

Warszawa, 26 września 1936 r.

URZĄD PATENTOWY



F01k 1/12

RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

OPIS PATENTOWY

Nr 23452.

Kl. 14 h, 1/12.

Siemens-Schuckertwerke Aktiengesellschaft
(Berlin-Siemensstadt, Niemcy).

Sposób pokrywania wahań obciążenia w siłowniach parowych.

Zgłoszono 26 września 1933 r.

Udzielono 6 lipca 1936 r.

Pierwszeństwo: 30 września 1932 r. (Niemcy).

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że sprawność termodynamiczna η turbiny parowej jest zależna od tak zwanego „współczynnika objętościowego” ξ :

$$\eta = \eta_0 - b \cdot \xi \quad (1)$$

W równaniu tem η_0 oznacza termodynamiczną sprawność turbiny parowej o nieskończonej wielkiej ciężarze D kg/sek przepływającej w jednostce czasu pary.

Współczynnik objętościowy jest określony równaniem:

$$\xi = \frac{p_1 - p_2}{D \cdot H_0} \quad (2)$$

gdzie p_1 oznacza ciśnienie początkowe, p_2 — ciśnienie końcowe, H_0 — adyabatyczny spadek ciepła, D — waga przepływającej w jednostce czasu pary, mierzona w kg/sek.

W przypadku rozprężenia się pary aż do osiągnięcia próżni ciśnienie końcowe p_2 jest niewspółmiernie małe w stosunku do p_1 , tak iż równanie (2) w uproszczonej postaci przybiera postać następującą:

$$\xi = \frac{p_1}{D \cdot H_0} \quad (3)$$

A zatem

$$\eta = \eta_0 - b \cdot \frac{p_1}{D \cdot H_0} \quad (4)$$

Współczynnik b nie jest wprawdzie stały, jednakże zmienia się w zależności od ξ w tak niewielkich granicach, że praktycznie może być przyjęty jako stały.

Z równania (4) wynika, że sprawność turbiny zależy od trzech wielkości, a mianowicie od ciśnienia początkowego p_1 , ciężaru przepływającej w jednostce czasu pary i od adyabatycznego spadku ciepła lub też, jeżeli porównywa się dwie turbiny o jednakowym spadku ciepła, to sprawność będzie od ciśnienia początkowego p_1 i od ciężaru przepływającej pary na jednostkę czasu.

Podane poniżej teoretyczne rozważania oparte są na założeniu, że wszystkie zjawiska odbywają się w obszarze pary przegrzanej, gdzie para zachowuje się jako gaz idealny. W rzeczywistości proces sięga również do obszaru pary nasyconej. Uwzględnienie występujących przytem czynników doprowadziłoby do bardzo zawiłych form matematycznych, a zresztą byłoby zbyt trudne, gdyż wynik jakościowy pozostałby bez zmian, uwzględnienie bowiem nasycenia pary mogłoby zmienić tylko ilościowe wyniki.

Ogólne równanie pary jest następujące:

$$p \cdot v = R \cdot T \quad (5)$$

gdzie v oznacza objętość właściwą w m^3/kg , R — stałą gazową i T — temperaturę bezwzględną.

Podstawiając $\frac{V}{D}$ zamiast v , gdzie V jest ilością pary w m^3/sek , zamiast równania (5) otrzymuje się

$$p \cdot V = D \cdot R \cdot T \quad (6)$$

a przy $T = \text{const.}$

$$p \cdot V = \text{const} \cdot D \quad (7)$$

wstawiając tę wartość do równania (3) otrzymuje się

$$\xi = \frac{\text{const}}{V \cdot H_0} \quad (8)$$

a przy stałym spadku ciepła

$$\xi = \frac{\text{const}}{V} \quad (9)$$

oraz

$$\eta = \eta_0 - \frac{b \cdot \text{const}}{V} \quad (10)$$

Z równania (10) wynika, że sprawność turbiny przy stałej temperaturze wlotowej i stałym spadku ciepła jest funkcją tylko ilości pary na sekundę $V \text{ m}^3/\text{sek}$.

Normalne siłownie, złożone z kotłów i turbiny, są pędzone w ten sposób, że utrzymuje się praktycznie stałe ciśnienie i stałą temperaturę pary, a więc i stały spadek ciepła przy wszelkich obciążeniach. Zmiany obciążenia przy idealnej w założeniu regulacji pary na wlocie mogą być wyrównywane tylko przez zmianę ilości pary V na sekundę, a tem samem i sprawność termodynamiczna turbiny zmieniać się będzie wówczas wraz z obciążeniem, jak wynika z równania (10).

