О РАСПРОСТРАНЕНИИ СФЕРИЧЕСКОЙ ВОЛНЫ В НЕЛИНЕЙНО-СЖИМАЕМОЙ И УПРУГОПЛАСТИЧЕСКОЙ СРЕДАХ.

Джалилова Тургуной Абдужалиловна
кандидат физико-математических наук, доцент.
Комолова Гулхаё Шукирилло кизи,
Халилов Муродилжон Дурбек угли
Преподаватель Андижанского машиностроительного института.

АННОТАЦИЯ

Рассматриваетея задача о распространении сферической ударной волны к границе каверны. Грунт моделируется либо идеальной нелинейно – сжимаемой и упругопластической средой. Решение задачи пристроено аналитически обратным способом и численным методом характеристик.

Из результатов расчета видно, что в случае моделирования грунта нелинейно – сжимаемой среды по сравнению с упругопластической задачей изменяется во времени сравнительно медленно и приобретает наибольшие значения. Результаты метода характеристик совпадают с аналитеческим решением задачи.

Ключевые слова: *Сферическая волна, нелинейно–сжимаемая среда, упругопластическая среда, грунт, деформационная теория, каверна, модель, фронт, упругопластическая деформация, метод характеристик, теория пластичности, модул Юнга.*

SFERIK TO‘LQINNING NOCHIZIQLI SIQILMAGAN VA ELASTIK-PLASTIK MUHITDA TARQALISHI HAQIDA

ANNOTATSIYA

Sferik zarba to`lqinining bo`shliq chegarasida tarqalish muammosi ko`rib chiqiladi. Teskari masalaning yechimi analitik usulda va sonli xarakteristikalar chiziqli bo`lmagan – siqiluvchan muhitlarda qattiq jism haqidagi masalani modellashtirish elastik – plastik masala bilan taqqoslangan.

Hisoblash natijalaridan ko'rinib turibdiki, chiziqli bo'lmagan siqiluvchi muhitning tuprog'ini modellashtirishda elastoplastik masala bilan solishtirganda, u vaqt ichida nisbatan sekin o'zgaradi va eng katta qiymatlarga ega bo'ladi. Xarakteristikalar usulining natijalari masalaning analitik yechimi bilan mos keladi.

Natijada elastik – plastik masalani yechish vaqtga nisbatan sekin harakteristikalar usulining natijalari masalani analitik yechimi bilan ustma – ust tushgani yaqqol ko`ringan.

Kalit so`zlar: *Sferik to'lqin, chiziqli bo'lmagan siqilgan muhit, elastiko-plastik muhit, qattiq jism, deformatsiya nazariyasi, kavernalar, model, front, elastiko-plastik deformatsiya, harakteristikalar usuli, oquvchanlik nazariyasi, Yung moduli.*

ON THE PROPAGATION OF A SPHERICAL WAVE IN A NONLINEAR COMPRESSIBLE AND ELASTOPLASTIC MEDIA

ABSTRACT

The problem of propagation of a spherical shock wave to the cavity boundary is considered. The soil is modeled either by an ideal non-linear compressible and elastic-plastic medium. The solution of the problem is attached analytically by the inverse method and by the numerical method of characteristics.

It can be seen from the calculation results that in the case of modeling the soil of a nonlinear compressible medium, in comparison with the elastic-plastic problem, it changes relatively modularly over time and acquires the greatest values. The results of the characteristics method coincide with the analytical solution of the problem.

Keywords: *Spherical wave, nonlinear compressible medium, elastic-plastic medium, ground, deformation theory, cavity, model, front, elastic-plastic deformation, method of characteristics, theory of plasticity, Young's module.*

ВВЕДЕНИЕ

Рассматривается задача о распространении сферической ударной волны в грунте под действием приложенной к границе каверны радиуса интенсивной, монотонно убывающей нагрузки $\sigma_0(t)$. Грунт моделируется либо идеальной нелинейно-сжимаемой, либо упругопластической средой, подчиняющейся деформационной теории. Решение задачи построено аналитически обратным способом и численно методом характеристик. Пусть на границу сферической каверны $r = r_0$ приложена монотонно убывающая нагрузка $\sigma_0(t)$. В случае рассмотрения задачи в рамках нелинейно-сжимаемой среды

$$(\sigma_{rr} = \sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{\theta\theta} = -\rho, \sigma_{r\varphi} = 0)$$

при

$$\frac{d^2\rho}{d\varepsilon^2} > 0$$

VOLUME 2 | ISSUE 3
ISSN 2181-1784
SJIF 2022: 5.947
ASI Factor = 1.7

в грунте будет распространяться сферическая ударная волна $r = R(t)$, на фронте которой грунт мгновенно нагружается, а за ним в области возмущения происходит линейная и необратимая разгрузка среды. Тогда из уравнений движения, неразрывности и состояния идеальной сжимаемой среды получим относительно массовой скорости $u(r,t)$ уравнение вида

