

20 stycznia 1927 r.

2

F 036, 15/00

URZĄD PATENTOWY



RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

OPIS PATENTOWY

Nr 4474.

Kl. 88 a 6.

Victor Kaplan
(Brno, Czechosłowacja).

Sposób sterowania łopatek rotora szybkobieżnych maszyn turbinowych z kierownicą (turbiny wodne, parowe lub gazowe, pompy obrotowe albo dmuchawy).

Zgłoszono 11 października 1920 r.

Udzielono 18 marca 1926 r.

Pierwszeństwo: 7 sierpnia 1913 r. (Austria).

Dzielność maszyn turbinowych zależy — jak wiadomo — od danego spadku H , ilości przepływającej wody Q i ilości obrotów n . Przy oznaczonej wartości Q i n osiąga dzielność najwyższą swoją wartość, a każda zmiana tych korzystnych wartości Q i n powoduje spadek dzielności. Wprawdzie teoretycznie da się pomyśleć taki idealny mechanizm, pozwalający nawet przy dowolnych wartościach Q i n na otrzymanie jednakowej dzielności, praktycznie jednak zupełne urzeczywistnienie go nie da się uskuteczyć z jednej strony z powodu niemożliwości wykonania powierzchni łopatek kierownicy i rotora (łopatek kierujących i pracujących), których kształt dawałby się zmieniać prawidłowo

w stosunku do Q i n , z drugiej strony skutkiem różnorodności strat przez tarcie cieczy, zmieniających się wogóle wraz z Q i n . Z tego powodu można uwzględnić tylko drogi zbliżone, z których znane dotychczas będą opisane w krótkości.

Ilość środka roboczego, przepływającego przez turbinę lub pompę obrotową, reguluje się w najprostszy sposób albo za pomocą zasuw, klap, zaworów, kurków i podobnych przyrządów, albo używa się obrotowych łopatek bocznych (łopatki obrotowe Finka), które można zmniejszyć szerokość przepływu między dwiema sąsiadującymi łopatkami, kierującymi od określonej maksymalnej wielkości aż do zera. Jakkolwiek ostatni sposób regulowa-

nia przewyższa pierwszy, to jednak regulowanie zapomocą obrotowych łopatek bocznych ma tę wadę, że szczególnie przy szybkoobrotowych maszynach wraz ze zmniejszaniem się napełnianiem opada szybko i dzielność. Szybki spadek dzielności pochodzi stąd, że skrócenie łopatek bocznych powoduje zmianę wprowadzie przekrojów bocznego koła i kątów, jednak przekroje rotoru i jego kątów pozostają niezmiennione. Jeżeli zatem zmniejszy się dopływ wody do rotoru, to musi się zarazem zmniejszyć i szybkość jej przepływu w rotorze, ponieważ nic się nie zmieniło w przekroju komórek. Wskutek tego jednak przepływ wody przez rotor nie jest już wolny od uderów i z tego powodu muszą powstawać w rotorze i rurze ssącej wiry, które powodują wspomniany spadek dzielności.

Odpowiedniem zatem byłoby użycie takich urządzeń, które dozwalałyby na częściowe lub całkowite zamknięcie wolnego przekroju komórek rotoru, ażeby umożliwić również przy zmiennym napełnianiu zatrzymanie jednakowej szybkości przepływu przez rotor. Jeżeli urządzenie takie ma w rzeczywistości spełniać swoje zadanie, to musiałaby być np. przy połowie napełnienia zamknięta także połowa wolnego przekroju przepływowego komórek rotora. Grubość ścian łopatek rotoru musiałaby zatem sięgać aż do połowy wolnego przekroju komórek. Rozumie się samo przez się, że przy takim zgrubieniu krawędzi łopatek byłby niemożliwy przepływ bez uderów i zachodzące straty skutkiem uderów i wirów powodowałyby znaczny spadek dzielności. Jeżeli jednak zgrubienie łopatek (zamknięcie przekroju) przełożone zostanie tylko na środek komórek, to pożądaný cel równej szybkości przepływowej przy jakimkolwiek napełnianiu da się uzyskać tylko w zwężonych miejscach komórek rotoru, podczas gdy w pozostałych przekrojach komórek tworzą

się wspomniane wyżej wiry w takiej mierze, jak gdyby wogóle nie stosowano zamknięcia przekroju w rotorze.