W odróżnieniu od znanego sposobu pokrywania wahań obciążenia w siłowniach parowych sposób według wynalazku polega na tem, że ciśnienie pary i jej objętość właściwa jest regulowana w zależności od wahań obciążenia turbiny parowej, tak że objętość przepływającej na sekundę pary pozostaje zasadniczo stała. Przy takim sposobie pokrywania obciążeń, kiedy ilość przepływającej w jednostce czasu pary jest wielkością stałą, otrzymuje się zamiast równań (9) i (10) dwa dalsze równania:

$$\xi - \frac{\text{const}}{V_{\text{const}}} = \text{const} \quad (11)$$

$$\eta = \eta_0 - \frac{b \cdot \text{const}}{\text{const}} = \text{const.} \quad (12)$$

Sposób według wynalazku polega więc na tem, że zapomocą specjalnej regulacji kotłów utrzymuje się „współczynnik objętościowy” turbiny na zasadniczo stałym poziomie przy wszelkich obciążeniach, wobec czego turbina pracuje przy wszelkich obciążeniach z zasadniczo stałą sprawnością termodynamiczną.

W jaki sposób powinno zmieniać się ciśnienie pary przy zmianach obciążenia turbiny, w celu osiągnięcia stałej objętości przepływającej w jednostce czasu pary, wynika z rozważań następujących.

$$\text{Według równania (6)} \quad D = \frac{V \cdot p}{R \cdot T}$$

Niech np. praca turbiny odbywa się przy stałej temperaturze; zakładając więc, że w tem równaniu wartości V , R i T są stałe, otrzymuje się równanie

$$D = \text{const} \cdot p \quad (13)$$

Ze wzoru na moc turbiny

$$L = D \cdot \eta \cdot H_0 \quad (14)$$

wynika

$$D = \frac{L}{\eta \cdot H_0} \quad (15)$$

We wzorach tych D oznacza ciężar pary w kg/sek, L — moc maszyny, H_0 — adyabatyczny spadek ciepła i η — współczynnik sprawności termodynamicznej.

Wstawiając równanie (13) do równania (15) otrzymuje się przy uwzględnieniu równania (12)

$$p = \text{const} \cdot L \quad (16)$$

Z równania tego wynika, że przy stałej temperaturze ciśnienie pary powinno być zmieniane wprost proporcjonalnie do wahań obciążenia turbiny, aby objętość pary V , przepływającej w jednostce czasu, pozostała stała.

O ile jednak nie utrzymuje się stałej temperatury pary, to z równań (6) i (15) można łatwo obliczyć zmiany ciśnienia pary jakie są konieczne przy zmianach ob-

ciążenia turbiny, ażeby zapewnić stałość objętości pary na sekundę.

Sposób pokrywania wahań obciążenia według wynalazku ma doniosłe znaczenie w gospodarce siłowni, gdyż o ile dotychczas we wszystkich znanych urządzeniach najkorzystniejsze zużycie pary w turbinie było możliwe tylko w bardzo ciasnych granicach obciążenia, a w obie strony od tego zakresu konieczne było znaczne podwyższanie zużycia pary, to przy pracy turbiny sposobem według wynalazku krzywa sprawności jest linią prostą, tak iż zarówno przy obciążeniach małych, jak i przy przeciążeniach jednostkowe zużycie pary jest jednakowo korzystne.

Sposób pracy turbiny według wynalazku wymaga również zastosowania innej regulacji, odmiennej od dotychczas stosowanych.

Zakłada się, że turbina jest obliczona tak, iż przy 35 at i 450°C pracuje z najlepszą próżnią i najlepszą sprawnością ogólną, a wówczas przy określonym ciężarze pary posiada określoną moc. Niech teraz obciążenie wzrośnie gwałtownie, np. czterokrotnie. Takie szczytowe obciążenie może być pokryte tylko wtedy, jeżeli kocioł może dostarczyć znaczną ilość energii w postaci pary. Jeżeli przy stosowaniu sposobu według wynalazku ciśnienie w kotle wzrośnie do 160 at, a temperatura pozostaje ta sama, t. j. 450°C, wówczas właściwa objętość pary zmniejsza się z 0,095 m³/kg na 0,018 m³/kg; oznacza to jednak, że ilość pary, przepływająca przez ten kocioł, wzrosła pięciokrotnie, jednakże szybkość pary w kotle i w turbinie, z jednym tylko wyjątkiem, o którym będzie mowa niżej, wzrasta stosunkowo nieznacznie. Zakłada się oczywiście, że ilość ciepła, odpowiadająca zwiększonej ilości pary, może być wytworzona w palenisku i przekazana układowi kotłów. Jest to jednak zabieg łatwy do opanowania. A zatem dostosowanie ciśnienia i objętości właściwej pary