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - C_\rho^2 \frac{\partial^2 u}{\partial r^2} - \frac{2C_\rho^2}{r}\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right) = 0 \qquad (1)$$

Пусть задан

$$r = R(t) \text{ или } \dot{R} = \frac{dR(t)}{dt}.$$

В этом случае при $r = R(t)$ все параметры среды с учетом соотношений на фронте ударной волны будут известными функциями времени, и вышеуказанные соотношения являются граничными условиями для решения уравнения (1). С учетом этого обстоятельства решение уравнения (1) представляется в виде:

$$u(r,t) = \frac{1}{r}\left\{ \int_{r_0}^{r-C_\rho t} d\xi_2 \int_{r_0}^{\xi_2} \phi_1(\xi_1)d\xi_1 - \right.$$

$$- \int_{r_0}^{r+C_\rho t} d\xi_2 \int_{r_0}^{R[F(\xi_2)]-C_\rho F(\xi_2)} \phi_1(\xi_1)d\xi_1 -$$

$$\left. - \frac{\rho_0}{\alpha_2} \int_{r_0}^{r+C_\rho t} \frac{\dot{R}[F(\xi_2)]\ddot{R}[F(\xi_2)]R[F(\xi_2)]}{\Delta_2[F(\xi_2)]} d\xi_2 \right\} -$$

$$- \frac{1}{r^2}\left\{ \int_{r_0}^{r-C_\rho t} d\xi_3 \int_{r_0}^{\xi_3} d\xi_2 \int_{r_0}^{\xi_2} \phi_1(\xi_1)d\xi_1 - \right.$$

$$- \int_{r_0}^{r+C_\rho t} d\xi_3 \int_{r_0}^{\xi_3} d\xi_2 \int_{r_0}^{R[F(\xi_2)]-C_\rho F(\xi_2)} \phi_1(\xi_1)d\xi_1 -$$

$$\left. - \frac{\rho_0}{\alpha_2} \int_{r_0}^{r+C_\rho t} d\xi_3 \int_{r_0}^{\xi_3} \frac{\dot{R}[F(\xi_2)]\ddot{R}[F(\xi_2)]R[F(\xi_2)]}{\Delta_2[F(\xi_2)]} d\xi_2 + m_1 C_\rho t_1 + n_1 \right\}, \qquad (2)$$

$$\Delta_2(t) = \sqrt{\frac{(1-\frac{\alpha_1}{\alpha_2})^2}{4} - \frac{\rho_0 \dot{R}^2(t) - \alpha_1}{\alpha_2}} \;, C_\rho = \sqrt{\frac{E}{\rho_0}},$$

где $\phi_1(\xi)-$ известная функция; $F(z_{1,2})-$ корень уравнения $R(t) \mp C_\rho t = z_{1,2}$ относительно t; C_ρ −скорость распространения возмущения в области расгрузки; $m_1, n_1, \alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2 -$ коэффициенты. Учитывая, что $\rho(r_0, t) = \sigma_0(t)$, из уравнения движения среды для определения нагрузки $\sigma_0(t)$ с учетом (2) имеем:

$$\sigma_0(t) = \rho^*(t) + \rho_0 \int_{r_0}^{R(t)} \frac{\partial u(r,t)}{\partial t} dr \qquad (3)$$

Если рассмотреть задачу при упругопластических деформациях, то относительно перемещения $u(r,t)$ получим уравнение

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = a_0^2 \left[\frac{\partial^2 u}{\partial r^2} + \frac{2}{r}\left(\frac{\partial u}{\partial r} - \frac{u}{r}\right) + \frac{Q(r)}{\rho_0 a_0^2}\right], \rho_0 a_0^2 = \lambda_0 + 2G_0, \qquad (4)$$

которое допускает решение вида

$$u(r,t) = \frac{\psi'(r-a_0 t) + \phi'(r+a_0 t)}{r} - \frac{\psi(r-a_0 t) + \phi(r+a_0 t)}{r^2} -$$

$$-\frac{1}{3(\lambda_0 + 2G_0)} \int_{r_0}^{r} Q(r) dr + \frac{1}{3(\lambda_0 + 2G_0)} \int_{r_0}^{r} Q(r) r^3 dr \,, \qquad (5)$$

