

Piotr Olszowiec

Problemy chłodzenia generatorów wielkiej mocy

Chłodzenie stanowi jeden z podstawowych problemów eksploatacyjnych generatorów wielkiej mocy. Wodór chłodzący wirniki zdecydowanie przewyższa powietrze pod względem zdolności odbierania ciepła (ponad 14 razy) i znacznie niższej lepkości, zapewniając przy tym najmniejsze z wszystkich gazów straty wentylacji. Największą skuteczność chłodzenia uzyskuje się przy najwyższej czystości wodoru: domieszki jakichkolwiek innych gazów czy par, jako cięższych, powiększają wspomniane straty.

Spośród wszystkich zanieczyszczeń wodoru największe zagrożenie stwarza zawartość cząstek wody. Oprócz zwiększenia strat wentylacji obecność wilgoci w generatorze skraca żywotność jego elementów konstrukcyjnych. Para wodna wywołuje korozję prowadzącą do pęknięcia stalowych pierścieni mocujących uzwojenia wirnika. Koszty wymiany tych pierścieni mogą przekroczyć w dużych maszynach 1 mln USD. Zawilgocenie wodoru sprzyja także odkładaniu węglanu ołowianego, który powstaje w złożonych reakcjach z udziałem dwutlenku węgla, ołowiu i kwasów. Związek ten, będący przewodzącym materiałem o porowatej strukturze, pochłania wilgoć, co prowadzi do ewentualnego iskrzenia i wyładowań łukowych, a w konsekwencji do przebicia izolacji uzwojeń.

Głównym źródłem pary wodnej wewnątrz generatora jest olej uszczelniający. Przy nadmiernej zawartości pary wodnej w oleju jej ciśnienie cząstkowe może przewyższyć ciśnienie pary wodnej zawartej w gazie chłodzącym generator. Gdy wodór wydostaje się przez uszczelnienia, para wodna przenika tą drogą do wnętrza maszyny, dążąc do wyrównania ciśnień. Dokładne wyznaczenie zawartości wody w wodorze napotyka istotne trudności. Analizatory czystości wodoru podają jedynie zawartość wodoru w gazie chłodzącym. W praktyce zakłada się, że pozostałym gazem jest powietrze, chociaż występują w nim takie zanieczyszczenia jak dwutlenek węgla, pary oleju i właśnie woda. W celu zapewnienia dokładnego pomiaru przed analizatorem umieszcza się zazwyczaj osuszacz; wówczas pozostały gaz składa się rzeczywiście z powietrza, lecz personel eksploatacyjny nie uzyskuje informacji o rzeczywistym składzie czynnika chłodzącego. Musi on być świadomy, że wysoka czystość wodoru wykazana przez taki analizator nie świadczy bynajmniej o wymaganej suchości chłodzącego medium.

W celu uniknięcia tych zagrożeń i poprawy sprawności wytwarzania mocy elektrownie amerykańskie wyposażają duże generatory w instalacje ciągłego osuszania wodoru oraz układy diagnostyki i monitoringu on-line. Coraz powszechniej stosuje się mikroprocesorowe analizatory składu chemicznego gazów w generatorze, czynne we wszystkich stanach pracy maszyny i wszystkich etapach wymiany gazów. Badanie wodoru cyrkulującego w generatorze służy nie tylko zapewnieniu jego optymalnych własności chłodzących.

Ciągła kontrola zawartości submikronowych cząstek pozwala ujawnić procesy rozkładu materiałów izolacyjnych zachodzące w podwyższonej temperaturze. Strumień wodoru jest przepuszczany przez komorę jonizacyjną, w której cząstki te stają się nośnikami prądu. Natężenie prądu między elektrodami komory świadczy o intensywności zachodzących procesów degradacji izolacji generatora. Przy przekroczeniu progowego prądu w układzie pobudza się alarm, a cząstki zostają zatrzymane w filtrze i skierowane do dalszej analizy chemicznej.

