

Methods of the study include analytical approaches, as well as algorithms of numerical integration of non-linear equations.

The results can be inculcated into the practice of theoretical and experimental analysis of deep drill string dynamics.

Prognosis of the development of the object of the study – it can be used for choice of optimal shapes of drilling bits.

KEYWORDS: DRILL STRING, DRILLING, BIT, NONHOLONOMIC CONSTRAINT

РЕФЕРАТ

Борщ Е.И., Шевчук Л. В. Неголономное качение эллипсоидального тела по шероховатой поверхности. / Елена Ивановна Борщ, Людмила Владимировна Шевчук // Весник НТУ – К.:НТУ – 2013. – Вып. 26.

В статье ставится задача об изгибных колебаниях низа бурильной колонны в условиях контактного взаимодействия долота с дном скважины.

Объектом исследования является долото бурильной колонны в процессе его верчения, а также прямого и обратного неголономного качения.

Цель работы заключается в повышении эффективности функционирования колонн глубокого бурения путем моделирования процесса неголономного качения долота по дну скважины.

Методы исследования включают аналитические подходы, используемые в динамике неголономных систем, а также алгоритмы численного интегрирования нелинейных уравнений.

Результаты статьи могут быть внедрены в практике теоретического и экспериментального исследования динамики колонн глубокого бурения в нефтяных и газовых скважинах.

Прогнозные предположения относительно развития объекта исследования – поиск оптимальной геометрической формы долота, исключающей возможность самовозбуждения колебаний.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: БУРИЛЬНАЯ КОЛОННА, БУРЕНИЕ, ДОЛОТО, НЕГОЛОНОМНАЯ СВЯЗЬ.

УДК 539.3

ЕКРАНУВАННЯ РОЗРИВНИХ ХВИЛЬ ШАРОМ ЗНИЖЕНОЇ ЩІЛЬНОСТІ

Ващіліна О.В., кандидат фізико-математичних наук
Заєць Ю.О.

Постановка проблеми.

В період стрімкого розвитку використання високошвидкісних поїздів особливо актуально постає питання захисту об'єктів від динамічного впливу на них хвиль деформацій, ініційованих сучасним транспортом. Також гостро постають проблеми захисту об'єктів, які піддаються сейсмічному впливу ударних хвиль під час різноманітних вибухів, землетрусів, а також в результаті різних технологічних процесів. Головна проблема полягає в тому, що рухоме поле деформацій та напружень спричинене високошвидкісними залізничними потягами та вибухами в оточуючому ґрунтовому середовищі, призводить до швидкоплинних знакозмінних процесів деформацій з високими градієнтами. Особливу небезпеку для оточуючих споруд становлять такі поля у місцях зустрічного руху двох поїздів, коли внаслідок їх накладання градієнти деформацій різко зростають, збурені ними хвилі можуть фокусуватися, а коливання резонувати. Оскільки в майбутньому високошвидкісні поїзди набуватимуть все більшого поширення, а їх швидкості збільшуватимуться, особливої актуальності набувають проблеми захисту оточуючих об'єктів від динамічного впливу на них хвиль деформацій шляхом їх відбиття. В даній роботі поставлена задача про поширення хвиль деформацій в пружних середовищах і розробки засобів їх екранування. Для розв'язку поставленої задачі зручно застосовувати нульове наближення променевого методу [1].

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

В роботах [2, 3, 4] вивчені окремі питання аналізу процесів поширення ударних хвиль на різних площинах розділу пружних середовищ. Розглянуті роботи використовують основну особливість променевого методу – можливість простежувати динамічний процес не на всій

розглядуваній області поля, а обмежитись лише аналізом динаміки середовища на досліджуваній частині поверхні фронту.

Мета дослідження.

Дослідити ефект екранування розривних (слабких ударних) хвиль шаром пружного середовища із зменшеною щільністю та шаром – із відмінними фізичними властивостями.

Основна частина.

