УДК 539.3

В. Ф. Кондрат

ДО ВИВЧЕННЯ ВІБРОЕВОЛЮЦІЙНИХ ЯВИЩ В НЕЛІНІЙНІЙ МЕХАНІЦІ СПРЯЖЕНИХ ПОЛІВ

Пропонується підхід до побудови наближених розв'язків нелінійних задач механіки спряжених полів стосовно вивчення віброеволюційних явищ.

При збудженні нелінійної системи періодичними за часом зовнішніми чинниками її реакція, загалом квазіперіодична, еволюціонує у часі. Еволюційна складова реакції нелінійних систем при періодичних за часом зовнішних діях відображає ряд практично важливих ефектів. Сюди відносяться вібропереміщення, віброрелаксація, віброповзучість, віброфільтрація, вібродифузія, індукційний, ультразвуковий, діелектричний, магнітозвуковий нагріви, акустоелектричний ефект, тощо [1–4, 6–15, 17–22]. Розробка підходів до опису та методів дослідження таких ефектів для континуальних фізико–механічних систем є актуальною проблемою механіки спряжених полів, конкретному вирішенню якої присвячено ряд робіт [2–4, 6–9, 18–20, 22]. В цій роботі розвивається загальний підхід до вивчення такого класу явищ в механіці спряжених полів, який базується на використанні методів осереднення та асимптотичних методів [3–5, 16, 20].

Розглядається тіло (фізико–механічна система), яке займає область (V) евклідового простору та обмежене гладкою поверхнею (Σ). З моменту часу t_0 тіло знаходиться під дією періодичного за часом навантаження механічної, теплової, електромагнітної чи концентраційної природи. В тілі можуть протікати механічні, теплові, електромагнітні, дифузійні процеси. Для їх опису розглянемо множину математичних моделей механіки спряжених полів, приведених до ключової форми, які включають таку систему диференціальних або інтегродиференціальних рівнянь:

$$L(\{a_j\}, U) = [L_0(\{a_j\}) + L_s(\{a_j\})]U + L_n(\{a_j\}, U) = F; \tag{1}$$

$$S(\{a_j\}, U) = [S_0(\{a_j\}) + S_s(\{a_j\})]U + S_n(\{a_j\}, U) = P; \tag{2}$$

де оператор–матриця L означений в області $(V)\times[0,t]$, (V) — область евклідового простору, t — час, а S — в області $(\Sigma)\times[0,t]$,, де (Σ) — гладка поверхня, яка обмежує область (V), U — вектор ключових функцій, які описують вищезгадані процеси, $\{a_j\}$ — сукупність параметрів моделі (характеристик середовища). Оператори L_0 і S_0 відповідають невзаємодіючим полям, при цьому матричне рівняння L_0U є системою лінійних незв'язаних диференціальних (чи інтегродиференціальних) рівнянь. Оператори L_s і S_s відображають лінійні ефекти взаємодії процесів, а $L_n(U)$ і $S_n(U)$ є нелінійними частинами операторів $L(U)$ і $S(U)$. В момент часу $t = t_0$ вектори ключових функцій та відповідних швидкостей їх змін відомі

$$U_i = U_{i0}, \quad U_{it} = V_{i0}, \quad \text{при} \quad t = t_0. \tag{3}$$

Тут індекс i означає, що множина ключових функцій та їх швидкостей може бути неповною, індекс t означає похідну за часом.

До множини, яка розглядається, можна віднести моделі, в основі яких лежать рівняння нелінійної механодифузії, термопружності, термов'язкопружності, магнітопружності, магнітов'язкопружності, тощо з різними видами нелінійності. Для всіх них характерним є врахування різношвидкісних процесів, як, наприклад, механічних коливань та перенесення маси, імпульсу, тепла чи заряду. Цим процесам властиві різні характерні часи протікання, величини яких можуть відрізнятися на кілька порядків. Наприклад, якщо коливний процес характеризується періодом коливань T, то при однаковому просторовому масштабі l протікання процесів тепло–, масо– і електропереносу можна характеризувати часами $T_t = l^2/a_t$, $T_d = l^2/D$, $T_e = l^2\sigma\mu$ (a_t, D, σ, μ — коефіцієнти температуропровідності, дифузії, електропровідності та магнітної проникності, відповідно), які, як правило, на порядки більші за величину T. До еволюції стану системи у часі приводять і нелінійні складові у рівняннях моделей, які розглядаються.

