→

Вестник Российского университета дружбы народов

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1993 году

Серия

Математика. Информатика. Физика 2010, № 3

Российский университет дружбы народов

СОДЕРЖАНИЕ

Математика

Математическое моделирование

Физика

5

- ©Российский университет дружбы народов, Издательство, 2010
- ©Вестник Российского университета дружбы народов, 2010





→

Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia

SCIENTIFIC JOURNAL

Founded on 1993

Series

Mathematics. Information Sciences. Physics 2010, No 3

Peoples' Friendship University of Russia

CONTENTS

Mathematics

Mathematical Modelling

Physics

ŀ

- © Peoples' Friendship University of Russia, Publishing House, 2010
- ©Bulletin of Peoples' Friendship University of Russia, 2010















Математическое моделирование





_____ Физика

UDC 532.5.031 PACS 47.35.Bb

Hydrodynamic Pressure Computation Under Real Sea Surface on Basis of Autoregressive Model of Irregular Waves

A. Degtyarev, I. Gankevich

Faculty of Applied Mathematics and Control Processes, Saint Petersburg State University, Ulianovskaia nab., 7-9, St. Petersburg, Russia, 199034

Determining the impact of external excitations on a dynamic marine object such as ship hull in a seaway is the main goal of simulations. Now such simulations is most often based on approximate mathematical models that use results of the theory of small amplitude waves. The most complicated software for marine objects behavior simulation LAMP IV (Large amplitude motion program) uses numerical solution of traditional hydrodynamic problem without often used approximations but on the basis of theory of small amplitude waves. For efficiency reasons these simulations can be based on autoregressive model to generate real wave surface. Such a surface possesses all the hydrodynamic characteristics of sea waves, preserves dispersion relation and also shows superior performance compared to other wind wave models. Naturally, the known surface can be used to compute velocity field and in turn to determine pressures in any point under sea surface. The resulting computational algorithm can be used to determine pressures without use of theory of small-amplitude waves.

Key words and phrases: autoregressive model, wind waves, hydrodynamic pressure, virtual testbed.

Introduction

For many years marine object behavior in a seaway was investigated through experiments conducted in a towing tank and although in some cases this approach proved to be useful it has some disadvantages compared to modern techniques. First of all, conducting a single experiment in a towing tank and collecting desired data takes as long as one month to complete. Second, towing tank provides machinery to generate only plane waves which propagate in at most one direction and process of propagation is disturbed by walls of a pool so that real three-dimensional sea waves cannot be generated in experiment. Finally, all the simulations in a towing tank are carried out not for real-sized ship but for its model and using fitting criteria to generalize experiment results for real ship is not always feasible; so not every aspect of real behavior can be captured in towing tank. As a result of these deficiencies and also as a consequence of development of high-performance computer machines more and more experiments conducted in a towing tank are replaced by computer-based simulations conducted in a virtual testbed.

Virtual testbed being a computer program to simulate physical and anthropogenic phenomena can be seen as evolution and virtual analog of a towing tank and it not only lacks disadvantages of a towing tank mentioned above but also offers much broader set of simulation options. For example, in a computer program with help of a proper sea wave generator it is possible to combine climatic and wind wave model [1] and to use assimilated wind velocity field data to simulate wind waves and swell which occur in a particular region of ocean and also to simulate evolution of wave climate between normal and storm weather. Another option is to simulate water streams, ice cover, wave deflection and wave diffraction. However, none of these options were implemented in software to a full extent and often used wind wave models are capable of generating only linear sea. So, virtual testbed approach takes marine object behavior simulations



The research was carried out using computer resources of Resource Center "Computer Center of Saint-Petersburg State University" (T-EDGE96 HPC-0011828-001) and supported by Russian Foundation for Basic Research (project N 13-07-00747) and St. Petersburg State University (project N 9.38.674.2013).



one level higher than level offered by towing tank, however, not all the potential of this approach is realized.

