床の下部に供給される空気量は、粒子を流動化させるのに十分である。一次空気供給ファクターは $\alpha_1$ が0.5~0.6である。燃焼に要する空気は $\alpha_2$ が0.4~0.5で、この空気はベッドの上部に供給され、燃料粒子が良く燃えることを確認したうえで、返ってきた粒子と同様にベッドから取り除かれる。二次空気の一部は広がり( $\alpha_{ps}=0.05\sim0.07$ )戻ってくる( $\alpha_{re}=0.07\sim0.1$ )が、塊部分は二次ブラストノズル( $\alpha_{ob}=0.3\sim0.4$ )を通して炉内にばらまかれる。2段階(ダブルステージ)燃焼システムの使用は、機械的に燃焼不足による熱の損失を大きく減少させるだけでなく、揮発性灰の放出量も減少する。側面遮蔽からそれぞれの反対側にある側面遮蔽に向かう火床上部の強い送風(blast)、火床の上部に衝突したり拡散したりして、炉からの高速粒子放出を妨げスラグ(slag)となる。

2段階燃料燃焼は次のように定義している。第1段階は、火床近くにあるガス化区域で、ここは揮発性物質を放出ゾーン、第2段階では、ベッド上部の不完全燃焼生成物を二次空気の助けを借りて再燃焼させる。この第1段階および第2段階の燃焼で、ガス中の $\text{NO}_x$ を $250\sim300\text{mg}/\text{m}^3$ に減少させることが可能である。これは、実際的に衛生規制値に相当している。

ボイラーユニットの改造期間および新規建設期間の払い戻しは、熱効率および使用する燃料に依存し、半年から3~4年である。炉の深部に位置する狭くて傾いた火床は、火床の燃料ベッドに燃焼ガスまたは重油がある間は、カバーを必要としない。

試算によると、ボイラーのユニット出力を増強する場合、HTCFB技術で改造するときは差がない。出力を増強する場合、各種諸元を大きい値にすると、ボイラー各部の寸法を変更するのが容易で、改修したボイラーは一般には使用しない低品位の灰成分が多い燃料を使用できる。

HTCFB技術の利点のひとつはコストで、外国の同種類の製品より安い。改造ボイラーは30%安く、新規建設のボイラーは40~50%安い。さらにこの技術は、人口が多い住宅地域に建設することが可能となり、ボイラーをガスまたは重油で運転して環境に優しくすることができる。

## 1.2. 混合型燃料の燃焼技術

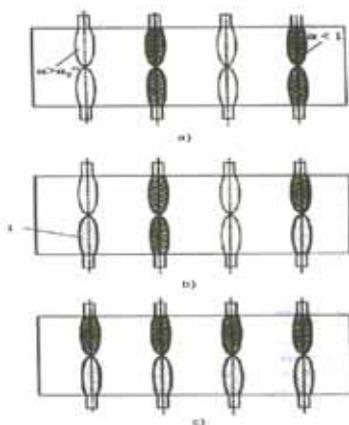
モスクワパワーエンジニアリング研究所(MPEI: Moscow Power Engineering Institute: MPEI)の研究者達は、非化学量論(non-stoichiometric)の利点と2段階燃焼方式を開発・導入し、最低の費用と時間で、あらゆる負荷領域に対して窒素酸化物の放出量を減少させた。

注: 化学量論(stoichiometric 化学式通りの化合物、化学式通りの化合物を生成する(混合物))

この技術の本質は、最大負荷で非化学量論燃焼ができる（バーナーへの燃料供給が部分的に途切れている時は不可能である）。その結果、NO<sub>x</sub>の放出は35～55%減少する。減少した負荷で、非化学量論燃焼効率が低いとき、幾つかのバーナーへの燃料供給を停止することにより2段階点火とする。この場合、非化学量論燃焼は、燃料が2つのゾーンで燃えている間、バーナーで中の燃料と空気の不マッチングした比率により達成する。還元（reducing）は $\alpha_r < 1$  および酸化（oxidizing）は $\alpha_{ox} > 1$ である。負荷が下がると、化学量論を超える余分の空気量のあるバーナーは、供給空気量に変化しない間は全部消えてしまう。このようにして減少した負荷で、燃焼モードは自動的に非化学量論から2段階方式に移行する。

この点火方法は、カザンにある熱併給発電所No. 3のボイラーTPE-430に使用され、8個の直接フローのバーナーを単一行（single row）に装備した。（第2図参照）

（第2図）TPE-430ボイラーにおける複合燃焼



1：燃料供給のオン・オフ（空気）

a): ボイラー負荷 > 350 t / h、b): ボイラー負荷 : 350 ~ 350 t / h、c): ボイラー負荷 < 35 t / h

第2図 a) における非化学量論点火の導入により、ボイラーの負荷が400 t / h以上のとき、窒素酸化物の放出が140～160mg / m<sup>3</sup>に減少した。すなわち在来型の燃焼に対し、平均して30%減少した。燃焼生成物中の一酸化炭素濃度は、体積パーセントで0.002を超えなかった。この値は、最大許容値より大幅に低かった。ボイラーの負荷が低い（300～350 t / h）場合、燃料はボイラーの前部に取り付けてある2個の側面バーナーに供給される。その結果、燃焼プロセスは3つのゾーン、すなわち炉の中心部での非化学量論燃焼、両サイドで2段階燃焼があり、合計3つの燃焼プロセスがある（第2図 b) 参照）。窒素酸化物の放出は、30%低くなり、与えられた負荷範囲での非化学量論燃焼と比較して2倍となる。

減少した負荷（< 300～350 t / h）で、前部にある4個のバーナーは燃料供給を中止する。その代わりに、後部の壁にある複数のバーナーのバルブをすべて開く。その結果、炉内で2段階点

火が起き（第2図 c）参照）、NO<sub>x</sub>放出量が在来型の燃焼より確実に30%減少する。運転モードの全てのボイラーは、炉に送られる空気は8個のバーナーにより均一に供給される。このようにして、非化学量論および2段階燃焼における運転モードの組み合わせを通じて、NO<sub>x</sub>の生成が30%まで減少する。また、あらゆる運転モードおよび負荷における金属の最高温度が許容可能値より大幅に低いことは、注目に値する。これにより、ボイラーを複合燃焼に移行する間、加熱表面の信頼性は変わらないことを確認できた。

渦巻きバーナーを取り付けたボイラーは、窒素酸化物放出量は50～55%と大きくすることが可能である。現在、この方法は、効率的であるのでガス重油ボイラーに導入しており、安価で環境に対して安全である。

### 1.3. 燃焼部分におけるガスバーナーの空気力学(アエロダイナミック)制御

天然ガスバーナー（NGB：natural gas burner）は、サマラにあるS.コロレフ国家航空宇宙研究所（S. Korolev State Aerospace Institute, Samara）で開発された。高効率のガス加熱モジュールは、燃焼熱の利用をより良好にすることが可能で、空気への化学汚染を減少できる。現在、著者達は、バーナーの少量生産開始のためのパートナーを探している。

加熱技術については下記の問題がある。

- 1) 在来型ガスバーナーは排出量が多い：提案した装置は、この排出量のレベルを最大許容量の1/3～1/4にできる。
- 2) 加熱部分にできるスケールは、在来型ガスバーナーの効率を低下させるが、提案したバーナーはこの欠点がない。

注：スケールとは、加熱した鉄の表面にできる酸化物被膜。

新しいNGBは改良した振動技術を利用している。NGBは、中央部に長い炎のガスバーナーも併用しており、空気力学的効果をつくるため、鋭いエッジを持つ共鳴チャンバーに適合した、中央部ガスノズルおよび2個を対称に設置した周辺バーナーを設置している。

混合ガスヒーターは、耐火性鋼の円柱型炉と、中間および外部にある2個の円柱で構成しており、外部シリンダーは本体（body）の役目を果たしている。ガスヒーターは、混合物を加熱するためのブローファンを持ち、自動的に保護されるガスバーナーに装備されている。投げ込み式ガスヒーターは、内部のガスバーナーと共に燃焼室を構成している。熱は、熱交換器の表面から直接流拡散器を通して取り出される。燃焼による生成物は煙道経由で除去される。

ガス・水ヒーター（GWH：gas water heater）は貯水槽にガスヒーターを沈めたものである。天然ガスはブラストバーナー（blast burner）により点火される。燃焼による生成物は煙道経由で除去される。95℃に加熱された水は加熱系またはプロセス熱交換によりポンピングアップされる。ここで、熱を放出し、システムに返る。加熱容量により、下記のガス・水ヒーター（GWH）があ

る。

UVG-1000 ( 500kW × 2 )

UVG-1400 ( 700kW × 2 )

UVG-2100 ( 700kW × 3 )

提案されたバーナーはすべて、最新の要求を満たしている。運転の原理は、エネルギーのより合理的な利用を確実にする技術を基礎としており、放出物を大きく削減している。

#### 利 点

- ・環境面で安全。
- ・燃焼熱の効果的利用。
- ・信頼性。
- ・外国の類似品と比較して低コスト。

装置は、ロシア連邦の патент により保護されている。

## 2 . 過渡時におけるプロセス制御方法

### 2.1. ノヴォシビルスク熱供給プラント(CHPP) (AT200-MWe)のコンピューターによるプロセス制御

2004年にノヴォシビルスク熱供給発電所(CHPP) 6号ユニットで、Tornado-M Hard-and-Software Complex (トルネイドUMハード・アンド・ソフトウェア社) によるフルスケールのコンピューターによるプロセス制御(CAPC)を開始した。