do obciążenia turbiny sprowadza się do tego, że dzięki malejącej objętości właściwej pary, w miarę wzrostu ciśnienia, przez turbinę przepływa tem większy ciężar pary, im większe jest ciśnienie w kotle. Stąd powstaje jednak warunek, wymagający zastosowania nowego sposobu regulacji przyłączonej do kotła turbiny, polegający na tem, że regulator turbiny, jeżeli turbina jest zaopatrzona w taki regulator, ma za zadanie tylko wyrównywanie wahań mocy turbiny, nie wyrównywanych zapomocą kotła. Sporządzając wykres obciążenia w zależności od czasu jako prostą wznoszącą się i zaznaczając schematycznie położenia narządu regulacyjnego, otrzymuje się przy różnych obciążeniach stały prześwit zaworu w całym zakresie obciążenia, w przeciwieństwie do wykresów znanych sposobów regulacji. O ile więc według znanych sposobów dopływ czynnika roboczego do turbiny jest określony położeniem zaworu wlotowego, to przy pracy turbiny sposobem według wynalazku położenie zaworu niema żadnego znaczenia lub najwyżej ma bardzo mały wpływ na dopływ czynnika roboczego i służy do wyrównywania małych wahań mocy, które wskutek bezwładności układu kotłów nie mogą być zrównoważone przez same kotły. Narząd regulacyjny więc jakgdyby waha się dokoła pewnego położenia średniego o niewielkie wartości, nie opanowując, jak dotychczas, całego zakresu obciążeń.

Wykres, uwidoczniiony na rysunku, przedstawia przebieg obciążenia podczas pracy zespołu, który w wielu przypadkach okazał się szczególnie korzystny, a mianowicie przy zastosowaniu sposobu według wynalazku tylko powyżej określonego obciążenia zasadniczego, zaznaczonego na wykresie poziomą prostą G. Kocioł i silnik są tak obliczone, że przy tem obciążeniu zasadniczem posiadają najlepszą sprawność. Zwłaszcza przy ustalaniu danych trzeba mieć na względzie, aby dla stanu

pary, ustalonego dla obciążenia zasadniczego, wilgotność w ostatnim stopniu turbiny nie przekroczyła dopuszczalnej wartości, o ile nie jest stosowane przegrzewanie pośrednie. Zdolność przepustową turbiny przy takim stanie pary wlotowej należy tak obliczyć, aby zawory wlotowe przy sterowaniu zapomocą dysz albo zawór dławiący nie były jeszcze całkowicie otwarte, by mogły skutecznie wyrównywanie małych wzrostów obciążenia. Jeżeli wówczas obciążenie turbiny spadnie poniżej obciążenia zasadniczego, wówczas kocioł pracuje nadal tak, że stan pary zachowuje wartości obciążenia zasadniczego, przyczem oczywiście zmniejsza się odpowiednio dopływ wody i ciepła, natomiast turbina jest regulowana w zwykły sposób zapomocą swych narządów regulacyjnych. Te zakresy regulacji są zaznaczone na wykresie, przedstawionym na rysunku zapomocą kreskowania w kratkę.

Regulacja siłowni może być przedsięwzięta według różnych zasad. Jeżeli w regulowanej turbinie chodzi np. o automatycznie pracujący zespół albo zespół o stałej częstotliwości, wówczas pierwotny impuls regulacyjny może być pobierany od liczby obrotów silnika albo od częstotliwości prądu elektrycznego. Jednakże impuls liczby obrotów lub częstotliwości działa w wielu przypadkach za późno lub niedokładnie. Wówczas pożądane jest impuls regulacyjny pobierać z wytworzonej energii maszyny elektrycznej względnie od innej wartości obciążenia. Wskutek takiej regulacji oraz ze względu na okoliczność, jak już wspomniano wyżej, że objętość właściwa pary zmienia się bardzo znacznie, szybkość pary w parowej części kotła, przegrzewaczu, przewodach i w turbinie pozostaje w przybliżeniu stała, natomiast szybkość wody w kotle i szybkość pary w skraplaczu wzrasta, poza tem wzrasta również, jak już zaznaczono, szybkość pary w ostatnich stopniach turbiny.

