

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИИ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](https://doi.org/10.15863/TAS) DOI: [10.15863/TAS](https://doi.org/10.15863/TAS)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2020 Issue: 07 Volume: 87

Published: 30.07.2020 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



Ablakul Abdirashidov
Samarkand State University
Corresponding member of International
Academy, Doctor of Physical and Mathematical
Sciences, Professor to department of
theoretical and applied mechanics,
abdira@mail.ru



Abdusattor Babayarov
Samarkand State University
Candidate of Technical Sciences,
Docent to Department of Mathematical modeling
and complex programming, Uzbekistan,



Bahrom Aminov
Samarkand State University
Assistant to department of Mathematical modeling
and complex programming, Uzbekistan,



Akmaljon Abdurashidov
Samarkand State University
Researcher, Uzbekistan

NUMERICAL STUDY OF THE PROPAGATION OF ONE-DIMENSIONAL SURFACE WAVES IN SEDIMENTARY ROCK LAYERS

Abstract: The propagation of surface waves in the layers of fluidized material caused by a pressure wave source has been studied. A method for the numerical calculation of this problem in a one-dimensional formulation is presented and the dynamics of hydroimpact waves is investigated.

Key words: surface wave, hydroimpact wave, vibration fluidization, sedimentary layer, plasticity, pressure waves.

Language: Russian

Citation: Abdirashidov, A., Babayarov, A., Aminov, B., & Abdurashidov, A. (2020). Numerical study of the propagation of one-dimensional surface waves in sedimentary rock layers. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 07 (87), 237-242.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-07-87-49> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2020.07.87.49>

Scopus ASCC: 2200.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ОДНОМЕРНЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОЛН В СЛОЯХ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД

Аннотация: Изучена распространения поверхностных волн в слоях ожиженного материала, вызванных от источника волн давления. Приведена методика численного расчета данной задачи в одномерной постановке и исследована динамика гидроударных волн.

Ключевые слова: поверхностная волна, гидроударная волна, виброожижение, осадочный слой, пластичность, волны давления.

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Введение

Известно, что при сильных землетрясениях береговая полоса может подниматься очень сильно (например, до 15 метров). Такое поднятие связано с возникновением в морских осадочных породах волн, похожих на цунами [7,15]. В случае воды, такие цунами возвращаются в океан обратно. В случае волны в осадочных породах, если амплитуда волны велика, эти волны фиксируются на берегу океана, что и приводит к их поднятию. При этом даже относительно слабая сейсмическая волна, может усиливаться во много раз из-за изменения толщины осадочного слоя и резонансного эффекта. Такой же эффект имеется и в долинах Средней Азии, где сейсмические волны на краях долин могут усиливаться. В частности, они усиливаются на краях долин, где толщина слоя земли, по которому волна распространяется, уменьшается. В результате сейсмическая энергия аккумулируется и земля начинает сильно колебаться [6,14,15].

В работах [6,7] автор построил новую теорию распространения нелинейных поверхностных волн. Теория строится на том факте, что во время землетрясений (во время первых сейсмических колебаний) некоторые поверхностные слои осадочных пород переходят в почти жидкое состояние, т.е. теряют сдвиговую прочность (рис.1). Под действием вертикальных вибраций в слое осадков возникают (растут) газовые полости (дефекты). Чем больше полостей, тем меньше сдвиговая прочность. Этот эффект известен как виброожидание (рис.2). Учет таких эффектов в расчетах требуют более оптимального проектирования важных сооружений и объектов в сейсмических зонах.

Грубо говоря, после вибраций частички почвы начинают так слабо контактировать друг с другом, что слабо работают на сдвиг, однако

сжатие (давление) они передают достаточно хорошо. Используя подобные идеи, автор работ [4-10] построил теорию распространения поверхностных волн в слоях оживленного материала.