Використовуючи рівняння руху елемента пружного середовища [5, 6]

$$\sum_{k=1}^3 \frac{\partial \sigma_{ik}}{\partial x_k} + f_i = \rho \frac{\partial^2 u_i}{\partial t^2} \quad (i=1, 2, 3), \quad (1)$$

де σ_{ik} - компоненти тензора пружних напружень; x_k - декартові координати; f_i - компоненти вектора густини масових сил; u_i - компоненти вектора пружних переміщень; ρ - густина речовини пружного середовища; t - час,

співвідношення Коші для обчислення деформацій ε_{ik} суцільного середовища (2) та рівняння Гука (3)

$$\varepsilon_{ik} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_k} + \frac{\partial u_k}{\partial x_i} \right) \quad (i, k=1, 2, 3). \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{ii} &= \lambda(\varepsilon_{11} + \varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}) + 2\mu\varepsilon_{ii} \quad (i=1, 2, 3); \\ \sigma_{ij} &= \mu\varepsilon_{ij} \quad (i, j=1, 2, 3, i \neq j), \end{aligned} \quad (3)$$

де λ і μ - пружні константи середовища,

можна описати рівняння динаміки ідеального лінійно-пружного середовища.

Нехай в пружному середовищі I знаходиться пружне включення шару середовища II, з'єднане без проковзування по площинах G_1 і G_2 .

В середовищі I на площину G_1 під кутом θ_{1-} падає плоска поздовжня розривна P -хвиля з $\dot{u}_{1-}=1$. Простежимо за характером проникнення даної хвилі в середовище II і далі знову в середовище I, проходячи через площини G_1 , G_2 , і які інтенсивності мають утворені хвилі.

При виведенні рівнянь динамічної взаємодії розривної хвилі з площиною G з'єднання двох середовищ використовуємо умови нерозривності на G переміщень \vec{u} і напружень σ [2]

$$\left(\vec{u}^{(i)} + \vec{u}^{(r)} \right) \Big|_G = \vec{u}^{(t)} \Big|_G; \quad \left(\mathcal{E}^{(i)} \cdot \vec{n} + \mathcal{E}^{(r)} \cdot \vec{n} \right) \Big|_G = \mathcal{E}^{(t)} \cdot \vec{n} \Big|_G, \quad (9)$$

де індексами i , r і t позначені параметри падаючої, відбитої та заломленої хвиль, відповідно; \vec{n} - вектор одиничної нормалі до площини G .

Рівності (10) зводяться до системи рівнянь

$$\begin{aligned} \alpha_1 \rho_1 \cos^2 \theta_{1+} \dot{u}_{1+} - \beta_1 \rho_1 \sin \psi_{1+} \cos \psi_{1+} \dot{v}_{1+} - \alpha_2 \rho_2 \cos^2 \theta_{2+} \dot{u}_{2+} - \beta_2 \rho_2 \sin \psi_{2+} \cos \psi_{2+} \dot{v}_{2+} &= -\alpha_1 \rho_1 \cos^2 \theta_{1-} \dot{u}_{1-}; \\ \alpha_1 \rho_1 \sin \theta_{1+} \cos \theta_{1+} \dot{u}_{1+} + \beta_1 \rho_1 \cos^2 \psi_{1+} \dot{v}_{1+} + \alpha_2 \rho_2 \sin \theta_{2+} \cos \theta_{2+} \dot{u}_{2+} - \beta_2 \rho_2 \cos^2 \psi_{2+} \dot{v}_{2+} &= \alpha_1 \rho_1 \sin \theta_{1-} \cos \theta_{1-} \dot{u}_{1-}; \\ \cos \theta_{1+} \dot{u}_{1+} - \sin \psi_{1+} \dot{v}_{1+} + \cos \theta_{2+} \dot{u}_{2+} + \sin \psi_{2+} \dot{v}_{2+} &= \cos \theta_{1-} \dot{u}_{1-}; \\ \sin \theta_{1+} \dot{u}_{1+} + \cos \psi_{1+} \dot{v}_{1+} - \sin \theta_{2+} \dot{u}_{2+} + \cos \psi_{2+} \dot{v}_{2+} &= -\sin \theta_{1-} \dot{u}_{1-}. \end{aligned} \quad (10)$$

Розглянемо випадок нормального падіння P_{1-} -хвилі інтенсивністю $\dot{u}_{1-}=1$ м/с на площину G_1 , при якому утворюється лише одна відбита P_{1+} -хвиля і одна заломлена P_{2+} -хвиля. Тоді система (10) спрощується до системи двох рівнянь (11)

$$\begin{aligned} \alpha_1 \rho_1 \dot{u}_{1+} - \alpha_2 \rho_2 \dot{u}_{2+} &= -\alpha_1 \rho_1 \dot{u}_{1-}, \\ \dot{u}_{1+} + \dot{u}_{2+} &= \dot{u}_{1-}. \end{aligned} \quad (11)$$