200MW ( 6号機) の技術項目は次の通りである。

- ・ドラムボイラー( 蒸気発生器 )EP-670-3,8-545 KT( モデルTPE-214 / B )は、TaganrogにあるKrasny Kotelshchik工場で作製された。定格出力：670 t / h。
- ・二重目的蒸気タービンT-180 / 210-130-1は、TVG-200M-2PU3発電機を駆動するのに使用されている。この発電機は、ハリコフにあるElektrotizhmash工場で作製され、通常的基础の上に設置された。

このタービンは、水を加熱し温水供給用にも使用される。プラントの定格出力は180 / 210MWで、公称熱負荷は260Gcal / hである。

上記プロジェクトにおける全ての仕事は、指導的なロシアの設計組織、すなわち、Tornado Modular Systems、COTES ( Siberian Energy Equipment & Systems )、Engineering Center、Novosibirsk, Energy、Novosibirsk Thermal and Power Projects により実施された。

HSWC Tornadoは、地方条件、信頼性および性能に関する要求事項を考慮し、発電所の大型プロジェクトに特別に自動化を取り入れている。パワーユニットの制御システムの核であるTornado-Mは現代のマイクロプロセッサをベースとしており、高度の信頼性を保証、および起動や計画

運転および緊急停止を含むあらゆる運転モードに対して用意している。

CAPCSの特徴は、熱工学機器の制御だけでなくあらゆる電気機器の制御に関係しており、トラブルの無いプラントの運転に必要な管理、情報、サービスを実施している。

このシステムは、約7,000チャンネルがある。

Tornado-MをベースとしたCAPCSは、従来の2レベル階層に従った関数的で幾何学的構造をもっている。データの収集、入力、アナログ処理、データの分離は、分離命令の形成とプロセスに少しは影響する。

このレベルは、100MIPS powerのスーパーカラー-RISCプロセッサ付きPowerPCをベースとしたMIF-PPC通信モジュールおよび内蔵型の通信共用プロセッサPower QUICCを装着した新シリーズのMIFコントローラーを使用できる。モジュール型プロセッサMPC860TZP80D4の特徴は、データ処理と速度の能力が向上したことである。内蔵型コントローラーFastEthernet( Ethernet-100 ) は、システムの負荷の大きさに関係なく、如何なるチャンネル数でも100Mbの通信ができる。

関数ユニットのコントローラー(低レベルをベースとした)は、800x800x2,000mmのダブルサービスキャビネットに収納されており、ネットワークEthernetにより統合されており、低レベルでも高レベルでも取り扱うことができる。電気機器および熱機器の全てのデータは、標準のインターフェイスチャンネル経由で、ターミナルブロックキャビネットを使用することなしに、コントローラーキャビネットに直接に送ることができる。

通信機器は封印したキャビネットに保管されている。全てのキャビネットは、外部からのインパクトに対し、IP55による保護を受けている。

高度のレベルは、プロセスオペレーターと技術者の両者が制御機器、パワーユニットのCAPCSシステムの運転およびパワープラントの制御システムとの接続により、相互に協力することで保証している。

高度のレベルは、技術手段としてイーサネット(Ethernet)を組み込むことにより実現しており、その具体的項目を次に示す。

注：Ethernetは商標として登録されているlocal area network システムである。

- ・運転員3人が6個のモニターワークステーションを管理。
- ・ワークステーションに2人の上級モニター員が勤務。
- ・CAPCSのワークステーションに職員が勤務。
- ・機関運転員配置のためのワークステーション。
- ・計画のためのワークステーション。
- ・データバックアップ用サーバー。
- ・バックアップ装置用サーバー。
- ・プリンター用サーバー、これは発電所を結合するためにも使用。

- ・ 化学実験室補のためのワークステーションが緊急用実験室に置かれ、他の施設とイーサネットシステムにより接続。
- ・ 熟練・計測技術者のワークステーションを発電所のEthernetシステムに接続。
- ・ 計測電気技術者および保護継電器&自動化技術者のための合同ワークステーションを発電所のEthernetシステムに接続。

各ワークステーションは、特殊な業務に対しハードおよびソフト面で最適化されている。発電所のイーサネットシステムは、光ファイバー回線および二力撚線ケーブル (twisted-pair cable) を使用して各種データの転送を実施している。イーサネットのケーブル接続形態は、放射状で、バックアップとして使用している。

HSWC Tornadoはオープンシステムで、他の製造者をCAPCS機器に統合することを許可している。すなわちEKRA生産連合の発電機・変圧器ブロックの保護下にあるモニター用マイクロプロセッサを基本としたローカルシステム、Energotsvetmet社の発電機励磁モニタリングシステム、Mekhanotronika社の6kW開閉器保護用のマイクロプロセッサをベースとした端子およびボイラー炎の高温制御サブシステムがある。

バックアップおよび主要システムコンポーネントの保存以外に、主要制御システムの事故が起きた場合、出力ユニットをトラブルを起こさずに確実に停止するための独立の制御システムを作ることをご構想している。

## 2.2. ロシアの火力発電所で推奨されている化学工学自動化モニタリングシステム (ACEM: Automated Chemical Engineering Monitoring)

Quartz社は、Incotx社と提携してあらゆる型の発電設備およびボイラーユニットの化学的水処理・浄化のためのACEMシステムを、タービン復水器等の内部にある吸気チェックなどと同様に作り上げた。これらのシステムは、ツイン型IBMコンピューターと同等の機能を持つコンピューターに基づいており、112個の計測器がサンプリングの場所に装備され、また制御施設の他の重要な箇所に装備されている。計測器の一部は、パイプ、タンク、または発電設備の復水器に直接に取り付けられたセンサーからの信号を受信している。

ACEMシステムは次の項目を保障している。

- ・ 発電設備の異なる場所における塩類濃度、pH値、酸素およびナトリウム濃度の連続制御。
- ・ 発電設備のコンピューター支援プロセス制御システム (CAPCS) によるセンサーからのデータを自動的に入力。
- ・ リアルタイムで、各種モニターシステムからの略図、表、線図を受信して表示。
- ・ 水化学パラメーターが特別な制限値を逸脱した場合に保護し、警報信号を出す。
- ・ 復水器および水供給パイプに取り付けた伝導性測定検出器の測定値を読んで分析し、タービン復水器中において局所化が起こる可能性のある混合物を吸引する。

- ・機器の制御は、固定のものだけでなく、機器の運転モードによる制御されたパラメーターの許容範囲内および制限値内で自動的に変化する。
- ・水・化学パラメーター（例えば、pH測定結果による処理は、アンモニア中のアルカリ混合物の濃度を決定できるのと同様に、炭酸中の酸性混合物の濃度を決定することが可能である）。
- ・緊急テスト結果の入力、ディスプレイおよび解析結果は、出席した職員により作られる。
- ・サービス寿命全体のデータの保存および過去の各種状態の解析の保存。
- ・発電設備の運転に関する平均的交代勤務中と毎日の指数およびその他データの印刷。
- ・特別な訓練なしに、システムの運転を可能とするユーザーフレンドリーなインターフェイス。
- ・発電所のローカル・コンピューター・ネットワークとデータを互換。

ACESシステムの主な利点は、産業条件における仕事の信頼性と適応性が高いことである。このため下記の方法が適用された。

- 1) 2系統のコンピューターへの入力データを2倍にすることにより、1個のコンピューターにトラブルが発生した場合、全ての情報を完全に保護する機能を与えている。
- 2) 工業用コンピューターを使用すると、事務用コンピューターよりも下記の利点がある。

\* 不利な作業環境に、高い抵抗性がある。

- ・ 温度：周辺温度を 0 ~ 50 で運転することができる。
- ・ 塵埃：特殊な塵埃を通さない冷却システムを使用している。切り替えフィルター付きのファンが2個あり、オン・オフモードの運転により外部から塵埃が入るのを防止するため内部を加圧。
- ・ 湿度：運転は、空気の相対湿度95%まで許される。
- ・ 振動：全金属製の本体に、頑丈なプレートで固定する。  
コンピューターのディスク駆動は、衝撃および振動に対して抵抗性があり、減衰取付方式により本体に固定する。
- ・ 出力インターフェイス：パルス性妨害電圧および脈動電圧に対する抵抗性を高める特殊パワーブロックを使用している。

\* 無許可のアクセスに対する防護：ディスク駆動はカバーロックで保護している。

\* 各種構成要素の高信頼性：全てのユニットおよびプレートの、トラブル発生までの平均時間は6万~15万時間である。普通のパーソナルコンピューターはこのような保証ない。

\* 引渡試験：全コンピューターは、68 で48時間、動的運転モードで試験を行う。

- 3) 水・化学制御システムの特別バージョンを使用すると、下記の利点を持つ。これは他の国産測定器の性能以上を持っている。

\* 塵埃および汚泥からの保護。

\* 独立した2個の主要接続：コンピューターおよび静的記録手段。

\* 内蔵の自己診断および遠隔測定システム：計測動作中のトラブル検出時、または計測力所

とコンピューター間のケーブル結合による不調時にも機能する。

\*最大5倍までの過負荷でも計測する特別仕様。このような計測器の使用により、起動モードから計測器の範囲を変更することが無いので、多数のメーター用チャンネルの変更が不要である。