У зв'язку зі сказаним при розв'язуванні такого типу задач природно було б використати метод часового осереднення, який дозволяє виділити еволюційну складову розв'язку. В літературі використаний метод осереднення часто називають методом прямого розділення рухів [4]. Введемо осереднений вектор ключових функцій

$$\overline{U}(t) = T^{-1}\int\limits_{t}^{t+T} U(t')dt' \quad , \tag{4}$$

який і буде описувати еволюцію досліджуваної системи у часі. Тоді функцію

$$\widetilde{U} = U - \overline{U} \tag{5}$$

природно назвати коливною (хвильовою, осциляційною) складовою розв'язку.

Перше ніж одержувати рівняння для визначення еволюційних та коливних складових шуканого розв'язку на базі співвідношень (1)–(5), перейдемо до комплекснозначних функцій $U = U_1 + iU_2$, де функції U_1 відповідають навантаженню F_1, P_1, а U_2 — навантаженню F_2, P_2, так що $F = F_1 + iF_2$, $P = P_1 + iP_2$. Відзначимо, що такий підхід зручний при описі фізико–механічних процесів у тілах, які знаходяться під дією періодичних за часом зовнішніх чинників. При цьому оператори L_0, L_s, S_0, S_s з огляду на їх лінійність своєї форми не змінюють, а нелінійні оператори L_n, S_n та оператори L, S набувають нового вигляду, який позначимо як L_{nc}, S_{nc} та L_c, S_c. Наприклад, добутки шуканих функцій, які можуть бути присутні у рівняннях моделей потрібно подати так

$$fg \to \frac{1+i}{4}(fg + f^*g^*) + \frac{1-i}{4}(f^*g + fg^*),$$

$$fgh \to \frac{1}{4}(f^*g^*h^* + fgh^* + fg^*h + f^*gh), \tag{6}$$

де зірочка (*) позначає комплексно спряжену функцію. Систему рівнянь (1), (2) тепер запишемо

$$L_c(\{a_j\}, U, U^*) \equiv [L_0(\{a_j\}) + L_s(\{a_j\})]U + L_{nc}(\{a_j\}, U, U^*) = F; \tag{7}$$

$$S_c(\{a_j\}, U, U^*) \equiv [S_0(\{a_j\}) + S_s(\{a_j\})]U + S_{nc}(\{a_j\}, U) = P. \tag{8}$$

Тут для комплекснозначних векторів ключових функцій та навантажень збережено позначення U, F, P.

Вигляд умов (3) не змінюється.

Застосуємо оператор осереднення до рівнянь (7), (8), використовуючи подання (4), (5) та співвідношення [20]

$$\overline{\overline{U}} \approx \overline{U}, \quad \overline{\widetilde{U}} \approx 0, \quad \overline{L_p U} \approx L_p\overline{U}, \tag{9}$$

де L_p — лінійний диференціальний чи інтегральний оператор. Отримуємо

$$[L_0(\{a_j\}) + L_s(\{a_j\})]\overline{U} + \left[L_{nc}(\{a_j\};\widetilde{U},\widetilde{U}^*,\overline{U},\overline{U}^*)\right]^{-} = \overline{F},$$

$$[S_0(\{a_j\}) + S_s(\{a_j\})]\overline{U} + \left[S_{nc}(\{a_j\},\widetilde{U},\widetilde{U}^*,\overline{U},\overline{U}^*)\right]^{-} = \overline{P},$$

$$\overline{U}_i = \overline{U}_{i0}\big|_{t=0}, \quad \overline{U}_{ti} = \overline{V}_{i0}\big|_{t=0}; \tag{10}$$

$$[L_0(\{a_j\}) + L_s(\{a_j\})]\widetilde{U} + \left[L_{nc}(\{a_j\};\widetilde{U},\widetilde{U}^*,\overline{U},\overline{U}^*)\right]^{\sim} = \widetilde{F},$$

$$[S_0(\{a_j\}) + S_s(\{a_j\})]\widetilde{U} + \left[S_{nc}(\{a_j\},\widetilde{U},\widetilde{U}^*,\overline{U},\overline{U}^*)\right]^{\sim} = \widetilde{P},$$

$$\widetilde{U}(t) = \widetilde{U}(t+T). \tag{11}$$

Риска чи хвилька справа вверху дужок позначає відповідно осереднену або хвильову складову виразу у дужках.