Яка має розв'язок

$$\dot{u}_{1+} = \frac{-\alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2}{\alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2} \dot{u}_{1-}, \quad \dot{u}_{2+} = \frac{2\alpha_1 \rho_1}{\alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2} \dot{u}_{1-}. \quad (12)$$

Значення \dot{u}_{1+} , \dot{u}_{2+} для різних послідовностей проходження середовищ I і II наведені в таблиці 1. Середовища розташовані в порядку збільшення їх акустичної жорсткості $\alpha\rho$. Проаналізувавши отримані значення в таблиці, можемо бачити, що головна діагональ таблиці ділить квадратну матрицю значень на дві трикутні під матриці. В правій верхній матриці всі значення $\dot{u}_{1+} < 0$, а $\dot{u}_{2+} > 1$, зокрема зі збільшенням $\alpha_2 \rho_2 - \alpha_1 \rho_1$ величина $\dot{u}_{1+} \rightarrow -1$, а $\dot{u}_{2+} \rightarrow -2$.

Таблиця 1. - Дифракція поздовжньої хвилі на площині поділу двох ізотропних пружних середовищ (кут падіння 0°)

I Середовище		1	2	3	4
		Вапняк $\alpha = 3430 \frac{М}{с}$; $\rho = 2420 \frac{кг}{м^3}$ $\alpha\rho = 8,3 \cdot 10^6 \frac{кг}{с \cdot м^2}$	Граніт $\alpha = 4650 \frac{М}{с}$; $\rho = 2590 \frac{кг}{м^3}$ $\alpha\rho = 12 \cdot 10^6 \frac{кг}{с \cdot м^2}$	Мармур $\alpha = 5470 \frac{М}{с}$; $\rho = 2730 \frac{кг}{м^3}$ $\alpha\rho = 14,9 \cdot 10^6 \frac{кг}{с \cdot м^2}$	Доломіт $\alpha = 6600 \frac{М}{с}$; $\rho = 2850 \frac{кг}{м^3}$ $\alpha\rho = 18,8 \cdot 10^6 \frac{кг}{с \cdot м^2}$
Середовище II					
Вапняк	\dot{u}_{1+}	0	-0,1839	-0,2854	-0,3876
	\dot{u}_{2+}	1	1,18398	1,2855	1,38765
Граніт	\dot{u}_{1+}	0,18398	0	-0,1071	-0,2191
	\dot{u}_{2+}	0,81602	1	1,1071	1,21931
Мармур	\dot{u}_{1+}	0,28547	0,10712	0	-0,1148
	\dot{u}_{2+}	0,71453	0,89288	1	1,11489
Доломіт	\dot{u}_{1+}	0,38765	0,21931	0,1149	0
	\dot{u}_{2+}	0,61235	0,78069	0,88511	1

Тепер змінимо властивості другого середовища, таким чином, що $\alpha_2 = \alpha_1$, $\rho_2 = k\rho_1$, де k - спеціально введений коефіцієнт, який визначає зменшення густини пружного середовища.

$$\text{Тоді } \dot{u}_{1+} = \frac{-\alpha_1 \rho_1 + k\alpha_1 \rho_1}{\alpha_1 \rho_1 + k\alpha_1 \rho_1} \dot{u}_{1-} = \frac{k-1}{k+1} \dot{u}_{1-}, \quad \dot{u}_{2+} = \frac{2\alpha_1 \rho_1}{\alpha_1 \rho_1 + k\alpha_1 \rho_1} \dot{u}_{1-} = \frac{2}{k+1} \dot{u}_{1-}. \quad (13)$$

Отже, якщо $k = \frac{1}{2}$, то $\dot{u}_{1+} = -\frac{1}{3} \dot{u}_{1-}$, а $\dot{u}_{2+} = \frac{4}{3} \dot{u}_{1-}$. Тобто швидкість заломленої хвилі стає більшою, ніж швидкість початкової падаючої хвилі. Але при цьому виконується закон збереження повної механічної енергії у відповідних елементах падаючої та утворених розривних хвиль.