Znane są również rotory ze stałymi łopatkami, przy których przymocowane są ruchome kłapy w kształcie języka, przez obrót których można uzyskać zamknięcie wypływowego przekroju rotoru. Ponieważ jednak właściwe łopatki są nieruchome, pozostaje zatem przekrój wpływowy komórki rotoru przy każdym dowolnym położeniu kłapy niezmienniony. Z tego powodu spadek szybkości, występujący ze zmniejszeniem napełnienia, musi i tutaj wywołać wspomniane straty wskutek uderów i wirów.

Według wynalazku niniejszego rezygnuje się z góry z zachowania jednakowej prędkości przepływu przy zmiennym napełnianiu, a zmianę przekroju komórek rotoru osiąga się nie zamknięciem jego, tylko skróceniem wszystkich łopatek. Przebieg regulowania, będący przedmiotem wynalazku niniejszego, przedstawiony jest na rysunku w kilku odmianach budowy rotorów turbin wodnych z obrotowymi łopatkami.

Fig. 1 przedstawia zmianę prędkości i kątów przy zmiennym napełnianiu. Fig. 2 — rzut pionowy rotoru, przyczem piasta narysowana jest w przekroju, a łopatki w widoku. Fig. 3 — łopatkę w rzucie bocznym z piastą w widoku. Fig. 4 — łopatkę wraz z osią obrotową i przynależną piastą w widoku perspektywicznym. Przedstawione na fig. 2, 3 i 4 rotory wykazują osiowe napełnienie łopatek. Fig. 5 i 6 przedstawiają możliwość zastosowania regulowania łopatek rotoru według wynalazku niniejszego do turbin strumieniowych i Francisza.

Fig. 1 przedstawia schematycznie rozkład prędkości wody, jaki powstawałby przy przepływie wody wzdłuż przedstawionego przez 1—0—2 zarysu łopatki bez uwzględnienia oporu. Przytem dla punktu wpływu 1 rotoru oznaczono absolutną

prędkość wpływu wody przez c , prędkość obwodową rotoru przez u , a względną prędkość wody przez w_1 , podczas gdy odpowiednie wielkości dla wypływu wody w punkcie 2 oznaczone zostały przez c_2 , u_2 i w_2 . Wkońcu kąt wypływu bocznego koła względnie rotoru oznaczony jest na fig. 1 przez α względnie δ , a kąt rotoru przez β

Przy należytych ruchu i napełnieniu pozostaje jak wiadomo równoległobok prędkości utworzony przez u_1 i w_1 , względnie u_2 i w_2 , narysowany na fig. 1 liniami pełnymi i wymagający kątów łopatkowych α β i δ . Jeżeli teraz przy tym samym spadzie i tej samej ilości obrotów względnie prędkości obwodowej rotoru, zmieni się ilość wody przyptywającej przez niego, to muszą doznać zmiany i prędkości południkowe, oznaczone na fig. 1 i 2 przez cm_1 , cm_2 i cm , jeżeli się rezygnuje z wszelkiego szkodliwego dla dzielności przemykania wolnego przekroju przepływu. Jeżeli zatem dzielność ma być dobra i przy częstotwem napełnieniu, to musi być istotnie umożliwione osiągnięcie przez wodę nowych prędkości (cm_1), (w_1), (cm_2) i (w_2), innymi słowy musi być możliwe utworzenie z u i (w_1), względnie u_2 i (w_2) nakreślonego na fig. 1 równoległoboku prędkości, co wymaga zmiany kątów α , β i δ na (α) (β) i (δ) jak to przedstawiono na fig. 1.

