

АВТОМОДЕЛЬНЫЕ И ЛАЗЕРО-ПОДОБНЫЕ РЕЖИМЫ В ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ КИНЕТИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ ХАССЕЛЬМАНА ОКЕАНСКИХ ВОЛН

Пушкарев А.Н., Захаров В.Е.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва,
Ленинский проспект, д. 53, 119333, Russia
e-mail: dr.push@gmail.com

Статья поступила в редакцию 25.12.2018, одобрена к печати 30.01.2019

Отсутствие математически обоснованных критериев в используемых крупнейшими мировыми центрами NOAA (USA) и ECMWF (UK) моделях прогноза ветрового волнения океана, основанных на численном моделировании кинетического уравнения Хассельмана, привело к ошибочной иерархии и аппроксимации членов нелинейного взаимодействия, ветровой накачки и затухания волн за счет обрушения волн. Существующие операционные модели ветровых волн работают в рамках парадигмы регулируемого «черного ящика», требуя каждый раз перенастройки. На основе численного моделирования нам удалось построить модель с учетом накачки степенного типа в комбинации с «невной» диссипацией (Zakharov и др., 2017; Pushkarev, 2018; Zakharov и др., 2018; Zakharov, 2018; Zakharov и др., 2018), которая воспроизводит наилучшим образом данные более десяти экспериментальных наблюдений, имеющих автомодельное поведение (рис. 1). Построенная новая модель улучшает качество предсказания ветрового волнения и требует минимальной регулировки параметров.

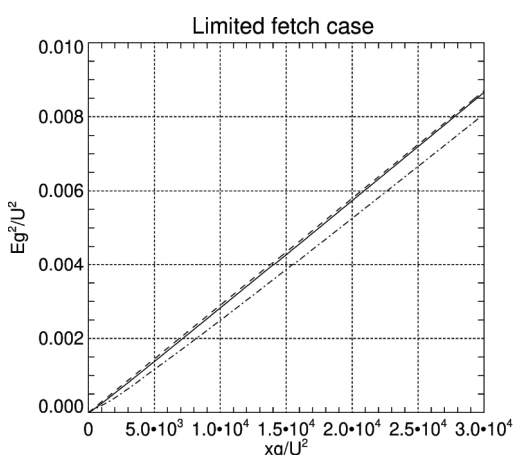


Рис. 1. Безразмерная энергия как функция расстояния от берега: скорость ветра $U = 10$ м/сек – сплошная линия; $U = 5$ м/сек – штрих-пунктирная линия; автомодельное решение – штриховая линия.

Физика ветрового волнения меняется радикально при переходе от открытого океана к ограниченным акваториям. Нами показано, что постоянный ветер, дующий перпендикулярно к берегу в ситуации с морским проливом, приводит к стационарному состоянию морского волнения с появлением дополнительной компоненты в виде монохроматической волны (рис. 2), распространяющейся по нормали к

ветру. Такой режим генерации сосуществует с автомодельным режимом. Данный нелинейный лазеро-подобный эффект назван нами Nonlinear Ocean Waves Amplifier (NOWA). Нами также обнаружен новый режим возбуждения волн против ветра.

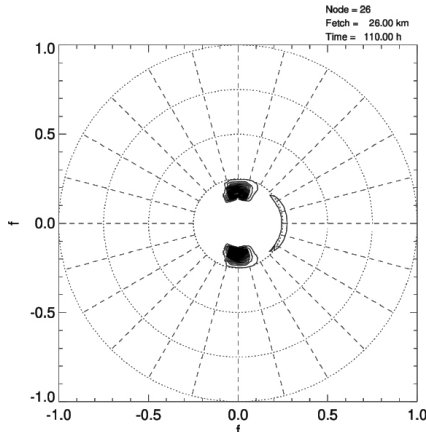


Рис. 2. Линии уровня спектра волновой энергии, как функции частоты и угла. Видна ветровая компонента при нулевом угле и монохроматические при угле ± 90 градусов.

Полученные результаты имеют важное фундаментальное и прикладное значение.

Литература

- Pushkarev A.* Comparison of Different Models for Wave Generation of The Hasselmann Equation // IUTAM Symposium on Wind Waves, Procedia IUTAM. 2018. P. 132–144. <https://doi.org/10.1016/j.piutam.2018.03.013>.
- Zakharov V.* Analytic theory of wind-driven sea // IUTAM Symposium Wind Waves, 4–8 September 2017. London, UK. Procedia IUTAM. 2018. Vol. 26. P. 43–58.
- Zakharov V., Badulin S., Geogjaev V., Pushkarev A.* Weak-Turbulent Theory of Wind-Driven Sea, submitted to ESS Special issue on Nonlinear Geophysics in the framework of the Centennial of AGU. 2018.
- Zakharov V., Resio D., Pushkarev A.* Balanced source terms for wave generation within the Hasselmann equation // Nonlin. Proc. Geophys. 2017. Vol. 24. P. 581–597. DOI.org/10.5194/npg-24-581-2017.
- Zakharov V., Resio D., Pushkarev A.* On the Tuning-Free Statistical Model of Ocean Surface Waves // ASME International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. Vol. 3: Structures, Safety, and Reliabilit. 2018. DOI:10.1115/OMAE2018-78417.