Система рівнянь (10), (11) є взаємозв'язаною завдяки нелінійності. Однак, якщо знехтувати в рівняннях (11) впливом еволюційних складових полів, що часто допустимо, то в задачі (10) коливання будуть проявлятися наявністю ефективних джерел маси, імпульсу, енергії, заряду та їх потоків через поверхню. Вони можуть бути протрактовані як зовнішні по відношенню до еволюційних процесів чинники, що дозволило провести аналогію [4] між описом еволюційних складових полів та описом механічних процесів в неінерційних системах відліку, де неінерційність проявляється появою джерела імпульсу у рівняннях руху. Також за аналогією з неінерційною була введена система відліку, яка „не бачить" коливних складових полів. На практиці найчастіше використовують лінеаризоване наближення рівнянь (11), яке явно не враховує впливу еволюційних складових полів на коливні. Саме так побудовані відомі схеми дослідження термопружних процесів при ультразвуковому, індукційному, магнітозвуковому, діелектричному нагрівах [7–9, 19], вивченні явищ вібропереносу [1, 2, 6, 10–15, 21, 22], тощо.

В загальному випадку розділення еволюційних та коливних складових полів є проблематичним. Однак для широкого кола задач його можна провести асимптотично.

З цією метою перейдемо в рівняннях (10), (11) до безрозмірних величин за схемою

$$\tau_e = t/t_{e*}, \quad \xi_{e\alpha} = x_\alpha/l^\alpha_{e*}, \quad \tau_v = t/t_{v*}, \quad \xi_{v\alpha} = x_\alpha/l^\alpha_{v*}, \quad (\alpha = \overline{1,3}),$$

$$\overline{U}' = \overline{U}/\overline{U}_*, \quad \tilde{U}' = \tilde{U}/\tilde{U}_*, \{a_j\} \to \{\alpha_j\}, \{\beta_s\}, \{\epsilon_n\}, \tag{12}$$

де τ_e, τ_v, $\xi_{e\alpha}$, $\xi_{v\alpha}$ — безрозмірний час та координати, відповідно для еволюційних та коливних складових процесів, t_{e*}, t_{v*}, l^α_{e*}, l^α_{v*} — характерні значення часу та віддалей, $\overline{U}'$, $\widetilde{U}'$ — безрозмірні вектори ключових функцій для еволюційних та коливних складових полів, $\overline{U}_*$, $\widetilde{U}_*$ — їх характерні значення, $\{\alpha_j\}$, $\{\beta_s\}$, $\{\epsilon_n\}$ — множина безрозмірних параметрів–критеріїв задачі, при цьому $\{\beta_s\}$ характеризують взаємодію полів, а $\{\epsilon_n\}$ — вплив нелінійностей на процеси, які розглядаються. Оскільки перетворення (12) лінійні, то існують такі співвідношення між часами τ_e, τ_v та координатами $\xi_{e\alpha}$, $\xi_{v\alpha}$

$$\tau_e = \frac{t_{v*}}{t_{e*}}\tau_v, \quad \xi_{e\alpha} = \frac{l^\alpha_{v*}}{l^\alpha_{e*}}\xi_{v\alpha}.$$

Відзначимо, що „природними" характерними значеннями масштабів часу та віддалі для коливних складових полів є $t_{v*} = \omega^{-1}$ та $l^{\alpha}_{v*} = c/\omega$, де c, ω — відповідно швидкість поширення коливань та циклічна частота навантаження [20]. У цьому випадку безрозмірний період коливань $T_v = 2\pi$.

Рівняння (10), (11) тепер можна подати так

$$[L_0(\{\alpha_j\}) + L_s(\{\alpha_j\},\{\beta_s\})]\,\overline{U}' + \Big[L_{nc}(\{\alpha_j\},(\{\beta_s\},(\{\epsilon_n\};\widetilde{U}',\widetilde{U}'^*,\overline{U}',\overline{U}'^*)\Big]^{-} = \overline{F}',$$

$$[S_0(\{\alpha_j\}) + S_s(\{\alpha_j\},\{\beta_s\})]\overline{U}' + \Big[S_{nc}(\{\alpha_j\},(\{\beta_s\},(\{\epsilon_n\};\widetilde{U}',\widetilde{U}'^*,\overline{U}',\overline{U}'^*)\Big]^{-} = \overline{P}',$$

$$\overline{U}'_i = \overline{U}'_{i0}|_{\tau_e=0}, \quad \overline{U}'_{ti} = \overline{V}'_{i0}|_{\tau_e=0}; \tag{13}$$

