

Разпределение на дълбоководните ветро-вълнови характеристики в българския сектор на Черно море

Живелина Ив. Чернева, Николай Н. Вълчев, Петя Г. Петрова,
Наталия К. Андреева, Надежда Н. Вълчева

Институт по океанология, БАН, Варна; e-mail: cherneva@io-bas.bg

Въведение

При проектирането, изграждането и поддръжката на бреговите съоръжения е необходима точна оценка на обстановката по време на екстремални вълнови събития. За целта разпределението на ветровите и вълновите характеристики в дълбоководното трябва да бъде известно. Настоящото изследване описва особеностите на ветро-вълновия режим, определен по данни от натурни измервания и резултатите от математичното моделиране на процеса. Използвани са публикувани метеороложки данни, за да се обобщят и доразвият предишни резултати (K o s t i c h k o v a, C h e r n e v a, V e l c h e v a, 1997; C h e r n e v a et. al, 2002; C h e r n e v a, V a l c h e v, 2000), върху ветро-вълновите условия в българската част на Черно море.

Дълбоководните региони, взети под внимание в настоящата работа, са разположени пред бреговите метеороложки станции Калиакра, Обзор и Бургас и представляват три обособени по своите хидродинамични условия зони от българската черноморска акватория.

Разпределение на вятъра

Ветровият режим в българския сектор на Черно море се определя от характерния за умерената зона на северното полукълбо пренос на въздушни маси с посока запад - изток. Зимният сезон се характеризира със западни и северозападни ветрове като резултат от нарастващата циклонална активност над Средиземно море и съществуващите антициклони над Източна

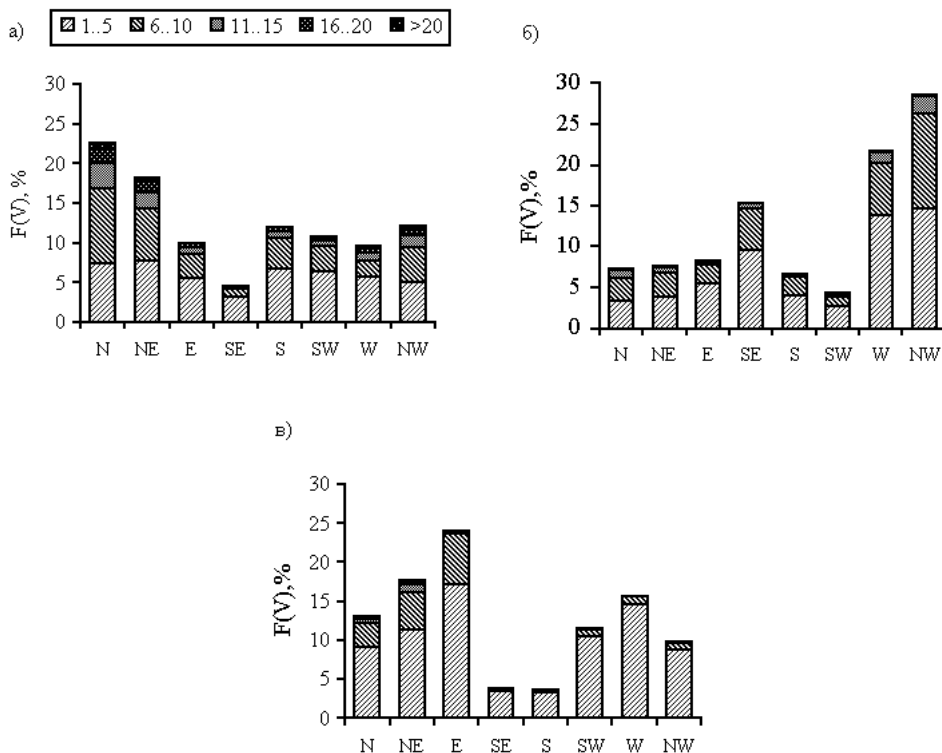
Европа. Преходните сезони създават благоприятни условия за проявата на югоизточни и източни ветрове, което се предопределя от циклоните на полярния фронт на север от България. Поради факта, че най-силните ветрове се наблюдават през зимата и есента, през тези сезони са регистрирани и максимални ветрови вълни. Най-слабо е вълнението през лятото.