Poniżej są opisane dwa sposoby regulacji, które są szczególnie korzystne. Już nadmieniono, że zawór regulacyjny turbiny ma za zadanie wyrównywanie małych wahań obciążenia, które nie zostają wyrównane natychmiast zapomocą kotła. Zawór regulacyjny nie jest więc normalnie całkowicie otwarty, lecz dopuszcza niewielkie zwiększenie prześwitu wlotowego turbiny. Wskutek tego przed zaworem ustala się normalnie większe ciśnienie, niż za zaworem. Takie zwiększone ciśnienie przed zaworem przedstawia pewien zapas energii, tak iż, w razie zjawienia się impulsu dodatkowego obciążenia, otwarcie zaworu regulacyjnego zapewnia przez krótki czas zwiększony dopływ energii. Oczywiście, nie wystarcza to do całkowitego pokrycia zwiększonej mocy, wobec czego w tym celu stosuje się impuls mocy, zależny bezpośrednio od zmiany obciążenia, np. impuls pobrany z przyrządu mierzącego mocy prądnicy, działający na paliwo, powietrze lub wodę. Czy zmienia się jednocześnie dopływ powietrza, czy też regulacja powietrza w palenisku działa jako regulacja wtórna, np. w zależności od temperatury pary lub przyrządu mierzącego na CO_2 , zależy to od warunków pracy kotła. Działanie regulacji paleniska zależy od pojemności cieplnej kotła, a mianowicie pojemność cieplna, przy wzrastającym obciążeniu, działa opóźniająco, bowiem i części konstrukcyjne kotła muszą być również ogrzane do wyższej temperatury. Wpływ ten można jednak wyrównać, jeżeli dopływ ciepła ustali się w nadmiarze, t. j. jeżeli doprowadza się więcej paliwa i powietrza, niż to jest konieczne dla danego stanu, odpowiadającego zwiększonemu ciśnieniu. Dopływ ciepła, większy niż potrzebuje tego dany stan ustalony, ujawnia się po osiągnięciu tego stanu, jako wzrost temperatury pary. Temperatura pary może być obniżona do swej wymaganej wartości znowu w ten sposób,

że się oddziaływa impulsem temperatury na przebieg dopływu paliwa i powietrza. Do sposobu pokrywania wahań obciążenia należy również dostosowywanie ciśnienia do nowego stanu ustalonego. Gdyby było możliwe osiągnięcie warunków idealnych, to każdemu obciążeniu turbiny odpowiadałoby odpowiednie ciśnienie w kotle. Praktycznie jednak jest niemożliwe stworzenie zupełnej zgodności obciążenia z ciśnieniem w kotle. Mając jednak regulator ciśnienia, którego pożądana wartość jest wyregulowana w zależności od obciążenia, można z takim regulatorem korekcyjnym wyregulować wartość ciśnienia odpowiednio do obciążenia w razie pojawienia się odchyżeń. Regulator ciśnienia może przytem oddziaływać na dopływ wody, natomiast wywołane przez to wahania temperatury zostają wyrównane zapomocą wspomnianego już wyżej regulatora temperatury. W każdym razie można byłoby zastosować regulator ciśnienia, który oddziaływałby jednocześnie na dopływ wody.

Jeżeli istnieją trudności pobierania z regulatora mocy impulsów regulacyjnych, oddziaływających na paliwo, wodę i powietrze, można postępować również w ten sposób, że całą regulację przerzuca się na regulator ciśnienia, a w zależności od mocy nastawia się tylko pożądaną wartość regulatora ciśnienia, impulsy regulatora zaś oddziaływają wprost na wodę, paliwo i powietrze. Aby uniknąć bezpośredniego oddziaływania regulacji kotła przy nieznacznych wahanach ciśnienia, t. j. wahanach, które mogłyby być wyrównane już same przez się przez wspomnianą rezerwę ciśnienia, bądź też wahanach, które trwają tylko krótko, wskazane jest stosować regulator, np. regulator mocy lub regulator ciśnienia, nieczynny wewnątrz określonego zakresu wahań, nadając mu np. w pewnym zakresie jałowy ruch, tak aby tyl-

ko wahania mocy, przekraczające określoną wartość, mogły wywołać regulację.

Jak wyjaśniono wyżej, przed narządem regulacyjnym ustala się normalnie wyższe ciśnienie aniżeli za nim, dopóki ze stanu ustalonego nie zostanie całkowicie otwarty ten narząd. Taka różnica ciśnień pozostaje przy wszystkich obciążeniach w przybliżeniu stała, jeżeli założyć, że temperatura pary jest utrzymywana na stałym poziomie zapomocą osobnego regulatora temperatury. Jeżeli obciążenie turbiny wzrasta, to zawór otwiera się więcej i różnica ciśnień maleje. Tę zmianę różnicy ciśnień można wyzyskać jako impuls regulacyjny do regulacji wody zasilającej, paliwa i powietrza spalania. Różnica ciśnień może być pobierana przed lub za tarczą zaporową, umieszczoną w przewodzie parowym. W tym przypadku różnica ciśnień wzrasta, gdy wzrasta obciążenie turbiny. Działanie impulsu jest jednak takie samo, jak w przypadku pobierania różnicy ciśnień w narządzie regulacyjnym turbiny.