$$[L_0(\{\alpha_j\}) + L_s(\{\alpha_j\},\{\beta_s\})]\,\widetilde{U}' + \Big[L_{nc}(\{\alpha_j\},\{\beta_s\},\{\epsilon_n\};\widetilde{U}',\widetilde{U}'^*,\overline{U}',\overline{U}'^*)\Big]^{\sim} = \widetilde{F}',$$

$$[S_0(\{\alpha_j\}) + S_s(\{\alpha_j\},\{\beta_s\})]\,\widetilde{U}' + \Big[S_{nc}(\{\alpha_j\},\{\beta_s\},\{\epsilon_n\};\widetilde{U}',\widetilde{U}'^*,\overline{U}',\overline{U}'^*)\Big]^{\sim} = \widetilde{P}',$$

$$\widetilde{U}'(\tau_v) = \widetilde{U}'(\tau_v + T_v). \tag{14}$$

При цьому $\overline{L}_{nc} \to 0$, $\overline{S}_{nc} \to 0$, $\widetilde{L}_{nc} \to 0$, $\widetilde{S}_{nc} \to 0$ при $\{\epsilon_n\} \to 0$.

Система рівнянь (13), (14) дає можливість аналізу поставленої задачі за отриманими параметрами–критеріями. Зокрема, вона дає можливість побудови ряду асимптотично вироджених моделей за *взаємодією полів*, *впливом нелінійностей* тощо. Наприклад, при $\{\epsilon_n\} \to 0$ з (13), (14) отримаємо лінеаризовані рівняння моделі, де еволюційні складові полів визначаються тільки факторами зовнішнього впливу.

Найчастіше параметри, які характеризують вплив нелінійностей, є малими порівняно з одиницею. Це створює передумови асимптотичного розділення еволюційних та коливних рухів. Дійсно, обмежившись випадком, коли множина $\{\epsilon_n\}$ містить лише один елемент ϵ_n, подамо шукані вектори ключових функцій у вигляді асимптотичних розвинень

$$\widetilde{U}'(\{\alpha_j\},\{\beta_s\},\{\epsilon_n\},\vec{\xi_v},\tau_v,\vec{\xi_e},\tau_e) = \sum_{k=0}^{K} \epsilon_n^k \widetilde{U}'^{(k)}(\{\alpha_j\},\{\beta_s\},\vec{\xi_v},\tau_v,\vec{\xi_e},\tau_e),$$

$$\overline{U}'(\{\alpha_j\},\{\beta_s\},\{\epsilon_n\},\vec{\xi_v},\tau_v,\vec{\xi_e},\tau_e) = \sum_{k=0}^{K} \epsilon_n^k \overline{U}'^{(k)}(\{\alpha_j\},\{\beta_s\},\vec{\xi_v},\tau_v,\vec{\xi_e},\tau_e), \tag{15}$$

при $\epsilon_n \to 0$.

Якщо зовнішні чинники генерації еволюційних складових полів відсутні $(\overline{F} = 0, \overline{P} = 0)$, тоді виникнення цих складових буде пов'язане тільки з коливаннями. У такому разі розвинення (15) для еволюційних складових запишемо

$$\overline{U}'(\{\alpha_j\},\{\beta_s\},\{\epsilon_n\},\vec{\xi_v},\tau_v,\vec{\xi_e},\tau_e) = \sum_{k=0}^{K} \epsilon_n^k \overline{U}'^{(k+1)}(\{\alpha_j\},\{\beta_s\},\vec{\xi_v},\tau_v,\vec{\xi_e},\tau_e). \tag{16}$$

Підставляючи розвинення (15) в рівняння (13), (14), отримуємо низку лінійних неоднорідних систем рівнянь відносно коефіцієнтів розвинень, які можна розв'язувати послідовно $(k = 0, 1, 2, 3...)$

$$(L_0 + L_s)\overline{U}'^{(k)} =$$

$$\overline{F}^{(k)} + \overline{\Phi}^{(k)}(\widetilde{L}^{(j<k)}_{nc}, \overline{L}^{(j<k)}_{nc}, \widetilde{U}'^{(k-j-1)}, \widetilde{U}'^{*(k-j-1)}, \overline{U}'^{(k-j-1)}, \overline{U}'^{*(k-j-1)}),$$

