

УДК 539.3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ НОРМАЛЬНЫХ ВОЛН НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ВЗРЫВНОМ ВОЗДЕЙСТВИИ В ОБЪЕКТЕ УГЛЕДОБЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОГО МЕТОДА МУСАЕВА В.К. В ПЕРЕМЕЩЕНИЯХ

Тахо-Годи А.З.

Донской государственной аграрный университет, Ростовская область, Октябрьский район, поселок Персиановский, e-mail: dongau@mail.ru

В работе приводится информация о моделировании волн напряжений при взрывном воздействии в объекте угледобывающих предприятий с помощью численного метода Мусаева В.К. в перемещениях. Взрывное воздействие моделируется в виде дельта функции. Исследуемая расчетная область имеет 17112 узловых точек. Решается система уравнений из 68448 неизвестных. Показаны нормальные напряжения в характерных точках исследуемой области при взрывном воздействии. Задачи решаются с помощью численного моделирования двумерных плоских уравнений волновой теории упругости. Задача решается методом сквозного счета, без выделения разрывов. Основные соотношения метода конечных элементов в перемещениях получены с помощью принципа возможных перемещений. Для аппроксимации исследуемой области применяются треугольные и прямоугольные конечные элементы первого порядка. Получена явная двухслойная конечноэлементная схема.

Ключевые слова: моделирование, волны, характерная область, взрывное воздействие, объект, угледобывающее предприятие, численный метод, перемещение, нормальное напряжение, теория упругости, конечные элементы, алгоритм, комплекс программ, метод сквозного счета

DETERMINATION OF THE NONSTATIONARY NORMAL WAVES OF STRESSES IN AN EXPLOSIVE IMPACT IN THE SUBJECT OF THE COAL MINING ENTERPRISES WITH THE HELP OF THE NUMERICAL METHOD MUSAYEV V.K. IN DISPLACEMENTS

Tacho-Godi A.Z.

Donskoy state agrarian university, Rostov region, October district, p. Persianovskiy, e-mail: dongau@mail.ru

The work gives the information about the simulation of the wave of voltages at explosive impact in the subject of the coal mining enterprises with the help of the numerical method Musayev V.K. in displacements. The explosive effects are modeled in the form of a Delta function. The target area has 17112 the nodal points. Solved by a system of equations of 68448 unknown. Shows the normal stresses in the characteristic points of the investigated area in an explosive impact. Problems can be solved with the help of numerical simulation of two-dimensional plane wave equation of the theory of elasticity. The problem is solved by the method of end-to-end accounts, without identifying gaps. The main equations of a method of finite elements in displacements is obtained with the help of the principle of virtual displacements. For approximation of the study area apply triangular and rectangular finite elements of the first order. We obtain an explicit two-layer finite-element scheme.

Keywords: modeling, wave, a characteristic area, an explosive effect, object, coal mining enterprise, a numerical method, move, normal voltage, elasticity theory, finite elements, algorithm, a set of programs, the method of end-to-end accounts

Поставленная задача реализуется с помощью уравнений математической нестационарной динамической теории упругости.

Некоторые результаты рассматриваемого численного метода приведены в следующих работах [1–7].

Рассмотрим задачу о воздействии сосредоточенного взрывного воздействия (рис. 2) в объекте неглубокого заложения на окружающую среду (рис. 1).

В точке C приложено нормальное сосредоточенное воздействие σ_v , которое при $0 \leq n \leq 10$ ($n = t/\Delta t$) изменяется линейно от 0 до P , а при $10 \leq n \leq 20$ от P до 0 ($P = \sigma_0$, $\sigma_0 = -0,1$ МПа $- 0,1$ МПа (-1 кгс /см²)).

Граничные условия для контура АИHG при $t > 0$ $u = v = \dot{u} = \dot{v} = 0$. Отраженные волны от контура АИHG не доходят до ис-

следуемых точек при $0 \leq n \leq 150$. Контур ABCDEFG свободен от нагрузок, кроме точки C , где приложено сосредоточенное взрывное воздействие.