Използвайки публикувани метеороложки данни (К л и м а т и ч е н справочник, том 4 – Вятър) е направено сравнение на вероятностното разпределение на вятъра по посока и скорост за всяка от избраните брегови метеороложки станции. Резултатите са показани на фиг. 1. От нея се вижда, че преобладаващите ветрове в българския сектор на Черно море са от източната половина. Най-силните ветрове са от североизток и север и имат най-голяма повторемост за станция Калиакра.

Измерванията на ветровите характеристики в Бургаския залив са повлияни от орографията. На този факт се дължи големият брой случаи на ветрове с високи скорости от изток и югоизток. За станция Обзор най-силните ветрове са от юг и югозапад.

Данни за вятъра от метеорологична станция Калиакра

Друг масив от данни, използван за оценка на разпределението на вятъра, включва стандартни метеороложки измервания на скоростта и посоката на вятъра на всеки 3 часа в станция Калиакра за период от 10 години (1972 - 1981). Шест



Фиг. 1. Разпределение на вятъра $F(V)$ по посоки за брегови станции:
а) Калиакра; б) Обзор; в) Бургас

години от този период (1972 - 1977) се характеризират с висока щормова активност, а в периода 1978 - 1981 г. се наблюдава по-ниска щормова активност (Kostichkova, Cherneva, Velcheva, 1997). Използваните експериментални данни се приемат за пълни, тъй като установените пропуски са с продължителност не повече от 36 часа. Този времеви интервал не е достатъчен за появата и затихването на щорм, т. е. счита се, че не са пропуснати щормове в разгледаните дългопериодни редове. Климатичното разпределение на ветровите скорости е представено на фиг. 2.

Най-големи скорости на вятъра са регистрирани през месеците януари-февруари и октомври-декември. През тези периоди скорости на вятъра, по-високи от 15 m/s, са често явление както над морето, така и над

сушата. Вероятността за възникването на ветрове със скорост 3 - 6 m/s се увеличава през летните месеци.

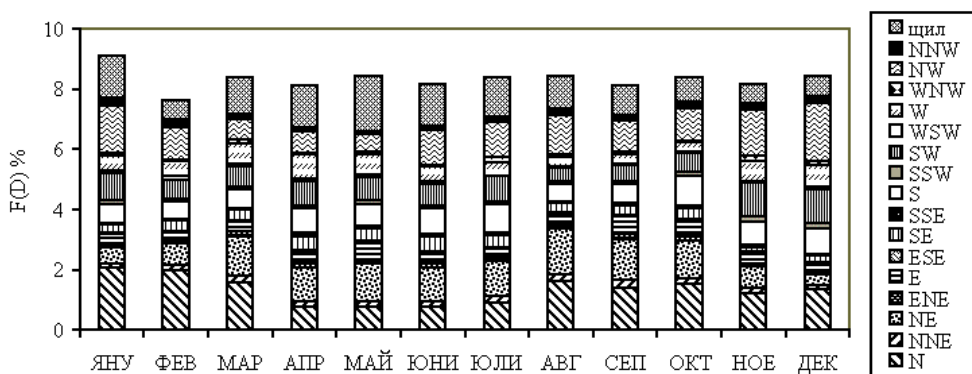
Резултатите за климатичното разпределение на вятъра по посоки са показани на фиг. 3 и потвърждават заключенията, направени по-горе.

Разпределение на вълните

Наличните данни от климатичния справочник са обработени по модела на Крылов, Стрекалов, Цыплухин (1976). Той предлага емпирична връзка между елементите на вълните и вълнообразуващите фактори, която се основава на съвместен анализ на натурни и лабораторни измервания. В основата на модела стои известният филтрационен метод на Ржеплинский (1968), позволяващ от съвкупността от данни да се отделят онези от тях, които отговарят на



Фиг. 2. Климатично разпределение $F(V)$ [%] на скоростта на вятъра V [m/s] по градации за станция Калиакра



