

Микровълнов доплеров измерител на параметрите на морското вълнение

Любомир Х. Младенов, Андрей К. Савченко, Христо Д. Слабаков**

* Институт по електроника, БАН (София)

** Институт по океанология, БАН (Варна)

За изследване параметрите на ветровото вълнение в бреговата зона днес се използват преди всичко контактни измерители (Слабаков, 1981) - електроконтактни, съпротивителни и капацитивни. Независимо от преимуществата, които притежават тези вълнографи, те имат съществен недостатък - силната им зависимост от състоянието на морската среда, особено при ниски температури около 0°C, предизвикващи обледняване на първичните им преобразователни елементи. Тази основна причина диктува и насоките на развитие на техническите средства за изследване на вълновите процеси: създаване на вълнови измерители на параметрите на морското вълнение, които да не са силно зависими от състоянието на средата, които да притежават технически характеристики, близки или по-добри от използваните сега, а също така да са приложими както за условията на бреговата, така и за дълбоководната морска зона.

Една от съвременните тенденции в тази насока е използването на радиолокатора в различни честотни диапа-

зони като инструмент за дистанционно наблюдение на параметрите на морската повърхност (МП).

От появяването им досега методите, средствата и обектът на дистанционно изследване (течения, приведен вятър, ниво на МП и други) са се разнообразили изключително много. Анализирайки различните дистанционни методи и имайки предвид конкретните нужди на Института по океанология (БАН), за измерването на параметрите на морското вълнение най-подходяща е методиката, при която се използва маломощен доплеров радиолокатор с непрекъснато действие при вертикално облъчване на МП.

Една от първите публикации, посветена на използването на такъв уред за наблюдение на МП, е на Виноградов и Лазаренко (1969).

Използван е 9GHz доплеров радар с мощност 10 - 15 mW, облъчващ в надир морската повърхност. При това положение съществен принос във формирането на доплеровото отместване има само вертикалната компонента $V_z(t)$ на орбиталната скорост на дългите енергоносеци вълни.

$$(1) F_a(t) = 2V_z(t) / \lambda,$$

където λ е дължината на вълната на радара.

Въпреки че в тази публикация не е направен спектрален анализ на получените резултати, от нея могат да се направят някои изводи и препоръки за използване на подобен уред. В публикацията на Valenzuela, Laing (1977) е предложено несложно обяснение за формирането на $F_a(t)$, като се приема, че профилът на морската повърхност е плоска синусоидална вълна

$$(2) z(x,t) = A \cdot \cos X,$$

където A е средната амплитуда на морските вълни - $A = kx - \omega t_x$

(k - средното вълново число на морските вълни; ω - средната кръгова честота на морските вълни с потенциал на скоростите $\Phi(x,t) = (\omega A/k) \cdot \exp(kd) \cdot \sin X$, където z е аликата (на повърхността $d = 0$).

При тези условия $V_z(t)$ може да се запише по следния начин:

$$(3) V_z(t) = dz/dt = \partial\Phi/\partial z = \omega A \cdot \exp(kd) \cdot \sin X.$$

Вижда се, че $V_z(t)$ е периодична функция с амплитуда ωA (при $d = 0$), т.е. че съдържа информация за амплитудата, пространствената и временната честота на профила на МП. Следователно същата информация може да се извлече от доплеровата честота, при линейната зависимост (1).

При следващото конкретизиране трябва да се отчете, че вълновите процеси върху МП имат стохастичен характер, т.е. функцията $z(x,t)$ е случайна, като разпределението ѝ има същата форма както $z(x,t)$ поради линейната

операция върху $z(x,t)$. Тогава са в сила равенствата

$$(4) [V_z^2(t)] = \int S(v) \cdot v^2 \cdot dv = \sigma v$$

$$(5) [V_z^2(t)] = (\lambda^2 / 4) \sigma_d^2.$$

Или от дисперсията на доплеровия спектър σ_d^2 може да се премине към дисперсията на енергетичния спектър $S(v)$ на $z(x,t)$. Формулата (4) е пряко следствие на равенството $S_{vz} = v^2 S(v)$ (Bass, 1977), където S_{vz} е спектър на вертикалната компонента на орбиталната скорост. От S_{vz} чрез делене v^2 може да се премине към $S(v)$, която с информативна характеристика на НП и откъдето могат да се изведат параметри като

$$(6) H_{op} = \sqrt{2^n} \cdot \sigma_z = \sqrt{2^n} \int S(v) dv$$

средна височина на морските вълни (Коновкова, Показеев, 1985) (σ_z е дисперсията на ординатите на МП)