Пусть слой осадков ограничен снизу с недеформируемым слоем (например, гранит) и ее толщина уменьшается с приближением на край долины. Изучим распространение поверхностных волн в долине, вызванных от землетрясения, падением обломков скал и метеоритов, резким изменением метеорологических факторов, взрывами подводных и подземных вулканов и атомных бомб и т.п. Эту задачу можно разделить на три типа подзадачи: а) вдали от края слоя амплитуда волны не велика и после прохождения волны поверхность слоя возвращается в исходное состояние; б) вблизи края осадочного слоя ее толщина начинает уменьшаться, амплитуда волны увеличивается, трение о дно увеличивается. Этот момент, видимо, соответствует началу опрокидывания волны (возникновению скачки на фронте волны). Начинает проявляться сильно трение о дно. В результате передний фронт замедляется, однако задний фронт продолжает двигаться. Волна сжимается, при этом количество пор на поверхности волны уменьшается и материал слоя переходит из оживленного в упругое (твердое) состояние. Далее это слабо деформируемое тело (волна) движется по поверхности, испытывая трение о недеформируемый слой; в) при выходе волны на поверхность недеформируемого слоя ожидается большое значение трения, в результате чего волна может тормозиться и быстро остановиться. Если амплитуда достаточно велика, то поверхность не вернется в исходное состояние. Имеет место пластическая деформация и изменение формы волны.



Рис.1. Виброожидание в жидкости

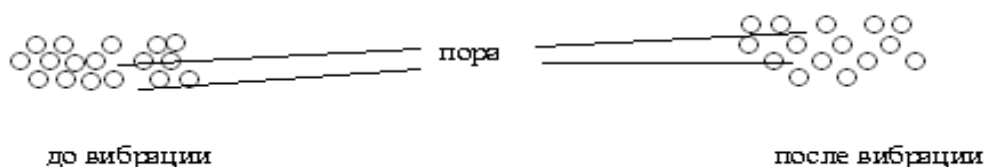


Рис.2. Виброожидание в почве при вертикальных вибрациях.

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
 ISI (Dubai, UAE) = 0.829
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (Russia) = 0.126
 ESJI (KZ) = 8.997
 SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

Если энергия волны большая, то может возникнуть явления, напоминающие цунами. При этом волна осадочных пород может выкатиться на недеформируемый слой и там только остановится.

В работе [6] все эти три подзадачи рассмотрены, в приближенном виде: наиболее полно решены задачи: а); для задач б) и в) сформулированы основные уравнения; качественно показано, как можно учесть пластичность и трение о дно. В этом случае можно предполагать случай малых пластических деформаций и использовать эти уравнения. Их надо только дополнить соотношениями для пластичности, следуя методику М.Уилкинса [9,12,16]. В [4,5,8-10,12] описаны методика решения некоторых конкретных задач. Все вопросы, связанные с поведением волны, при стремлении толщины осадков к нулю являются очень сложными. Там имеется сингулярность, усугубляемая нелинейностью. Поэтому

предполагается, что материал волны переходит в упругое состояние (теряет оживенность) до того, как волна достигает точки, где толщина осадков равна нулю. Как только материал волны стал упругим, далее волна движется как недеформируемое тело, выкатывается на берег и далее останавливается из-за трения на нижнем основании.

Постановка задачи.

На основе этой методики можно исследовать, как меняется форма поверхности земли (осадочных пород) в месте, где толщина осадков начинает меняться (задача б); оценить, как далеко волна осадочных пород выйдет на недеформируемый слой (задача в). Эти задачи могут быть рассмотрены как одномерные в следующей постановке:

Уравнения движения:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + \frac{4G_*}{3\rho} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \left(\frac{2G_*}{3\rho} + \frac{g}{n+1} \right) \frac{\partial \eta}{\partial x} + X + X_* + \frac{1}{\rho} X^P. \quad (1)$$

Здесь

$$X_* = \frac{\tau_{31}}{\rho h} - \frac{g}{n+1} \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^+ - g \left(\frac{\partial \eta}{\partial x} \right)^-; \quad X^P = \frac{\partial s_{11}}{\partial x} + \frac{\partial P}{\partial x}; \quad \tau_{31} = const * \frac{\partial^3 u}{\partial t \partial x^2}; \quad h = - \left[1 + \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^{-1} \right] \eta;$$

$$G_* = \nu(1 - \alpha_s \phi_0); \quad b = \lambda(1 - \phi_0) + \phi_0 P_0^{-1}; \quad a_s^2 = \frac{G_*}{\rho_0}; \quad P_0 = P_a + \frac{1}{2} g_0 \rho_0 h_0; \quad g = g_0 + g_d; \quad (2)$$

$$\frac{\partial^2 P}{\partial x^2} = -\frac{1}{b} \frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\eta}{h} \right); \quad \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = - \left[g \rho_0 \frac{2n+1}{n+1} + \frac{4G_*}{3h} + \frac{1}{bh} \right]^{-1} \left[g \rho_0 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + \left(\frac{1}{b} - \frac{2G_*}{3} \right) \frac{\partial^3 u}{\partial x^3} \right]; \quad (3)$$