W tym celu według wynalazku niniejszego łopatki rotoru są w ten sposób na osiach obrotowo urządzone, że wymagana zmiana kąta β na (β) względnie δ na (δ) może być osiągnięta z dokładnością, wystarczającą do celów praktycznych. Na fig. 1 przez 0 przedstawiony jest punkt obrotu i wrysowany zarys łopatki (1)-0-(2) skreślonej o kąt φ , której nowe kąty łopatkowe β i δ prawie odpowiadają pożądanym warunkom. Wypośrodkowanie punktu obrotu stosuje się do wymaganych zmian kątów i wytrzymałości rotoru. Może on zatem leżeć albo w płaszczyźnie łopatki albo też poza nią. Jak wynika z

małego kąta wpływu rotoru β posiada narysowany szkic łopatki (fig. 1) profil maszyny szybkoobrotowej. Również wynika z narysowanych równoległoboków prędkości, że przy zmniejszającym się napełnianiu muszą być zmniejszone nie tylko kąty dopływowe, ale także i kąty wypływowe rotoru. To równoczesne zmniejszenie obu kątów rotoru, wymagane przy profilach maszyn szybkoobrotowych, da się, jak to z fig. 1 wynika, we wszystkich okolicznościach osiągnąć zapomocą opisanego skreślenia całej płaszczyzny łopatkowej.

To hydrauliczne zadanie równoczesnego zmniejszenia obu kątów łopatkowych przy zmniejszającym się napełnianiu, nie jest jednak spełnione przy używanych urządzeniach regulowania szybkoobrotowych maszyn obrotowych, co łatwo tłumaczyć otrzymywane dotychczas złe wyniki ruchu przy braku wody. Przy użyciu tego rodzaju szybkoobrotowych kół ze zwykłymi urządzeniami regulującymi zachodzi tak wielki spadek dzielności przy zmniejszającym się napełnianiu, że ze względów ekonomicznych, budowa takich kół staje się niemożliwa. Zatem urządzenie regulujące łopatki rotoru, skonstruowane według wynalazku niniejszego, nadawać się będzie szczególnie korzystnie do szybkoobrotowych maszyn obrotowych, jeżeli wywarto będzie nacisk na uzyskanie dobrej dzielności przy zmiennej ilości wody, albo wahającym zapotrzebowaniu siły. Tego rodzaju rotory o gatunkowo wielkiej ilości obrotów, mogą przy osiowym napełnianiu posiadać w profilach łopatek sąsiadujących z osią rotoru, w celu uzyskania wolnego od uderów doprowadzania środka roboczego, także profil maszyn normalnych albo wolnobieżnych. Wprawdzie skutkiem skreślenia tego rodzaju łopatek cierpi na tem bezударowy przepływ we wspomnianych miejscach rotoru, jednak ze względu na mały kąt skreślenia φ (fig. 1) i stosunkowo nieznaczną część całej ilości wody, która te miejsca

rotoru przepływa, nie ma to praktycznego znaczenia.

Na rotorze turbiny wodnej z osiowym przepływem wody, przedstawionym na fig. 2, są uwidocznione dwa sposoby umieszczania łopatek rotoru. Łopátka S , narysowana z lewej strony, posiada tylko na swej wewnętrznej płaszczyźnie czołowej czop A umocowany obrotowo w piaście N rotoru, podczas gdy prawa połowa fig. 2 przedstawia dwustronne uchwycenie łopatki S w łożyskach za pośrednictwem czopów A i Z . Piaście może być nadany kształt kulisty, aby uzyskać dobry styk łopatki S z piastą N przy każdym jej położeniu (skręceniu).