$$(7) H_{1/3} = 5.3 \sigma_z$$

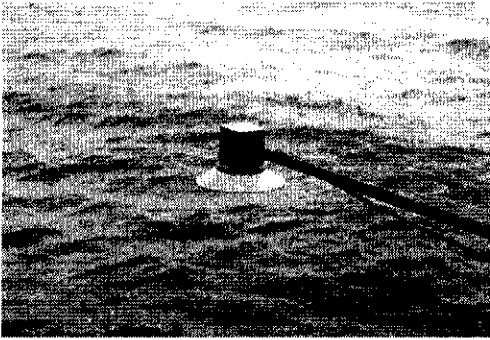
- съществена височина на морските вълни (с 3% обезпеченост) (Загординов, 1977)

$$(8) T_{cp} = \left[\int v \cdot S(v) \cdot dv \right]$$

- среден период на морските вълни.

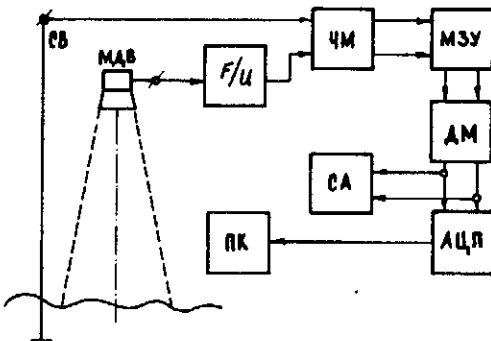
Сравнение на $S(v)$, получен от S_{vz} от контактен вълнограф, могат да се видят в публикациите на Bass (1977) и Leikin (1977), където също така е дадено сравнение на реализации $V_z(t)$ получени от доплеров радар, и на $z(t)$ - от контактен вълнограф.

Киреев, Свечников (1981) при сравнение на точността на контактните вълнографи, използвани в прак-



Фиг. 1. Фотоснимка на микровълнов вълнограф, монтиран на научно-изследователска естакада на ИО-БАН край с. Шкорпиловци

тиката, с радиолокационен вълнограф при измерване на височината на вълните установяват, че при тримерна вълнова система с помощта на радиолокационен вълнограф могат да се получат по - точни оценки за средната височина на вълната.



Фиг. 2. Блок - схема на експериментална постановка. СВ - струен вълнограф; МДВ - микровълнов доплеров вълнограф; F/U - преобразувател честота - напрежение; ЧМ - честотен модулатор; ПЗУ - магнитно записващо устройство; ДМ - демодулатор; АЦП - аналого - цифров преобразувател; ПК - персонален компютър; СА - спектроанализатор

Във връзка с необходимостта от разработването на дистанционен измерител на някои параметри на морското вълнение за нуждите на Института по океанология бяха извършени предварителни експерименти с микровълнов доплеров радар (фиг. 1) със следните параметри : мощност на излъчения сигнал - 10 mW; работната честота - 10.2 GHz; ширина на диаграмата на параболичната антена - 9° ; диапазон на измерване скорост от 0,1 до 2 m/s; захранване от 10 до 14 V при консумация под 15 mA.

Радарът беше разположен на края на научноизследователската естакада на базата на Института по океанология край с. Шкорпиловци (Варненско). Височината му над средното морско ниво беше 7 m, при което диаметърът на облъчването от МП петно беше 60 cm. В непосредствена близост до радара беше монтиран стандартен струен вълнограф от скипировката на базата. Данните от двата датчика бяха записани едновременно, като беше използвана разработената в Института по океанология системата за запис и обработка на сигнали (фиг. 2).

Микровълновият доплеров радар се състои (фиг.3) от СВЧ приемопредавател, импулсен усилвател, доплеров детектор и захранващ блок. Приемопредавателят е съставен от Гън-генератор и смесител във вълноводно изпълнение. Импулсният усилвател е транзисторен с коефициент на усилване 10. Доплеровият детектор е изграден на базата на управляем аналогов ключ и филтър усилвател, на изхода на който се получава доплеров сигнал. Захранващият блок осигурява специфично захранване, необходимо за отделните части на схемата.

