

Zdzisław KRZEMIEN

WYKORZYSTANIE ENERGII FAL MORSKICH DO PRODUKCJI ENERGII ELEKTRYCZNEJ

STRESZCZENIE *W artykule opisano metody konwersji energii fal morskich na energię elektryczną. Przewiedziono przykłady projektowanych i istniejących konstrukcji, wykorzystujących ten rodzaj energii odnawialnej. Opisano prądnicę synchroniczną zaprojektowaną w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki (IEI) przeznaczoną do instalacji w bojach morskich.*

Słowa kluczowe: energia odnawialna, prądnice

1. WSTĘP

Wykorzystanie energii odnawialnych jest dziedziną energetyki, rozwijającą się bardzo dynamicznie w ostatnich dekadach. Dotyczy to przede wszystkim wykorzystania energii słonecznej, wiatrowej i spadku wody. Natomiast energia, jaka zawarta jest w morzach i oceanach, wykorzystywana jest w znikomym stopniu. Ocenia się, że morza i oceany naszej planety generują rocznie 70÷140 PWh energii, w tym 8÷80 PWh to energia wytwarzana przez fale morskie [4]. Dla porównania całkowita energia elektryczna wyprodukowana w roku 2011 przez wszystkie elektrownie na świecie wynosiła 20,182 PWh [8].

Źródła energii mórz i oceanów są następujące:

- prądy morskie;
- pływy (przyływy i odpływy) morskie;
- fale;
- różnica temperatury wód;
- różnica zasolenia wód (wykorzystanie osmozy).

dr inż. Zdzisław KRZEMIEN

e-mail: z.krzemien@iel.waw.pl

Instytut Elektrotechniki, Zakład Maszyn Elektrycznych

PRACE INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI, zeszyt 262, 2013

Z wymienionych wyżej zjawisk praktycznie wykorzystano tylko pływy morskie; w 1967 roku w pobliżu Saint Malo zbudowano elektrownię o mocy 240 MW, wykorzystującą energię pływów morskich. Jednak mimo że różnice wysokości wody pomiędzy przyływem a odpływem są tam rekordowo duże, inwestycja nie jest opłacalna (krótki czas pracy w ciągu doby) i nigdzie na świecie nie zbudowano drugiej tak dużej elektrowni, przede wszystkim ze względów ekonomicznych.

Wykorzystanie energii prądów morskich budzi sprzeciw, bowiem może prowadzić do zmian rozptyłu ciepła na Ziemi i wywołać zmiany klimatyczne.

W ostatnich latach pewnym zainteresowaniem cieszy się użytkowanie energii falowania. Niestety, wykorzystanie tej energii sprawia trudności, pomimo opracowania wielu teoretycznych metod konwersji energii falowania na energię elektryczną. Ponadto problemem jest też nieprzewidywalność zjawisk pogodowych: okresy spokojnego morza, gwałtowne sztormy.

2. ENERGIA FALOWANIA

Falowanie morza wywołane jest działaniem wiatru na powierzchnię wody, zmianami ciśnienia atmosferycznego oraz przez grawitacyjne oddziaływanie Księżyca. Fale powstają również pod wpływem podmorskich trzęsień ziemi oraz w następstwie wybuchów wulkanów; mają one jednak charakter incydencyjny i niszczący.

Wysokość fali zależy od prędkości wiatru, ale również od czasu trwania wiatru, odległości wzbudzenia fal przez wiatr, a także od głębokości i ukształtowania dna morskiego. Energia zależy od prędkości fali, jej długości oraz gęstości wody morskiej.

Jeśli głębokość wody jest większa niż połowa długości fali, ilość energii przepływającej przez daną powierzchnię w jednostce czasu jest równa [9]:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_f^2 T_f \quad (1)$$

gdzie: P – strumień energii na jednostkę długości wierzchołka fali; H_f – wysokość fali; T_f – okres fali; ρ – gęstość wody; g – przyspieszenie ziemskie.