Для підтвердження виконання цього закону розглянемо випадок нормального падіння плоскої поздовжньої P -хвилі на площину G контакту пружних середовищ I і II з параметрами механічних властивостей $\lambda_1, \mu_1, \rho_1, \alpha_1 = \sqrt{(\lambda_1 + 2\mu_1) / \rho_1}$ і $\lambda_2, \mu_2, \rho_2, \alpha_2 = \sqrt{(\lambda_2 + 2\mu_2) / \rho_2}$, відповідно. На рис. 1,а зображений елемент одиничної ширини пружного середовища I на фронті падаючої поздовжньої P -хвилі.



Рисунок 1. - Елементи розривних хвиль до (а) і після (б) ударної взаємодії розривної плоскої P - хвилі з площиною G контакту пружних середовищ I і II.

В результаті взаємодії такої хвилі з площиною G формуються відбита та заломлена P -хвилі. Повні енергії в пружній системі до (E_-) і після удару мають бути рівними, тому

$$E_- = E_+ \text{ або } \Pi_- + T_- = \Pi_+ + T_+, \quad (14)$$

де Π_-, Π_+ - потенціальні енергії; T_-, T_+ - кінетичні енергії в елементах, які приймають участь в ударній взаємодії.

В падаючій хвилі

$$\Pi_- = \frac{\sigma_{1-} \varepsilon_{1-}}{2} \alpha_1 \Delta t, \quad (15)$$

де $\sigma_{1-} = (\lambda + 2\mu)\varepsilon_{1-}$ - поздовжнє нормальне напруження; ε_{1-} - поздовжня відносна деформація; $\alpha_1 \Delta t$ - товщина виділеного елемента, який здійснив ударну взаємодію з площиною G за час Δt .

Тоді

$$\Pi_- = \frac{(\lambda + 2\mu)}{2} \cdot \frac{\dot{u}_{1-}}{\alpha_1} \alpha_1 \Delta t = \frac{(\lambda + 2\mu)}{2} \cdot \frac{\rho_1 \dot{u}_{1-}^2}{(\lambda + 2\mu)} \alpha_1 \Delta t = \frac{\rho_1 \dot{u}_{1-}^2}{2} \alpha_1 \Delta t. \quad (16)$$

Кінетична енергія елемента падаючої хвилі дорівнює

$$T_- = \rho_1 \alpha_1 \Delta t \frac{\dot{u}_{1-}^2}{2}. \quad (17)$$

Повна енергія в елементі падаючої хвилі дорівнює

$$E_- = \Pi_- + T_- = \frac{\rho_1 \dot{u}_{1-}^2}{2} \alpha_1 \Delta t + \frac{\rho_1 \dot{u}_{1-}^2}{2} \alpha_1 \Delta t = \rho_1 \dot{u}_{1-}^2 \alpha_1 \Delta t. \quad (18)$$

На основі виконаних перетворень відмітимо факт того, що інтенсивності потенціальної і кінетичної енергій в елементах поверхні фронту розривної хвилі рівні один одному. Тому повна механічна енергія в середовищі на фронті хвилі дорівнює її подвійній кінетичній енергії.

Аналогічно можна знайти повну енергію в елементах відбитої та заломленої хвиль

$$E_+ = \rho_1 \dot{u}_{1+}^2 \alpha_1 \Delta t + \rho_2 \dot{u}_{2+}^2 \alpha_2 \Delta t \quad (19)$$

Підставивши праві частини отриманих раніше співвідношень (12) в (19), отримаємо

$$E_+ = \rho_1 \frac{(-\alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2)^2}{(\alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2)^2} \dot{u}_{1-}^2 \alpha_1 \Delta t + \rho_1 \frac{(2\alpha_1 \rho_1)^2}{(\alpha_1 \rho_1 + \alpha_2 \rho_2)^2} \dot{u}_{1-}^2 \alpha_2 \Delta t = \rho_1 \alpha_1 \dot{u}_{1-}^2 \Delta t \quad (20)$$

Порівнюючи (18) і (20), отримуємо $E_- = E_+$.