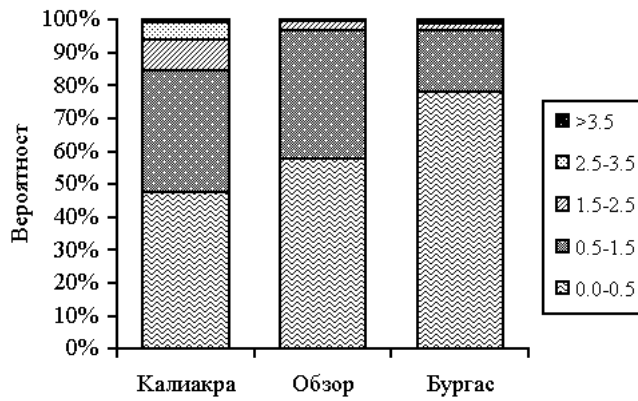
Фиг. 3. Климатично разпределение $F(V)$ [%] на вятъра по посоки за станция Калиакра

“идеалните” условия на вълнообразуване. Апроксимиращата функция на модела обезпечава минимално квадратично отклонение между натурните данни и данните, получени от филтрационния метод. За целите на настоящото изследване зоната, в която се изчисляват характеристиките на ветровото вълнение, е изнесена в дълбоководието, при допускане за еднородност на ветровото поле. Разпределението на ветровите вълни е пресметнато за периода 1931 - 1977 г. Пред станция Калиакра най-вероятни са ветровите вълни от север, североизток и изток. В района пред Обзор най-високи вълни могат да се очакват от североизток и изток, макар че той е открит за всички ветрове от източната половина. Ветровото вълнение пред

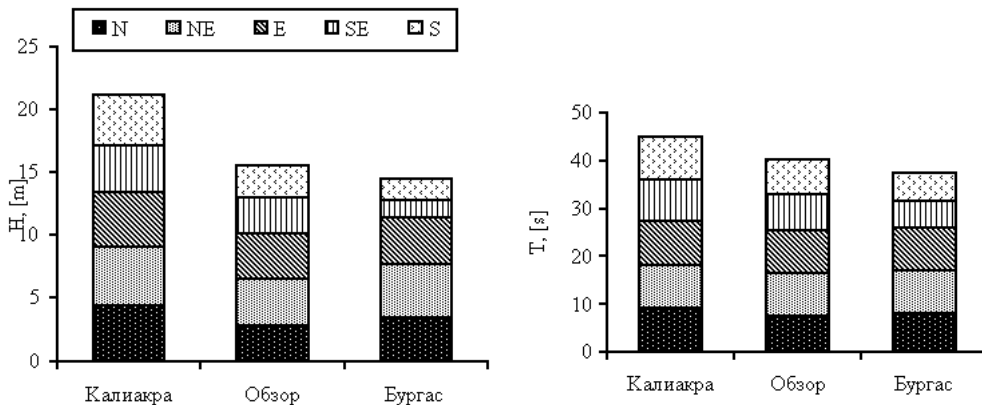
акваторията на Бургаския залив се характеризира със същите особености както пред Обзор.

На фиг. 4 може да се види, че с най-голяма повторяемост са вълните със средна височина по-малка от 0.5 m, докато вълни със средна височина по-голяма от 3.5 m са най-вероятни само за района пред Калиакра.

Стилбовете на фиг. 5 представляват сума от стойностите на средната височина и период на вълните с повторяемост веднъж на 20 години, получени за избраните станции по метода, описан в Строителны е нормы и правила (1976). От нея може да се направи следното заключение: най-големите стойности на вълновите характеристики с повторяемост



Фиг. 4. Вероятност за повторяемост на вълнението по градации на средната височина на вълната, независимо от посоката, за дълбоководните зони пред станции Калиакра, Обзор и Бургас