Генерираните СВЧ трептения се излъчват към МП и едновременно постъпват на смесител, където се смес-

ват с отразените от нея трептения. Фазовата разлика между двата записа от разстоянието до отразяващата повърхност и при неподвижна такава е константна. Ако повърхността се движи спрямо радара, фазовата разлика се изменя и след детектиране се получава доплеров сигнал. Доколкото радарът е насочен вертикално към МП, честотата на доплеровия сигнал се определя от условието (1). Имайки предвид (3), се вижда, че информацията за измерваната величина $z(t)$ се носи от доплеровата честота $F_a(t)$. Удобно е тя да се преобразува в напрежение (преобразувателя $F - U$ от фиг. 2)

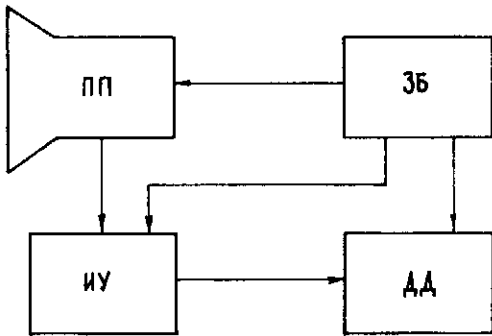
$$(9) U(t) = K \cdot F_a(t),$$

където K е константа с размерност V/Hz . Тогава

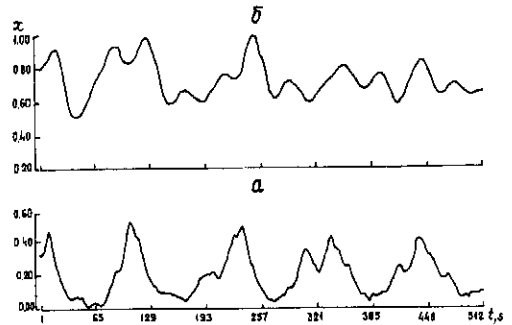
$$(10) z(t) = B \int U(t) dt,$$

където B е коефициентът на преобразуване, зависещ от K и λ .

На фиг. 4 са представени два паралелни записа на сигнал от струен вълнограф (а) и микровълнов доплеров



Фиг. 3. Блок-схема на микровълнов доплеров вълнограф ПП - СВЧ приемопредавател с антена; ИУ - импулсен усилвател; ДД - доплеров детектор; ЗБ - ذخарванящ блок



Фиг. 4. Синхронни записи на сигнали, получени от струен вълнограф (а) и микровълнов доплеров вълнограф (б)

вълнограф (б). От фигурата се вижда доброто съответствие между сигналите, което се потвърждава и от съответните спектрални оценки на фиг. 5.

Спектрите от фиг. 5 са получени с помощта на нискочестотен спектроанализатор на фирмата Bruel & Kjer, а тези на фиг. 6 - при обработка на персонален компютър с използване на бързо прсоразуване на Фурие.

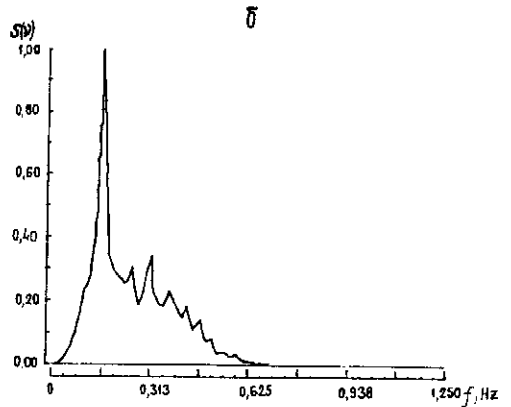
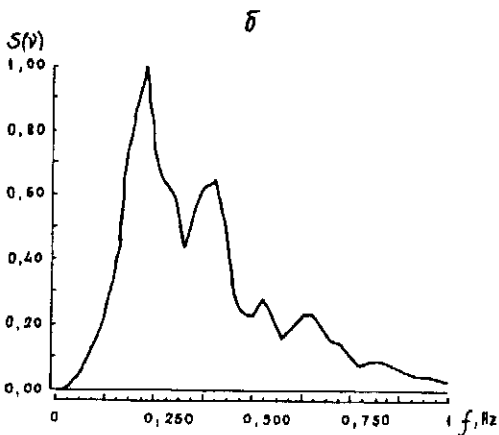
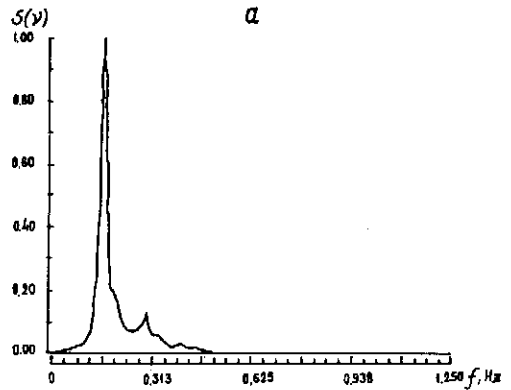
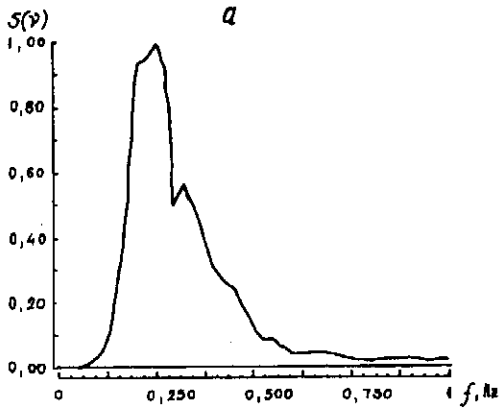
В заключение могат да се направят следните изводи.