Расчеты проведены при следующих исходных данных:

$$H = \Delta x = \Delta y; \Delta t = 1,393 \cdot 10^{-6} \text{ с};$$

$$E = 3,15 \cdot 10^4 \text{ МПа } (3,15 \cdot 10^5 \text{ кгс/см}^2);$$

$$\nu = 0,2; \rho = 0,255 \cdot 10^4 \text{ кг/м}^3 \\ (0,255 \cdot 10^{-5} \text{ кгс см}^2/\text{см}^4);$$

$$C_p = 3587 \text{ м/с}; C_s = 2269 \text{ м/с}.$$

Исследуемая расчетная область имеет 17112 узловых точек. Решается система уравнений из 68448 неизвестных.

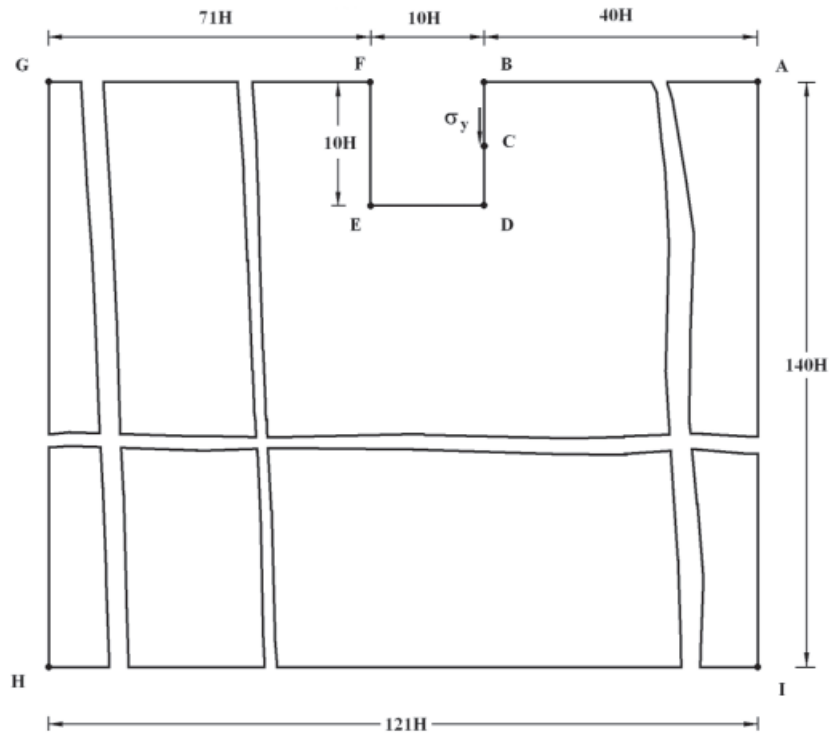


Рис. 1. Постановка задачи о сосредоточенном взрывном воздействии в объекте неглубокого заложения на окружающую среду