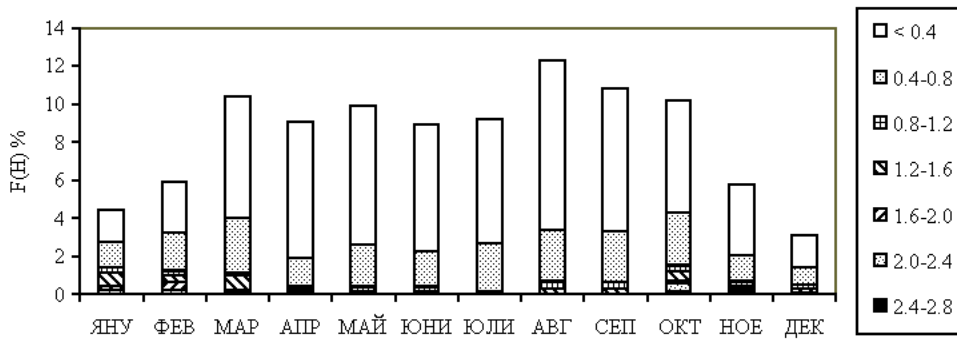
Фиг. 5. Стойности на средната височина H [m] и период T [s] с повторяемост веднъж на 20 години за дълбоководните зони пред станции Калиакра, Обзор и Бургас

веднъж на 20 години могат да се очакват от север, североизток и изток, т.е. от вълноопасните посоки за западната част на Черно море. Сравнително високи стойности за средните вълнови периоди са получени за южна посока.

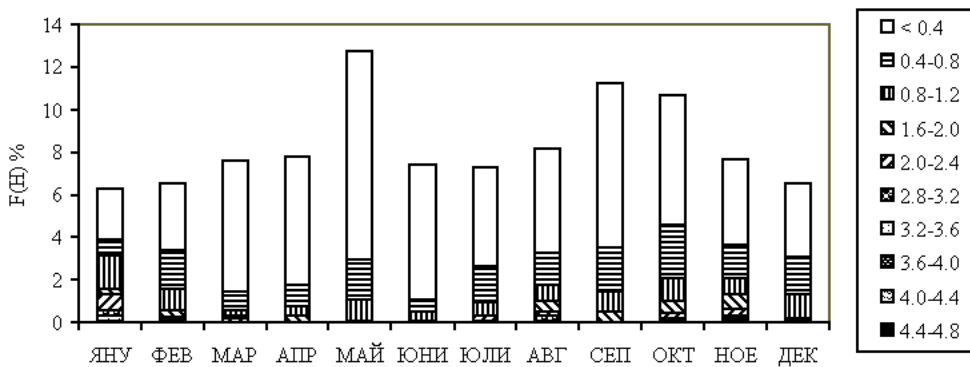
Оценка на ветро-вълновите условия чрез използване на данните за вятъра от станция Калиакра

Климатичните характеристики на височините на вълните, получени от данни за вятъра от станция Калиакра, са представени на фиг. 6 - 8. Показани са само ветровите вълни от вълноопасните посоки.

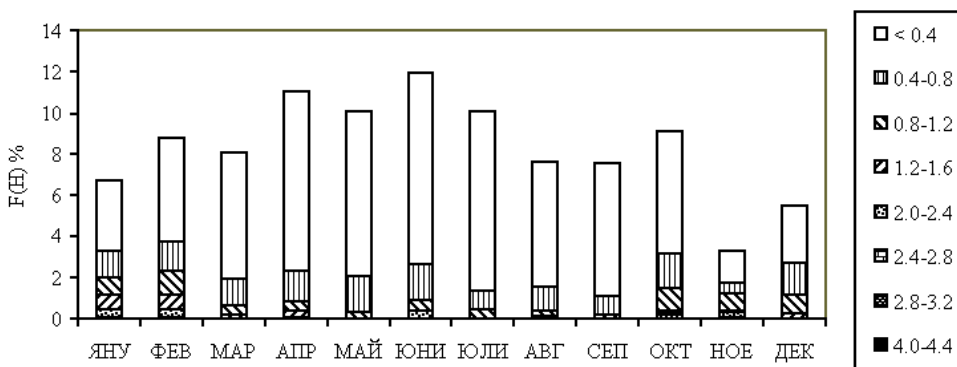
Най-вероятни са ветрови вълни със средна височина по-малка от 0.4 m, които се наблюдават през лятото. През периода май-август вълни със средна височина 2.0 m са малко вероятни. Силни щормове със средна височина на вълните по-големи от 2.6 m се наблюдават през периода октомври-март. С най-голяма вероятност е ветровото вълнение от север-североизток, като средните височини варират в голям интервал. Противоположна е ситуацията за вълните от юг: вълните с най-голяма вероятност са по-ниски и варират в по-тесен интервал на изменение.