Not only different weather scenarios are not implemented in a virtual testbed but wind wave models such as Longuet—Higgins model are capable of generating only linear sea and more effective models can be developed. An alternative autoregressive model is a wind wave model proposed by Rozhkov, Gurgenidze and Trapeznikov [2] and it is advantageous in many ways over Longuet—Higgins model when conducting simulations in a virtual testbed. First, it allows generating realizations of arbitrary amplitude ocean waves whereas Longuet—Higgins model formulas are derived using assumptions of small-amplitude wave theory and are not suitable to generate surfaces of large-amplitude waves [3]. Second, it lacks disadvantages of Longuet— Higgins model: it has high convergence rate, its period is limited only by period of implemented pseudo-random number generator and it can model certain nonlinearities of wave motion such as asymmetric distribution of wave surface elevation [4]. Finally, autoregressive model has efficient and fast numerical algorithm compared to Longuet—Higgins model which reduces simulation time [5]. However, autoregressive model formulas are not derived from partial differential equations of wave motion but instead represent non-physical approach to wavy surface generation and to prove adequacy of such an approach series of experiments were conducted to show that wavy surface generated by this model possesses integral characteristics as well as dispersion relation of a real ocean waves and an ability to reproduce storm weather [3].

Theory of small amplitude waves is also used to determine pressures under sea surface and methods for determining pressures should also be modified to match autoregressive model.

Pressure determination

The problem of pressure determination under real sea surface in case of inviscid incompressible fluid is reduced to solving Laplace equation with dynamic and kinematic boundary conditions [6] and in two-dimensional case an analytical solution can be obtained. In two-dimensional case the corresponding system of equations

$$\phi_{xx} + \phi_{zz} = 0,$$

$$\phi_t + \frac{1}{2} (\phi_x^2 + \phi_z^2) + g\zeta = \frac{p}{\rho}$$

$$at z = \zeta(x, t),$$

$$\zeta_t + \zeta_x \phi_x = \phi_z$$

$$at z = \zeta(x, t)$$

$$(1)$$

can be solved in three steps. The first step is to solve Laplace equation using Fourier method and obtain solution of the form of Fourier integral

$$\phi(x,z,t) = \int_{-\infty}^{\infty} E(\lambda)e^{\lambda(z+\iota x)}d\lambda.$$
 (2)

The second step is to determine coefficients $E(\lambda)$ by substituting this integral into second (kinematic) boundary condition. The boundary condition is held on the free wavy surface $z = \zeta(x,t)$ so that velocity potential derivative $\phi_z(x,t)$ can be evaluated using the chain rule. After performing these steps the equation

$$\frac{\zeta_t}{\zeta_x + \zeta_t - \zeta_x (\zeta_x + i)} = \int_{-\infty}^{\infty} \lambda E(\lambda) e^{\lambda(\zeta + \iota x)} d\lambda$$

which represents Laplace transform formula can be obtained and inversed to obtain formula for coefficients $E(\lambda)$:





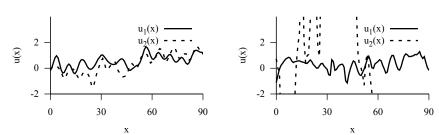


Figure 1. Comparison of velocity fields produced by general solution (u_1) and by solution for small-amplitude waves (u_2) . Velocity fields for small-amplitude (left) and large-amplitude (right) cases.

$$E(\lambda) = \frac{1}{2\pi\iota} \frac{1}{\lambda} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\zeta_t}{\zeta_x + \zeta_t - \zeta_x (\zeta_x + i)} e^{-\lambda(\zeta + \iota x)} dx.$$
 (3)

The final step is to substitute (3) into (2) which yields equation

$$\phi(x,t) = \frac{1}{2\pi\iota} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\lambda} e^{\lambda(\zeta+\iota x)} d\lambda \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\zeta_t}{\zeta_x + \zeta_t - \zeta_x (\zeta_x + i)} e^{-\lambda(\zeta+\iota x)} dx. \tag{4}$$

Using this equation an explicit formula for pressure determination can be obtained directly from the first boundary condition:

$$p(x_0, z_0) = -\rho \phi_t - \frac{\rho}{2} (\phi_x^2 + \phi_z^2) - \rho g z_0.$$

Analytical solution (4) was compared to solution

$$\frac{\partial \phi}{\partial x}|_{x,t} = -\frac{1}{\sqrt{1+\alpha^2}} e^{-I(x)} \int_0^x \frac{\partial \dot{z}/\partial z + \alpha \dot{\alpha}}{\sqrt{1+\alpha^2}} e^{I(x)} dx, I(x) = \int_0^x \frac{\partial \alpha/\partial z}{1+\alpha^2} dx, \quad (5)$$

obtained for small-amplitude waves [7] and numerical experiments showed good correspondence rate between resulting velocity potential fields. In order to obtain velocity potential fields realizations of the wavy sea surface were generated by autoregressive model differing only in wave amplitude. In numerical implementation infinite outer and inner integral limits of (4) were replaced by the corresponding wavy surface size (x_0, x_1) and wave number interval (λ_0, λ_1) so that inner integral of (4) converges. Experiments were conducted for waves of both small and large amplitudes and in case of small-amplitude waves both solutions produced similar results, whereas in case of large-amplitude waves only general solution (4) produced stable velocity field (Figure 1). Therefore, general solution works for different wavy sea surfaces and does not impose restrictions on wave amplitude.