\*ガルバーニ電気測定器 (galvanic) を採用しているので、様々な機器相互の影響による危険性を除去できる。

\*多数の回路を決定時に、干渉に対する抵抗性を高める。例えば同期検出、等位ポテンシャル遮蔽等。

\*回路および設計の解明による信頼性の増加(比較的少数の素子、単一のプレート上に全部の回路を置き、回路と回路の接続にコネクタを使用しない、特別な耐水性薬品、ラッカーを使用していない等)

\*主要供給電圧：36V。

4) 都市工学を含むACEMシステムは、定格電源が完全な電圧事故(停電)時から10~15分間作動する。

5) 測定器で測定したデータをテレメーターで送信し、その受信信号の分析に基づくデータ制御システムの使用。

6) 標準的な毎日の記録を使用した入力データの解析、測定器から受信データによる全運転モードの表示を行う。この方式は在籍職員のペーパーレスワークへの移行を容易にするであろう。

近年、ACEMシステムが電気出力800MWex 2基のリヤザン (Ryazan) 発電所(既に3年間運転)に設置され、ノヴォ・サラヴァト (Novo-Salavat) 熱併給発電所の水処理プラント(既に25年間運転)も設置された。また、電気出力300MWex 4基のコストロマ (Kostroma) 発電所(2系統、既に1年半および1年運転)に設置された。

### 2.3. 超臨界圧発電ユニット起動時の、異なる熱条件下で、かつ蒸気・水回路全体の圧力可変時における急激な負荷減少時の技術

提案された方法によると、超臨界圧発電所の起動時および急激な負荷減少時に、下記の事項が可能となる。

1) 可変運転モード時に発電ユニットの特性が非常に改善される：通常状態での負荷増加時および負荷減少時の所要時間を減少し、エネルギーシステムが乱れている場合でも安定運転の範囲を増大出来る等。

2) 外部からの蒸気を使用せずに、発電所を起動させる。

3) 圧力可変時における急激な負荷減少時および起動時の効率を向上させる。

4) 蒸気・水回路を構成する厚壁部分での熱ストレスを改善し、信頼性を向上させる。

5) バルブ、ボイラー回路の一部分である蒸気発生器で超臨界圧維持のため、ボイラー起動時

の運転を非常に簡単化した。

この技術は、タガンログ (Taganrog) ボイラー工場で製作したTGMP-344-Aボイラーを設置した300MWe発電所で試験を行った。

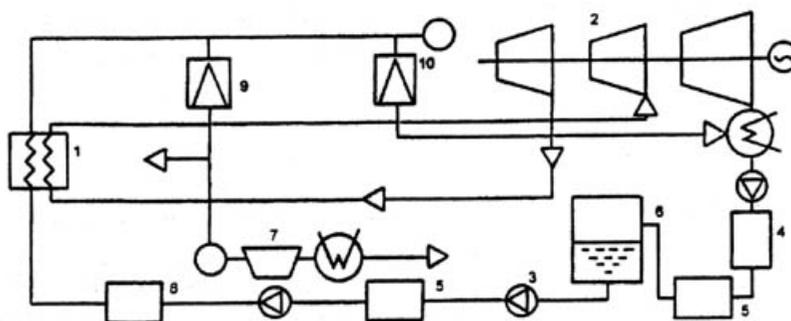
あらゆる加熱表面の水力学および温度に関する信頼性保証の技術条件は、初期圧力を1メガパスカルと指定されている。

800MWeの発電ユニットを、ボイラー回路全体の圧力を可変として起動する場合、外部からの蒸気を使用しないで起動する。

プラントの設定をゼロにすることおよびボイラープラントの起動に関する問題は解決された。

この方法は、800MWe発電ユニットで、ボイラーはTGMP-804およびTGMP-204HLの2基を、地方発電所 (ORGES) とボイラー・タービン研究所の援助を受けて実施した (第3図参照)

(第3図) 800MWe超臨界圧発電所、ボイラーはTPP-804



- 1 : ボイラー、 2 : タービン、 3 : 復水器ポンプ、 4 : 脱塩プラント、 5 : 表面低圧加熱器、 6 : 混合低圧加熱器、  
7 : タービン給水ポンプ、 8 : 高圧ヒーター、 9 : 補助起動・解放装置、 10 : 起動・解放装置

この装置は、次の利点がある。

- 1) 蒸気・水ボイラーの厚壁材料の熱応力を改善したため効率が向上した。
- 2) ボイラー起動時の簡単化と効率向上を、蒸気・水回路のスロットル装置 ( throttling device ) を除くことにより達成した。
- 3) 全回路の分離器 ( 複数 ) を適用した。

### 3. 熱エネルギーを電気エネルギーに変換する技術

3.1. RAO "EES OF RUSSIA" (ロシア株式会社「ロシア単一電力系統」) の複合式 (蒸気・ガス) 発電所  
MES-60プロジェクト

コンバインドサイクル (複合サイクル) 発電所MES-60 (電気出力60MW) 発電所の詳細設計は、

モスクワの機械建設プラント (Machine-Building Plant)「サリュート (Salyut)」で詳細設計を行った。このプロジェクトは、エネルギー、環境およびコスト指数の点で複合式熱供給発電所として効率的である。このプロジェクトの目的は、下記の項目について統一コンプレックスを作ることにより達成できる。

- (a) 燃焼室中に蒸気を噴射するガスタービン (STIG機構)。
- (b) 過冷却した流出ガス中にある水・蒸気用の復水器を、直接に蒸気回収ボイラーに接続。
- (c) 純粋な復水をサイクルに戻すことを確実にし、ヒーティングシステムの温度を上昇させて復水回路の熱を利用するための多目的蒸気コンプレッション・ヒート・ポンプシステム。
- (d) トッピング蒸気タービン。

このプロジェクトが成功裏に実施された場合、蒸気・ガスタービン発電所MES-60は、旧式の50-120MW抽気タービンを使用した複合式熱供給発電所と取り替えられる。さらにMES-60は、発電所の出力を将来80MWに増大するため開発され、利用可能な燃料熱ファクターは95%となる。このプロジェクトの詳細を第1表に記載した。

(第1表) RAO“EES OF RUSSIA” の複合式(蒸気-ガス)発電所MES-60プロジェクト

項目	数値
<b>コンプレッサー</b>	
入口空気消費量 (kg / s)	86
圧力上昇程度 (Pressure rise degree)	11
コンプレッサー通過後の空気温度 (K)	616
シャフトの回転周波数 / 分	7,320
断熱効率	0.841
<b>ガスタービンおよび復水器</b>	
入口ガス温度 (K)	1487
復水器蒸気消費量	14.56
復水器蒸気温度 (K)	603
燃料消費量 (kg / s)	2.475
燃料がもっている熱量 (kJ / kg)	50,056
タービン出口のガス消費量 (kg / s)	106.3
タービン出口のガス温度 (K)	865
動力用タービンシャフトの回転周波数 / 分	4,400
<b>廃熱利用ボイラー (Recovery boiler)</b>	
蒸気容量 (t / h)	64
過熱蒸気温度 (K)	813
過熱蒸気圧力 (MPa)	9.9
<b>蒸気タービン</b>	
入口蒸気圧力 (MPa)	8.83
出口蒸気圧力 (MPa)	1.275
蒸気タービン効率	0.8

MES-60の出力指標	
蒸気タービンシャフト当たり容量 (MW)	52.47
動力タービンシャフトの容量 (MW)	7.91
発電端効率 (%)	48.7
利用可能な燃料の熱ファクター (%)	93-95
燃焼生成物中のNO <sub>x</sub> (ppm)	15
信頼性指標	
サービス寿命 (年)	40
オーバーホール期間	
- ガスタービン (時)	25,000
- 蒸気タービンおよび廃熱利用ボイラー、年	6
蒸気・ガスプラント運転可能ファクター	0.98
蒸気・ガスプラントの保存期間、年	12.5
経済指標 (Economic indices)	
MES-60のコスト、100万ドル	21.1
ガス価格が22.6ドル / 1,000m <sup>3</sup> の場合の投資資本回収期間 (Payback period at 22.6ドル / 1,000m <sup>3</sup> gas price)	n.a.