SELF-SIMILAR AND LASER-LIKE REGIMES IN NUMERICAL MODELING OF HASSELMANN KINETIC EQUATION FOR OCEAN WAVES

Pushkarev A.N. , Zakharov V.E.

*P.N. Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences,
Moscow 119333, Russia, e-mail: dr.push@gmail.com
Submitted 25.12.2018, accepted 30.01.2019*

The absence of mathematically justified criteria in the models of prediction of wind waves of the ocean, used by the world's largest centers NOAA (USA) and ECMWF (UK), based on numerical modeling of the Hasselmann kinetic equation, led to erroneous

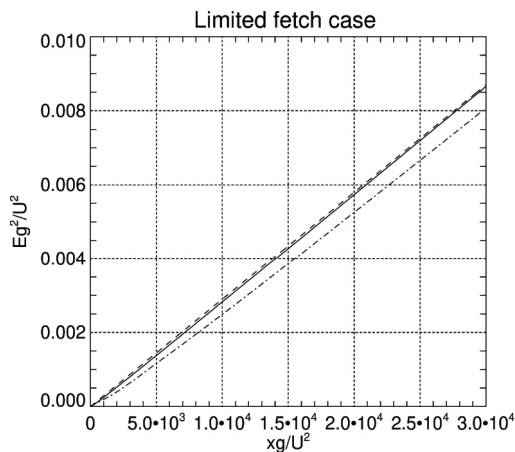


Fig. 1. Dimensionless energy as the function of distance from shore: wind speed $U = 10$ m/sec-continuous line; $U = 5$ m/sec – dash-dotted line; self-similar solution – dashed line.

hierarchy and erroneous nonlinear interaction approximation, wind forcing and waves dissipation terms due to wave-breaking. Existing models of wind waves operate in the paradigm of the adjustable «black box», each time requiring reconfiguration. On the basis of numerical simulation, we were able to construct a model, taking into account the wind forcing of the power type in combination with the «implicit» dissipation (Zakharov et al., 2017; Pushkarev 2018; Zakharov et al., 2018; Zakharov 2018; Zakharov et al. 2018), which best reproduces the data of more than ten experimental observations, having self-similar behavior (Fig. 1). The new model improves the quality of wind wave prediction and requires minimal parameters adjustment.

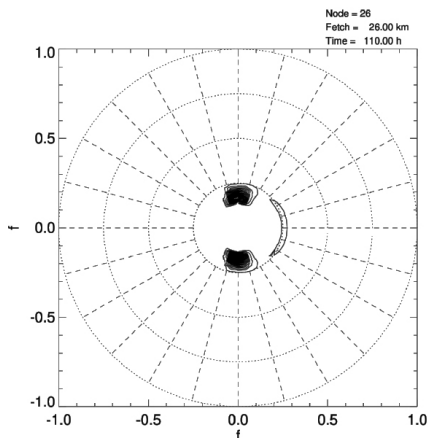


Fig. 2. Lines of the wave energy spectrum level as the function of the frequency and the angle. The wind component is visible at zero angle and quasi-monochromatic component at the angles of ± 90 degrees.

The physics of wind waves changes radically during the transition from the open ocean to the bounded water basins. We have shown that constant wind blowing perpendicular to the shore in the situation with the sea strait leads to stationary state of wave sea with the appearance of an additional component in the form of a monochromatic wave (Fig. 2), propagating almost perpendicular to the wind. Such regime of waves generation co-exists with the self-similar regime. We call this nonlinear laser-like effect Nonlinear Ocean Waves Amplifier (NOWA). We also found the new regime of waves excitation against the wind.

The obtained results are of fundamental and applied importance.

Keywords: Hasselmann equation, numerical simulation, wind waves forecasting models

References

- Pushkarev A.* Comparison of Different Models for Wave Generation of The Hasselmann Equation. IUTAM Symposium on Wind Waves, Procedia IUTAM, 2018, pp. 132–144, <https://doi.org/10.1016/j.piutam.2018.03.013>.
- Zakharov V., Resio D., and Pushkarev A.* Balanced source terms for wave generation within the Hasselmann equation. *Nonlin. Proc. Geophys.*, 2017, Vol. 24, pp. 581–597, <https://doi.org/10.5194/npg-24-581>.
- Zakharov V., Resio D., and Pushkarev A.* On the Tuning-Free Statistical Model of Ocean Surface Waves, ASME International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering. *Structures, Safety, and Reliability*, 2018, Vol. 3, doi:10.1115/OMAE2018-78417,
- Zakharov V.* Analytic theory of wind-driven sea. IUTAM Symposium Wind Waves, 4–8 September 2017, London, UK, Procedia IUTAM, 2018, Vol. 26, pp. 43–58,
- Zakharov V., Badulin S., Geogjaev V., and Pushkarev A.* Weak-Turbulent Theory of Wind-Driven Sea. Submitted to ESS Special issue on Nonlinear Geophysics in the framework of the Centennial of AGU, 2018.