Така описаният микровълнов доплеров вълнограф може да се използва за дистанционно определяне на някои параметри на морското вълнение, като средна височина, среден период, спектр и др.

Резултатите от статистическата обработка на данни, получени от микровълнов вълнограф и от струен вълнограф, имат много добро съответствие.

В сравнение с контактните измерители на морското вълнение микровълновият доплеров вълнограф има следните предимства:

- липса на непосредствен механичен контакт с морето и поради това добра защитеност от разрушителното действие на морските вълни при щормови и лоши климатични условия;
- липса на смущения по захранването;
- получаване на интегрална оценка за



Фиг. 5. Нормирани честотни спектри на морското вълнение, получени при обработка с ниско-честотен спектроанализатор на синхронни записи от струнен вълнограф (а) и микровълнов доплеров вълнограф (б)

Фиг. 6. Нормирани честотни спектри на морското вълнение, получени при обработка на персонален компютър с бързо преобразуване на Фурие на синхронни записи от струнен вълнограф (а) и микровълнов доплеров вълнограф (б)

облъчваното петно от МП;

- възможност за измерване на високочестотни съставни в спектъра на морското вълнение;

- компактност;

- ниска консумация и възможност за автономно захранване при реализиране например на буйкови измервателни

станции.

За реализиране на корабен вариант на такъв вълнограф е необходимо към него да се куплира акселерометричен датчик за отчитане на движението на носителя.

Литература

Слабаков, Хр. Д. 1981 Приборы, използвани при изследване на процесе в бреговата зона. Океанология (С), 8, 76 с. Виноградов, В., Н. Лазаренко. 1969 Некоторые результаты использования эффекта Доплера для дистанционного измерения морских волн (М.); 9, 507 с. Загорородников, А. А., 1971, Использование доплеровского спектра радиолокационного сигнала для измерения некоторых параметров морского волнения, Метеорология и гидрология, 1, 65 с. Киреев, А. Свечников, 1983 Судовой радиолокационной волномер, сб; докладов 4-го Всесоюзного се-

минара "Неконтактные методы измерения океанографических параметров" М. Гидрометеиздат, 42с. Кононкова, Г., К. Показеев, 1985, Динамика морских волн. (М.) МГУ. 71с. Vass, F. G. 1977. Radiophysical investigation of sea roughness (Radiooceanography) at the Ukrainian Academy of Sciences. IEEE Trans. AP - 25 No 1, 43 p. Leikin, I. A. 1977. Determination of space and time sea wave structure from frequency characteristics of the radio signal scattered by the sea structure. IEEE Trans. AP - 25, No 1, 136 p. Valenzuela, G. R., M. Laing, 1977, Study of Doppler spectra radar sea echo. J. Geophys. Res., 79, No 3, 551p.

A microwave doppler measurer of the sea wave parameters

*Lybomir H. Mladenov, Andrey K. Savchenko, Hristo D. Slabakov***

** Institute of Electronics, Bulgarian Academy of Sciences (Sofia)*

*** Institute of Oceanology, Bulgarian Academy of Sciences (Varna)*

(Summary)

The block-diagrams of an experimental setup of a microwave Doppler radar have been shown.

A comparison is made between the heights and the periods of the sea waves measured with a microwave Doppler radar and with a string type wave recorder.

Their frequency spectra have been

analyzed too. The results obtained by synchronized measurements with both measurers have shown a very good coincidence.

It has been proved that the microwave Doppler radar can be used for remote determination of the sea waves parameters (mean height, period, spectrum, etc.)