Turbiny wytwarzające energję muszą być normalnie wykonane jako maszyny kondensacyjne. Biorąc pod uwagę wymieniony wyżej przykład, według którego moc turbiny powinna wzrosnąć czterokrotnie, a potrzebna ilość pary wobec nieuniknionych strat powinna wzrosnąć pięciokrotnie, wynika, że budowa skraplacza przedstawia pewną trudność, ponieważ musi on pracować przy zmieniających się znacznie ilościach pary. Dostosowanie skraplacza do najwyższego możliwego obciążenia silnika byłoby nieekonomiczne, gdyż wówczas pełne wyzyskanie skraplacza miałoby miejsce zaledwie podczas niewielu godzin ruchu dziennie. Wobec tego wskazane jest obliczyć skraplacz nie na najwyższe obciążenie, lecz na obciążenie najdogodniejsze w ten sposób, aby przy tem najkorzystniejszym obciążeniu skraplacz był obliczony z nadmiarem dla wolnego przepływu wody chłodzącej, wy-

kazując bardzo dużą próżnię. Przy szczytowych obciążeniach można przez zwiększenie szybkości wody chłodzącej zwiększyć szybkość pobierania ciepła z pary, dostosowując przebieg skraplania do zwiększonych ilości pary. Jednak takie zwiększenie szybkości wody nie wystarcza do przywrócenia tych samych warunków skraplania, co i przy obciążeniu najkorzystniejszym. Jednak w stosunku do turbiny jest to pożądane, gdyż wskutek wzrostu ciśnienia w skraplaczu objętość właściwa pary w ostatnich stopniach turbiny zmniejsza się, wydzielanie się skroplin zostaje utrudnione oraz zmniejszają się straty wylotowe, wobec czego pogorszenie sprawności przebiegu skraplania zostaje w znacznej mierze wynagrodzone zmniejszeniem strat wylotowych. Przy wzroście ilości pary powstają również straty ciśnienia w kotle parowym, lecz okoliczność ta nie ma praktycznego znaczenia, istnieje bowiem dostateczna rezerwa ciśnienia, dzięki której strata w przewodzie może być wyrównana przez zwiększenie ciśnienia wlotu ponad ciśnienie użytkowe. Regulacja pompy tłokowej nie nastręcza żadnych trudności. Pompy wirowe powinny być odpowiednio obliczone, co jest jednak łatwe, i wówczas wystarczy tylko zmiana liczby obrotów, w celu osiągnięcia pożądanych wartości wydatku.

W siłowniach według wynalazku przepuszcza się przez turbinę zmienne ciężary pary o zmiennej objętości właściwej, która to okoliczność powoduje powstawanie jeszcze innych zagadnień w odniesieniu do konstrukcji oraz działania turbin. Jak wiadomo, w turbinach o największej mocy ostatnie stopnie łopatek turbiny nastręczą znaczne trudności konstrukcyjne, gdyż przepuszczanie dużych ciężarów pary na sekundę przez łopatki wymaga nadania tym łopatom znacznej długości. Jak już nadmieniono wyżej, byłoby zupełnie nieekonomicznie konstruować turbiny w tym

przypadku na najwyższe możliwe obciążenie. Najdogodniejsze obciążenie, na które turbina powinna być obliczona, wymaga tylko takiej ilości pary, która wynosi za ledwie ułamek największej ilości pary. W ostatnich stopniach turbiny musi więc być uzyskana pewna zależność, polegająca na tem, że cała największa ilość pary zostaje przepuszczona przez prześwity łopatek, jednak strata wylotowa nie jest tak duża, aby otrzymana praca turbiny była zupełnie nieekonomiczna. Trudności stąd wynikające można złagodzić przedewszystkiem dwoma sposobami, a mianowicie, albo zapomocą tak zwanego sposobu regeneracyjnego, według którego z turbiny odgałęzia się pewną ilość pary, którą wyzyskuje się do podgrzewania wody zasilającej, odciążając w ten sposób ostatnie stopnie turbiny, lub też, co właśnie jest najkorzystniejsze przy stosowaniu sposobu według wynalazku, przez zastosowanie turbiny pomocniczej, potrzebnej do napędu maszyn pomocniczych, przyłączonej do odpowiedniego stopnia turbiny głównej. Turbiny pomocnicze są potrzebne przede wszystkim do napędu zasilającej pompy obiegowej kotła, pompy do skroplin, pompy wody chłodzącej do skraplacza, urządzenia do przenoszenia paliwa i wentylatorów do wytwarzania podwiewu w palenisku i ciągu ssącego. W celu uproszczenia urządzenia należy mieć na względzie, aby te pomocnicze maszyny były w miarę możliwości napędzane wspólnym silnikiem, wobec czego stosuje się znane turbiny pomocnicze. Czy wówczas stosuje się mechaniczne sprzęgnięcie turbiny pomocniczej z turbiną główną lub też, ze względu na miejsce, turbinę pomocniczą sprzęga się z prądnicą pomocniczą, a maszyny pomocnicze napędza się elektrycznie, albo też stosuje się napęd mieszany, polegający na tem, że pewną część maszyn pomocniczych sprzęga się bezpośrednio z turbiną pomocniczą, a drugą część za pośrednictwem