Щоб прослідкувати, як екранується розривна поздовжня хвиля P_{1-} в середовищі в якому міститься шар зниженої щільності потрібно розв'язок (14) використати на обох площинах розділу G_1 та G_2 . Тоді отримаємо

$$\dot{u}_{1++} = \frac{4k}{(1+k)^2} \dot{u}_{1-}.$$

Нехай $k = \frac{1}{2}$, тоді $\dot{u}_{1++} = \frac{8}{9} \dot{u}_{1-}$, а при $k = \frac{1}{3}$ отримуємо, що $\dot{u}_{1++} = \frac{3}{4} \dot{u}_{1-}$.

Отже, можемо зробити висновки, що при включенні в середовище I шару середовища із зменшеною щільністю можемо спостерігати ефективне екранування поздовжніх розривних хвиль.

Висновки з даного дослідження.

Аналізуючи отримані результати, можемо зробити висновки про те, що із збільшенням розрідженості середовища екрануючий ефект значно посилюється. Так, якщо в основне середовище будуть додані включення із щільністю втричі меншою від щільності основного середовища, то від інтенсивності початкової падаючої хвилі залишиться лише 75%, а якщо щільність включення зменшена лише вдвічі – то інтенсивність заломленої складатиме вже 89% початкової падаючої хвилі. Отже, використовуючи різні комбінації пружних середовищ, можливо досягнути ефективного екранування об'єктів від динамічного впливу розривних хвиль.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Лебедева І.В., Ващіліна О.В., Заєць Ю.О. Перетворення фронтів розривних хвиль у неоднорідних трансверсально-ізотропних середовищах / Лебедева І.В., Ващіліна О.В., Заєць Ю.О. // Вісник Київського університету. – 2008., №2. – С. 54-57.
2. Гуляев В.И., Луговой П.З., Крицкий В.Б., Иванченко Г.М. Отражение и преломление плоских разрывных волн параболическими поверхностями раздела анизотропных упругих сред / Гуляев В.И., Луговой П.З., Крицкий В.Б., Иванченко Г.М. // Геофизический журнал. – 2005, Т. 27, №3. – С. 418-426.
3. Гуляев В.И., Луговой П.З., Иванченко Г.М. Яковенко Е.В. Дифракция ударной волны на криволинейной поверхности раздела трансверсально-изотропных упругих сред / Гуляев В.И., Луговой П.З., Иванченко Г.М. Яковенко Е.В. // Прикл. математика и механика. – 2000. – Т.64, №3. – С. 394-402.
4. Гуляев В.И., Луговой П.З., Заец Ю.А. Экранирование упругих нестационарных волн плоскостями раздела сред / Гуляев В.И., Луговой П.З., Заец Ю.А. // Прикладная механика. – 2012. – Т.48, №4. – С. 67-77.
5. Бленд Д. Нелинейная динамическая теория упругости / Бленд Д. – М.: Мир, 1972. – 183с.
6. Петрашень Г.И. Распространение волн в анизотропных упругих средах / Петрашень Г.И. – Ленинград: Наука, 1980. – 280с.
7. Gulyayev V.I., Ivanchenko G.M. Discontinuous wave interaction with interfaces between anisotropic elastic media / Gulyayev V.I., Ivanchenko G.M. // International Journal of Solids and Structures – 2006. – 43. – P. 74-90.
8. Gulyayev V.I., Ivanchenko G.M. Focusing and dispersion of a plane wave by transversally isotropic elastic lenses / Gulyayev V.I., Ivanchenko G.M. // Acoustical Physics – 2004. – Vol. 50. – 2. – P. 140-145.

РЕФЕРАТ

Ващіліна О.В., Заєць Ю.О. Екранування розривних хвиль шаром зниженої щільності / Олена Валеріївна Ващіліна, Юлія Олександрівна Заєць // Вісник НТУ – К.: НТУ. – 2012. – Вип. 26.

Поставлено задачу про розповсюдження і екранування ударних хвиль в пружному середовищі з включенням пружного шару з відмінними фізичними властивостями.

Об'єкт дослідження – нестационарні хвилі сильних розривів, збурені в неоднорідному пружному середовищі.

Мета роботи – дослідити ефект екранування розривних хвиль шаром пружного середовища із зменшеною щільністю та шаром із відмінними фізичними властивостями.