Фиг. 6. Климатично разпределение $F(H)$ [%] на средномесечната средна височина на вълните [m] от североизточна посока в средната част на Българското Черноморско крайбрежие



Фиг. 7. Климатично разпределение $F(H)$ [%] на средномесечната средна височина на вълните [m] от източна посока в средната част на Българското Черноморско крайбрежие



Фиг. 8. Климатично разпределение $F(H)$ [%] на средномесечната средна височина на вълните [m] от югоизточна посока в средната част на Българското Черноморско крайбрежие

Диагностициране на ветровото вълнение

Съвременните технологии за използване на бреговата зона и прилежащата акватория изисква познаване на количествените характеристики на вятъра и вълните. Липсата на непрекъснати данни за ветровото вълнение в условията на силни щормове е пречка за непосредственото използване на експериментални данни при определяне на разпределението на вълновите характеристики. Използването на математичен модел позволява оценка на вълнението в дълбоководието въз основа на данни за полето на атмосферното налягане и възпроизвеждане на пространствените характеристики на вълновия процес. Затова в настоящото проучване са дискутирани и резултатите от приложението на хибриден параметричен модел (Д а в и д а н, ред., 1988). Входна информация за модела са данните за баричното поле над Черно море през 3 часа. Те обхващат 59 щорма, за периода 1952 - 1969 година. Подробна информация за модела и проверка на валидността му в българския сектор на Черно море е дадена в Б е л б е р о в и др. (1992), В е л б е р о в е т а л. (1997).

Моделните резултати са обработени статистически с цел да се получат максималните годишни стойности на средните височини и периоди на вълните. Впоследствие този масив е разширен с всички щормови максимуми, за да се избегне ниската статистическа достоверност на редовете с малка дължина. Съдържанието на обобщените данни за вятъра и вълнението са разгледани по-долу.

Североизточните ветрове преобладават и тяхната скорост е най-висока в сравнение с източните и северните ветрове. Средните максимални скорости на вятъра получени, следвайки модела, са 28.4 m/s, 24.5 m/s и 31.4 m/s за избраните дълбоководни региони съответно.

Вълните от североизток представляват 72.9 - 76.3 % за всички случаи на ветрови вълни; 55.9 - 83.1 % за мъртво вълнение и 66.1 - 71.2 % за смесено вълнение. Що се отнася за други посоки на подход на вълните, те не превишават 27.1 % за посока север (пред Калиакра) и 10.2 % за посока изток (пред Обзор). Южни и югоизточни вълни са рядко срещани и не превишават

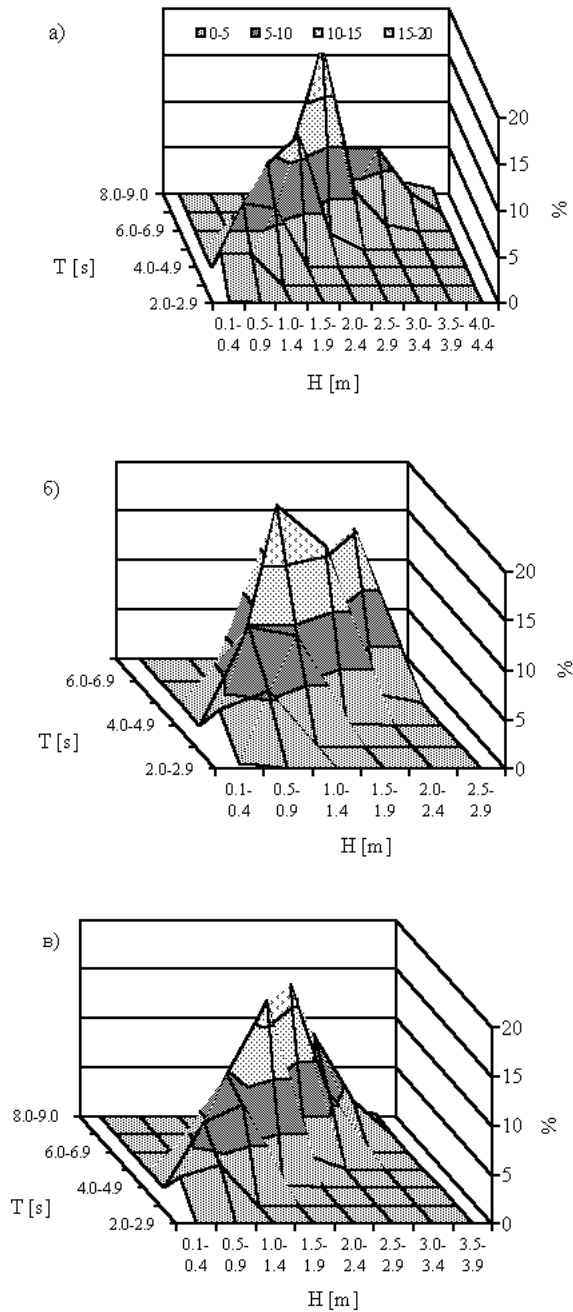
5 % от всички данни, поради което не подлежат на статистическа обработка. Най-големите средни височини и периоди са получени за щормови вълни от североизток. Максималните средни височини на вълните са: 4.6 m, 2.9 m и 3.8 m, на които съответстват периоди: 8.4 s, 7.7 s, 8.2 s, за избраните региони. Фиг. 9 дава примери за съвместното разпределение на средните височини и периоди на вълните. Екстремалните значения на вълновите характеристики са представени през интервали от 0.5 m и 1 s, съответно. По-голямата част от данните (15 - 25 % в зависимост от извадката) са концентрирани в интервалите: 1.0 - 1.4 m и 5.0 - 5.9 s, както би следвало да се очаква.