prądnicy napędza się elektrycznie, należy rozstrzygnąć w każdym poszczególnym przypadku oddzielnie, obierając najodpowiedniejsze rozwiązanie. W każdym razie należy uważać jako najkorzystniejsze ostatnie rozwiązanie. Z właściwości sposobu według wynalazku wynika, że napędy pomocnicze powinny również pracować ze zmienną charakterystyką. Dla uproszczenia zakłada się najpierw, że między wahaniami odciążenia turbiny i pracą napędów pomocniczych istnieje zależność linjowa, to znaczy, że wzrostowi mocy turbiny o określony procent odpowiada dokładnie taki sam wzrost mocy napędów pomocniczych. Jeżeli turbinę pomocniczą włączyć do danego stopnia turbiny głównej, wówczas w miejscu pobierania pary, w myśl znanych zasad doświadczalnych, ciśnienie wlotowe turbiny pomocniczej zmienia się równocześnie z ciśnieniem w turbinie głównej. Im więcej więc jest obciążona turbina główna, tem większe staje się ciśnienie w miejscu pobierania, tem większe staje się ciśnienie wlotowe turbiny pomocniczej i tem większa jest wydawana przez nią moc, a zatem ustala się do pewnego stopnia automatycznie linjowa zależność napędu pomocniczego od turbiny głównej. W elektrycznych napędach zachodzi okoliczność następująca: jeżeli turbina pomocnicza napędza prądnicę, która nie jest wyregulowana na stałe napięcie przez oddziaływanie na wzbudzanie, to praktycznie napięcie na prądnicy zmienia się linjowo w funkcji liczby obrotów. W tym samym jednak stosunku zmienia się również częstotliwość. Otóż moc silnika elektrycznego jest zależna od prądu w wirniku i natężenia pola magnetycznego. Jednak pole magnetyczne pozostaje praktycznie stałe, ponieważ liczba obrotów i częstotliwość zmieniają się praktycznie w jednakowym stopniu, a ponieważ moment jest stały, więc i prąd w wirniku pozostaje stały. A zatem silniki, przyłączone do prądnicy, pracują prak-

tycznie przy stałym natężeniu prądu, ale zmiennem napięciu i zmiennej liczbie obrotów. W ten sposób otrzymuje się funkcjonalnie zupełną zgodność z ruchem siłowni. Należy jednakże uwzględnić w każdym razie, że linjowa zależność napędów pomocniczych od obciążenia turbiny głównej zachodzi nie we wszystkich przypadkach. W takich maszynach pomocniczych potrzebna jest regulacja dodatkowa, a więc np. elektryczne silniki wykonywa się jako silniki regulacyjne lub też, w celu wprowadzenia poprawek, do przewodu parowego włącza się mechaniczne narządy regulacyjne w postaci przepustnic, zaworów i t. d.

W przeciwieństwie do szybkości pary w kotle, która według powyższych rozważań pozostaje zasadniczo stała, szybkość wody w przewodach wodnych zmienia się i to w ten sposób, że kiedy maleje obciążenie, to i szybkość wody zmniejsza się. Zmniejszenie szybkości wody wyraża się według znanych zasad zmniejszeniem osiągalnego przeniesienia ciepła. Istnieje możliwość przegrzania rur przy małych szybkościach wody i małym obciążeniu, ponieważ działanie chłodnicze opóźnia się. Jeżeli wynikają stąd jakie trudności, to można je usunąć w ten sposób, że kocioł zasila się wodą, np. przy różnych temperaturach, tem niższych, im niższe jest obciążenie. W ten sposób zmniejszenie szybkości przypływu zostaje w znacznym stopniu wyrównane zwiększeniem spadku temperatur, tak iż niebezpieczeństwo uszkodzenia rur przestaje być groźne.

Jeżeli wykonanie kotła i maszyn pomocniczych na bardzo duże obciążenie szczytowe przysparza znaczne trudności, można je podzielić tak, aby przy większych obciążeniach były przyłączane dodatkowe zespoły, pędzone wówczas przy zmiennej charakterystyce, a również przy pojedynczych kotłach można zwiększyć liczbę maszyn pomocniczych, jeżeli jedna tylko ma-

szyna nie wystarcza do pokrywania zapotrzebowania mocy, względnie przetłaczania odpowiednich czynników.