Uzwojenia stojana dużych generatorów są najczęściej chłodzone wodą destylowaną. Do nierzadkich przypadków eksploatacyjnych należy pogorszenie warunków przepływu destylatu przez kanały w prętach uzwojeń wskutek odkładania w nich produktów korozji miedzi. Ustalono, że miedź może ulegać rozpuszczaniu w destylacie, a następnie wydzielać się w postaci tlenków na chłodzonych powierzchniach, powodując przy tym zmniejszenie przekroju przepływu. Ostatnie badania w elektrowniach amerykańskich umożliwiły poznanie natury tych zjawisk oraz opracowanie środków zaradczych i sposobów usuwania powstałych nieprawidłowości. W licznych przypadkach pogorszonego chłodzenia stojana stwierdzono obniżenie przepływu destylatu i wzrost ciśnienia destylatu na wlocie do uzwojeń. Do usuwania nagromadzonych osadów stosowano wsteczne płukanie kanałów gorącą wodą na postoju maszyny. W generatorach elektrowni atomowej SONGS sięgnięto po nowatorską metodę chemicznego oczyszczania o nazwie Cuprolex, która wykorzystuje krążący w obiegu chłodzącym odczynnik kwasu octowego EDTA. Powoduje on rozpuszczanie jedynie tlenków miedzi, natomiast nie reaguje z samą miedzią. W trakcie procesu czyszczenia trwającego 70 godzin z uzwojeń jednego z generatorów usunięto 3,9 kg tych związków. Jednak przy poważnym ograniczeniu przepływu destylatu przez pręty stosowanie tej metody jest utrudnione. W takich przypadkach we wspomnianej elektrowni wykonywano płukanie kanałów niedrożnych prętów roztworem kwasu siarkowego o stężeniu 9%. W ostateczności, gdy osady zatykają kanał przepływu, wykonuje się najpierw czyszczenie mechaniczne, a następnie płukanie kwasem lub chelatem. Na bazie zgromadzonych wyników opracowano zalecenia dla eksploatacji i remontu generatorów. Uznano za celowe wprowadzenie ciągłego pomiaru zawartości jonów miedzi w destylacie oraz śledzenia poziomu rozpuszczonego tlenu. Pomiaru te, obok tradycyjnie wykonywanych analiz chemicznych, pomiarów przewodności i pH, mają dostarczać dokładniejszych informacji o procesach zachodzących w uzwojeniach stojana. Według badaczy amerykańskie generatory zaprojektowano do pracy przy zawartości rozpuszczonego tlenu poniżej 50 części na miliard (ppb) lub powyżej 2 części na milion (ppm). W tych zakresach przechodzenie jonów miedzi do roztworu zachodzi powoli i nie stwarza zagrożeń.

Natomiast w przedziale 200–500 ppb procesy korozji przebiegają stosunkowo szybko i potęgują ryzyko odkładania osadów.

Oprócz wymienionych zaleceń naukowcy proponują także pomiary potencjału elektrochemicznego miedzi oraz różnic ciśnień i temperatur między końcami poszczególnych cewek uzwojeń.

Ponadto ostrzegają oni, że niecałkowite wysuszenie uzwojeń generatora przed jego przeglądem również sprzyja opisanej korozji miedzi.

LITERATURA

[1] Stein J.: Study identifies cooling problems with water-cooled generators. *Power Engineering* 2003, nr 11