複合発電プラント (Combined cycle plant :CCP) の特徴は下記の通りである。

- ・ 燃焼器 (STIGの仕組み) に蒸気を噴射するガスタービンを使用することにより、圧縮度が10～14、燃焼器通過後の温度が1,200～1,250 で、ガスタービンのユニット当たりの出力が2～2.5倍になり、設備利用率 (capacity factor) を50%に維持できる。また、重量とサイズが減少するので、二流体サイクル (binary cycle) 発電所に比較して、コストを15～20%削減できる。
- ・ 燃焼後生成物中の低レベルNO<sub>x</sub>濃度 (15ppm、40mg / m<sup>3</sup>) は、環境に優しい蒸気を燃焼室を通してボイラーの流体ゾーンに入れることにより達成した。これにより一酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) のレベルを低くし、燃料使用ファクターである熱の放出率を93%と高くすることができた。同時に復水器およびヒートポンプは、冷却水を散布することによりバランスしており、余分の水を必要としない。
- ・ 燃焼器構成要素、タービン第1ステージのガスタービンのノズルブロックブレードとノズルブロックおよび作動中のブレードの熱応力を受ける部分を蒸気冷却する新しいシステムを使用している。
- ・ 高レベルの計画は、使用する構造物の信頼性および運転可能性を確認するための新しいプログラム、研究および試験のため、ガスタービンとコンプレッサーの構成要素に関して静的および動的に強化した計算を実施する。
- ・ 夏期および冬期における複合発電所 (コンバインドサイクルプラント：熱供給発電所) の最適化は、調整された蒸気がトッピング蒸気タービンに続く燃焼器 (パワー蒸気) に送られ、ヒートポンププラントの加熱供給水に使用することにより実施される。すなわち、循環水の散布による温度調節で排出ガス温度およびコンタクト復水器を通過後の湿度の最適化の実施；ヒートポンププラントを使った地域給水用加熱の最適化の実施である。

RAO “ EES of Russia ” の科学技術協議会（ The Scientific & Technical of RAO “EES” ）は、熱供給発電所（ CCP ）MES-60を、モスクワのエネルギー系に所属する熱供給発電所No.28で試験的に設置して運転条件下で試験的に運転し、将来ロシアの発電所で使用する。

### 3.2. 火力発電所(Thermal Power Plant: TPP)の近代化で使用する新型ガスタービンプラント

このプロジェクトは、サンクト・ペテルブルグメタルワークプラントのガスタービン・蒸気ガスプラントを設計する特殊設計事務所で開発された。

65MWの据置型ガスタービンプラント（GTP-65）は、電気出力30MWの蒸気ガスプラント2基で構成している。2台のガスタービンは2基のボイラーを使用し、タービン出力は60MWである。このプラントは、必要とする熱を供給可能で、独立して運転できるし、また複合サイクルプラントと結合した運転もできる。

高効率ガスタービンプラントができたことにより、発電機器企業は幅広い製品を製造し、ロシアの国内市場での地位を強化できるであろう。

GTS-65は、「航空材料研究所」および「ボイラーおよびタービン研究所」で開発した据置型の16段階コンプレッサーを含んでおり、ベンチテストを実施した。最初の3段階はサマララ研究技術コンプレックスで概念設計を実施した。最初の3個の製品は、コンプレッサーでの空気消費量の調節を確実にするため、蝶番式に製作した。管状（カニューレ状）の燃焼器は、10個の部品（module）各々のパーナー、火炎パイプおよびガスコレクターで構成している。パーナーは、2種類の燃料、すなわちガス燃料および液体燃料で運転できる。環境面からの要求を満たすため、燃焼済燃料と空気を混合して燃焼する方法を採用した。燃焼器の設計は、ガスタービンケーシング部分を取り外さずにパーナーと火炎パイプを抜き取ってチェックできる。

4段階タービンは、7個の冷却翼（ブレード）リングを持ち、2個のベアリングローターはディスク型で、ケーシングはすべて密閉型である。

タービンは、ローター群の全ての部分に水平接続されている。コンプレッサーの出力は、キーロフエネルギーマシンプラントにある減速ギアにより、コンプレッサーから取り出される。タービンユニットの重量（減速ギヤ除く）は37tである。

#### GT-65の基本パラメーター

コンプレッサー入口の消費空気量	180kg / s
圧力上昇程度	15.6
コンプレッサーの効率	0.86
タービン入口ガス温度	1,370
タービン出口ガス温度	555
効率（電気出力 / 熱出力）	35.2%
定格電気出力	61.5MWe
ピーク電気出力	65MWe

GTP-65の各種諸元は、外国のガスタービンプラントとほとんど同じである。

GTP-65は、複合サイクルプラント（熱供給プラント）CCP-90およびCCP-180に使用でき、CCPプラントの凝縮効率は51.5～52%である。対流膜冷却をするため、第1段階のブレード（翼）は目打ちしている。振動条件およびタービン効率を向上するため、第2～第4段階のブレード（blade）に側板を取り付けている（shrouded）。第1～第4段階にかけてノズルブレードにおける冷却用空気の漏れは、これらブロックの配置およびハニカムシール（honeycomb seals）により減少する。第1段および第2段のブレードのトラック表面は、レーザー技術により酸化ジルコニウム（ZrO）のセメント被膜を二重にコーティングしている。内部表面はガス循環によるコーティングをしている。

全ての回転翼は、分解せずにローターから取り外すことができ、取替および保守の費用を削減できる。ブレードはパワーマシン社（Power Machines Concern）の支社であるタービンブレードプラントで製造される。

コンプレッサーの前部ケーシング（front casing）は、改良高強度鋼で鋳造した。タービンの主要ベアリング部分は、前部および後部ケーシングは同一物質を使用し、サンクト・ペテルブルグのメタルワークプラントで溶接され、製造された。

#### GTP-65ガスタービンの概要

- 1）GTP-65の加熱および冷却の仕組みは、タービンのホット部分（タービン冷却用空気消費量の23%以上）を確実に冷却できるよう、また必要な効率を維持するよう製作されている。
- 2）冷却用空気は、ステーター（固定子）およびローター（回転子）を冷却している。ステーターへの空気供給量ロスを減少するため、ケーシング内に大きな空洞を作っている。タービンブレードを冷却するために供給する空気量のロスを最小限にするため、スピン装置を使用し達成した。

GTP-65の設計案は2003年10月に、詳細設計は2004年3月に作成し、2005年に複数ユニットのベンチテストを実施した。プロトタイプ（原型）モデルは2006年6月に製造予定で、試運転は2007年3月の予定である。GTP-65は、運転中の火力発電所で、かつ残存寿命が長い所で使用できる。ガスタービンを使用した各種のタイプ、すなわちボイラーへのガス放出、蒸気リカバリーの取替、並列リカバリーボイラーが提案されている。GTP-65プラントは、複合プラントCCP-90およびCCP-180で有効に使用できる。さらに、GTPプラントは新規の熱供給プラントまたは運転中のサイトに新規の設備を導入することができる。

現在GTP-65は、次の会社と企業から注文を受けている：モス・エネルギー社から熱供給プラント（CHPP）No. 9（GTP-CHPP）およびNo.12（CCP-90）、ウファにあるバシキール・エネルギー社の熱供給プラントNo. 2（CCP-90）サハリン火力発電所：TPP）、オムスク複合発電所（CHPP）No. 2（CCP-180）、ヤクーツク火力発電所（温水供給もする地熱発電所（GTP））、サマラ複合発電所（発電）設備の取替）。

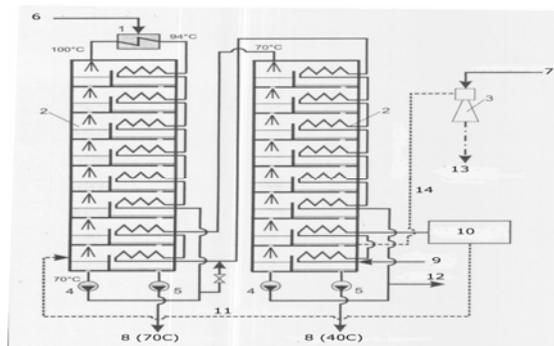
## 4. 水質調節技術

### 4.1. フラッシュ蒸発器を使用した蒸留生成物

生産合同プレスマシ・エコテック-99は、火力発電所で浄化装置を追加することなしに、中圧および高圧ボイラーを使用して蒸留水を生産する技術を開発した。この技術は、フラッシュ蒸発器を使用せずに、現在使用している方法と比較して生産コストを大幅に安くし、環境面へのインパクトも大きく軽減した。フラッシュ蒸発技術（Flash Evaporator Technique：FET）による蒸留コストは、在来方法により得られた脱塩水コストより50%安い。

第4図に、現在、火力発電所で使用している容量50t/hのフラッシュ蒸発技術（FET）のフローダイアグラムを示した。

(第4図) フラッシュ蒸発器(容量50t/h)のフローダイアグラム



- 1：水余熱器、2：蒸発器、3：噴射器、4：循環ポンプ、5：蒸留ポンプ、6：加熱蒸気、  
7：プロセス水、8：蒸留、9：最初に供給する水、10：前処理、11：給水、12：排出、  
13：混合物の噴出、14：ガスと蒸気の混合物

フラッシュ蒸発器は、全く同じ寸法の2個の直方体（6x5x1.4m）で構成しており、それぞれのボディー内部は9段階（9ステップ）に分かれており、各段階の高さは0.6m以下で、それぞれ簡単な垂直体である。

運転原理は、真空条件および自由空間で効果のある複合的断熱水の沸騰による蒸気発生である。2個のボイラー中における初期水の蒸発段階と連続蒸発を組み合わせ、化学的水処理方法からフラッシュ蒸発に切り替えることが可能となった。試薬量は3mg/l以下である。試薬の作用（一般に、有機性重合ホスホン酸塩、例えばポリアミンメチレンホスホン酸塩：PAF-1）は、結晶化をブロックしてスケールの発生を防止する。このような方法は、酸化とは別々に、あるいは一緒に使用し、ロシアのどの表流水でフラッシュ蒸発器でもトラブル無しに運転できることを保証できるようにしている。