Въз основа на статистическия анализ на моделните резултати може да се обобщи, че най-суровите ветро-вълнови условия се наблюдават в северната част на Българското Черноморско крайбрежие. В средната част условията са сравнително умерени. Това може да се обясни с експозицията на брега.

Изчисляване на вълните в дълбоководието

То се състои в оценка на повторемостта на средните височини и периоди веднъж за определен интервал от време, т.е. за различни проектни периоди. За целта се намира най-вероятното разпределение на редицата от екстремални стойности на вълновите параметри, които са апроксимирани с познатите функции на разпределение: Фишер-Типет, тип I, Вейбулово и Логнормално. Методиката при екстремния статистически анализ е изложена във V a l c h e v, C h e r n e v a (2002) и е подобна на тази, представена от M u i r, S h a a r a v i (1986).

Резултатите показват, че когато се използват редове с голяма продължителност, средните височини най-често следват Логнормалното разпределение, а средните периоди - разпределението на Вейбул. Това е валидно за всички годишни и щормови максимуми на вълнението от североизток и частично от север. Когато щормовите вълни са от изток, средните периоди имат разпределение на Фишер-Типет, тип I. Съответните средни височини обаче се подчиняват на разпределенията на Вейбул и Логнормалното разпределение. Сравне-



Фиг. 9. Съвместно разпределение на получените от модела средни височини и периоди на вълните със североизточна посока на разпространение за трите дълбоководни региона пред: а) Калиакра; б) Обзор; в) Бургас

нието между разпределенията на годишните и щормовите максимуми на вълновите характеристики показва, че годишните максимуми на средните периоди са разпределени по Вейбул, а средните периоди не се подчиняват на строго определен закон, особено при смесено вълнение. Характеристиките на щормовите максимуми имат главно Логнормално разпределение. Като цяло ясно изразено обособяване на акватории с различни хидродинамични условия въз основа на най-вероятното разпределение на вълновите характеристики е трудно да се открие. Това вероятно се дължи на сравнително малките по обхват региони, предмет на настоящото изследване.

Заключение

Получени са разпределенията на вятъра и вълнението в три дълбоководни зони от българския сектор на Черно море. Натурните метеороложки данни и резултатите от прилагането на математичния модел са статистически обработени. Сравнени са вероятностните разпределения на вятъра по посока и скорост. След обработка на данните от баричното поле и пресмятане на вятъра се установява, че най-силните

ветрове в българския сектор на Черно море са от североизток и север и имат най-голяма повторяемост за станция Калиакра. Това се съгласува добре с резултатите, получени за климатичното разпределение на вятъра за станция Калиакра. Ветровите вълни от север, североизток и изток са с най-голяма повторяемост, което се потвърждава от оценките за повторяемостта на средните височини на вълните веднъж на 20 години.