Co do silników elektrycznych, napędzanych zapomocą turbiny, należy mieć na względzie, że prądnica pracuje bardzo niekorzystnie, gdyż do normalnego obciążenia jest za duża, a więc sprawność jej jest zbyt mała. Takim niekorzystnym warunkom pracy prądnicy można jednak zapobiec w ten sposób, że chłodzenie prądnicy zmienia się w zależności od jej obciążenia. Prądnice należy tak obliczyć, aby przy najkorzystniejszym obciążeniu turbina pracowała z największą sprawnością ogólną. Jeżeli teraz zespół zostanie więcej obciążony, to przyłącza się dodatkowe chłodzenie, które może być wykonane w rozmaity sposób. Można np. zastosować specjalny przewietrznik, który zostaje włączony tylko przy większym obciążeniu i przez odprowadzanie ciepła z prądnicy zwiększa jej zdolność obciążenia, lub też dodatkowe chłodzenie współpracuje z turbiną pomocniczą, tak że wydajność chłodzenia wzrasta i opada w tym samym stopniu, co i moc prądnicy. Nadaje się tu również inny sposób chłodzenia, który jest mało odpowiedni przy ruchu ciągłym, ale bardzo dogodny w niniejszym przypadku, a mianowicie chłodzenie zapomocą roztworów oziębiających, jak np. roztworów soli. W tym przypadku trzeba postępować w sposób następujący: zapomocą małej maszyny chłodniczej należy podczas małego obciążenia układu chłodzić i gromadzić roztwór soli. Nagromadzenie roztworu soli jest proste i tanie, ponieważ może odbywać się przy ciśnieniu atmosferycznym i to w postaci zasobnika warstwowego, z dolnej części którego odprowadza się zimny roztwór soli, a do głównej części wlewa się roztwór ciepły, ochładzany zapomocą układu rur w górnej części zasobnika. Chłodzenie odbywa się normalnie wodą w znanych chłodnicach pierścienio-

wych, których sprawność może być zwiększona przy większych obciążeniach przez zwiększenie szybkości powietrza i szybkości wody. Jeżeli takie zwiększenie nie wystarczy, wówczas zaczyna działać chłodzenie zapomocą roztworu. Chłodzenie takie jest ekonomiczne z tego względu, że stosuje się je tylko podczas pewnej części całego okresu roboczego i wobec tego potrzebna jest tylko mała, a więc tania instalacja chłodnicza, a zatem warunki pracy układają się w tym przypadku zupełnie inaczej, niż gdyby chłodzenie roztworem miało być stałe. Zresztą można byłoby rozdzielić prądnicę na dwie maszyny, z których tylko jedna byłaby czynna aż do określonego obciążenia, natomiast druga zostałaby włączona dopiero wtedy, gdy to obciążenie zostanie przekroczone. W celu zmniejszenia strat na wentylację i tarcie, druga maszyna aż do czasu włączenia mogłaby pozostawać w spoczynku.

Wykonanie paleniska nie przedstawia żadnych trudności. Prawdopodobnie byłoby celowe stosować palenisko rusztowe jako normalne palenisko, a zwiększenie wydajności przebiegu spalania uskutecznić w palenisku na pył węglowy. Do tego celu potrzebny byłby tylko mały młynek, który pracowałby przez cały dzień, w celu przygotowania zapasu pyłu, przeznaczonego do szczytowych obciążeń.

Powyżej opisano sposób według wynalazku w związku z zastosowaniem kotła parowego o przymusowym przepływie pary, gdyż kocioł ten nadaje się najlepiej do przeprowadzenia sposobu według wynalazku. Można, oczywiście, zastosować kotły i innego rodzaju, jeżeli przy obliczaniu tych kotłów będą uwzględnione znaczne zmiany w warunkach obciążenia kotła. Kocioł z przymusowym przepływem pary bez komory parowej jest dogodniejszy z tego względu, że łatwiejsze są w nim do rozwiązania zagadnienia wytrzymałości, aniżeli w wodnorurkowych kotłach z walcza-

kami lub płomienicowych kotłach walcowych.

Zastrzeżenia patentowe.

1. Sposób pokrywania wahań obciążenia w siłowniach parowych a zwłaszcza w siłowniach, wyposażonych w kotły o przymusowym przepływie pary, znamieny tem, że ciśnienie robocze pary, wytwarzanej w kotłach siłowni, i objętość właściwa pary przed wlotem silnika są regulowane w zależności od wahań obciążenia silnika parowego, tak iż dopływająca doń na sekundę objętość pary ($V \text{ m}^3/\text{sek}$) pozostaje zasadniczo w przybliżeniu stała.

2. Sposób według zastrz. 1, znamieny tem, że regulacja ciśnienia pary w kotłach siłowni, w celu uzyskania stałej objętości pary, dopływającej do silnika parowego na sekundę, jest uskuteczniata tylko przy obciążeniach silnika, przekraczających określone obciążenie podstawowe, natomiast poniżej tego obciążenia podstawowego regulacja wahań obciążenia silnika jest uskuteczniata przez zmienne ilości pary, doprowadzane do silnika w jednostce czasu.