Łopatki można skręcać zapomocą zastosowania wszystkich do tego celu odpowiednich elementów maszyn jak dźwignie, koła zębate i podobne przyrządy. W widoku bocznym (fig. 3) i perspektywicznym rysunku (fig. 4) jest na czopie, umocowanym obrotowo w piaście N , umieszczone ramię dźwigni K , o które zahacza pręt B . Przy uruchomieniu jego zostaje skręcone ramię K wraz z czopem A i łopatką S . Należy umieścić osie czopów obrotowych w ten sposób, ażeby przy skręcaniu łopatek możliwie uniknąć niepożądanego zwiększenia się szczeliny między płaszczyznami czołowymi łopatek rotoru, a otaczającymi je ścianami (piasta względnie wewnętrzny wieniec rotoru, zewnętrzny wieniec rotoru, względnie ściana rury ssącej). Najprościej stać się to może w ten sposób, jeżeli osie czopów obrotowych łopatek rotoru ustawione będą możliwie prostopadle do podanych ścian ograniczających, jak to przedstawiają przykłady konstrukcji na fig. 2, 3, 4 i 5.

Opisana dla turbin osiowych możliwość regulowania łopatek rotoru może być zastosowana i do turbin strumieniowych i Francisa, jak również do połączonych turbin osiowych i Francisa, jak to przedstawiono na fig. 5 i 6 dla obu podanych pier-

wiej rodzajów. Tu również oznacza A oś obrotu łopatek, która osadzona jest albo w górnym i dolnym ograniczeniu rotoru L_1 , L_2 , albo też tylko w górnym L_1 , albo tylko dolnym L_2 .

Przy budowie rotorów napełnianych osiowo, przedstawionych na fig. 2, 3 i 4, doprowadzanie środka roboczego, uskuteczniane zapomocą bocznego urządzenia, może się odbywać w każdym dowolnym kierunku. Jeżeli doprowadzanie to następuje w kierunku np. osiowym, to należy do rotoru dostosować takie urządzenie boczne, jakie znajduje zastosowanie w podobnej budowie znanych turbin osiowych. Można jednak także osiągnąć potrzebne napełnianie osiowe rotoru zapomocą promieniowego dopływu wody do urządzenia kierującego, jeżeli środek roboczy zostanie odchylony w urządzeniu bocznym od kierunku promieniowego w osiowy. W takim wypadku napełnianie rotoru odbywa się zapomocą urządzenia bocznego, nie różniącego się zasadniczo od takiego urządzenia w turbinie Francisa. Zastosowanie tego urządzenia przedstawia znaczne zalety, ponieważ przy obracalności łopatek kierowniczych wspólne przedstawianie łopatek kierownicy i rotoru da się łatwo uskutecznić, podczas gdy skręcanie łopatek kierujących w turbinach osiowych natrafia na wielkie trudności budowy.

Przy rotorach osiowych nie natrafia również na żadne trudności dowolne zbliżanie krawędzi wypływowych łopatek kierownicy, używanej w turbinach Francisa, do wału rotoru, skutkiem czego woda może odpływać i wzdłuż jednej części czołowych krawędzi tych łopatek. Jeżeli tego rodzaju łopatki kierujące skręci się, to zmiana kąta wzdłuż krawędzi nie następuje równomiernie. Jest ona znacznie większa w pobliżu krawędzi wypływowej łopatki kierującej, niż w pobliżu sworznia obrotowego łopatki kierującej. Zatem przy skręcaniu łopatek kierujących, potrzebnym

przy zmniejszającym się napełnianiu, będą się zwięzać silniej przekroje wypływowe na krawędziach czołowych w pobliżu krawędzi wypływowych łopatek kierujących, aniżeli przekroje sąsiadujące ze sworzniami obrotowymi. Rotor wyposażony w stałe łopatki będzie z tego powodu nienależycie napełniany, ponieważ środek roboczy zmuszony będzie łopatkami koła kierującego do przepływu przeważnie w pobliżu ściany rury ssącej. W pobliżu wału rotoru występują zatem prądy wirowe, które wpływają niekorzystnie na dzielność. Jeżeli jednak rotory zostaną sporządzone z ruchomymi łopatkami według wynalazku niniejszego, to skrócenie ich w osiowej przestrzeni łopatkowej wywoła działanie przeciwnie, ponieważ kąty dopływowe rotoru, w celu osiągnięcia wolnego od uderzeń przebiegu przepływu, muszą się zmniejszać w kierunku ścian rury ssącej. Ich wartość zredukowana do zera, a więc najmniejszy przekrój przepływu występuje przy skróceniu łopatek najpierw przy krawędzi ścian rury ssącej. Główny przepływ zostaje zatem bez użycia urządzenia kierującego odchylony w kierunku wału rotoru. Połączenie obu wspomnianych przeciwnie skierowanych działań, a więc współdziałanie obrotowych łopatek kierujących z obrotowymi łopatkami rotoru umożliwia znowu pożądany wolny od uderzeń przepływ w rurze ssącej, a z tem osiągnięcie dobrej dzielności także i przy częściowym napełnianiu.