X - массовые силы; h_0 - начальная толщина слоя; P_0 - начальное (статическое) давление в смеси; P_a - атмосферное давление; ρ_0 - начальная плотность смеси; ϕ_0 - начальная средняя пористость смеси; g_0 - ускорение свободного падения; G - модуль сдвига; α_s - экспериментально определяемые постоянные; u - поперечное перемещение точек слоя по осевой координате x ; τ_{31} - параметр учета трения о дно; η - параметр учета вязкости среды; P, ρ, h - текущее давление, плотность и толщина среды.

Состояние пористости слоя проверяются следующим образом: если $\phi_0 \rightarrow 0$, то среда близка к упругому телу; если $\phi_0 \rightarrow 1$, то среда близка к газу; если $\alpha_s \phi_0 \rightarrow 1$, то материал превращается в более жидкое состояние (или

пузырьковая кавитация); если $0 < \alpha_s \phi_0 < 1$, то материал находится между твердым и жидким состояниями и $G = \nu(1 - \alpha_s \phi_0)$.

Условие пластичности для твердой части среды проверяется по алгоритму М.Уилкинса [9,16]:

$$s_{11}^2 + 2s_{13}^2 - \frac{2}{3} \sigma_T^2 = J, \quad (4)$$

где

$$s_{11} = \frac{G}{3} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - 2 \frac{\partial u}{\partial x} \right); \quad s_{13} = - \left(\frac{z}{h} \right)^n \frac{\partial \eta}{\partial x}, \quad (n = 1, |z| \leq h). \quad (5)$$

Если $J > 0$ то

$$s_{11}^\circ = s_{11} \frac{\sqrt{2/3} \sigma_T}{\sqrt{s_{11}^2 + 2s_{13}^2}}; \quad s_{13}^\circ = s_{13} \frac{\sqrt{2/3} \sigma_T}{\sqrt{s_{11}^2 + 2s_{13}^2}}. \quad (6)$$

и переопределяем компоненты тензора девиаторов s_{11}, s_{13} напряжений.

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

Алгоритм решения задачи.

Последовательность решения задачи следующая [8-10, 12]: задается начальные данные при $t = 0$ (результаты задачи а) являются начальным условием данной задачи); конечный край жестко закреплен, а в другом крае задаются массовые силы X , которые приводят к образованию возмущений в среде, например, $g_d = \delta \cos \omega t$ [4]; уравнения (1) решаются методом конечных разностей по явной или неявной схеме; по формулам (2) расчет ведется сквозным счетом для $m+1$ -го временного слоя; по формулам (3) расчет ведется по неявной схеме для $m+1$ -го временного слоя (применяется метод прогонки); проверяется состояние пористости среды; если среда более твердая, то проверяется условие пластичности (4) с учетом (5), если «да», то вычисление по (6).

Результаты численных расчетов.

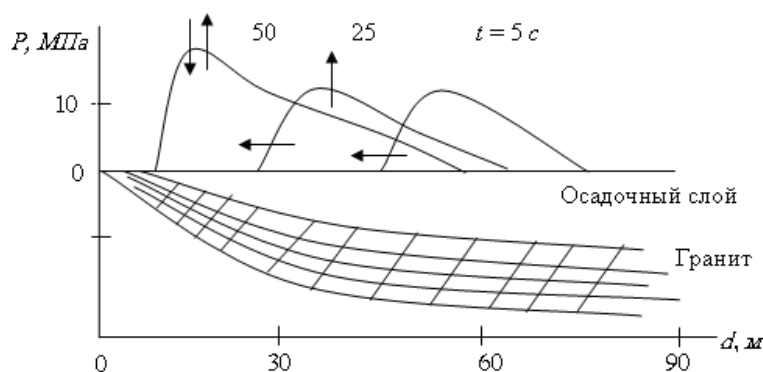


Рис.3. Распространения волн давления по поверхности слоя.

