УДК 532.593

ГЕНЕРАЦИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ГРАВИТАЦИОННЫХ ВОЛН ПРИ ДЕЙСТВИИ РАЗНЕСЕННЫХ ДОННЫХ ИСТОЧНИКОВ И ДВУМЯ ПОСЛЕДУЮЩИМИ ВО ВРЕМЕНИ РАЗЛИЧНЫМИ ИМПУЛЬСАМИ

И.Т. Селезов[1], В.Н. Кузнецов[2], Д.О. Черников[1]

[1]Институт гидромеханики НАН Украины, Киев, Украина
[2]Днепропетровский Национальный Университет железнодорожного транспорта им. Лазаряна, Днепропетровск, Украина

Обзор и подробная библиография по вопросам современной тории построения генерации океанических волн приведена в монографиях [1-3]. Систематические данные наблюдений за цунами и другими явлениями распространения волн в мировом океане изложена в монографиях [4,7], а также в работах [5,6,8,10], близкие по тематике к данной работе авторов. Задача о движении жидкости конечной глубины и определение формы свободной поверхности в процессе возмущений, вызванных изменением поверхности дна, представляет большой интерес в различных областях и прежде всего в океанологии, в связи с землетрясениями и вулканической деятельностью. Проблема описания волновых движений в океанологии в настоящее время интенсивно исследуется в основном с целью предсказания возникновения цунами, последствий и поиска путей смягчения их воздействия на береговую зону.

В данном сообщении рассматривается задача генерации волн на поверхности жидкости конечной глубины двумя одновременными донными возмущениями, которые включаются в начальный момент времени $t \geq 0$. На это возмущение через некоторые промежутки времени $t_n > t$ $(n = 1{,}2)$, начинают влиять сперва одно, а затем второе возмущение дна.

Математическая постановка начально-краевой задачи сводится к определению потенциала скоростей $\varphi(r,\theta,z,t)$, удовлетворяющих уравнению Лапласа

$$\frac{\partial^2\varphi}{\partial z^2}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2\varphi}{\partial\theta^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial\varphi}{\partial r}\right)=0; \qquad (1)$$
$$-H_0 \leq z \leq 0;\ r > 0;\ t > 0,$$

а также следующим граничным и начальным условиям на свободной поверхности:

$$\left(\frac{1}{g}\frac{\partial^2\varphi}{\partial t^2}+\frac{\partial\varphi}{\partial z}\right)_{z=0}=0;\ \eta=-\frac{1}{g}\frac{\partial\varphi}{\partial z}\bigg|_{z=0}; \qquad (2)$$

на донной поверхности:

$$\frac{\partial\varphi(r,\theta,z,t)}{\partial z}\bigg|_{z=-H_0}=\frac{\partial\eta^d}{\partial t}; \qquad (3)$$

начальные условия:

$$\varphi(r,\theta,z,t)\big|_{t=0}=\frac{\partial\varphi(r,\theta,z,t)}{\partial t}\bigg|_{t=0}=\eta^d\big|_{t=0}=0, \qquad (4)$$

где η^d - отклонение дна, η- отклонение свободной поверхности, g – ускорение свободного падения.

В данном сообщении рассматривается задача генерации волн на воде в жидкости конечной глубины несколькими донными возбуждениями, которые могут отличаться между собой как силой, так и быстротой нарастания и спада. В отличии от работы [9], здесь решения строятся для четырех независимых возмущений дна.

Предполагалось, что возмущение генерируется подъемом горизонтального дна

$$f_0^d(t)=te^{-\alpha t},\qquad \text{при } t\geq 0; \qquad (5)$$
$$f_n^d(t)=te^{-\alpha t}H(\text{t-}t_n^d),\ t>t_n^d\ (n=1{,}2)$$

и одновременным включением нескольких возмущений. В частности, если рассматривается два возмущения, расположенных на расстоянии l, то

$$\psi_1^d(r)=\xi(\xi^2+r^2)^{-\frac{3}{2}}, \qquad (6)$$
$$\psi_2^d=\xi(\xi^2+r^2)^{-\frac{3}{2}}H(r-l),\qquad \xi>0,$$

где $H(x)$ функция Хэвисайда.