Przyjmując $\rho = 1025 \text{ kg/m}^3$ (woda morska – średnio) można obliczyć, że teoretyczna moc fali dla długości jednego metra czoła fali jest następująca:

$$P = 0.491 \cdot H_f^2 T_f \text{ [kW]} \quad (2)$$

Przykładowo: fala o wysokości 1 m i okresie 10 s ma na długości jednego metra teoretyczną moc wynoszącą ok. 4.9 kW.

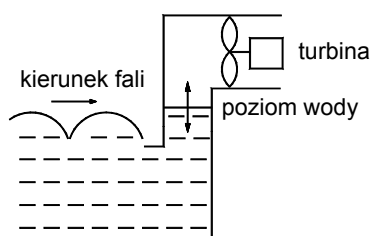
W praktyce uzyskiwane moce są znacznie mniejsze; w literaturze [7] opisano wyniki badań urządzenia, wykorzystującego energię fal, przeprowadzonych w Hinsdale Wave Research Laboratory (Oregon, USA). Zbudowano tam model z prądnicą liniową i w trakcie prób uzyskano przy wysokości fali $H_f = 1,37 \text{ m}$ i okresie $T_f = 3 \text{ s}$ moc zaledwie 25 W. Średnica boi wynosiła 0,4 m, długość 1,2 m. Przyjmując, że fala działa na średnicy boi, teoretyczna moc wyliczona ze wzoru (2) wynosi 1,1 kW, czyli jest 44 razy większa, niż zmierzona. Należy więc przypuszczać, że uzyskiwane moce w praktyce będą wielokrotnie mniejsze, niż wynikające z teoretycznych obliczeń.

3. WYKORZYSTANIE ENERGII FAL

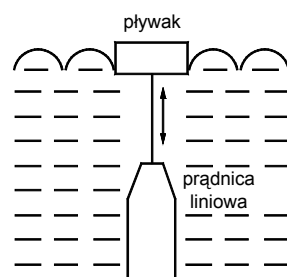
Zainteresowanie wykorzystaniem energii fal morskich zauważa się od dawna; już w roku 1799 we Francji opatentowano urządzenie, wykorzystujące energię fal, niestety nie doczekało się ono realizacji. W roku 1910 zbudowano w pobliżu Bordeaux kolumnę, w której oscylująca woda morska napędzała prądnicę. Kryzys energetyczny w roku 1973 spowodował większe zainteresowanie wykorzystaniem energii mór, powstało wówczas wiele projektów konstrukcji, wykorzystujących ten rodzaj energii, niestety pozostały głównie na papierze bądź w formie modeli. W sumie z tej dziedziny do dziś zarejestrowano ponad tysiąc patentów.

Najważniejsze sposoby konwersji energii fal na elektryczną:

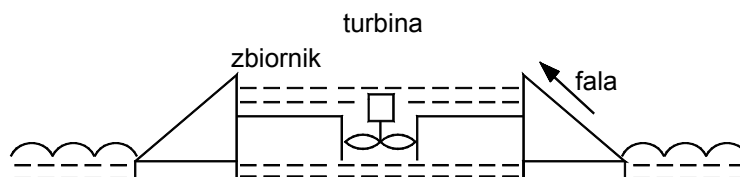
- elektrownie pneumatyczne – fale powodują oscylację kolumny powietrza w specjalnym zbiorniku. Wypychane lub zasysane powietrze wprawia w ruch turbinę powietrzną. Instalacje takie pracują w pobliżu Bergen (Norwegia) oraz na szkockiej wyspie Islay, osiągając moc do 75 kW. Na rysunku 1 pokazano zasadę działania takiej konstrukcji;
- elektrownie pływakowe – wykorzystują wywołany falami ruch pływaków do napędu prądnic. Rozwiązanie to stosowane jest zwykle w niewielkich elektrowniach, np. przewidzianych do ładowania akumulatorów, zasilających instalacje elektryczne w bojach morskich. Na rysunku 2 przedstawiono zasadę działania takiej elektrowni: falowanie powoduje ruch oscylacyjny pływaka, który napędza prądnicę liniową, zainstalowaną w przymocowanym do dna pojemniku;