Сначала исследуем динамику гидроударных волн. Построенные эпюры изменения давления подводной волны во времени в точке подхода волны давления в слой рассчитанные для различных расстояний газового объема от слоя показали, что уменьшение пиковых значений давления ударной волны с удалением источника возмущений происходит по экспоненциальному закону (рис.3). Поскольку при расчетах печать результатов осуществляли через шаг по времени 5τ , приведенные кривые в первую очередь описывают качественную картину давления. Другая особенность проблемы связана с

Расчеты осуществляли для осадочного слоя ($\alpha_s \phi_0 = 0.05$) толщиной $h=5$ м и для воды.

Плотность заряда принимали 1650 кг/м^3 , скорость детонации - 7655 м/с , начальное давление - 12 ГПа . При численных расчетах из среды и воды выделили одномерную область, границы которой в некотором конечном промежутке времени не влияют на параметры исследуемых процессов. Динамика данной газогидроупругопластической системы изучены на основе вышеуказанных уравнений. Чтобы сократить машинное время вычислений, в расчетах использовали неравномерную сетку. Шаг по времени, обеспечивающей устойчивость вычислений, рассчитывали по условию Куранта. Рассмотрим результаты расчета, при которых варьировали расстояние между газовым объемом и слоем: $d = 120; 160; 200, 240 \text{ м}$.

изменением волны давления по глубине расчетной области: увеличение амплитуды давления происходит по экспоненциальному закону (рис.4).

Установлено, что гидроударную волну можно качественно представить в виде плоской волны

$$P = P_0 e^{\beta(ct+z)} \left(1 - e^{\alpha(ct+z)} \right),$$

где P_0 , α , β - амплитуда, скорость роста и последующий спад давления в волне; C - скорость волны давления в жидкости; $\alpha = -1/L_1$; $\beta = -1/(L-L_1)$; L - длина волны; L_1 - расстояние до пикового значения.

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

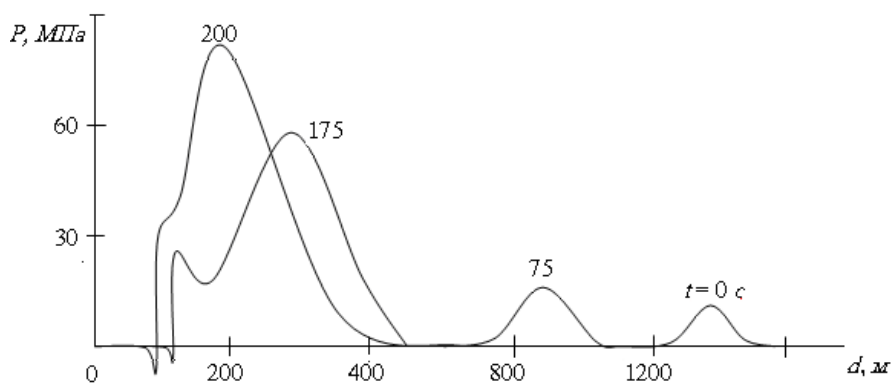


Рис.4. Профили волны давления на поверхности осадочного слоя.

Выводы.

Таким образом, изучена распространения волн давления в осадочном слое, приведена численная методика решения одномерной задачи гидроупругости (основные уравнения, алгоритм расчета, численные результаты) для расчета динамики материала, теряющего упругое состояние (в твердом теле – упругопластическое деформирование, в жидкости – пузырьковая кавитация) и представлена качественная картина распространения гидроударных плоских волн в слоях ожигенного материала. Проблемы прочности эксплуатируемых современных конструкций и сооружений ставят перед исследователями задачи автоматизации процесса

решения физически и геометрически нелинейных задач механики деформируемого твердого тела. В горных зонах Средней Азии часто наблюдаются резкие изменения сейсмологических и метеорологических факторов. Это в свою очередь приводит к изменению прочностных свойств слоя земли, например, пористости и других емкостно-фильтрационных характеристик среды. Для оценки этих явлений требуется анализировать изменение толщины и резонансного эффекта в процессе колебания осадочного слоя земли. Поэтому результаты данной работы могут быть интересными и полезными при проектировании сооружений и строительных объектов в сейсмических зонах [11,13,17-20].