$$(S_0 + S_s)\overline{U}'^{(k)} =$$
$$\overline{P}^{(k)} + \overline{\Pi}^{(k)}(\widetilde{S}_{nc}^{(j<k)}, \overline{S}_{nc}^{(j<k)}, \widetilde{U}'^{(k-j-1)}, \widetilde{U}'^{*(k-j-1)}, \overline{U}'^{(k-j-1)}, \overline{U}'^{*(k-j-1)}),$$
$$\overline{U}_i'^{(k)} = \overline{U}_{i0}'^{(k)}|_{\tau_e=0}, \quad \overline{U}_{ti}'^{(k)} = \overline{V}_{i0}'^{(k)}|_{\tau_e=0}; \tag{17}$$
$$(L_0 + L_s)\widetilde{U}'^{(k)} =$$
$$\widetilde{F}^{(k)} + \widetilde{\Phi}^{(k)}(\widetilde{L}_{nc}^{(j<k)}, \overline{L}_{nc}^{(j<k)}, \widetilde{U}'^{(k-j-1)}, \widetilde{U}'^{*(k-j-1)}, \overline{U}'^{(k-j-1)}, \overline{U}'^{*(k-j-1)}),$$
$$(S_0 + S_s)\widetilde{U}'^{(k)} =$$
$$\widetilde{P}^{(k)} + \widetilde{\Pi}^{(k)}(\widetilde{S}_{nc}^{(j<k)}, \overline{S}_{nc}^{(j<k)}, \widetilde{U}'^{(k-j-1)}, \widetilde{U}'^{*(k-j-1)}, \overline{U}'^{(k-j-1)}, \overline{U}'^{*(k-j-1)}),$$
$$\widetilde{U}'^{(k)}(\tau_v + T_v) \approx \widetilde{U}'^{(k)}(\tau_v). \tag{18}$$

Тут $\overline{F}^{(k)}$, $\widetilde{F}^{(k)}$, $\overline{P}^{(k)}$, $\widetilde{P}^{(k)}$, $(k = 0, 1, 2, 3, ...)$ — коефіцієнти розвинень векторів зовнішніх дій, аналогічні (15), $\overline{\Phi}^{(k)}$, $\widetilde{\Phi}^{(k)}$, $\overline{\Pi}^{(k)}$, $\widetilde{\Pi}^{(k)}$, $(k = 0, 1, 2, 3, ...)$ — неоднорідні члени рівнянь, залежні від виду операторів $\overline{L}$, $\tilde{L}$, $\overline{S}$, $\tilde{S}$ та векторів $\overline{U}'^{(j)}$, $\widetilde{U}'^{(j)}$ до $j = k - 1$, $\overline{\Phi}^{(0)} = 0$, $\overline{\Pi}^{(0)} = 0$, $\widetilde{\Phi}^{(0)} = 0$, $\widetilde{\Pi}^{(0)} = 0$. Існуючі розрахункові схеми дослідження віброеволюційних ефектів, як вказувалось вище, відповідають врахуванню лише нульового наближення системи рівнянь (18) та першого — рівнянь (17). При цьому за використання розвинення (16) (при $\overline{F}^{(0)} = 0$, $\overline{P}^{(0)} = 0$ та $\overline{U}'^{(0)} = 0$, $\overline{U}_{ti}'^{(0)} = 0$ при $\tau_e = 0$) останнє теж доцільно називати нульовим.

Зазначимо, що в роботах [10, 20] перехід до безрозмірних величин проводився для системи рівнянь (16), (17). Це дозволило отримати безрозмірні параметри, які характеризують вплив нелінійностей, та провести асимптотичне розділення еволюційних та коливних складових рухів, однак зменшило можливості аналізу ефектів взаємодії коливних та еволюційних складових полів.

Таким чином, вказане поєднання в одному підході методів осереднення, теорії розмірностей та асимптотичних методів дозволяє провести попередній якісний аналіз ефектів взаємодії фізичних процесів, їхніх коливних та еволюційних складових, що може привести, зокрема, до спрощення поставленої задачі, і отримати розрахункову схему наближеного визначення коливних та еволюційних складових досліджуваних полів.