Conclusion and future work

Resulting solution (4) can be used to compute impact of hydrodynamic forces on a ship's hull and is advantageous in several ways. First, it can be used for wavy surfaces of arbitrary amplitudes to support simulations for small-sized ships or storm weather in a virtual testbed. Second, the formula is analytical and explicit so that no numerical





scheme is needed to implement solution of initial system of partial differential equations (1) on a computer. Moreover, resulting algorithm is fast and easily scalable on a multiprocessor computer because it is based on an explicit formula. The future work is to extend this solution to three-dimensional case.

References

1. A. Degtyarev, A. Reed. Synoptic and Short-Term Modeling of Ocean Waves // Proceedings of 29th Symposium on Naval Hydrodynamics. — 2012.

2. V.A Rozhkov, Yu.A. Trapeznikov. Stochastic models of oceanological processes. —

Gidrometeoizdat, 1990.

- 3. A.B. Degtyarev, A.M. Reed. Modelling of Incident Waves Near the Ship's Hull (Application of autoregressive approach in problems of simulation of rough seas) // Proceedings of the 12th International Ship Stability Workshop. — 2011.
- 4. A. Boukhanovsky. Stochastic wind wave modeling considering its heterogeneity and non-stationarity: Ph.D. thesis / AANII. — 1997.
- 5. A. Degtyarev, I. Gankevich. Wave Surface Generation Using OpenCL, OpenMP and MPI // Proceedings of 8th International Conference "Computer Science & Information Technologies". — 2011. — Pp. 248–251. 6. N.E. Kochin, I.A. Kibel, V. Roze N. Theoretical Fluid Mechanics. — Fizmatgiz,
- 1963.
- 7. Degtyarev A., Gankevich I. Evaluation of hydrodynamic pressures for autoregression model of irregular waves // Proceedings of 11th International Conference "Stability of Ships and Ocean Vehicles", Athens. — 2012. — Pp. 841–852.

УДК 532.5.031 PACS 47.35.Bb

Вычисление гидродинамических давлений под реальной морской поверхностью на основе авторегрессионной модели нерегулярного волнения

А. Дегтярев, И. Ганкевич

 Φ акультет прикладной математики – процессов управления, Санкт-Петербургский Государственный Университет, Ульяновская наб., д. 7-9, Санкт-Петербург, Россия, 199034

Определение степени воздействия взволнованной морской поверхности на корпус судна является главной задачей испытаний, которые на данный момент основаны на результатах теории волн малой амплитуды: эту теорию, исключая некоторые общепринятые аппроксимации, использует пакет прикладного программного обеспечения LAMP IV (Large amplitude motion program) для исследования поведения морских объектов. Для повышения эффективности такие испытания можно проводить на основе авторегрессионной модели, используя ее для генерации взволнованной морской поверхности. Такая поверхность обладает гидродинамическими характеристиками морских волн, сохраняет дисперсионное соотношение, а также имеет более быстрый численный алгоритм по сравнению с другими моделями ветрового волнения. Полученную таким образом морскую поверхность можно использовать для расчета поля скоростей, а его - для расчета поля давлений в любой точке под поверхностью. Окончательный алгоритм позволяет определить давления, не используя предположения теории волн малой амплитуды.

Ключевые слова: авторегрессионная модель, ветровое волнение, гидродинамическое давление, виртуальный полигон.







Наши авторы

Ганкевич Иван — (email: igankevich@cc.spbu.ru) Дегтярев Александр — доктор технических наук, (email: deg@csa.ru)





ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Редколлегия журнала «Вестник Российского университета дружбы народов», серия «Математика. Информатика. Физика» просит авторов придерживаться следующих правил при представлении статьи в журнал.

1. Статьи представляются на русском или английском языке.

2. Объём статьи не должен превышать 0,75 авт. печ. л.