第2表にフラッシュ蒸発器で生産した蒸留水の品質指標を示した。

(第2表)フラッシュ蒸発器で生産した蒸留水の品質指標

プラント	品質指標					
	Na <sup>+</sup>	SiO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Fe	FeO	æ	Cu
	µg/kg	µg/kg	µg/kg	µg-eq./kg	cm/cm	µg/kg
CHPP, Mechel Co, 2x FET-50 / 18	6-25	1-17	< 40	0.6-0.8	0.6	1-8
CHPP-3, Kazan, 2x FET-50 / 16	10-15	< 20	< 20	< 1	0.9	-
CHPP-1, Ufa, 2x FET-50 / 16	< 20	< 25	< 40	< 1	0.8	-
CHPP-2, Ufa, 1x FET-50 / 16	1- 40	< 28	< 20	0.2-0.8		-

フラッシュ蒸発器 (FE) をベースとした熱水 (thermal water) 脱塩の利点は下記の通りである。

- より効率的な蒸留により低温での蒸発 ( $T_{\text{boil}}=100$  から 40 ) で、蒸留温度は 40 である。時間当たり 300 t の蒸留をするための蒸気消費量は少なくとも 1 / 5、すなわち 150 t / h から 30 t / h となった。
- 高品質の脱塩水を製造する場合 (第 2 表) パワーユニットの数および運転モードに依存しない。
- FE で消費した熱の、プラントサイクルへの見返りは、フラッシュ蒸発器の接続ダイアグラムにより予測する。
- 設備を操作する職員数が減少したのは、実験室および作業場にある機器の完全自動化による。
- ナトリウム・陽イオン交換の必要が無く、EM への給水が修正モードに移るからである。このことによりイオン交換樹脂を購入する必要が無いため、維持費を削減できる。

#### 4.2. 磁気法を使用した試薬のない水質処理

効果的で最も望ましいのは直流電磁法装置の使用で、信頼性が高く環境面で優しい装置サービス期間が長い特徴がある。Maxmir プラントにある磁石を使用した新規のアンチスケール水質処理設備は、前述の要求をすべて満たしている。この設備は、直流で内蔵式の脱気チャンパーの中に 4 個の直流磁気装置があり、電磁発振器、化学試薬、脱気器等を装備している。4 個の動作中のチャンパーを水が通過すると、制御された電磁界により長期間のインパクトを受ける。その結果、水中に溶解しているミネラルは汚泥 (スラッジ) となって分離され、プラントの機器やパイプの表面には沈着しない。開口水取り入れ口では、汚泥は水の排出と一緒に排出されるが、閉回路系では汚泥コレクターに集められる。その後、水は内蔵式脱気器に入り、事前にセットした磁界の影響で活性のあるガス ( $O_2$  および  $CO_2$ ) から解放され、内部腐食の原因が無くなる。

最終段階で、電磁発信器を通過した水は“磁気メモリー”が強くなり、その結果、水処理量は非常に多くなる (希釈率 1 : 500)。処理後の品質チェックは、装置を作動開始してから 4 ~ 6 時間後に実施する。 $O_2$  濃度は、メチレンブルー法により酸性度を決定する。

## 装置の利点

- ・多くの場合、化学的水処理が不要である。
- ・最初の3カ月間に溶存物によりスケールが形成されたが、装置の稼働以降はスケールの発生は無い。
- ・スケールに対する保護や除去は、加熱システムだけでなく関係するネットワークにも関係する。
- ・酸素を完全に除去する内蔵式脱気器、加熱系の内部表面の腐食の防護できる。
- ・少量の電力消費 ( $1.5W / m^3$ ) により、相当の電力を節約できる。
- ・設備の設置および運転を簡単化した。
- ・環境へのインパクトは無い。

Maxmirプラントの適用範囲は非常に広く、小型、中型および大型のパワー・プロジェクト、あらゆる経済セクター、輸送（海軍も含む）住宅および商業サービス、農産業等に利用できる。発電設備は連邦監督機関Gosgortekhnadzor（国家鉱業技術監督局）がボイラー、熱交換機、熱風ヒーター、セントラル暖房プラント等を監督しており、従来の水質処理および脱気器は、全面的にMaxmir装置と置き換えられた。大型プラントは、Gosgortekhnadzor（原子力発電所、火力発電所等を含む）が監督しており、水質の軟化を要求されており、水質軟化は有用である。水質軟化装置は独立して運転しており、化学的水処理と脱気器をMaxmirプラントに取替中である。現在はこれらの装置を併用している。水質調整機器を取り付ける以前は、Maxmirプラントは次の事項を保証していた。

- ・水処理プロセスの促進。
- ・試薬（酸、塩）消費量の減少と、これら試薬のフル利用。
- ・フィルター回収間隔の延長。
- ・加熱系内部表面にできたスケールの除去および熱伝達試薬が通過する全部の通過経路のスケールの除去。
- ・腐食に対する防護。

Maxmirプラントは、ミネラル含有量が高く（最大海水まで）、温度が100 以上の場合の水でも使用できる。

電磁石を利用した装置は、実際に運転して高効率であることを確認した。特にTymauzにある鉱業化学コンビナートのプラントで10年間運転し、ボイラーおよび加熱系統でのスケール付着は無かった。その結果、コンビナートの化学水処理機器および脱気器は取り外された。

2002年におけるUMO-25（Maxmirプラントのパイロット版）が、モスクワ州のMytishchiにあるMoniki中央熱供給ステーションの供給パイプラインに設置され、結晶状のスケールが1 / 8 ~ 1 / 10に減少した。装置を3カ月運転し、内部表面のスケールの厚さを計測したところ、3 ~ 5 mm

であったのが1～1.5mmに減少した。カーボンの沈殿は磁界の影響で完全に分解し、薄いカーボン被膜が残され、これがパイプの腐食に対して保護膜となったことは特筆すべきである。

#### 4.3. 火力発電所の配管に付着したスケールを圧縮空気とWAD(詰め物)で除去

サンクト・ペテルブルグにあるTechnoprodservice社は、ボイラーハウス、複合熱併給発電所(CHPP)および原子力発電所の効率を決定する大型、小型熱交換器パイプのスケール除去技術を作り上げ、これらの設備を持つ企業に導入した。

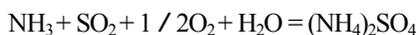
この技術は“速球の原理”を使用している。空気作用で(または直径の太いパイプ中の水の作用で)特殊装置を使用して弾力のある詰め物(wad)をパイプの直線部、曲がり部、T字型部に挿入する。wadがパイプに沿って飛んでいる間に、wadはパイプ内面を除去する。除去品質を高めるため、wadは円錐状の部分に向けて2倍に加圧される。固い付着物の場合、完全に取り除くことはできないが、それほど固くない物質はwadに付着して取り除くことができる。清掃が終わるとwadは汚物と一緒にパックから抽出され、再利用される。

wadは、パイプおよびパイプの内側表面の保護被膜に使用される装置としてFederal Institute of Industrial Property(連邦産業資産協会)に登録している。2005年にサンクト・ペテルブルグのボイラーハウスおよび発電所で試験を行い、次の暖房季節に向けて準備することを勧められた。サンクト・ペテルブルグ以外では、ノブゴロド熱併給発電所および他の発電所で導入された。この技術を利用した設備コストは、高圧施設に適用される圧力の1/45であるため、在来型清掃方法のコストと比較して安い。

## 5. 清掃した排出物の除去および環境影響の軽減

### 5.1. 火力発電所における燃料ガス中に含まれる硫化アンモニアの除去

燃料ガス中に含まれる硫安(ammonia sulfate)を除去する技術および機器は、Russian Heat Engineering Instituteで製作された。この技術および機器は、火力発電所の煙道ガスから有毒ガスである二酸化硫黄SO<sub>2</sub>の効率的除去に使用する予定である。この技術を使用するプラントは、次の3点、すなわちSO<sub>2</sub>の吸収、乾燥廃棄物である硫安の取得、試薬の貯蔵が必要である。例えば、DorogobuzhskayaCHPP(ドロゴブズスク複合熱併給発電所)に設置された実験的クリーニングプラントでは、煙道ガスは対向流吸収剤中に入り、ここで循環している水で洗浄される。その結果、次式により溶液中に硫安が形成される。



硫安ができた後に溶液を濃縮し、硫安を乾燥してパック詰めを行う。濃縮した溶液は販売できる。この場合、プラントのコストは25～30%安く、パッキングした硫安は貯蔵所に置かれる。ガス状または液状アンモニアまたはアンモニア水の試薬は溶液散布を行う。

硫黄除去プラントのコストは、トラップするSO<sub>2</sub>の品質、パラメーターおよび除去するガスの消費量に依存する。硫黄除去に関するプラントには次の利点がある。

- ・ SO<sub>2</sub>の除去効率が高い：99%。
- ・ 窒素の除去効率：30～35%。
- ・ 揮発性灰放出の減少率：25～30まで。
- ・ 吸着装置の設計を簡単化し、除去が困難な沈殿物に対する防護コーティングは無い。
- ・ 試薬の消費を最小とし、化学量論と同量にする。
- ・ 特別な汚泥を捨てることは無い。
- ・ 硫黄を除去した廃棄物、すなわち硫黄は肥料として利用できる。
- ・ 硫黄を除去する保守コストは、一部分または全部を補償可能である。

