

**Боқан М., Нұрбекқызы А., Баянбай А.**

**Ғылыми жетекші: Сатыбалдиева Р.Ж., Касымова А.Б.**

**Анимация саласында білім беру және әлеуметтік қызметтерді ұсынатын веб-портал әзірлеу**

**Аңдатпа.** Мақалада анимация саласында білім беру және әлеуметтік қызметтерді ұсынатын пайдаланушы интерфейсі мен веб-порталын әзірлеудің негізгі тұжырымдамасы берілген. Веб-порталдың негізгі талаптары мен сипаттамалары келтірілген, сондай-ақ сауалнаманы және салыстырмалы талдауды пайдалана отырып, тікелей тестілеу рәсімі сипатталған.

**Кілт сөздер:** Анимация, 3D дизайн, тиімділік, құралдар, профиль, мультимедиа

**About authors:**

**Bokan Madina Yerzhankyzy**, 4th year student of the International University of information technologies.

**Bayanbay Arnur**, 4th year student of the International University of information technologies.

**Nurbekkyzy Altynnur**, 4th year student of the International University of information technologies.

**Satybaldyieva Ryskhan Zhakanovna**, Associate Professor of the Department "Information systems", candidate of technical Sciences.

УДК 517.958:531.72

**Токмухамедова Ф.К.**

Международный университет информационных технологий

Алматы, Казахстан

Научные руководители: Нуртас М., Алпар С.Д.

**ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ПОРОУПРУГОГО ВОЛНОВОГО УРАВНЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**

**Аннотация.** В данной статье исследуется проблема акустики в пористых средах в трех отдельных областях. В каждой области предполагается, что материалы обладают разными физическими свойствами. Геометрия пор, вязкость жидкости располагаются в середине двух упругих областей. В этой задаче сначала рассматривается решение дифференциальных уравнений. Математическая модель этих физических явлений описывается начально-краевыми задачами для сложных систем дифференциальных уравнений в частных производных.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, уравнение акустики, метод конечных элементов, пороупругая среда.

Пусть полупространство  $\Omega = \{x \in R / x > 0\}$  состоит из трех конечных слоев  $\Omega_1 = \{x \in R / 0 < x < H_1\}$ ,  $\Omega_2 = \{x \in R / H_1 < x < H_2\}$ ,  $\Omega_3 = \{x \in R / H_2 < x < H_3\}$  и полубесконечного слоя  $\Omega_4 = \{x \in R \setminus x > H_3\}$ . Области  $\Omega_1$  и  $\Omega_4$  являются упругими средами без какой-либо поровой структуры, в то время как области  $\Omega_2$  и  $\Omega_3$  являются упругими пористыми средами с пористостью  $m_2$  и  $m_3$  соответственно. Поры области  $\Omega_2$  заполнены жидкостью 2 (нефть) и поры области  $\Omega_3$  заполнены 3 (воды). Будем считать, что твердый скелет областей  $\Omega_2$  и

$\Omega_3$  состоит из того материала, что и области  $\Omega_1$  и  $\Omega_4$ . Из всех характеристик сплошной среды мы будем учитывать только плотность  $\rho_s$  и скорость звука  $c_s$  (безразмерные) упругой среды, плотность  $\rho_2$  и скорость звука  $c_2$  первой жидкости и плотность  $\rho_3$  и скорость звука  $c_3$  второй жидкости. Согласно [1]-[3] давление среды удовлетворяет в  $\Omega$  при  $t > 0$  уравнению акустики

$$\frac{1}{c^2(x)} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} = \operatorname{div} \left( \frac{1}{\rho(x)} \nabla p \right) \quad (1)$$

где

$$\frac{1}{c^2(x)} = \frac{h_1(x)}{c_s^2} + h_2(x) \left( \frac{(1-m_2)}{c_s^2} + \frac{m_2}{c_2^2} \right) + h_3(x) \left( \frac{(1-m_3)}{c_s^2} + \frac{m_3}{c_3^2} \right) + h_4(x) \frac{1}{c_s^2}$$

$$\rho(x) = \rho_s h_1(x) + h_2(x) (\rho_s (1-m_2) + \rho_2 m_2) + h_3(x) (\rho_s (1-m_3) + \rho_3 m_3) + \rho h_4(x)$$