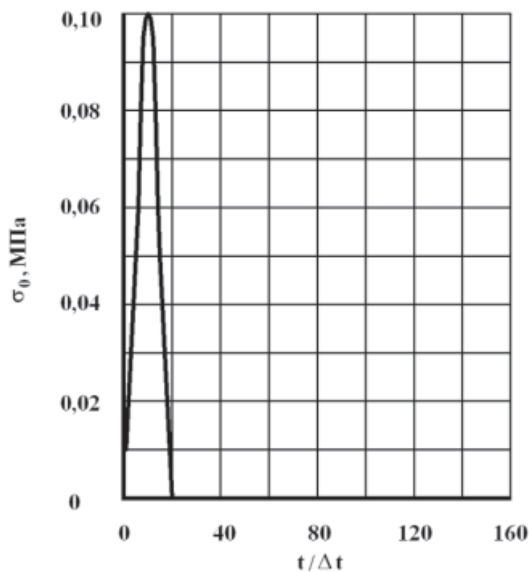


Рис. 2. Воздействие типа дельта функции

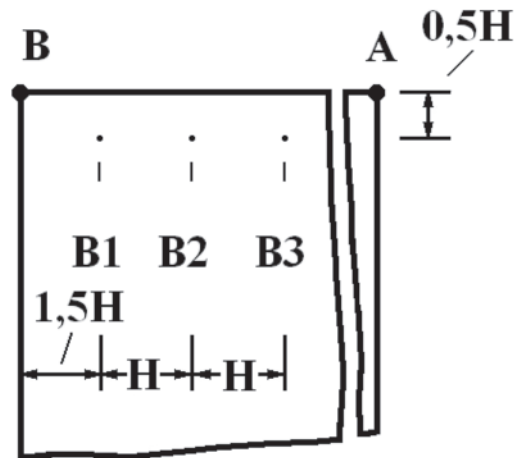


Рис. 3. Точки В1–В3, в которых приводятся упругие напряжения во времени

На рис. 4–6 показано изменение упругого нормального напряжения $\bar{\sigma}_x$ ($\bar{\sigma}_x = \sigma_x / |\sigma_0|$) во времени n в точках В1–В3 (см. рис. 3), находящихся около свободной поверхности упругой полуплоскости.

Растягивающее упругое нормальное напряжение $\bar{\sigma}_x$ от точки В1 до точки В3 изменяется от значения $\bar{\sigma}_x = 0,121$ до значения $\bar{\sigma}_x = 0,138$.

Сжимающее упругое напряжение $\bar{\sigma}_x$ от точки В1 до точки В3 изменяется от значения $\bar{\sigma}_x = -0,068$ до значения $\bar{\sigma}_x = -0,1$.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Решена задача о сосредоточенном взрывном воздействии в объекте неглубокого заложения на окружающую среду. Взрывное воздействие моделируется в виде

дельта функции. Исследуемая расчетная область имеет 17112 узловых точек. Решается система уравнений из 68448 неизвестных. Получены напряжения в характерных точках на поверхности упругой полуплоскости около объекта неглубокого заложения.

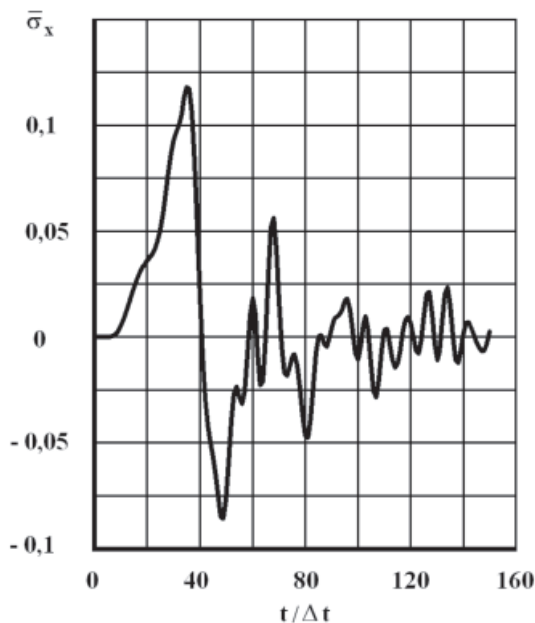


Рис. 4. Изменение упругого нормального напряжения во времени $t/\Delta t$ в точке B1

Растягивающее упругое нормальное напряжение $\bar{\sigma}_x$ имеет следующее максимальное значение: $\bar{\sigma}_x = 0,138$. Сжимающее упругое нормальное напряжение $\bar{\sigma}_x$ имеет следующее максимальное значение: $\bar{\sigma}_x = -0,1$.