Nowe tendencje eksploatacji skraplaczy

Sprawne działanie skraplaczy turbin parowych jest jednym z czynników decydujących o opłacalności produkcji bloku energetycznego. Z tego powodu także w tej grupie urządzeń energetycznych trwają intensywne poszukiwania coraz doskonalszych rozwiązań w zakresie budowy, eksploatacji i konserwacji. Wytwórcy kondensatorów parowych coraz częściej sięgają po stale ze stopów superferytowych i austenitycznych takich jak Sea-Cure i Al.-X6N. Wysoka wytrzymałość i sztywność tych materiałów zapewnia szereg zalet w stosunku do tradycyjnych materiałów konstrukcji rurek. Między innymi zwiększona odporność na drgania umożliwia około 2-krotne zmniejszenie grubości ścianki bez pogorszenia innych wskaźników. Nowe materiały pozwalają także na podniesienie prędkości przepływu wody chłodzącej do ok. 30 m/s, przy czym nie przyspiesza to korozji i erozji. Jediną niedogodnością wynikającą z wprowadzania udoskonalonych materiałów jest obniżenie stabilności i odporności na „kotłosańia” kondensatora spowodowane mniejszą masą. W niektórych elektrowniach wywołało to konieczność obciążenia konstrukcji dodatkowymi elementami. Stosowaniu stali ferrytowych sprzyja wzrost cen innych metali, zwłaszcza niklu.

Odwiecznym i zarazem zasadniczym problemem eksploatacji kondensatorów jest zanieczyszczanie powierzchni rurek, co prowadzi do zmniejszenia wymiany ciepła, a w konsekwencji do obniżenia produkcji bloku. Skuteczne czyszczenie tych powierzchni hamuje erozję i wydłuża żywotność samych rurek skracając wymuszone postoje bloku. W energetyce światowej opanowano technologie skutecznego czyszczenia rurek w odstawnym kondensatorze. Czteroosobowa brygada może oczyścić 5000 rurek w ciągu 10 godzin, co radykalnie poprawia jakość pracy urządzenia. Czyszczenie na postoju pozwala usunąć kilka do kilkudziesięciu ton osadów wapniowych, manganowych i innych, dzięki czemu prędkość przepływu wody chłodzącej wzrasta o 0,1–0,2 m/s, a moc osiągalna bloku o kilka procent. W nowoczesnych elektrowniach parowych powszechnie jest stosowanie instalacji ciągłego czyszczenia pracujących kondensatorów. W pracujących w naszej energetyce układach firmy *Taproge* czyszczące kulki przechodzą przez wszystkie rurki skraplacza; każda z kulek odbywa tę drogę średnio co 5 minut. Jednak nawet taka technologia czyszczenia on-line nie zapewnia wymaganego stopnia usuwania osadów z rurek. Dla osiągnięcia tego celu wspomniana firma proponuje zintegrowane rozwiązanie określone nazwą IN-TA-CT, które zapewnia z jednej strony skuteczną ochronę wszystkich urządzeń układu chłodzenia kondensatorów, a z drugiej chroni wszystkie organizmy żyjące w tej wodzie.

Nowy system nie używa typowych urządzeń jak sita drobnooczkowe (30–60 mm) i sita ruchome, które nie zawsze są skuteczne, a ich konserwacja nastręcza sporo trudności. System IN-TA-CT posiada zwykłe sita grubooczkowe (50–150 mm), za którymi zainstalowano oczyszczaną mechanicznie siatkę o otworach 25–50 mm. Mimo kilkukrotnie większych prześwitów niż w tradycyjnych sitach obrotowych układ obu siatek zapewnia wystarczającą ochronę pomp wody chłodzącej. System ten uzupełniono układem dokładnej filtracji o nazwie MultiDisc o otworach 0,5–10 mm, przez który woda przepływa bez zmiany kierunku. Zatrzymane organizmy żywe są kierowane specjalnym kanałem do miejsca zrzutu wody chłodzącej. Końcowym ogniwo systemu jest samosplukujący się filtr, z którego można usuwać do 50 m³/h zanieczyszczeń zużywając do tego celu jedynie 2–3% przepływającej wody. Modułowa struktura systemu IN-TA-CT ułatwia jego rozbudowę i pozwala na wybór właściwych opcji.