Переход в пространство оригиналов для отклонения свободной поверхности η_n после обращения преобразования Ханкеля в пространстве изображений Лапласа имеет вид

$$\eta_n^L=s^2\eta_0 f_n^{dL}(s)\int_0^\infty\frac{e^{-\xi\lambda}\lambda J_0(\lambda kr)}{s^2ch(k\lambda)+\lambda ksh(\lambda k)}d\lambda, \qquad (7)$$

где $f_0^{dL}(s)=\dfrac{1}{(s+\alpha)^2}, f_1^{dL}(s)=\dfrac{1}{(s+\alpha)^2}$ $\Gamma\left(2,t_1^d(s+\alpha)\right)$,

$$f_2^{dL}(s)==\frac{1}{(s+\alpha)^2}\ \Gamma\left(2,t_2^d(s+\alpha)\right),$$

$\Gamma(x)$ – неполная гамма функция, где s– параметр преобразования Лапласа, k - параметр преобразования Ханкеля.

Обращение преобразования Лапласа проводиться численным методом.

Исследовалось отклонение свободной поверхности $\frac{\eta}{\eta_0}$ для различных удалений от эпицентра $r=0$ для параметров $\lambda=2{,}5,\ \xi=0{,}5$. Найденны отклонения свободной поверхности жидкости при четырех возмущениях, причем два возмущения происходят одновременно на расстоянии $l=4$ друг от друга, а другие два возмущения наступают после прохождения времени $t_n^d > t\ (n=1{,}2)$, которые наступают последовательно через некоторый промежуток времени.

Выводы

Из сравнения отклонения свободной поверхности жидкости при изменении параметра времени для донного возмущения $(t_1^d=2,\ t_2^d=4), (t_1^d=2,\ t_2^d=6), (t_1^d=2, t_2^d=8)$ видно, что при увеличении этого параметра происходит увеличение амплитуды отклонения, но «зона спокойствия» продолжает сохранятся $(r=9)$. Это является важным результатом в дальнейших исследованиях волн цунами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Селезов И.Т. Волновые гиперболические модели распространения возмущений / И.Т.Селезов, Ю.Г.Кривонос.-Киев:Наук.думка, 2015.-172с.
2. Селезов И.Т. Волновые задачи биогидродинамики и биофизики /И.Т.Селезов, Ю.Г.Кривонос.-Киев:Наук.думка, 2013.-308с.
3. Селезов И.Т., Матеманические методы в задачах распространения и дифракции волн /И.Т. Селезов, Ю.Г. Кривонос - Киев: Наук. думка, 2012. - 232 с.
4. Пелиновский Е.Н. Гидродинамика волн цунами / Е.Н. Пелиновский – Нижний Новгород: Ин-т прикл. физики РАН. 1996. – 276 с.
5. Geist E.L., Titov V.V., Synolakis C.E. Tsunami: Wave of change // Scientific Amer. December. 2005.
6. Kajura K. The leading wave of tsunami // Bull. Earthquake Res. Inst. – 1963. – 42. – P.535-571.
7. Murty T.S. Seismic sea waves tsunami. – Fisheries Research Board of Canada.Bulletin 198. – Catalogue Number: FS94-198, - 1977.
8. Selezov I.T. Modeling of tsunami wave generation and propagation // Int. J. Fluid Mech. Research. 2006.-33.№.1.-p.44-54.
9. Selezov I.T., Kuznetsov V.N., Chernikov D.O. Generation of surface gravity waves by bottom time-repetitive pulses // J. Math. Sci. – 2010. – 171, N 5. – P. 596-602.
10. Weyl P.K. Oceanography. An introduction to the marine environment. – NY: John Wiley and Sons, Inc., - 1970.