Rys. 1. Zasada działania kolumny oscylacyjnej wykorzystującej turbinę powietrzną



Rys. 2. Zasada działania elektrowni pływakowej



Rys. 3. Zasada działania konstrukcji przelewowej wykorzystującej turbinę wodną

- elektrownie przelewowe – w rozwiązaniu tym woda morska pchana kolejnymi falami napelnia położony wyżej zbiornik. Gdy w zbiorniku tym jest wystarczająca ilość wody, uruchamiana jest turbina wodna. Instalacje takie można budować na morzu w formie sztucznych wysp lub na lądzie. Konstrukcja taka pracuje od 1986 roku w pobliżu Bergen, osiągając moc 350 kW. Na rysunku 3 pokazano zasadę działania takiego urządzenia.

4. ZREALIZOWANE LUB PROJEKTOWANE KONSTRUKCJE WYKORZYSTUJĄCE ENERGIĘ FAL

Zaprojektowanie i wykonanie konstrukcji przeznaczonej do konwersji energii fal morskich na energię elektryczną, która będzie pracować przy zmiennej fali i będzie odporna na sztormy, nie jest łatwe. Opłacalność instalacji zależy od wielkości falowania, okresów ciszy, ilości sztormów, i dlatego też miejsc odpowiednich do umiejscowienia urządzeń, wykorzystujących fale, nie ma zbyt wiele.

W chwili obecnej powstało stosunkowo dużo konstrukcji, wykorzystujących energię fal morskich. Jednak większość z nich ma charakter modelowy lub eksperymentalny. Poniżej przedstawiono kilka zrealizowanych lub projektowanych konstrukcji, wykorzystujących energię fal morskich do produkcji energii elektrycznej.

4.1. „Wąż morski”

Urządzenie o nazwie Pelamis, zwane też „wężem morskim”, zostało zaprojektowane i zbudowane przez szkocką firmę Ocean Power Delivery. Ma ono postać połączonych ze sobą przy pomocy przegubów czterech rur o średnicy 3,5 m, w sumie długość konstrukcji wynosi 140 m. Wewnątrz rur znajdują się siłowniki hydrauliczne,



Rys. 4. Fotografia wykonanego urządzenia Pelamis zwanego „wężem morskim”

zbiorniki z płynem i prądnice. Urządzenie to zakotwiczone jest prostopadle do kierunku fal. Falowanie sprawia, że poszczególne rury przemieszczają się względem siebie i przepompowują płyn z jednego zbiornika do drugiego, napędzając prądnicę. Moc urządzenia wynosi 750 kW [9]. Obok przedstawiono fotografię eksperymentalnego urządzenia Pelamis zakotwiczonego u wybrzeży Orkad (Szkocja).

4.2. „Ostryga”

Interesującym urządzeniem, o nazwie Oyster (ostryga), wykorzystującym energię fal jest konstrukcja brytyjskiej firmy Aquamarine. Urządzenie to ma kształt kłapy o długości 18 m, która porusza się pod wpływem falowania i napędza pompy. Woda pod ciśnieniem tłoczona jest poprzez rurociąg do hydrozespołu z turbiną, umieszczonego na ładzie. Oyster jest umieszczony na głębokości kilkunastu metrów



Rys. 5. Brytyjska konstrukcja o nazwie Oyster

w odległości pół kilometra od wybrzeża Orkadów. Instalacja ma moc równą 315 kW. W listopadzie 2009 roku Oyster został podłączony do krajowej sieci elektroenergetycznej [3]. Na rysunku 5 zamieszczono widok urządzenia w hali fabrycznej.