Oprócz utrzymania czystości powierzchni wymiany ciepła i pozostałych urządzeń układu chłodzenia równie ważne jest zapobieganie powstawaniu i wykrywanie nieszczelności w kondensatorach. Kontrola pH i przewodności kationowej sygnalizuje powstanie jedynie większych przecieków, natomiast nie ujawnia niewielkich nieszczelności, które również mogą prowadzić do skracania żywotności, awaryjnych postojów, a nawet uszkodzeń urządzeń. Do rozwiązania tego problemu amerykańska korporacja *Thermo Electron* proponuje użycie elektrod jonowo-selektywnych. Elektrody jonowo-selektywne nie są nowym wynalazkiem: najbardziej znane z nich elektrody pH są stosowane już około 70 lat. Inne typy tych elektrod można wykorzystać do wykrywania obecności sodu i chlorków w kondensacie i wodzie zasilającej. Podczas gdy kontrola przewodności (kationowej) nie pozwala ujawnić niskich stężeń NaCl w kondensacie, elektrody czułe na sól mogą stwierdzić obecność nawet jednego jonu na bilion, co sygnalizuje ewentualną nieszczelność znacznie wcześniej niż odczyt przewodności. Dla wody kotłowej chlorki stanowią szkodliwe zanieczyszczenie. Ich wykrywanie przez pomiar przewodności i pH nie jest skuteczne, gdyż odczynniki chemiczne zwykle maskują ich obecność. Tymczasem elektrody jonowo-selektywne pozwalają na osiągnięcie czułości wykrywania na poziomie 5 ppb.

Dla każdego kondensatora należy indywidualnie dobierać program chemicznego czyszczenia. Tradycyjna eksploatacja kondensatorów zakłada stosunkowo długi odstęp między wystąpieniem szkodliwych warunków i zastosowaniem odpowiednich środków. Układy chemicznego dawkowania muszą zatem uwzględniać szeroki margines regulacji dla kompensacji

niedoskonałości systemów pomiaru i reakcji (dawkowania odczynników). Technologia 3D Trasar firmy *Nalco* stanowi usprawnienie istniejącego sposobu dzięki użyciu znaczników polimerowych i kontroli jakości wody. Nowa metoda umożliwi wykrycie i reakcję na nienormalny stan w czasie rzeczywistym bazując na trzech podstawowych wskaźnikach działania układu chłodzenia kondensatora, tj. wskaźnikach osadzania, korozji i bioaktywności. W szczególności technologia 3D Trasar realizuje monitoring nie tylko bezwzględnych poziomów tych wskaźników, lecz także szybkości ich zmian, co zapewnia czulszą i skuteczniejszą reakcję

układów dawkowania chemikalii na oddziaływanie szkodliwych czynników. Wynalazek firmy *Nalco* wdrożono już w ponad 40-tu amerykańskich elektrowniach uzyskując zachęcające efekty. Między innymi wydłużono czas między remontami skraplaczy, obniżono o 20% koszty chemicznego oczyszczania i o 15% koszty neutralizacji mikroorganizmów, a także zmniejszono o 25% szybkość zachodzenia procesów korozji stali.