- 3. Автор представляет в редакцию электронную версию рукописи, набранную в системе IATEX (используется версия IATEX $2_{\mathcal{E}}$, для набора формул используется макропакет \mathcal{AMS} -IATEX). К электронному варианту прилагается отпечатанный на бумаге экземпляр или файл в формате Postscript или PDF.
- 4. Для каждой статьи указываются коды УДК и MSC (PACS), а также ключевые слова (на языке статьи).
- 5. Название, аннотация, фамилии и инициалы авторов, название организации, где работают авторы, предоставляются на русском и английском языках.
- 6. Текст статьи должен включать аннотацию на русском и английском языках (в аннотации не допускаются ссылки на цитированную литературу и громоздкие формулы), введение, заключение. Глубина разбивки текста не должна превышать трёх уровней (разделы, пункты и подпункты).
- 7. Рисунки принимаются в электронном виде. Каждый рисунок должен быть помещён в отдельный файл. Принимаемые форматы файлов: 1) векторные: EPS, PDF, TEX; 2) растровые: TIFF, GIF, PNG (возможна инкапсуляция в EPS).
- 8. Размер рисунка вместе с подписью не должен превышать 14х19 см. Разрешение растрового рисунка должно находиться в пределах 300–600 dpi.
- 9. Рисунки должны быть чёрно-белые. Возможность использования полутоновых и фотографических изображений может быть рассмотрена отдельно. Фоны должны быть только штрихованные. Сеточные фоны и полутона не допускаются.
- 10. Список литературы подготавливается в системе ВівТЕХ и должен соответствовать требованиям ГОСТ 7.1-84. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.
- 11. Рукопись должна быть тщательно выверена. Необходимо указать точные сведения об авторах: фамилию, имя, отчество полностью, учёную степень, учёное звание, должность, почтовый и электронный адрес места работы авторов и телефоны. После подготовки редакцией к набору размеченный и исправленный автором текст статьи и исправленная электронная версия возвращаются в редакцию. Корректура для просмотра высылается по e-mail.
- 12. Возвращение статьи автору на доработку не означает, что она принята к опубликованию. Доработанный вариант статьи редколлегия рассматривает вновь. В случае отклонения статьи редколлегия оставляет за собой право не возвращать автору один её экземпляр.

Контактный адрес ответственного секретаря серии: ул. Орджоникидзе, д. 3, комн. 313, Москва, Россия, 115419; e-mail: vestnik-miph@sci.pfu.edu.ru

ВЕСТНИК

Российского университета дружбы народов

Научный журнал. Основан в 1993 г.

Серия МАТЕМАТИКА. ИНФОРМАТИКА. ФИЗИКА 2010, № 3

Зав. редакцией Т.О. Сергеева Редактор Т.О. Сергеева Компьютерная вёрстка: А.В. Королькова

Адрес редакции:

Российский университет дружбы народов ул. Орджоникидзе, 3, г. Москва, Россия, 115419 тел. 955-07-16

Адрес редакционной коллегии серии «Математика. Информатика. Физика»: ул. Орджоникидзе, 3, комн. 247, 313, г. Москва, Россия, 115419 тел. (495) 952-02-50, e-mail: vestnik-miph@sci.pfu.edu.ru caйт: http://vestnik-miph.sci.pfu.edu.ru

Подписано в печать 23.06.2010. Формат $60 \times 84/8$. Бумага офсетная. Печать офсетная. Гарнитура «Computer Modern». Усл. печ. л. 14,42. Тираж 500 экз. Заказ № 662.

Типография ИПК РУДН ул. Орджоникидзе, 3, ГСП-1, г. Москва, Россия, 115419, тел. 952-04-41

BULLETIN of Peoples' Friendship University of Russia

Series $\label{eq:MATHEMATICS} \text{MATHEMATICS.INFORMATION SCIENCES. PHYSICS} \\ 2010, \ \mathbb{N} \!\!\!\! \ \ 3$

Managing editor T. O. Sergeeva Editor T. O. Sergeeva Computer design: A. V. Korolkova

Address of editorial board:

Peoples' Friendship University of Russia Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419 Tel. +7 (495) 955-07-16

Address of editorial board series "Mathematics. Information Sciences. Physics": Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419

Tel. +7 (495) 952-02-50, e-mail: vestnik-miph@sci.pfu.edu.ru site: http://vestnik-miph.sci.pfu.edu.ru

Printing run 500 copies

Address of PFUR publishing house Ordzhonikidze str., 3, Moscow, Russia, 115419 Tel. +7 (495) 952-02-50