$h_i(x), i=1,2,3,4$  – характеристические функции областей  $\Omega_i$ , то есть  $h_i(x)=1$  при  $x \in \Omega_i$  и  $h_i(x)=0$  при  $x \notin \Omega_i$ . На границе  $\Gamma = \{x/x=0\}$  задаем нормальное перемещение среды, которое в силу уравнения движения [1]

$$\rho \frac{\partial^2 \bar{w}}{\partial t^2} = -\nabla p$$

означает задание производной

$$\frac{1}{\rho} \nabla p \bar{n} = u_1(t), \quad x=0, \quad t > 0 \quad (2)$$

Дополнительное условие на границе  $\Gamma$ :

$$P = u_0(t), \quad x=0, \quad t > 0 \quad (3)$$

Задача (1)-(3) замыкается заданием начальных условий

$$p(x,0) = 0, \quad \frac{\partial p}{\partial t}(x,0) = 0 \quad x > 0, \quad t > 0 \quad (4)$$

Численное решение одномерного пороупругого волнового уравнения на смешанной области получено двумя методами: методом конечных элементов и методом конечных разностей.

Целью данной работы является применение метода конечных элементов и аппроксимация данной математической модели в одномерном пространстве с дальнейшим усложнением области и переходом на двумерное и трехмерное пространство.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. A. Meirmanov, A description of seismic acoustic wave propagation in porous media via homogenization // SIAM J. Math. Anal. 40. -2008. Issue 3. -pp. 1272 - 1289.
2. M. Biot, Theory of propagation of elastic waves in a fluid-saturated porous solid. I. Low-frequency range // Journal of the Acoustical Society of America. 28. -1955. –pp. 168-178.
3. A. Meirmanov, Mathematical models for poroelastic flows, Atlantis Press, Paris, 2013.
4. Овсянников Л.В., Введение в механику сплошных сред. Новосибирский Государственный Университет. – Новосибирск, 1977.
5. А. Мейрманов, М. Нуртас, Прямые и обратные задачи акустики пороупругих сред. Часть I: построение приближенных решений //Вестник Казахстанско-Британского технического университета. №1(32). – Алматы, 2015.
6. М. Нуртас, Кеуекті серпілмелі ортадағы акустика теңдеуінің тура және кері есебі //Вестник Казахстанско-Британского технического университета. – №2 (33). – Алматы, 2015.

7. M. G. Larson, F. Bengzon, The Finite Element Method: Theory, Implementation, and Applications, Springer, 2013

**Токмухамедова Ф.К.**

**Ғылыми жетекші: Нуртас М., Алпар С.Д.**

**Ақырлы элементтер әдісімен кеуекті-серпімді толқындық теңдеудің сандық шешу**

**Аңдатпа.** Бұл мақалада біз акустика мәселесін кеуекті ортадағы үш бөлек аймақта зерттейміз. Әр аймақта материалдар әртүрлі физикалық қасиеттерге ие деп болжанады. Кеуектердің геометриясы, сұйықтықтың тұтқырлығы екі серпімді аймақтың ортасында орналасқан. Бұл есепте алдымен дифференциалдық теңдеулердің шешімін қарастырамыз. Осы физикалық құбылыстардың математикалық моделі дербес туынды дифференциалдық теңдеулердің күрделі жүйелері үшін бастапқы шеттік есептермен сипатталған.

**Кілт сөздер:** математикалық модельдеу, акустика теңдеуі, ақырлы элемент әдісі, кеуекті-серпімді орта.

**F.K. Tokmukhamedova**

**Scientific supervisors: M. Nurtas, S.D. Alpar,**

**Numerical solution of poroelastic wave equation using the finite element method**

**Abstract.** In the article, we investigate the problem of acoustics in porous media in three separate areas. In each area, it is assumed that the materials have different physical properties. Geometry of pore, fluid viscosity is located in the middle of two elastic areas. In this problem, we first consider the solution of differential equations. The mathematical model of these physical phenomena is described by initial-boundary value problems for complex systems of partial differential equations.

**Key words:** mathematical modeling, acoustics equation, finite element method, poroelastic medium.

**Сведения об авторах:**

**Нуртас Марат**, PhD, ассистент-профессор кафедры «Математического и компьютерного моделирования» Международного университета информационных технологий.

**Алпар Султан Дуйсенұлы**, магистр, лектор кафедры «Математического и компьютерного моделирования» Международного университета информационных технологий.

**Токмухамедова Фатима Кадыровна**, тьютор кафедры «Математического и компьютерного моделирования» Международного университета информационных технологий.