LITERATURA

[1] Keeping a Cool Eye on Condenser. *Power Engineering* 2004, nr 5

Doskonalenie ochrony odgromowej w energetyce

Wyładowania atmosferyczne stanowią jedno z najpoważniejszych zagrożeń dla wielu obiektów energetycznych. Uszkodzenia urządzeń i instalacji powstają nie tylko w wyniku bezpośredniego uderzenia pioruna, lecz także wskutek oddziaływania elektromagnetycznego przepływającego prądu wyładowania. Jednym z przykładów obiektów energetycznych szczególnie narażonych na powyższe zagrożenia są elektrownie wiatrowe. Ciągły wzrost ich wymiarów zwiększa narażenie na wyładowania atmosferyczne zwłaszcza na obszarach o dużej liczbie dni burzowych w roku. Specjaliści twierdzą, że dalszy rozwój tego segmentu energetyki odnawialnej będzie możliwy jedynie po wprowadzeniu skutecznej ochrony odgromowej turbogeneratorów wiatrowych. Długość łopat wirników obecnie montowanych turbin znacznie przekracza 30 m, a wysokość ich zabudowy sięga 100 m. Koszt wymiany pojedynczej łopaty wynosi około 100 000 USD. Skalę problemu ilustrują dane zgromadzone w ciągu jednej tylko zimy w Japonii. W ciągu zaledwie kilku miesięcy na farmie Honshu aż 55 turbin wiatrowych doznało uszkodzeń swoich śmigieł wskutek wyładowań atmosferycznych. Ponieważ łopaty wirników są wykonane z nieprzewodzącego materiału, wytwórcy instalują na nich przewody odprowadzające ewentualne ładunki elektryczne. Mimo to dochodzi do uszkodzeń śmigieł w przypadkach, gdy przewody te nie spełnią swej roli w zadowalającym stopniu.

Aby skuteczniej sprowadzić burzowe ładunki elektryczne do ziemi konstruktorzy opracowali całą gamę specjalnych elektrod wywołujących emisję tzw. strimerów (ang. early streamer emitters-ESE). Działanie elektrod ESE opiera się na założeniu, że im szybciej zostanie wygenerowany ładunek strimera, tym większa będzie szansa przyciągnięcia i odprowadzenia nadchodzącego ładunku wyładowania atmosferycznego (tzw. lidera). Niestety w praktyce układy ESE nie zapobiegają niepożądanemu emisji strimerów przez łopaty turbin wiatrowych, wskutek czego właśnie te ostatnie stają się obiektem uderzenia pioruna. W świetle wyników badań amerykańskiego komitetu ochrony odgromowej NFPA wspomniane układy emisji strimerów ESE nie są wcale skuteczniejsze od zwykłych zwodów.

Od ponad 30 lat firma *Lightning Eliminators&Consultants Inc.* prowadzi prace badawczo-wdrożeniowe w dziedzinie układów ochrony odgromowej. Ich efektem jest nowa technologia zapobiegania wyładowaniom atmosferycznym określana jako generator jonowej plazmy (IPG). W warunkach burzowych chmury emitują ku ziemi ujemnie naładowane lidery, które „poszukują” w sposób

ciągły wysyłanych z ziemi ku górze dodatnich strimerów. Przy spotkaniu lidera z takim strimerem (anty-liderem) dochodzi do wyładowania atmosferycznego, które w rezultacie doprowadza do neutralizacji ładunków elektrycznych w obu źródłach. Dotychczasowe próby wykazały, że generatory IPG mogą skutecznie spełniać funkcję emisji wspomnianych strimerów. W odróżnieniu od wąskich i słabych strumieni strimerów emitowanych z tradycyjnych zwodów lub układów ESE nowy generator wytwarza gęstą chmurę dodatnich ładunków. Podczas działania IPG wysyła w górę strumień plazmy na spotkanie ewentualnych liderów. Zostają one zneutralizowane w ciągu ostatnich kilku milisekund ich drogi ku Ziemi. Gęsta chmura plazmy dysponuje znacznie większą siłą przyciągającą ładunki przeciwne od łopat turbin czy zwodów. Zasięg generatora IPG ocenia się na około 100 m. W porównaniu z pojedynczym zwodem o tej samej wysokości nowy układ zapewnia kilkukrotnie większą strefę chronioną.