1. *Абасов М. Т., Садовский М. А., Николаев М. А.* Вибрационное воздействие на нефтяную залежь // Вестник АН СССР. – 1986, № 9. – С. 95-99.
2. *Архангельский М. Е.* Воздействие акустических колебаний на процесс диффузии // УФН. – 1967. – Т. 92, вып. 2. – С. 181–206.
3. *Блехман И. И.* Вибрационная механика. – М.: Наука, 1994. – 396 с.
4. *Блехман И. И., Джанелидзе Г. Ю.* Вибрационное перемещение. – М.: Наука, 1964. – 410 с.
5. *Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А.* Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. – М.: Наука, 1974. – 504 с.
6. *Ганиев Р. Ф., Украинский Л. Е., Фролов К. В.* Волновой механизм ускорения движения жидкости в пористых средах // ДАН СССР. – 1989. – Т. 306. – № 4. – С. 800–806.
7. *Карнаухов В. Г., Киричок И. Ф.* Механика связанных полей в элементах конструкций. Т. 4. Электротермовязкоупругость. – К.: Наук. думка, 1988. – 320 с.
8. *Карнаухов В. Г., Сенченков И. К., Гуменюк Б. П.* Термомеханическое поведение вязкоупругих тел при гармоническом нагружении. – К.: Наук. думка, 1985.– 288 с.
9. *Киселев М. И., Рыкалин Н. Н.* К оценке эффективности магнитозвукового разогрева металла// Физика и химия обраб. материалов. – 1967, № 6. – С. 76–78.

10. *Кондрат В. Ф., Грицина О. Р.* Об исследовании акустомагнитоэлектрического эффекта в электропроводных телах//Мат. методы и физ.–мех. поля. – 1989, № 7. – С. 44–46.
11. *Кондрат В. Ф., Шпот Ю. А.* Вплив пружних коливань на фільтраційні потенціали//Геологія і геохімія горючих копалин. – 1993, № 2–3. – С. 130–133.
12. *Кондрат В. Ф., Шпот Ю. А.* О влиянии упругих низкочастотных колебаний на диффузионно–адсорбционную активность пород//Физика Земли. – 1996, № 9. – С. 90–92.
13. *Кондрат В., Чапля Є., Строгуш В.* Вплив механічних коливань на міграцію домішок в твердих тілах. 1. Пороватий шар // Машинознавство. – 2001. – № 12. – С. 15-20.
14. *Кузнецов О. Л., Симкин Э. М.* Преобразование и взаимодействие геофизических полей в литосфере. – М.: Недра, 1990. – 269 с.
15. *Кулемин А. В.* Ультразвук и диффузия в металлах. – М.: Металлургия, 1978. – 200 с.
16. *Митропольский Ю. А.* Метод усреднения в нелинейной механике. – К.: Наук. думка, 1971. – 440 с.
17. *Овчинников П. Ф.* Виброреология. – К.: Наук. думка, 1983. – 272 с.
18. *Пальмов В. А.* Колебание упругопластических тел. – М.: Наука, 1976. – 328 с. .
19. *Подстригач Я. С., Бурак Я. И., Гачкевич А. Р., Чернявская Л. В.* Термоупругость электропроводных тел. – К.: Наук. думка, 1977. – 248 с.
20. *Подстригач Я. С., Бурак Я. И., Кондрат В. Ф.* Магнитотермоупругость электропроводных тел. – К.: Наук. думка, 1982. – 296 с.
21. *Сургучев М. Л., Кузнецов О. Л., Симкин Э. М.* Гидродинамическое, акустическое и тепловое циклические воздействия на нефтяные пласты. – М.: Недра, 1975. – 320 с.
22. *Kondrat V., Kubik J., Chapla Y.* Modelling of diffusive transport of chemicals in porous media accounting for solid matrix vibrations // Studia Geotechnika et Mechanika. 1999. – T. 21, № 3–4. – P. 21–29.

К ИЗУЧЕНИЮ ВИБРОЭВОЛЮЦИОННЫХ ЯВЛЕНИЙ В НЕЛИНЕЙНОЙ МЕХАНИКЕ СОПРЯЖЁННЫХ ПОЛЕЙ

Предлагается подход к построению приближённых решений нелинейных задач механики сопряжённых полей применительно к изучению виброэволюционных явлений.

ON STUDIES OF VIBROEVOLUTIONARY PHENOMENA IN NONLINEAR MECHANICS OF CONJUGATE FIELDS

We propose a method to obtain an approximate solution of a nonlinear problem in mechanics of conjugate fields as applied to vibroevolutionary phenomena.

Центр математичного моделювання
Ін-ту прикл. проблем механіки і математики
ім. Я. С. Підстригача НАН України, Львів

Отримано
14.11.03