4.3. „Pingwin”

Fińska firma Wello zaprojektowała urządzenie do pozyskiwania energii fal o nazwie „Pingwin” (Penguin), które zostało zbudowane w stoczni w Rydze. Konstrukcja ta ma postać statku o długości 30 m i wyporności 220 ton, kadłub jest asymetryczny. Falowanie powoduje kołysanie się konstrukcji, co wywołuje ruch obrotowy koła zamachowego umieszczonego wewnątrz statku. Z kolei koło poprzez przekładnię napędza generator o mocy 1 MW, produkujący energię elektryczną. Energia przesyłana jest podmorskim kablem na ląd.

„Pingwin” został zaprojektowany jako prosta i bardzo trwała konstrukcja, która mogłaby stawić czoła ciężkim warunkom środowiska oceanicznego, pracując



Rys. 6. Fotografia eksperymentalnej konstrukcji „Pingwin”

bezobsługowo. Przewidywany cykl życia ma być dłuższy, niż przeciętnej elektrowni wiatrowej [5]. Urządzenie Penguin będzie zakotwiczone w pobliżu jednej z wysp archipelagu Orkad i eksploatowane przez brytyjską firmę Aquatera.

4.4. Elektrownia pływakowa

Stosunkowo prostym rozwiązaniem jest konstrukcja zrealizowana przez firmę Wave Star Energy. Zbudowana elektrownia składa się z podwójnego rzędu 20-tu pływaków, które poruszane są przez fale; ramiona pływaków połączone są z wałem podobnym do wału korbowego, który poprzez przekładnię napędza prądnicę. Elektrownia umieszczona jest na pomoście wchodzącym w morze. Prototypowy model ma moc 5.5 kW [6].



Rys. 7. Elektrownia firmy Wave Star Energy

4.5. Elektrownia pneumatyczna

Konstrukcja taka została zaprojektowana przez firmę Oceanlinx i zainstalowana u wschodnich wybrzeży Australii. Zasada działania urządzenia została opisana w rozdziale 3. artykułu. Podstawowe dane zbudowanego urządzenia: długość: 16 m; szerokość: 22 m; masa całkowita 4000 ton; moc zainstalowana: 1 MW [1] (rys. 8).



Rys. 8. Elektrownia morska firmy Oceanlinx

4.6. „Falowy smok”

Kolejną konstrukcją zaprojektowaną przez międzynarodowy zespół jest tzw. „falowy smok” (Wave Dragon). Budowla ta została zainstalowana w Morzu Północnym w pobliżu Danii. Urządzenie to jest elektrownią przelewową, której zasada działania została przedstawiona w rozdziale 3. artykułu.

Podstawowe dane prototypu: całkowita długość i szerokość: 33 m × 58 m; wysokość: 3.6 m; pojemność zbiornika: 55 m³; 7 hydrozespołów złożonych z turbin Kaplana i prądnic synchronicznych z magnesami trwałymi o mocy znamionowej 2.3 kW każda, w sumie 16 kW, masa urządzenia wraz z balastem wynosi 237 ton. Roczna produkcja energii elektrycznej wynosi około 40 MWh (2500 godzin pracy rocznie z mocą znamionową) [10].

Należy zaznaczyć, że w opracowaniu tej konstrukcji brali udział pracownicy Instytutu Elektrotechniki i Politechniki Warszawskiej w ramach projektu *Wave Dragon MW: Development and validation of technical and economic feasibility of a multi MW Wave Dragon offshore Wave energy converter* – Contract No 019983, (501B-1044-8866-310), międzynarodowy projekt Programu VI Unii Europejskiej, data rozpoczęcia 01.04.2006, data zakończenia: 31.03.2009.