Екстремният анализ на резултатите от диагностичния модел потвърждава заключенията от климатичното разпределение. Кривите, съответстващи на стойностите на годишните максимуми с различна повторяемост, са по-стръмни в сравнение с тези на щормовите максимуми. Това разширява диапазона на очакваните стойности както на средните височини, така и на средните периоди. При това очакваните стойности за годишните максимуми са по-високи, особено за по-големи проектни периоди. Тази тенденция се запазва, когато се обработват редове от данни с по-голяма дължина. Всички използвани методики водят до сходни резултати и заключения.

ЛИТЕРАТУРА

- Белберов, З., И. Давидан, Д. Костичкова, И. Лавренов, Л. Лопатухин, Ж. Чернева. 1992. Основные принципы создания нового ветро-волнового атласа Болгарского сектора Черного моря. Трудове на ИО, том. 1, 5-12.
- Давидан, И. (ред.) 1988. Теоретические основы и методы расчета ветрового волнения, Л. Гидрометеиздат, 263.
- Климатичен справочник на България. 1982. том. 4, Вятър, ИК "Наука и изкуство", 383.
- Крылов, Ю., С. Стрекалов, В. Цыплухин. 1976. Ветровые волны и их воздействие на сооружения, Л. Гидрометеиздат, 256.
- Ржеплинский, Г. В., Ю. М. Крылов, Г. В. Матушевский, С. С. Стрекалов, Л. Н. Назаретский. 1968. Новый метод анализа и расчета элементов ветровых волн. Труды ГОИН, вып. 93, 5-52.
- Строительные нормы и правила. 1976. Москва, Госстрой.
- Belberov, Z., Z. Cherneva, D. Kostichkova, I. Davidan, I. Lavrenov, L. Lopatoukhin. 1997. Verification of the hybrid wave model for the western Black Sea, Proc. of 4th Int. Tech. Conf. on Ocean Eng. and Marin Tech. "Black Sea'97", 11-16.
- Cherneva, Z., N. Valchev. 2000. Wind-wave characteristics in a deep water point in the Western Black Sea, Proc. of 5th Int. Conf. on Marine Sciences and Technologies "Black Sea 2000", 77-80.
- Cherneva, Z., N. Valchev, N. Andreeva, P. Petrova. 2002. Wind wave regime in Western part of the

- Black Sea derived from the coastal meteorological stations data, Proc. of 6th Int. Conf. "BLACK SEA'2002", Varna, Bulgaria, 312-318.
- K o s t i c h k o v a, D., Z. C h e r n e v a, A. V e l c h e v a. 1997. Wind Wave Climate of the Western Black Sea, Proc. of 4th Int. Tech Conf. on Ocean Eng. and Mar. Techn. "Black Sea'97", 17-22.
- M u i r, L., A. E l - S h a a r a w i. 1986. On the calculation of extreme wave heights: A review, Ocean Eng., Vol. 13, No. 1, 93-118.
- V a l c h e v, N., Z. C h e r n e v a. 2002. Wave regime in open sea in front of the Bulgarian coast on the basis of hindcast data, Proc. of 4th Int. Conf. On Marine Industry "MARIND'2002", Varna, Bulgaria, 325-330.

Постъпила на 27.01.2002 г.

Offshore Wind Wave Distribution in Bulgarian Part of the Black Sea

Zhivelina Cherneva, Nikolay Valchev, Petya Petrova, Natalia Andreeva, Nadezhda Valcheva

(Summary)

The present paper reveals some of wind wave regime particularities in the Bulgarian Black Sea part on the basis of data sets obtained thorough real measurements, applying of traditional engineering methods and hincasting. The attention is stressed on the wind wave conditions in Kaliakra meteorological station where the severest winds have been registered. Hindcast data series are characterized quantitatively. Subsequently, wave regime in three deep-water areas is compared taking into consideration most probable parent distribution of wind wave characteristics annual and storm maxima. Calculation of offshore waves is implemented by means of return values of mean wave heights and periods. The conclusion is that different methodics give similar results.