References:

1. Akhmediev, N., Soto-Crespo, J., & Ankiewicz, A. (2009). Extreme waves that appear from nowhere: On the nature of rogue waves. *Phys. Lett. A*, Vol. 373, pp. 2137–2145.
2. Dyachenko, A. I., & Zakharov, V. E. (2008). On the formation of freak waves on the surface of deep water. *JETP Lett.*, Vol. 88, pp. 356–359.
3. Dysthe, K., Krogstad, H. E., & Muller, P. (2008). Oceanic rogue waves. *Annual Review of Fluid Mechanics*, Vol. 40, pp. 287–310.
4. Galiev, Sh. U. & Galiev, T. Sh. (2001). Nonlinear trans-resonant waves, vortices and patterns: From microresonators to the early Universe, *Chaos*, 11, pp. 686-704.
5. Galiev, Sh. U. (1999). Topographic effect in a Faraday experiment, *J. Phys. A: Math. Gen.* 32, pp. 6963-7000.
6. Galiev, Sh. U. (2003). The theory of non-linear transresonant wave phenomena and an examination of Charles Darwin's earthquake reports, *Geophys. J. Inter.*, 154, pp. 300-354.
7. Galiev, Sh. U. (2011). *Charles Darwin's Geophysical Reports as Models of the Theory of Catastrophic Waves*. (p.635). Centre of Modern Education, Moscow.
8. Galiev, S. U. (1981). *Dynamics of hydroelastoplastic system*. (p.376). Kiev: Naukova Dumka publ.
9. Galiev, S. U. (1988). *Nonlinear waves in the restricted continuous medium*. (p.264). Kiev: Naukova Dumka publ.
10. Galiev, S. U., et al. (1989). *Numerical Modelling of wave processes in restricted medium*. (p.201). Kiev: Naukova Dumka Publ.
11. Kalinichenko, V. A. (2009). *Nonlinear effects in surface and internal waves Faraday*. Doctoral Dissertation. Institute for Problems in Mechanics.
12. Khudoynazarov, Kh., & Abdirashidov, A. (2005). *Nonstationary interaction elastoplastic deformable elements of structures with fluid*. (p.220). Tashkent: Fan publ.

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
ПИИИ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.997
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

13. Mei, C. C., Stiassnie, M. S., & Yue, D. K. P. (2005). *Theory and applications of ocean surface wave*. World Scientific, Singapore.
14. Pease, J. W., & Rourke, T. D. (1997). Seismic response of liquefaction sites, *J. of Geotech. and Geoenviron. Engin.*, 123, pp. 37-45.
15. Penilovskiy, E. N. (1981). *Tsunami waves*. - In the book: *Nonlinear waves. Distribution and Interaction*. (pp.187-203). Moscow: Sciences.
16. Wilkins, M. L. (1967). *Computation of elastoplastic flows*. Computational methods in the hydrodynamics. (pp.212-263). Moscow: Mir publ..
17. Zhang, Z.-H., Wang, Y., Zhang, L.-J., Yuan, J.-H., & Zhao, H.-F. (2011). Similarity research of anomalous dynamic response of ship girder subjected to near field under- water explosion. *Appl. Math. Mech. - Engl. Ed.* 32(12), 1491–1504.
18. Galiev, Sh. U., Khudoynazarov, K., Abdirashidov, A., & Abdurashidov, A. A. (2018). Nonlinear elastoplastic deformation of a hollow cylindrical shell of finite length under influence of internal pulse loading. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 10 (66), 248-255. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2018.10.66.28>
19. Galiev, Sh. U., Khudoynazarov, K., Abdirashidov, A., & Abdurashidov, A. A. (2018). Nonlinear elastoplastic deformation of a hollow finite length cylindrical shell under hydrodynamic loading. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 10 (66), 256-264. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2018.10.66.29>
20. Abdirashidov, A., & Karshiyev, A. (2018). Distribution of pressure waves in the unlimited water, their reflection from the hard screen and the free surface of the fluid. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 12 (68), 316-322. DOI: <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2018.12.68.47>