Inne wynalazki firmy *Lightning Eliminators* pozwalają na wczesne ostrzeżenie przed nadejściem burzy lub tornada. Wszystkie stany burzowe w atmosferze poprzedza wzrost natężenia pola elektrycznego, przy czym wyższe wartości świadczą o większej sile (prądzie) i bliskości ewentualnego wyładowania. Dlatego parametr ten użyto do wykrywania zbliżającego się zagrożenia. Szybkość zmiany tej wielkości pozwala na określenie czasu pozostałego do wyładowania. Dostępne są urządzenia ostrzegania dwóch typów. Czujniki typu FMS okresowo zbierają wyindukowane ładunki na płaskich elektrodach, po czym następuje ich pomiar i ocena wyniku. Urządzenia te są bardzo czułe, lecz ich działanie zakłócają opady deszczu, śniegu lub osadzanie pyłów. Z kolei czujniki wyładowania punktowego (PDS) wywołują ciągły ulot ładunku ze swej punktowej elektrody. Prąd tego ulotu jest wykładniczo zależny od natężenia ziemskiego pola elektrycznego, co umożliwia jego dość dokładny pomiar.

Czujnik ten może także wykrywać zbliżanie się tornada, którym towarzyszą bardzo silne pola elektryczne o pionowej zmiennej polaryzacji. Czujnik typu PDS wykrywa takie wirujące pola dzięki sinusoidalnemu przebiegowi prądu wyładowania z jego elektrody. Sprawdzone możliwości przesądziły, że przedstawione urządzenia wczesnego ostrzegania odgrywają w amerykańskiej energetyce, zwłaszcza wiatrowej, coraz większą rolę.

LITERATURA

[1] Materiały firmy *Lightning Eliminators&Consultants Inc.*

Ograniczanie emisji dwutlenku węgla w elektrowniach

Wykorzystanie węgla jako głównego nośnika energii na świecie pozostaje największym źródłem emisji dwutlenku węgla odpowiedzialnego za tzw. efekt cieplarniany. Perspektywy rosnącego zużycia tego surowca w energetyce zmuszają do poszukiwań skutecznych i ekonomicznie akceptowalnych metod redukcji emisji CO₂.

Proponowane rozwiązania można ogólnie podzielić na trzy grupy:

- wybór optymalnego paliwa,
- wzrost sprawności przetwarzania energii,
- usuwanie dwutlenku węgla z procesów technologicznych.

Zamiana węgla na inny rodzaj paliwa węglowodorowego (zwłaszcza gaz ziemny) lub przejście na energię jądrową bądź odnawialną ma wciąż ograniczony zakres i w większości krajów z trudem toruje sobie drogę. Podnoszenie sprawności procesów energetycznych przynosi wymierne korzyści ekonomiczne, ekologiczne, jednak wymaga wdrażania nowych, kosztownych technologii. Bloki na parametry nad- i ultranadkrytyczne oraz kotły fluidalne pozwalają obecnie na zmniejszenie jednostkowej emisji CO₂ nawet o 20%. Oprócz wymienionych sposobów pojawiły się ponadto realne możliwości wychwytywania (sekwestracji) tego gazu w samych źródłach jego wytwarzania, czyli kotłach energetycznych. Przebadane metody sekwestracji odznaczają się obiecującą sprawnością powyżej 90% , lecz niestety są wciąż zbyt drogie i energochłonne.

Duże nadzieje wiąże się z wprowadzeniem spalania węgla w tlenie, a nie jak dotychczas w powietrzu. Zawartość azotu rzędu 80% w spalinach wylotowych z tradycyjnych kotłów uniemożliwiają na razie – efektywne usuwanie dwutlenku węgla z powodu jego nadmiernego rozrzedzenia. Natomiast spalanie paliw w czystym tlenie powoduje, że w spalinach występuje praktycznie tylko dwutlenek węgla, co znakomicie ułatwia jego wychwytywanie, oczyszczanie i dalsze zagospodarowanie. Niezbędny w tym procesie tlen można czerpać z układów kriogenicznej separacji powietrza, układów separacji gazów na bazie membran lub z chemicznych nośników tlenu. Metody te są nadal testowane przez niektóre koncerny i instytuty energetyczne w USA i Unii Europejskiej. W ramach programu ograniczania emisji gazów cieplarnianych realizowanego przez Departament Energetyki USA opracowano koncepcję bloku opalanego węglem w tlenie o mocy 210 MW. Obecnie koncern *Alstom* wznosi pilotową instalację kotła fluidalnego na bazie różnych gatunków węgla i koksu naftowego spalanych w atmosferze zawierającej do 70% tlenu.