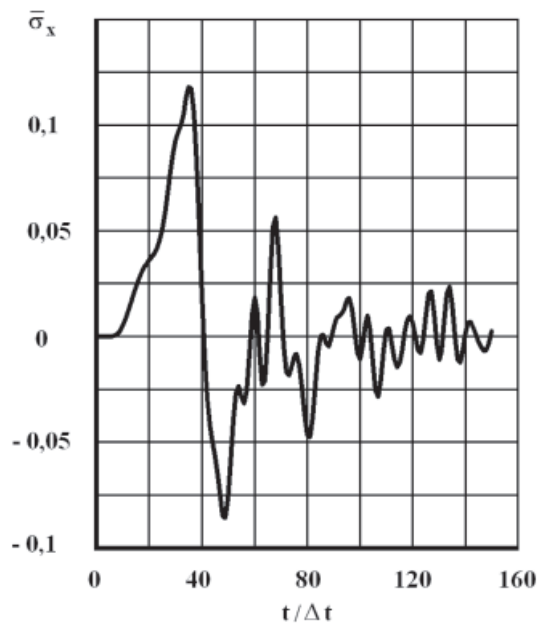


Рис. 5. Изменение упругого нормального напряжения во времени $t/\Delta t$ в точке B2B2

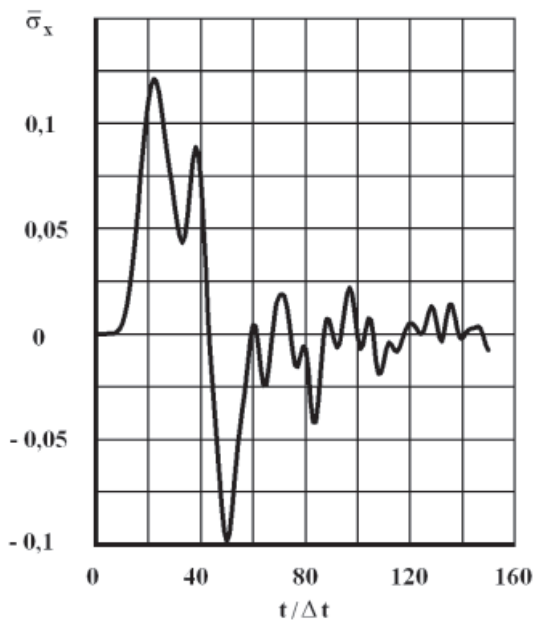


Рис. 6. Изменение упругого нормального напряжения во времени $t/\Delta t$ в точке B3B3

2. Полученные результаты можно оценить как первое приближение о решении сложной комплексной задачи с помощью численного метода Мусаева В.К. для оценки напряженного состояния объектов угле-

добывающих предприятий при взрывных воздействиях.

Автор выражает благодарность Мусаеву В.К. за внимание к работе.

Список литературы

1. Мусаев В.К. Решение задачи дифракции и распространения упругих волн методом конечных элементов // Строительная механика и расчет сооружений. – 1990. – № 4. – С. 74–78.
2. Мусаев В.К. Численное решение волновых задач теории упругости и пластичности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Прикладная математика и информатика». – 1997. – № 1. – С. 87–110.
3. Мусаев В.К. Численное моделирование напряженного состояния строительных конструкций при нестационарных динамических воздействиях // Архитектура оболочек и прочностной расчет тонкостенных строительных и машиностроительных конструкций сложной формы. Труды Международной научной конференции. – М.: РУДН, 2001. – С. 289–296.
4. Мусаев В.К. Численное решение некоторых задач безопасности жизнедеятельности с помощью метода конечных элементов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия проблемы комплексной безопасности. – 2005. – № 1. – С. 17–23.
5. Мусаев В.К. О разрушениях в сложных деформируемых телах, вызванных импульсными воздействиями // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Проблемы комплексной безопасности». – 2006. – № 1. – С. 36–42.
6. Мусаев В.К. О некоторых возможностях математического моделирования и численного компьютерного эксперимента // Вестник Российского университета дружбы

народов. Серия «Проблемы комплексной безопасности». – 2006. – № 1. – С. 81–86.

7. Достоверность результатов численного метода Мусаева В.К. в перемещениях при решении задачи об отражении упругих волн напряжений в виде дельта функции от свободной поверхности / А.З. Тахо-Годи, С.В. Ситник, В.В. Куранцов, А.И. Кормилицин, С.В. Акатьев // Техносферная безопасность, надежность, качество, энерго- и ресурсосбережение: ТЗ8. материалы Международной научно-практической конференции. Выпуск XIII. Т. 2. – Ростов на/Д.: Ростовский государственный строительный университет, 2011. – С. 280–284.