これらを実施する技術上の問題解決は、冬期を含む試運転期間で終了した。

## 仕 様

硫黄の除去程度	99%まで
除去ガスに含まれるSO <sub>2</sub> 濃度の可能な最小値	50 mg / m <sup>3</sup>
ガス回路の付加的な抵抗	3 kPa
相対的消費出力（等価出力単位当たりの%）	1.5～1.7

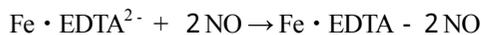
## 5.2. ガス状のNO<sub>x</sub>およびSO<sub>x</sub>燃料からTRILON-Bの水性アルカリ溶液を用いた吸収による沈積物の除去

Krzhizhanovsky Power Engineering Instituteの専門家たちが、煙道ガスに含まれるNO<sub>x</sub>およびSO<sub>2</sub>をFe・EDTA<sup>2-</sup> + 水酸化ナトリウム (NaOH) 溶液中に吸収する新しい技術を開発した。この過程を次式に示す。

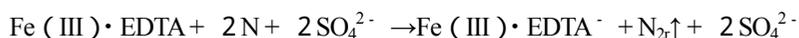
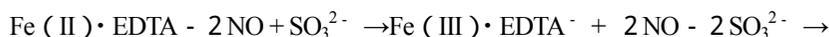
### 1) 吸収溶液の準備



### 2) 煙道ガスからNO<sub>x</sub>およびSO<sub>2</sub>を吸着



### 3) 吸収溶液中のSO<sub>3</sub><sup>2-</sup>イオンによる回収は無い。



### 4) Fe (III) はSO<sub>3</sub><sup>2-</sup>イオンによりFe (II) となる



煙道ガスからNaSO<sub>2</sub>を吸収する反応は殆ど同時に起こる。煙道ガスからNO<sub>x</sub>およびSO<sub>2</sub>を吸収す

る率は、主な試薬、温度、溶液のpHに依存している。

煙道ガス中の $\text{NO}_x$ および $\text{SO}_2$ を除去する方法は、最初、モスクワのNo.23熱併給発電所に設置のガス重油ボイラーに、容量 $5,000\text{m}^3/\text{h}$ の実験プラントを導入した。フローシートによると、ボイラーで発生した煙排出器を通過した煙道ガスは、全開のダンパーでプラントに供給される。その後、ガスは秒速 $50\sim 60\text{m}$ で2段階のベンチュリー管に供給される。圧力が $0.25\sim 0.3\text{MPa}$ の煙道ガスを吸収した溶液は、ノズルを通して放出される。ベンチュリー管を通過した煙道ガスは、秒速 $4\sim 4.5\text{m}$ でスプレーセパレータ（吸収器）に供給される。吸収溶液は逆方向にスプレーされる。スプレーセパレータは落下を大きくし、ガス流から湿度を分離し、液体を循環型貯留器に放出し、他のベンチュリー管に供給する。スプレーセパレータを通過した後、浄化した煙道ガスはガス熱交換器に供給され、ここで $110\sim 120$  に加熱し排気筒に放出する。使用済みの吸収溶液は、石膏を入れたチャンバー（室）に送られる。石膏（ $\text{CaSO}_4$ ）は炉に供給し、 $1,400$  で分解する。排出されるガス中に含まれる三酸化硫黄（ $\text{SO}_3$ ）は、ガス交換器に入り、酸化吸収器にあるベンチュリー管で $\text{SO}_3$ を取り除き無水硫酸となる。酸吸収器を通過した排出ガスは、ファンにより煙道に排出される。

燃料燃焼モード（ガス50%、重油50%）でのボイラー運転時に、煙道ガスからの $\text{NO}_x$ 除去率は $90\sim 92\%$ 、 $\text{SO}_2$ の除去率は $94\sim 96\%$ である。さらに試験結果によると、吸収した溶液の発生は $96\sim 98\%$ の高効率であることを確認した。

煙道ガスから $\text{NO}_x$ および $\text{SO}_2$ を除去する前の煙道ガスの温度は $125\sim 140$  で、液化するガスの体積は $5,000\text{m}^3$ で、初期の窒素酸化物の濃度は $320\sim 340\text{mg}/\text{m}^3$ 、 $\text{SO}_2$ の濃度は $860\sim 880\text{mg}/\text{m}^3$ だった。

この技術は、ロシア連邦の特許として保護されている。この方法は、石炭燃焼ボイラーに設置した湿式灰トラップ（ベンチュリー式脱じん塔）と同様に、ガスおよび重油を使用する火力発電所で成功裏に利用している。

### 5.3. 非触媒回復を使用した火力発電所における燃料ガスのほぼ完全除去

Heat Engineering Instituteで開発された「非触媒回復を使用した火力発電所における燃料ガスの完全除去」技術は、新しく開発され、特許により保護された選択的非触媒回復（SNCR：selective non-catalytic recovery）技術に基づいており、運転中および試運転中のボイラーに利用できる改良された毒性の低い燃焼方式である。この技術ベースは、ロシアアカデミー会員Zaldovichと彼の同僚（ロシア科学アカデミーの傘下にあるInstitute of Chemical Physics）の研究結果、すなわち窒素酸化物生成の急激な反応と、燃料の燃焼中での分解、およびアンモニアと窒素酸化物の相互作用中における元素の運動に基づいている。

炭塵の火炎中で $\text{NO}_x$ が生成するメカニズムは、酸素が不足している条件下での揮発性成分の放出と燃焼が、火炉の効率を向上するのに不十分で、窒素酸化物の放出が減少する。さらに、低酸素領域における燃焼間隔と温度と煙道ガスの滞在時間を最適化する必要がある。従って“燃料”で

ある窒素酸化物の脱窒素作用は、 $\text{NH}_3$ およびその誘導体を含む炭素と石炭の熱分解生成物との反応とともに進むことができる。この概念に基づき、また低有害燃料の燃焼に関係している新しい技術解により、試験を成功裏に実施し、ロシアおよび外国の多くのボイラープラントに導入された。

触媒回復（SCR）と比較した技術によって作られた技術・経済的の主な点は次の通りである。

- ・ 運転の操作性が高い。
- ・ ボイラーハウスに追加の広さは不要である。
- ・ 金属消費量および投資が少ない。
- ・ どのような燃料にも適合する。
- ・ プラントを装備するためのボイラー停止期間が短く、建設に要する仕事量が少ない。

SNCRプラントのフローシートは、次の3つに主要ユニットで作られている。

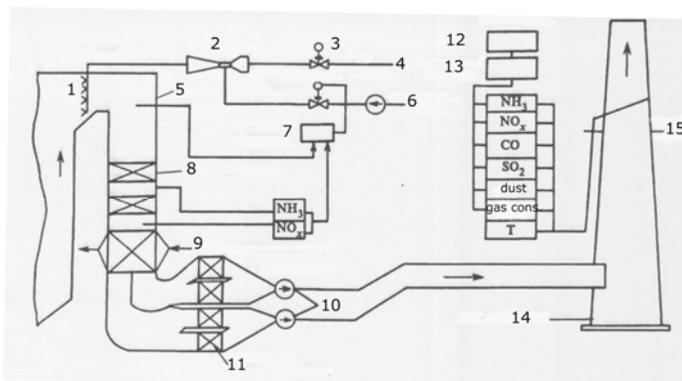
- ・ 試薬は、プラントを少なくとも10日運転するため2～3個の水槽を持つ貯蔵施設が必要。
- ・ 試薬はバッチ式で供給する。
- ・ ボイラーのガス送管中での試薬分布。

第1および第2ユニットは、技術的観点から複雑ではない。試薬配布ユニットの開発のために利用した解決法は設計者のノウハウである。50MWのボイラーについて研究した結果、ボイラーの壁に設置したノズルから蒸気とアンモニアを噴射する方法が最適であることが判った。大型出力のボイラーについては、1,000～1,100 の温度域の中に設置した複数の分配パイプから、アンモニアと蒸気あるいは空気を入れるのが最適の方法である。アンモニアと煙道ガスを十分混合するため、噴出パイプには、ガスの温度と速度で補正した、直径方向と軸方向に開けた多数の孔が必要である。

最初の商業用SNCR（選択的非触媒回復）プラントが、Togliatti熱供給プラントTP-87のボイラーに設置された。アンモニアと蒸気の供給は、蒸気消費量を17 t/hから8 t/hに減少するため、2～8mmの異なる口径で、規則的に傾斜した孔から噴き出すようにしている。

第5図にSNCRプラントに設置されたTP-87のフローチャートと放出制御システムを示した。

(第5図) SNCRプラントに設置されたTP-87のフローチャートと排出制御システム



- 1：分布ノズル、2：ミキサー、3：制御バルブ、4：蒸気、5：ボイラー、6：アンモニア水、7：主制御  
8：エコマイザー、9：空気ヒーター、10：排煙器、11：灰脱塵塔、12：コンピューター、13：データ登録機、  
14：煙道ガス排気筒、15：塵埃、ガス消費の計測制御区域