4.1. Boje morskie

Boje (pławy) są to urządzenia pływające zakotwiczone, stosowane w nawigacji wodnej. Zwykle wyposażone są w instalacje sygnalizacyjne – lampy, buczki, urządzenia radiowe lub radarowe. Boje stosowane są powszechnie w celu oznaczenia torów wodnych, granic akwenów, przeszkód podwodnych itp. Podstawowym ich zadaniem jest zapewnienie bezpiecznej żeglugi. Położenie boi zwykle daleko od brzegu uniemożliwia zasilanie ich kablem i dlatego wyposażone są one w autonomiczne źródła energii elektrycznej: baterie akumulatorów, które są wymieniane lub ładowane przy pomocy specjalnych instalacji – zwykle są to mini elektrownie wykorzystujących energię odnawialną: słońce, wiatr, falowanie wody.



Rys. 9. Boja sygnalizacyjna z lampą i reflektorem radarowym

5. PRĄDNICE STOSOWANE W KONSTRUKCJACH WYKORZYSTUJĄCYCH ENERGIĘ FAL

Energia mechaniczna falowania zamieniana jest w energię elektryczną przy pomocy specjalnie do tego celu zaprojektowanych prądnic. Specyfika instalacji

sprawia, że szczególnie predysponowane są prądnice wzbudzone magnesami trwałymi. Prądnice te posiadają prostą konstrukcję (bez uzwojenia w wirniku, bez wzbudnicy i regulatora wzbudzenia) oraz dużą niezawodność. Mogą pracować praktycznie bezobsługowo. Sprawność ich jest większa niż „klasycznych” prądnic synchronicznych. Charakter fal morskich – ich okresowość – powoduje, że konieczne jest stosowanie maszyn przystosowanych do pracy z bardzo małą prędkością obrotową.

W bojach morskich stosuje się dwa rodzaje prądnic:

- prądnice liniowe;
- prądnice wirujące.

5.1. Prądnice liniowe

Podstawową zaletą prądnic liniowych jest generacja energii elektrycznej przy pomocy ruchu postępowego; nie ma więc potrzeby stosowania urządzeń zamieniających ruch liniowy na obrotowy. W prądnicach tego typu twornik ma kształt cylindra, uzwojenie wykonane jest w postaci cewek koncentrycznych. Biegnik ma postać długiego walca z umieszczonymi na nim magnesami trwałymi, poprzedzianymi przekładkami. Konstrukcja prądnicy liniowej jest podobna do konstrukcji silników liniowych tubowych, projektowanych i wykonywanych w Zakładzie Maszyn Elektrycznych Instytutu Elektrotechniki w latach siedemdziesiątych ubiegłego wieku.

Prace projektowe nad prądnicami liniowymi przeznaczonymi do zastosowań morskich prowadzone są w kilku ośrodkach naukowych, między innymi:

- na Uniwersytecie w Uppsali (Szwecja) – prowadzone są prace [2], dotyczące budowy elektrowni pływakowych, umożliwiających produkcję energii elektrycznej na małą skalę. Zasadę działania takich konstrukcji przedstawiono w rozdziale 3. artykułu. W elektrowni tej zastosowano prądnice liniową wzbudzaną magnesami trwałymi o następujących podstawowych danych: $P = 10$ kW;

$U = 578$ V; $f = 13.4$ Hz; $2p = 660$; szczelina powietrzna $\delta = 2$ mm; średnica stojana 300 mm, długość stojana 3925 mm. Pływak ma następujące dane: powierzchnia 20 m²; objętość 10 m³; masa 260 kg; wytwarzana siła 10 kN przy wysokości fali 1,5 m i okresie 4,5 s. Model urządzenia zostały przebadany w stacji badawczej położonej w pobliżu wyspy Gulholmen (Skagerrak). Wyniki pomiarów „w terenie” wykazały, że obliczenia były zbyt optymistyczne – uzyskiwana moc była znacznie mniejsza, głównie z powodu znacznie niższych prędkości biegnika niż założono w projekcie. Na rysunku 10 pokazano fotografię wykonanego przetwornika.