3. Sposób według zastrz. 1, znamieny tem, że kotły parowe siłowni przy wzrastającym obciążeniu silnika są zasilane wodą o wyższej temperaturze, a przy malejącym obciążeniu silnika — wodą o niższej temperaturze.

4. Sposób według zastrz. 1 i 2, znamieny tem, że podczas normalnej pracy siłowni, w przypadku ustalenia się stanu równowagi pomiędzy dostarczaniem i zapotrzebowaniem pary siłowni, ciśnienie pary przed wlotem silnika zostaje powiększone o pewną określoną wartość zapomocą zaworu dławiącego, umieszczonego przed silnikiem, w celu utworzenia rezerwy ciśnienia do pokrywania niewielkich wahań obciążenia siłowni.

5. Sposób według zastrz. 1 i 2, zna-

nienny tem, że prócz regulacji pracy kotłów siłowni na niezmienną objętość pary na sekundę, pobieranej przez silnik przy zmiennem ciśnieniu, stosuje się dodatkowo regulację mocy samego silnika przez zmianę dopływu doń pary w celu wyrównania wahań obciążenia, które nie zostają wyrównane wskutek bezwładności układu kotłowego.

6. Sposób według zastrz. 1, w zastosowaniu do siłowni, wyposażonej przynajmniej w jedną turbinę pomocniczą, przyłączonej do jednego ze stopni turbiny głównej, znamienny tem, że również i do turbiny pomocniczej jest doprowadzana zasadniczo stała objętość pary wlotowej na sekundę, dzięki czemu ta pomocnicza turbina posiada zmienną liczbę obrotów, aby zachowany został stan równowagi pomiędzy doprowadzoną energią pary i obciążeniem silnika.

7. Sposób według zastrz. 1 i 6, w zastosowaniu do zespołu pomocniczego, składającego się z turbiny pomocniczej i prądnicy elektrycznej do zaopatrywania w prąd pewnej liczby napędzanych elektrycznie maszyn pomocniczych, znamienny tem, że prądnicy nadaje się zmienne napięcie lub częstotliwość odpowiednio do liczby jej obrotów, wskutek czego maszyny pomocnicze, przyłączone do tej prądnicy, biegą również ze zmienną liczbą obrotów odpowiednio do chwilowej wartości napięcia lub częstotliwości.

8. Sposób według zastrz. 1, 6 i 7, znamienny tem, że stosuje się dwie turbiny pomocnicze, z których jedna pracuje aż do obciążenia zasadniczego, druga zaś powyżej obciążenia zasadniczego, przyczem ta ostatnia jest napędzana przy zmiennej liczbie obrotów.

9. Sposób według zastrz. 8, znamienny tem, że przebieg zmian mocy maszyny pomocniczej, biegnącej przy zmiennej licz-

bie obrotów, jest dostosowywany do przebiegu zmian mocy maszyny głównej, z zastosowaniem dodatkowej regulacji zapożyczającą mocą osobnych narządów regulacyjnych.

10. Sposób według zastrz. 1, 5, 6 i 7, znamienny tem, że moc wentylatora, służącego do chłodzenia prądnicy, jest zmieniana odpowiednio do zmian mocy maszyny głównej, sprzęgając tem wentylator bądź bezpośrednio z turbiną pomocniczą, bądź też elektrycznie z prądnicą pomocniczą.

11. Sposób według zastrz. 1, znamienny tem, że impuls regulacyjny do oddziaływania na przebieg regulacji kotłów siłowni jest pobierany z różnicy ciśnień przed i za zaworem dławiącym silnika parowego lub też z różnicy ciśnień, panujących przy tarczy zaporowej, umieszczonej w przewodzie dopływowym pary.

12. Sposób według zastrz. 1 i 2, znamienny tem, że oprócz głównego impulsu regulacyjnego, oddziaływającego na przebieg regulacji kotłów siłowni w zależności od warunków pracy silnika parowego (np. liczby jego obrotów lub obciążenia), pobierany jest jeszcze jeden lub kilka dodatkowych impulsów, zależnych od temperatury pary lub jej ciśnienia, albo od tych dwóch czynników łącznie, lub też wreszcie zależnych od zawartości bezwodnika węglowego (CO_2) w spalinach kotłowych siłowni.

13. Sposób według zastrz. 1 i 12, znamienny tem, że regulator, służący do regulacji ciśnienia siłowni, jest nastawiany w zależności od obciążenia maszyny głównej.

Siemens - Schuckertwerke
Aktiengesellschaft

Zastępca: M. Skrzypkowski,
rzecznik patentowy.