Метод дослідження – метод нульового наближення променевого методу.

Основна увага приділена дослідженню значень інтенсивностей заломлених хвиль при включенні в досліджуване середовище шару пружного середовища із зниженою щільністю. В результаті дослідження встановлено, що із збільшенням розрідженості середовища екрануючий ефект значно посилюється. Так, якщо в основне середовище будуть додані включення із щільністю втричі меншою від щільності основного середовища, то від інтенсивності початкової падаючої хвилі залишиться лише 75%, а якщо щільність включення зменшена лише вдвічі – то інтенсивність заломленої складатиме вже 89% початкової падаючої хвилі.

Результати статті можуть бути упроваджені в науково-дослідних і проектних організаціях, де займаються проектуванням споруд енергетичного, транспортного, гірничого призначення з метою їх сейсмосахисту та захисту від впливу розривних хвиль збурених техногенними чинниками.

Прогнозні припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – пошук оптимальних комбінацій середовищ із різними фізичними властивостями для ефективного екранування розривних хвиль.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПРУЖНЕ СЕРЕДОВИЩЕ, РОЗРИВНА ХВИЛЯ, ПРОМЕНЕВИЙ МЕТОД.

ABSTRACT

Vaschchilina O.V, Zaets' Yu.O. Screening of discontinuous waves by a layer with reduced density. / Olena Vaschchilina, Yuliya Zaets' // Visnyk NTU. – K.: NTU. - 2012. – Vol. 26.

The problem about propagation and screening of shock waves by elastic layer with changed properties in the considered elastic medium is stated.

Object of study – nonstationary waves of small discontinuities generated in nonhomogeneous elastic medium.

Purpose of the investigation – to analyse the phenomenon of screening the discontinuous waves by elastic layer with small density and layer with differing physical properties.

Method of the study is the zero approximation of the ray method.

The principal attention is paid to the analysis of intensities of the refracted waves with inclusion into the investigation of an elastic layer with diminished density. As the investigation result, it is established that the screening effect is enlarged with enlargement of the screening layer rariness. Thus, if to include, the rare insert with diminished density as small as three times into the basic medium, the refracted wave intensity will be reduced by 25%, but the insert has the twice reduced density, this intensity will be reduced by only 11%.

The results of the article can be inculcated for elaboration of technologies of screening shock waves.

Forecast assumptions about the object of study – elaboration of optimal means of protection from seismic waves.

KEY WORDS: ELASTIC MEDIUM, DISCONTINUOUS WAVE, RAY METHOD.

РЕФЕРАТ

Ващилина Е.В., Заец Ю.А. Экранирование разрывных волн слоем пониженной плотности / Елена Валериевна Ващилина, Юлия Александровна Заец // Вестник НТУ – К.: НТУ. — 2012. – Вып. 26.

Поставлена задача о распространении и экранирование ударных волн в упругой среде с включением упругого слоя с отличающимися физическими свойствами.

Объект исследования - нестационарные волны сильных разрывов, возмущенные в неоднородной упругой среде.

Цель работы - исследовать эффект экранирования разрывных волн слоем упругой среды с уменьшенной плотностью и слоем - с отличными физическими свойствами.

Метод исследования – метод нулевого приближения лучевого метода.

Основное внимание уделено исследованию значений интенсивностей проникших волн при включении в исследуемую среду слоя упругой среды с пониженной плотностью. В результате исследования установлено, что с увеличением разреженности среды экранирующий эффект значительно усиливается. Так, если в основную среду будут добавлены включения с плотностью в три раза меньше плотности основной среды, то от интенсивности начальной падающей волны останется лишь 75%, а если плотность включения уменьшена лишь вдвое - то интенсивность преломленной составит уже 89% первоначальной падающей волны.

Результаты статьи могут быть внедрены в научно-исследовательских и проектных организациях, где занимаются проектированием сооружений энергетического, транспортного, горного назначения с целью их сейсмозащиты и защиты от влияния разрывных волн возмущенных техногенными факторами.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования - поиск оптимальных комбинаций сред с различными физическими свойствами для эффективного экранирования разрывных волн.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: УПРУГАЯ СРЕДА, РАЗРЫВНАЯ ВОЛНА, ЛУЧЕВОЙ МЕТОД.