Rys. 10. Elektrownia pływakowa wykonana na Uniwersytecie w Uppsali

- w Oregon State University (USA) – zbudowano tam model urządzenia z prądnicą liniową o wymiarach: długość 320 mm; zewnętrzna średnica biegnika z magnesami 45 mm; szczelina powietrzna 0,6 mm; $2p = 4$, uzyskiwana moc ok. 25 W przy prędkości biegnika 0,4 m/s, znacznie mniejsza od oczekiwanej [7].

5.2. Prądnice wirujące

Specyfika pracy prądnicy zainstalowanej w boi morskiej (praca na odbiory wydzielone) stawia minimalne wymagania odnośnie do parametrów napięcia wyjściowego. Stosunkowo niewielka częstość oddziaływania fal morskich sprawia, że uzyskiwane prędkości obrotowe są małe – rzędu $10 \div 20$ obr./min. Stosowanie przekładni mechanicznych jest niewskazane ze względu na ich zawodność i konieczność okresowych przeglądów.

Rozwiązaniem pozwalającym na eliminację przekładni jest stosowanie prądnic wielobiegunowych o małych prędkościach obrotowych. Jednak wymaga to budowy maszyn o znacznych średnicach twornika, co powoduje określone trudności techniczne. Miejsce pracy prądnic – środowisko wilgotne, o zmiennej temperaturze i dużym zasoleniu powoduje określone wymagania dotyczące izolacji, odporności na korozję.

5.3. Zbudowane prądnice przeznaczone do zastosowań morskich

Na Uniwersytecie w Uppsali zbudowano prądnicę synchroniczną wzbudzaną magnesami trwałymi, przeznaczoną do instalacji w urządzeniach wykorzystujących energię morza [11]. Podstawowe dane prądnicy: $P = 5$ kW; $U = 150$ V; $n = 10$ obr./min; $f = 10$ Hz; $2p = 120$; średnica zewnętrzna 2000 mm; średnica wewnętrzna 1835 mm; szczelina powietrzna 10 mm; długość 276 mm. Interesujące jest uzwojenie twornika, które wykonane jest kablem o przekroju 16 mm^2 (8 kabli w żłobku).



Rys. 11. Uzwojenie twornika eksperymentalnej prądnicy wykonanej na Uniwersytecie w Uppsali

6. PRĄDNICA PRZEZNACZONA DO INSTALACJI NA BOI MORSKIEJ ZAPROJEKTOWANA W ZAKŁADZIE MASZYN ELEKTRYCZNYCH INSTYTUTU ELEKTROTECHNIKI

W roku 2012 w Zakładzie Maszyn Elektrycznych IEl zaprojektowano prądnice przewidzianą do zastosowań morskich.

Przyjęto następujące podstawowe założenia projektowe:

- konstrukcja tradycyjna, trójfazowe uzwojenie twornika;
- moc znamionowa 1 kW;
- znamionowa prędkość obrotowa 20 obr./min;
- napięcie znamionowe 52 V (bezpieczne i dostosowane do ładowania baterii akumulatorów (4×12 V));
- wzbudzenie od magnesów trwałych;
- możliwość pracy prądnicy przy ustawieniu poziomym lub pionowym.

W maszynach elektrycznych o małych prędkościach obrotowych i dużych średnicach największe trudności w konstrukcji egzemplarzy modelowych stanowi wykonanie pierścienia wirnika (nośnika magnesów) i kadłuba. Dlatego przy ustalaniu danych wymiarowych prądnicy za wielkości wyjściowe przyjęto średnice rur stalowych dostępnych na rynku, co ułatwi proces wykonania prototypu oraz znacznie obniży koszty. Średnica zewnętrzna twornika prądnicy wynosi 733,6 mm, średnica wirnika 628 mm, długość pakietu 80 mm.

Niewielka prędkość obrotowa prądnicy powoduje, że w celu zapewnienia wartości częstotliwości zbliżonej do 10 Hz należy przyjąć odpowiednio dużą liczbę biegunów. Duża średnica twornika sprawia, że należy przyjąć odpowiednio dużą liczbę żłobków. Ponadto należy uwzględnić aspekt wykonalności i symetrii uzwojenia oraz wpływ parametrów maszyny na wielkość momentu zaczepowego.