SNCRプラントの使用により、クズネツク石炭( Kuznetsk coal )の燃焼によるNO<sub>x</sub>排出量を550mg / m<sup>3</sup>に、天然ガスを116mg / m<sup>3</sup>に減少することが可能になった。これはロシアのボイラー基準 - 570および125mg / m<sup>3</sup>に適合している。除去の程度は、それぞれ48%および54%である。

上記の技術を広範囲に適用したので、窒素酸化物放出は、工業化した国が採用している厳しい基準に対する窒素酸化物の放出量まで削減できることが確実に成り、SCRの技術と比較して投資量を数分の一に削減した。

SNCR法を使用した場合、二酸化硫黄がより毒性の強い硫化硬石膏に酸化はしないことは特筆すべきである。SCR技術の場合は二酸化硫黄の約2%が酸化するので、硫黄分の高い燃料を燃焼するボイラープラントに適用するのは難しい。

SNCRプロセスの全自動化により、ボイラーを通常でない運転時に、浄化ガス中のNO<sub>x</sub>濃度を確保できる。

SNCR法による煙道ガスをほぼ完全に除去する複雑な技術は、主にNO<sub>x</sub>の排出が総排出量の64.5%を占めている複数の石炭火力発電所に適用されるであろう。上述の技術(効率が80~85%)への投資額は、窒素酸化物に関する西欧の排出基準に合致しており、6~16ドル/kWを超えることはなく、SCR法の1/8である。重油燃焼の場合、SNCR法の使用が推奨されており、投資額は4ドル/kWを超えることはなく、SCR技術と比較して大幅に安い。投資額が2~12ドル/kWの低毒性燃焼技術を使用した場合、ガスボイラーに関するロシアの放出基準に合致させることが可能で、SCR法に対して1/(5~25)である。

#### 5.4. 蒸気タービンの復水用配管内部のボールによる除去

蒸気タービンの復水器パイプ内面の汚れによるロスは非常に高いので、予防が必要である。Russian Heat Engineering Institute の専門家は多孔性のゴムボールを連続使用する機器を作り上げた。ボールクリーニング機器には小型の冷却水フィルターがあり、100～800MWのタービンを設置した発電所で試験を実施し、パイプのクリーニングに成功した。この技術および機器の特許は、ロシア連邦により保護されている。

ボールクリーニング技術は、復水器の定格真空度を維持するのに役立っており、復水器の寿命を1.2～1.5倍延ばし、腐食プロセスの速さを抑えている。この技術は全自動化されており、環境へのインパクトは無い。

#### 技術仕様

フィルターの水力学的抵抗ファクター	最大2.5
ボールクリーナーの水力学的抵抗ファクター	最大1.0
フィルターの洗浄時間(分)	1～4分
容器の直径(mm)	1,000～2,400
ボールクリーナーの軸長/水管の直径	最大1.3
フィルターの軸長/水冷却管の直径	最大0.9
効率向上の平均値(%)	1～3

## 6. 燃料効率の向上と経済指数の改善に関する方法

### 6.1. 安定な水と重油のエマルジョン(乳濁液)を得るための方法と装置

ロシア技術アカデミー所属の安定性および転換に関する課 (section “Engineering of stability and conversion”) の専門家達は、安定な水すなわち燃料と水の乳濁液(WFOE: water – fuel oil emulsion) および与えられた目的のための散布装置を取得する方法を苦心して開発した。WFOEを得るため、散布装置中にある重油を含んだ最初の水は、キャピテーションの問題を解決する問題があった。その結果、構造物の大きさは6 / 10となったが、機械的混合物の粒子サイズは、40～60μmから6 μmとなった。重油に追加される水の量は、環境、技術的および経済ファクターによって決められる。WFOEにより、少なくとも1年間は高度な安定性が得られる。貯蔵期間の延長後、水の落下の層状構造または増大のような変化は無い。乳濁液は90～95 ℃に加熱後、安定状態を保持するが、粘度はこの温度で大きく減少する。圧力が0.3～0.4MPaおよびそれ以上では、100～110 ℃の高温で安定性を維持している。安定性は、低い温度では影響しない。すなわち氷結したWFOEは解凍後もその構造は変化しない。不燃性の無調整重油からWFOEを作るための散布装置が、成功裏に使用された。この不燃性の無調整重油は、12年間貯蔵され、GOST 10595-99の規格に適合しなかったが、その理由は、軽い炭化水素と水素が揮発し、開放型立方体での発火点が110～180 ℃から上

昇せず、灰の含有量は0.14%から0.3%に増加するからである。

容量3～300 t/hの拡散装置を製造し試験を実施した。装置を最適モードで運転するため、容量は調整できる。拡散装置は回転部分がないので気密性が確実で、信頼性が高く、長寿命で火災に対して安全である。

拡散装置内部にあるWFOEは、ボイラープラントの防護と環境に対する安全性を高めている。合理的なWFOEの燃焼は、重油の燃焼に比べて煙道ガス中の窒素酸化物の濃度を20～40%、灰の濃度を70～80%減少させることが可能である。WFOEは燃料を良く燃やすことができるので、ガス回路に沿って沈着する灰を減少させる。WFOEは、石油製品で汚染された廃水を使用して作ることができる。パワーボイラーでWFOEを燃焼することによって得られたポジティブな結果は、ボイラーハウスや火力発電所で廃棄物を含まない重油を利用する機会を示すことができ、汚染された水を環境に排出しない。

WFOEを使用することにより、燃料を完全に燃焼できることが確実になった。これは、燃焼生成物中の一酸化炭素の濃度を殆どゼロにし、煙道出口の黒い煙を無くした。さらに、信頼性のある自動化と燃焼を低温度で達成した。実験では、全燃料を燃料温度65 で燃焼できた。火炎の長さは設計仕様にある標準の長さより短くなり、炉の後にある壁には火炎がとどかない。火炎の色は赤色（赤色は最初の重油が燃える時の色）から明るい黄色になる。

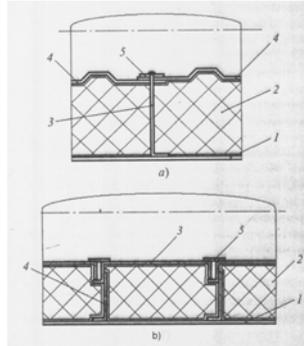
産業界の条件下で水を含んだ重油を燃焼させる場合、提案された方法は割安で、効果的である。重油を使用する中容量ボイラープラントの投資額回収期間は3～4カ月であるのに対し、最大300m<sup>3</sup>/hの燃料を消費する火力発電所の投資額回収期間は、数日である。

## 6.2. ガスタービンプラント(GTP)における排気ラインの近代化

GTP (gas turbine plant) 排気ラインプロジェクトは、2つの相反する問題、すなわち信頼性を高め、コストの減少を解決することのために必要である。ISKRA研究・生産合同 (ISKRA Research & Production Association) の専門家たちは、厚いステンレス鋼で作った外部に付けるケース (outer load-bearing case) を開発し導入した。熱防護のため排気ライン内部に軽いステンレス鋼のプレートでコーティングした。内部コーティングは、温度による変形は最大10mm/mで、この変形は幾つかの部品で構成している。この方法を満足させる主な仕事は、部品の熱による広がりに対応するよう、信頼性のある可撓性の内部防護コーティングを作ることにある。内部防護コーティングを外外部ケースに固定する2個の方法は、ロシア連邦のпатентにより保護されている。

第6図 a) にシート型防護コーティング法を、第6図 b) にボックス型防護コーティング法を示した。

(第6図) 重油の代替として石炭を使用する場合のプラズマ法



#### 第6図 a)の説明

シート型防護コーティングを使用する場合、熱遮蔽マットは「外部ケース1」に溶接している「ピン3」により固定している。「エレメント4」には「ピン3」を通す孔があり、「ピン3」の上に置かれている。「エレメント4」にある「ピン3」を通す孔の上は「ワッシャ5」でカバーしている。ピンとワッシャは、ケースに溶接している。このような設計で、防護コーティングの温度による変形は、ピンが曲がることおよび波形シートにより相殺している。接合部分では、2つのシートはオーバーラップし、第6図 a)に示すようにピンにより固定している。この構造は、大型の排気ラインに最も適した構造である。

#### 第6図 b)の説明

ガス流の断面積が小さい場合、第6図 b)の構造がボックス型配置に内部防護コーティングをするのに適している。この場合、「ボックス3」と「断熱マット2」の2個のエレメントを使用している。ボックスの大きさは500x500mmで、2つの隣り合った側で曲げられている。2個の「プレート支持金具4」と「キャップ5」は、曲げられた端で溶接されている。ボックスの下部には熱遮蔽マットがあり、マットの大きさはボックスの大きさにより決められる。ボックスの片側は、第6図 b)に示すように、「キャップ5」により、事前に設置した「ボックス3」に接続される。ボックスの反対側は2個のサポートにより「ケース1」に溶接される。加熱部分におけるボックスの変形は、ボックスとプレートサポートの変形による「クリアランス：遊び」により相殺している。

ガスタービンプラントEGES-4およびEGES-12Sで排気ラインに薄いステンレス鋼の内部防護コーティングした構造物を使用すると、信頼性が高くなることを示しており、ガスタービンのコストを下げる一助となっている。