Następnym etapem ma być budowa bloku na skalę przemysłową. Wytwarzany w nim dwutlenek węgla będzie kierowany do wyłaczania ropy naftowej ze złóż, co przyczyni się do ich efektywniejszej eksploatacji. W przyszłych przemysłowych instalacjach spalania paliw w tlenie zostanie prawdopodobnie zastosowana metoda wytwarzania tlenu z użyciem chemicznego nośnika jako najbardziej efektywna ekonomicznie. Sposób ten polega na pośrednim spalaniu węgla z wykorzystaniem nośnika

tlenu, np. siarczanu wapnia, w wyniku czego powstaje para wodna i dwutlenek węgla. Rozdzielenie tych związków następuje po skropleniu pary wodnej.

Usuwanie CO₂ ze strumienia spalin wylotowych z kotła lub turbiny gazowej obejmuje kilka sposobów, takich jak użycie różnych aminów do przemywania gazów, zestalanie dwutlenku węgla lub obrotowy eliminator przypominający regeneracyjny podgrzewacz powietrza. Pierwsza z technologii jest sprawdzonym w praktyce przemysłowej procesem absorpcji z użyciem mono-etanolaminy. Wadą jej jest jednak nadmierna energochłonność przekraczająca 30% generowanej mocy bloku. Metoda zestalania dwutlenku węgla pozwala na jego wychwytywanie ze strumienia spalin przez ich kriogeniczne oziębianie za pomocą ciekłego CO₂. Proces ten opracowano we Francji z udziałem koncernu *Alstom*. Natomiast obrotowy eliminator CO₂ za pomocą stałego sorbentu to oryginalna technologia testowana wspólnie przez koncerny *Toshiba i Alstom*. Sposób ten odznacza się niższymi nakładami, jednak nie zapewnia skuteczności wiązania dwutlenku węgla wyższej od 60%.

W odróżnieniu od ostatniej grupy metod, które służą do usuwania dwutlenku węgla z produktów spalania paliw węglowodorowych, wdrażane są także technologie określane jako „dekarbonizacja” polegające na wiązaniu węgla w trakcie procesów chemicznych. Należą do nich zintegrowane cykle zgazowania (znane pod skrótową nazwą IGCC), cykle regeneracji węglanów i cykle chemicznego zgazowania. Technologia IGCC to coraz powszechniej stosowany proces zgazowania węgla i innych paliw w obecności powietrza i pary wodnej. Produktem tej reakcji jest tzw. syngaz (składający się głównie z tlenku węgla i wodoru), który wykorzystuje się zarówno w energetyce jak i innych gałęziach gospodarki, zwłaszcza w petrochemii. Cykl regeneracji węglanów polega na użyciu sorbentu (np. wapna) do wiązania CO₂ w postaci węglanu wapnia. Następnie węglan ten zostaje rozłożony w odpowiednich piecach na tlenek wapnia i dwutlenek węgla. Pierwszy z tych związków jest ponownie wykorzystany w pierwszej fazie procesu, zaś drugi jest kierowany do dalszego zagospodarowania. Wreszcie cykle chemicznego zgazowania obejmują procesy wchodzące w skład obu wspomnianych technologii. Zgazowanie paliwa dostarcza gazu syntezowego, przy czym zawarty w nim tlenek węgla jest utleniany do dwutlenku podlegającemu sekwestracji. Tlen do zgazowania jest dostarczany przez ciągle regenerowany jego nośnik. Z kolei drugi nośnik chemiczny na przemian wiąże i uwalnia CO₂. Obie technologie również są przedmiotem badań koncernu *Alstom*.

LITERATURA

- [1] Pfeffer A.: Capturing carbon. *Power Engineering International* 2004, nr 5