Warunki wykonalność uzwojenia:

$\dot{Z}_1/2$ – liczba całkowita;

$pqm = 3pq$ – liczba całkowita;

dla $m = 3 \dot{Z}_1/6$ – liczba całkowita.

Warunki symetrii:

$pq = \dot{Z}_1/2m = \dot{Z}_1/6$ – liczba całkowita;

\dot{Z}_1/m NWD(p, \dot{Z}_1) = $\dot{Z}_1/3$ NWD(p, \dot{Z}_1) – liczba całkowita

gdzie:

\dot{Z}_1 – liczba żłobków twornika,

q – liczba żłobków na biegun i fazę,

m – liczba faz,

NWD – największy wspólny dzielnik.

W tabeli 1 zamieszczono zestawienie parametrów maszyny przy typowych liczbach żłobków w stojanie ($\dot{Z}_1 = 108 \div 180$) i różnych wartościach liczby biegunów.

TABELA 1

Zestawienie parametrów prądnicy przy typowych liczbach żłobków w stojanie i różnych wartościach liczby biegunów

\dot{Z}_1	$2p$	q	y	k_{uzw}	NWW	f [Hz] przy $n = 20$ 1/min	wykonalność
108	48	3/4	2	0,9452	432	8	tak
108	48	3/4	3	0,8312	432	8	tak
120	32	1 1/4	4	0,9514	480	5,33	tak
120	48	5/6	3	–	–	8	niesymetryczne
120	60	3/4	2	–	–	10	niewykonalne
120	64	5/8	2	–	–	10,83	niesymetryczne
135	60	3/4	2	–	–	10	niewykonalne
144	48	1	3	1	144	8	tak
144	60	4/5	2	–	–	10	niewykonalne
144	64	3/4	2	–	–	10,83	niewykonalne
144	72	2/3	2	–	–	12,17	niesymetryczne
168	120	7/15	2	–	–	20	niesymetryczne
168	32	1 1/2	5	0,9531	672	5,33	tak
168	64	7/8	3	0,9319	1344	10,67	tak
180	60	1	3	1	180	10	tak
180	48	1 1/4	4	0,9514	720	8	tak
180	80	3/4	2	0,9452	720	13,33	tak

Oznaczenia w tabeli: NWW – najmniejsza wspólna wielokrotność liczby żłobków stojana i liczby biegunów (parametr ten powinien być możliwie duży, bowiem wpływa to na redukcję momentu zaczepowego); y – poskok uzwojenia; k_{uzw} – współczynnik uzwojenia.

Po odrzuceniu rozwiązań niewykonalnych i niesymetrycznych pozostało dziewięć możliwości, z pośród których wybrano wariant o następujących danych: $\dot{Z}_1 = 108$; $2p = 48$; $q = 3/4$; $y = 2$. Wybierając ten wariant, kierowano się możliwościami wykonania, wartością współczynnika uzwojenia i wartością NWW.

Środowiskowe warunki pracy (duża wilgotność i zasolenie) sprawiają, że magnesy będą narażone na korozję i dlatego powinny być pokryte warstwą ochronną.

Cykliczny charakter występowania fal morskich sprawia, że wytwarzana energia elektryczna będzie miała postać impulsową (nie ciągłą), bowiem prędkość obrotowa prądnicy będzie zmienna w czasie i zależna od parametrów fal napędzających przetwornik, zamieniający energię falowania na energię mechaniczną. Konieczne będzie więc zastosowanie współpracującego z prądnicą odpowiedniego urządzenia energoelektronicznego.

Wykonana została dokumentacja konstrukcyjna prądnicy i maszyna ta może być zbudowana w przypadku zainteresowania instytucji zajmującej się działalnością morską lub w ramach projektu celowego.