### 6.3. 火力発電所で重油および天然ガスの代替としてのプラズマ法による石炭を使用

石炭火力発電所(TPP)で使用する一般炭の品質が悪いと、点火ボイラー(lighting boiler)の重

油および天然ガスの消費量が増加し、液状スラグ（liquid slag：液状のかす）が発生する。重油および天然ガスを低品質石炭に変更することは、ロシアの電力界で最も急務な問題のひとつである。ロシアのRAO “EES”〔英〕（ロシア株式会社「ロシア単一電力系統」）の下にあるプラズマパワー技術センターは、次のプラズマ方法を開発中である。

- 石炭燃焼ボイラーの重油を使用せずに点火。
- 石炭燃焼による火炎のプラズマ制御。
- 重油を使用しない液状スラグ発生抑制。
- プラズマによる一般炭自動ガス化（PAAG：plasma allo-and autothermal coal gasification）。
- 固い燃料の複合プロセス。

重油を使用しない点火ボイラーの利点および熱化学調節に基づく火炎制御の効果は、下記の通りである。

- 火力発電所での重油およびガス消費量の減少。
- プラズマトロンの電力は石炭火力発電所の電力の0.5～2％であるので、効率は1/3～1/4上昇する。
- 重油およびガスを石炭に取り替えることにより、酸素が不足している火炎および燃焼ゾーンでの窒素酸化物の放出を40-50％減少する。その理由は、燃料に含まれる窒素が酸素不足の火炎中で分子状の窒素に変化し、硫化酸素の放出が30～40％になり、五酸化バナジウムの酸化が殆どなくなる。
- 二酸化炭素の減少により燃焼効率を高め、機械的に燃焼してない燃料を減少し、煙道ガス中のカーボン濃度が相当（50～100％）減少する。
- プラント補助装置のない石炭火力プラントの点火。
- AATCGを採用すると広い範囲で無調整の一般炭を使用できるので、パワーユニットの技術的、経済的、および環境の指数を維持できる。

プラズマパワー技術の使用を容易にするため、専門家達は新しいプラズマをベースにした化学プロセスを苦心して作り上げた。この場合、試薬はプラズマ領域を通過し、プロセスの特性を著しく改善する化学転移を起こさせる。全エネルギー消費の中でプラズマの化学的プロセスの割合は、比較的小さい。

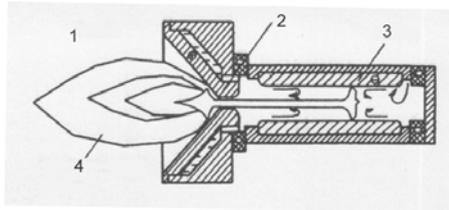
ボイラーのプラズマで点火では、重油は電気アークプラズマトロンによる炭塵点火に取り替えられる。プラズマトロンの仕様を次に示す。

プラズマトロンの出力（kW）	70～320
電圧（ボルト）	250～400
アーク電流（アンペア）	200～800

質量 (kg)	
プラズマトロン	20 ~ 35
電源	450 ~ 500
電極寿命 (時間)	300 ~ 500
火炎温度 (K)	3,000 ~ 5,000

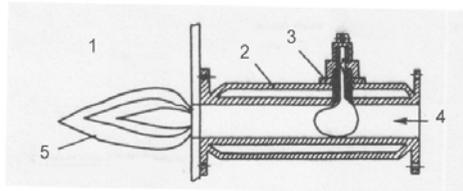
第7図Aに、石炭用に最も効果的なマフル付きプラズマ点火装置 (PID : plasma ignition device) を示した。第7図Bおよび第7図Cに、石炭直線流バーナーおよび静止機器のD.C.プラズマトロンの概念図を示した。

(第7図A) 水冷却で銅の電極をもった石炭燃焼バーナー (ボイラーの改造は無し) に設置した電気アークプラズマ



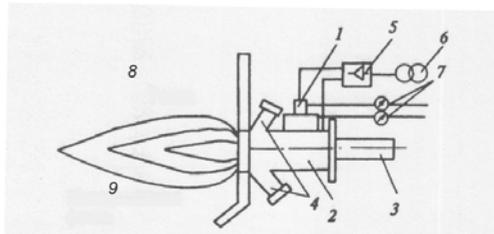
1 : 火炉、2 : 陽極、3 : 陰極、4 : 石炭粉塵火炎

(第7図B) 石炭粉塵装置のプラズマトロンとマフル部分



1 : 火炉、2 : マフル (保護の目的で包む) 3 : プラズマトロン、4 : 空気と混合、5 : 石炭粉塵の火炎

(第7図C) 火力発電所(TPP)のマフルおよびボイラーに設置した電気装置および加熱装置



1 : プラズマトロン、2 : マフル、3 : 石炭粉塵装置、4 : 石炭粉塵バーナーノズル、5 : 電源、6 : 変圧器、7 : 水および空気供給系、8 : 火炉、9 : 石炭粉塵の火炎

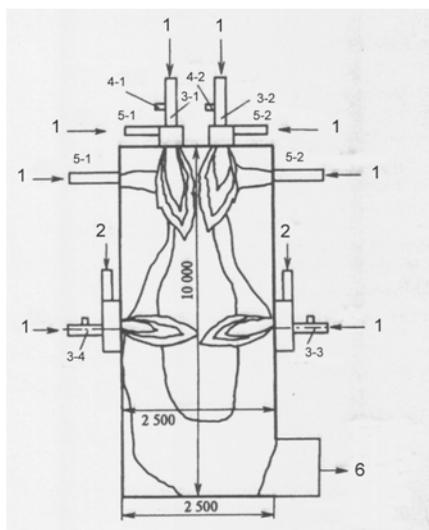
プレスイッチマフルおよびプラズマトロンは自己点火で、火炉内部で二次空気と混合した後、空気混合（石炭粉塵と空気）して強く燃焼させる。現在、PID数は68に達している。近い将来、このようなシステムはロシア、カザフスタン、中国、ブルガリア、セルビアおよび中国の火力発電所に導入されるであろう。例えばPID（plasma ignition device）を設置後、グシノオゼルスク熱併給発電所（CHPP）の年間重油消費量は3万5,786 tから3,967 tに下がった。窒素および硫黄の酸化物、五酸化バナジウムおよび炭素酸化物の総排出量は1万3,000 t減少した。

石炭のプラズマ点火は燃焼用燃料の電気化学的調節に基づいており、反応度が高い2つの成分（火炎ガスとコークス残滓）の中でプラズマにより点火する。プラズマ法は、一般炭（リグナイト（褐炭）、石炭および無煙炭（アンセラサイト））についてテストを実施した。

#### プラズマによる自動ガス化装置(PAAG: plasma allo- and autothermal gasification)

PAAGは、一般の燃料を反応度の高い燃料（火炎ガスおよびコークス残滓）にして、直接、ボイラー火炉に供給しようとするもので、重油点火の問題、石炭火炉の制御、液体スラグ発生 of 制御を解決し、石炭にドロマイトを加えることにより、窒素酸化物と硫黄酸化物が減少する。さらにPAAGは、同じボイラーで技術指数および経済指数を決めることなしに、燃やす石炭品位の範囲を広げられる。第8図にPAAGの概念図を示す。

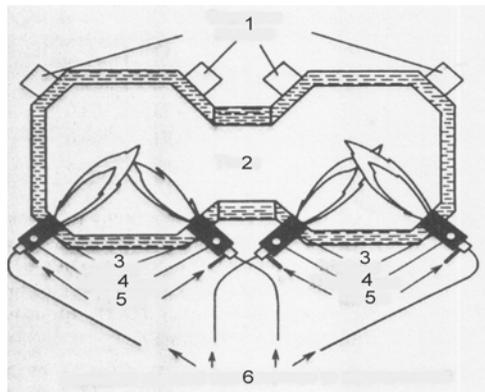
(第8図)産業用プラズマによる自動ガス化装置



1：空気の混合、2：二次空気、3：マフル、4：プラズマトロン、5：バーナー

第9図は、グシノオゼルスク熱供給発電所3号機(高濃度石炭粉塵を使用した蒸気出力640 t / h)のボイラーBKZ-640に4個のPID(プラズマ点火装置)を取り付けた頂部からの断面図を示す。

(第9図)ボイラーBKZ-640のマフルの位置



- 1 : 主バーナー、2 : 火炉、3 : マフル、4 : プラズマトロン、  
5 : 空気、6 : 高濃度の空気と石炭粉塵の混合物供給機

重油を使用しないプラズマ点火方式を使う事による経済効果は、定格容量1 tのボイラー当たり年間300~500ドル節約することができた。特殊な型のボイラー、バーナー、および石炭にプラズマ点火方式を採用するときは、幅広い研究と実験を実施した。前述のプラズマパワー研究所の専門家達も、石炭有機質量が94~96%からの合成ガス(CO+H<sub>2</sub>)を用いた100の石炭プロセスおよび1 MW容量に関するプラズマ蒸気ガス化の設計を行った。同時に、石炭の鉱物質(44~47%)から、工業的にシリコン、珪素鉄、炭化珪素、およびその他の価値のある成分を抽出できる。さらに、天然珪岩と玄武岩を最高200kg/hまで処理するためのプラズマ法とその装置を苦心して仕上げた。