8. Тахо-Годи А.З. О методе решения нестационарных волновых задач с помощью численного метода Мусаева В.К. в перемещениях // Безопасность и экология технологических процессов и производств: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2012. – С. 73–78.

9. Musayev V.K. Testing of stressed state in the structure-base system under non-stationary dynamic effects // Proceedings of the second International conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics. – Sent Louis: University of Missouri-Rolla, 1991. – Vol. 3. – P. 87–97.

10. Тахо-Годи А.З. Моделирования волновых напряжений при взрывном воздействии в объектах угледобывающих предприятий с помощью численного метода Мусаева В.К. в перемещениях // Безопасность и экология технологических процессов и производств: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Поселок Персиановский Ростовской области: Донской государственный аграрный университет, 2012. – С. 78–85.

References

1. Musayev V.K. Solution to the problem of diffraction and propagation of elastic waves by finite element method // Structural Mechanics and analysis of structures. 1991. no. 4. pp. 74–78.

2. Musayev V.K. Numerical solution of the wave of elasticity and plasticity // Bulletin of the Russian University of Peoples' Friendship. Series Applied Mathematics and Computer Science Applied Mathematics and Computer Science. 1997. no. 1. pp. 87–110.

3. Musayev V.K. Numerical modeling of the stress of building structures with time-dependent dynamical effects // Architecture shells and strength raset walled construction and engineering design of complex shape. Works of the International Conference. – V.: the Russian University of Peoples' Friendship. 2001. pp. 289–296.

4. Musayev V.K. Numerical solution of some problems of life safety with the finite element method // Bulletin of the Russian University of Peoples' Friendship. A series of complex security problems. 2005. no. 1. pp. 17–23.

5. Musayev V.K. Destruction, complex deformable bodies caused by impulses // Bulletin of the Russian University of Peoples' Friendship. A series of complex security problems. 2006. no. 1. pp. 36–42.

6. Musayev V.K. Some possibilities of mathematical modeling and numerical computer simulation // Bulletin of the Russian University of Peoples' Friendship. A series of complex security problems. 2006. no. 1. pp. 81–86.

7. Taho-Gody A.Z., Sitnik S.V., Kurantsov V.V., Kormilitzin A.I., Akatiev S.V. Reliability of the results of the numerical method Musayev V.K. the displacement for the problem of the reflection of elastic stress waves in the form of a delta function from the free surface // Technosphere safety, reliability, quality, energy and resource conservation: Vol. 38. Materials of International scientific and practical conference. Edition VIII. Vol. 2. Rostov-on-Don: Rostov State University of Civil Engineering. 2011. pp. 280–284.

8. Taho-Gody A.Z. A method for the unsteady wave problems using numerical method Musayev V.K. in displacement // Materials of International scientific and practical conference «Safety and ecology of technological processes and productions». Village Persianovskiy of Rostovregion: Don State Agrarian University. 2012. pp. 73–78.

9. Taho-Gody A.Z. Modeling of wave voltage at explosive impact of coal mines in the objects using a numerical method Musayev V.K. in displacement // Materials of International scientific and practical conference «Safety and ecology of technological processes and productions». Village Persianovskiy of Rostovregion: Don State Agrarian University. 2012. pp. 78–85.

10. Musayev V.K. Testing of stressed state in the structure-based system under non-stationary dynamic effects // Proceeding of the second International conference on recent advances in geotechnical earthquake engineering and soil dynamics. – Sent Louis: University of Missouri-Rolla. 1991. Vol. 3. pp. 87–97.

Рецензенты:

Мусаев В.К. Оглы, д.т.н., профессор, директор научно-производственной фирмы «Интерсейм», г. Пушкино;

Шаршак В.К., д.т.н., профессор кафедры «Механика, машины и оборудование пищевых производств» Донского государственного аграрного университета, г. Новочеркасск.

Работа поступила в редакцию 18.10.2012.