где ψ и ϕ −искомые функции. Отметим, что в случае

$$(\alpha_2 - \frac{8}{27}\beta_2) > 0$$

в грунте возникает ударная волна и при использовании обратного способа решения задачи функция $Q(r)$ является заданной. Тогда условия на фронте сферической ударной волны $r = R(t)$, если задана $R(t)$ или $\dot{R}(t)$, обеспечивают нахождения искомых функций ψ и ϕ. В этом случае на основе формулы

$$\sigma_{rr} = \sigma_{rr}^*(r) + \lambda_0(\varepsilon - \varepsilon^*) + 2G_0(\varepsilon_{rr} - \varepsilon_{rr}^*)$$

вычисляется напряжение σ_{rr} , а граничное условие $\sigma_{rr}(r_0, t) = -\sigma_0 t$ определяет профиль нагрузки $\sigma_0(t)$. В дальнейшем был разработан алгоритм и схема расчета упругопластической задачи методом характеристик. Расчеты на ЭВМ проводились для случая, когда форма поверхности ударной волны задана в виде полинома второй степени

$$R(t) = r_0 + R_1 t - \frac{R_2}{2} t^2, \ \dot{R}(t) > 0$$

в качестве грунта выбран мелкозернистый песок с экспериментальными диаграммами

$$\sigma(\varepsilon) = (\alpha_1 + \alpha_2|\varepsilon|)\varepsilon, \qquad \sigma_i(\varepsilon_i) = (\beta_1 - \beta_2\varepsilon_i)\varepsilon_i.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Из результатов расчета видно, что в случае моделирования грунта нелинейно-сжимаемой среды, по сравнению с упругопластической задачей, профиль нагрузки $\sigma_0(t)$ изменяется во времени сравнительно медленно и при $t > 0$ по абсолютной величине приобретает наибольшие значения. Это обьясняется тем, что в случае рассмотрения задачи в рамках нелинейно-сжимаемой среды грунт со всех сторон обжат одним и тем же давлением, тогда как при использовании теории пластичности $\sigma_{rr} > \sigma_{\varphi\varphi} = \sigma_{\theta\theta}$. Все параметры среды при $r \geq r_0$ в зависимости от времени t имеют затухающий характер. Напряжение σ_{rr} и массовая скорость u_t в зависимости от координаты r изменяются, в основном по линейному закону. Такая же картина имеет место при изменении σ_{rr}^* , $\sigma_{\varphi\varphi}^*$, u_t^* вдоль фронта волны. Результаты метода характеристик удовлетворительно совпадают с аналитическим решением задачи. Исследованием установлено, что с увеличением величины коэффициентов α_1, α_2 ,β_1, β_2 компоненты напряжений возрастают, а с увеличением модулей Юнга E_1,E_2 −убывают.

REFERENCES

1. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Гидродинамика, Изд.4-с.М:Наука, 1988, т.6. 730 с.
2. Станюкович К.П. Неустановившияся движения силошной среды. М:Наука, 1971.-852 с.
3. Авершывм С.П., Атабаев К., Джалилова Т.А., Мамадалиев Н. “Динамическое расширение сферической и цилиндрической полости в нелинейно- сжимаемой пластической среде” Узбекский журнал. “Проблемы механики”, № 2-3, 1999, ст.9-16.
4. Авершывм С.П., Мамадалиев Н. Применение модели пластического газа Х.А.Рахматулина для исследования процесса кратерообразования в плоской мишени при высокоскоростном ударе сферической частицы космонавтика и ракетостроение. Выи. 1(54). 2009. с. 134-144.

5. Djalilova T, Atabayev K, Komolova G. “Solution of the energy equation of a two-phase medium taking into account heat transfer between phases” “ACTUAL PROBLEMS OF MODERN SCIENCE, EDUCATION AND TRAINING.” Electronic journal. KhorezmsScience.Uz, October,2021 10/2. ISSN 2181-9750. 80-85 betlar.
6. G.Komolova. “Hosilani ketma-ketlikdagi ba`zi masalalarni yechishga tadbig`i.” “O`ZBEKISTON VA AVTOMOBIL SANOATI: FAN, TA`LIM VA ISHLAB CHIQARISH INTEGRATSIYASI” xalqaro ilmiy-amaliy anjuman materiallari, 386-389 betlar,AndMI.
7. qizi Komolova, G. S. (2021). Differensial hisobning asosiy teoremalari. *Science and Education*, *2*(10), 9-12.
8. Ergashov S., Komiljonov B., Xalilov M. Differensial tenglamalarni mexanika va fizikaning ba’zi masalalarini yechishga tadbiqlari // Namangan muhandislik texnologiyalari instituti ilmiy-texnika jurnali 430-433 b.
9. Gulhayo Komolova, Khalilov Murodiljon, Stages of drawing up a mathematical model of the economic issue.//journal of ethics and diversity in international communication.
10. Xalilov Murodiljon, Tillayev Donyorbek Experience in Using the relationship between mathematics and physics in shaping the concept of limit // Analytical journal of education and development 2021 yil, 212-215 b.