7. PODSUMOWANIE

Teoretyczny potencjał energetyczny fal morskich na świecie jest ogromny, jednak charakter zjawiska powoduje, że nie należy oczekiwać, by w najbliższych latach zaspokoił potrzeby energetyczne ludzkości, nawet w niewielkim stopniu. Elektrownie o dużej mocy, wykorzystujące ten rodzaj energii, są nieekonomiczne. Praktyka wykazuje, że zbudowane i działające instalacje mają z reguły osiągi mniejsze od oczekiwanych (uzyskiwana moc, czas pracy), a koszty budowy są ogromne, głównie z powodu konieczności zapewnienia bardzo wytrzymałej konstrukcji, odpornej na sztormy i działanie wody morskiej. Ponadto nie można przewidzieć ilości produkowanej energii elektrycznej, zależy to bowiem od warunków pogodowych.

Natomiast wykorzystanie energii fal morskich do zasilania instalacji sygnalizacyjnych, umieszczonych na bojach morskich, wydaje się właściwym i niejako naturalnym rozwiązaniem. Charakter obciążenia prądnicy – ładowanie akumulatorów – sprawia, że nie jest wymagana konieczność pracy ciągłej. Instalacja nie produkuje energii dla celów komercyjnych, więc nie jest wymagana wysoka jakość wytwarzanej energii. Rodzaj zastosowanej prądnicy (liniowa lub wirująca) zależy od konkretnych uwarunkowań. Instalacja w bojach morskich mikroelektrowni jest uzasadniona również z technicznego punktu widzenia, wskazane jest więc prowadzenie prac nad nowymi konstrukcjami prądnic, przewidywanymi do instalacji w bojach morskich.

LITERATURA

1. Baghaei A.: The Technology and the Maui Wave Energy Project. OceanLinx 2010.
2. Bostrom C.: Electrical systems for wave energy conversion. Acta Universitatis Upsaliensis. Uppsala 2011.
3. Cameron L. i in.: Design of the Next Generation of the Oyster Wave Energy Converter. International Conference on Ocean Energy, Bilbao (Hiszpania), październik 2010.
4. International Energy Agency. Implementing Agreement on Ocean Energy Systems. Annual Report 2007.
5. Luukkainen A.: Wind and Wave Energy for the Future. CEO Wello Ltd.
6. Marquis L.: Unlimited new clean energy. Wave Star Energy 2009.
7. Rhinefrank K. i in.: Novel ocean energy permanent magnet linear generator buoy. School of Electrical Engineering and Computer Science, Oregon State University, USA, wrzesień 2005.
8. Rocznik statystyczny PR 2011.
9. Rodrigues L.: Wave power conversion systems for electrical energy production. Faculty of Science and Technology Nova University of Lisbon. International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ), Santander (Hiszpania), marzec 2008.
10. Tedd J. i in.: Wave Dragon, prototype wave power production. World Renewable Energy Congress, Florencja, sierpień, 2006.

11. Thomas K. i in.: A low-speed generator for energy conversion from marine currents – experimental validation of simulations. Swedish Center for Renewable Electric Energy Conversion. Uppsala University, luty 2008.

Rękopis dostarczono dnia 22.03.2013 r.

SEA WAVE ENERGY USING FOR ELECTRICAL ENERGY PRODUCTION

Zdzisław KRZEMIENÍ

ABSTRACT *The paper presents methods of conversion of sea wave energy into electrical energy, examples of constructions which use this kind of renewable energy. The synchronous generator designed in Electrical Machines Department IEl destined to installation on sea buoy is described in the paper, too.*

Keywords: *renewable energy, generators*

Dr inż. Zdzisław KRZEMIENÍ jest pracownikiem Zakładu Maszyn Elektrycznych IEl od 1975 roku, obecnie zatrudniony jest na stanowisku adiunkta. Aktualnie zajmuje się problematyką maszyn elektrycznych przeznaczonych do współpracy z odnawialnymi źródłami energii.