Ponieważ z jednej strony dźwignia *K* oznaczona na fig. 3 i 4 i umocowanie łopatek wymagają wiele miejsca ze względu na wytrzymałość, z drugiej strony średnica piasty nie może być wielka ze względu na bezpieczeństwo przymknienia przekroju, pożądane jest w budowie według niniejszego wynalazku zarówno możliwe zmniejszenie ilości łopatek jako też i ich długości, ażeby mieć miejsce, potrzebne do

umieszczenia urządzenia obracającego. Szczególnie korzystne będą tedy wąskie łopatki kształtu skrzydłowego, ponieważ takie formy zapewniają także pojedynczą przestawność płaszczyzny łopatkowej i rotoru, i odpowiednie połączenie sworzni obrotowego łopatki z jej płaszczyzną.

Regulowanie łopatek rotoru może być samoczynne np. zapomocą zmiany stanu przepływu środka roboczego, albo ilości obrotów względnie zmianę momentu obrotu, wywołaną zmianą napełniania albo też połączeniem sterowania łopatek rotoru ze sterowaniem łopatek kierujących, przy czem wspólne skręcanie łopatek kierujących powoduje takie samo skręcanie łopatek rotoru. W końcu łopatki rotoru mogą być bezpośrednio sterowane ręcznie.

Opisane tu dla turbiny wodnej sterowanie łopatek rotoru nadaje się również do każdego innego środka roboczego (pary, gazy i podobne materje) w turbinach parowych i gazowych i podobnych urządzeniach da się także użyć do przeprowadzania płynów i gazów w pompach obrotowych, turbokompresorach i podobnych urządzeniach.

Zastrzeżenia patentowe.

1. Sposób sterowania łopatek rotoru szybkoobrotowych maszyn turbinowych (turbiny wodne, parowe lub gazowe, pompy obrotowe lub dmuchawy) zapomocą urządzenia kierującego, znamienny tem, że łopatki rotoru są umieszczone ruchomo w ten sposób, iż skrócenie ich, konieczne przy zmniejszającym się napełnianiu, wywołuje zmniejszenie nie tylko przekrojów wypływowych, względnie kątów wypływowych, ale także i przekrojów dopływowych, względnie kątów dopływowych, rotoru.

2. Sposób sterowania łopatek rotoru maszyn turbinowych według zastrz. 1,

znamienny tem, że łopatki rotoru (S) są w ten sposób obrotowo umieszczone w piaście (N), względnie w wewnętrznym wieńcu (L_1), albo zewnętrznym wieńcu (L_2), albo też tak w zewnętrznym jak i wewnętrznym wieńcu (L_1, L_2), że osie czopów obrotowych znajdują się na ścianach, ograniczających rotor, możliwie prostopadle, ażeby przy skręcaniu łopatek rotoru uniknąć, o ile to możebne, niepożądanego powiększenia szczeliny między po-

wierzchniami czołowymi łopatek rotoru z ograniczającymi je ścianami.

3. Sposób sterowania łopatek rotoru maszyn turbinowych według zastrz. 1, z kierownicą, znamienny tem, że skręcanie łopatek rotoru odbywa się wspólnie z przestawianiem łopatek kierujących.

Victor Kaplan.

Zastępca: M. Goldwasser,
rzecznik patentowy.

