Зміст

Перелік умовних позначень

G - коєфіцієент Ламе
E - молуль Юнга
μ - коєфіцієнт Пуасона
c_1, c_2 - швидкості хвилі
ω - частота
$\mu_0 = \frac{1}{1-2\mu}$
$U_x(x, y) = u(x, y)$ - переміщення по осі x
$U_y(x, y) = v(x, y)$ - переміщення по осі y

1 МЕТОДИКА ПОБУДОВИ РОЗВ'ЗКІВ МІШАНИХ ЗАДАЧ ТЕОРІЇ ПРУЖНОСТІ ДЛЯ ПРЯМОКУТНОЇ ОБЛАСТІ

У даному розділі наведено опис аналітичного апарату, який використовується для розв'язання мішаних задач теорії пружності для прямокутної області. Цей підхід базується на результати раніше проведених досліджень, зокрема робіт [1] і [2]. Розглянута методика розв'язання мішаних плоских задач ґрунтується на застосуванні інтегральних перетворень безпосередньо до системи рівнянь рівноваги Ламе та крайових умов. Це дозволяє зводити вихідну задачу до векторної одновимірної крайової задачі. Векторна одновимірна крайова задача точно розв'язується за допомогою матричного диференційного числення та матричної функції Гріна.

1.1 Постановка задачі

Розглядається пружна прямокутна область, яка займає область, що у декартовій системі координат описується співвідношенням $0 \le x \le a$, $0 \le y \le b$.

До прямокутної області на грані $y = b$ додане нормальне навантаження

$$\sigma_y(x, y, t)|_{y=b} = -p(x, t), \quad \tau_{xy}(x, y, t)|_{y=b} = 0, \quad 0 \le x \le a \tag{1.1}$$

де $p(x, t)$ відома функція. На нижній грані виконуються наступні умови

$$v(x, y, t)|_{y=0}, \quad \tau_{xy}(x, y, t)|_{y=0} = 0 \tag{1.2}$$

На бічних гранях $x = 0$ та $x = a$ граничні умови запишемо у формі

$$U_1[f(x, y, t)] = 0, \quad U_2[f(x, y, t)] = 0, \quad 0 \le y \le b \tag{1.3}$$

Де

$$U_1[f(x, y, t)] = \left[\alpha_1 f(x, y, t) + \beta_1 \frac{\partial f(x, y, t)}{\partial x}\right]|_{x=0}$$
$$U_2[f(x, y, t)] = \left[\alpha_2 f(x, y, t) + \beta_2 \frac{\partial f(x, y, t)}{\partial x}\right]|_{x=a}$$

граничні функціонали у загальному виді (для кожної конкретної задачі вони будуть деталізовані), $f(x, y, t) = (u(x, y, t), v(x, y, t))^T$ - вектор переміщень.

Розглядаються наступні рівняння рівноваги Ламе:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 u(x,y,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x,y,t)}{\partial y^2} + \mu_0(\frac{\partial^2 u(x,y,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v(x,y,t)}{\partial x \partial y}) = \frac{1}{c_1^2}\frac{\partial^2 u(x,y,t)}{\partial t^2} \\ \frac{\partial^2 v(x,y,t)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v(x,y,t)}{\partial y^2} + \mu_0(\frac{\partial^2 u(x,y,t)}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 v(x,y,t)}{\partial y^2}) = \frac{1}{c_2^2}\frac{\partial^2 v(x,y,t)}{\partial t^2} \end{cases} \tag{1.4}$$

Будемо розглядати випадок гармонічних коливань, тому можемо предствавити функції у наступному вигляді:

$$u(x, y, t) = u(x, y)e^{i\omega t}, \quad v(x, y, t) = v(x, y)e^{i\omega t}, \quad p(x, t) = p(x)e^{i\omega t} \tag{1.5}$$

Таким чином отримаємо наступні рівняння рівноваги:

$$\begin{cases} \frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial y^2} + \mu_0(\frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v(x,y)}{\partial x \partial y}) = -\frac{\omega^2}{c_1^2}u(x,y) \\ \frac{\partial^2 v(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v(x,y)}{\partial y^2} + \mu_0(\frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 v(x,y)}{\partial y^2}) = -\frac{\omega^2}{c_2^2}v(x,y) \end{cases} \tag{1.6}$$

Та граничні умови:

$$\begin{cases} \sigma_y(x,y)|_{y=b} = -p(x), \quad \tau_{xy}(x,y)|_{y=b} = 0 \\ v(x,y)|_{y=0}, \quad \tau_{xy}(x,y)|_{y=0} = 0 \\ U_1[f(x,y)] = 0, \quad U_2[f(x,y)] = 0 \end{cases} \tag{1.7}$$

Введемо невідомі функції $\chi_1(y) = u(0,y)$, $\chi_2(y) = v(0,y)$, $\chi_3(y) = u(a,y)$, $\chi_4(y) = v(a,y)$. Враховучи умову (1.3), отримаємо, що $\frac{\partial u(0,y)}{\partial x} = -\frac{\alpha_1}{\beta_1}\chi_1(y)$, $\frac{\partial v(0,y)}{\partial x} = -\frac{\alpha_1}{\beta_1}\chi_2(y)$, $\frac{\partial u(a,y)}{\partial x} = -\frac{\alpha_2}{\beta_2}\chi_3(y)$, $\frac{\partial v(a,y)}{\partial x} = -\frac{\alpha_2}{\beta_2}\chi_4(y)$. Отже умова (1.3) виконується автоматично.

1.2 Зведення задачі до одновимірної у просторі трансформант

Для того, щоб звести задачу до одновимірної задачі, використаєм інтегральне перетворення Фур'є по змінній x у до рівнянь (1.6) наступному вигляді:

$$\begin{pmatrix} u_n(y) \\ v_n(y) \end{pmatrix} = \int_0^a \begin{pmatrix} u(x,y)sin(\alpha_n x) \\ v(x,y)cos(\alpha_n x) \end{pmatrix} dx, \quad \alpha_n = \frac{\pi n}{a}, n = \overline{1,\infty} \tag{1.8}$$

Для цього помножим перше та друге рівняння (1.6) на $sin(\alpha_n x)$ та $cos(\alpha_n x)$ відповідно та проінтегруєм по змінній x на інтервалі $0 \le x \le a$. Покрокове інтегрування рівняння (1.6) наведено у (Додаток А). Отримана система рівнянь задачі у просторі трансформант:

$$\begin{cases} u_n^{''}(y) - \alpha_n\mu_0 v_n^{'}(y) - (\alpha_n^2 + \alpha_n^2\mu_0 - \frac{\omega^2}{c_1^2})u_n(y) = \\ = \alpha_n(1+\mu_0)(\chi_3(y)cos(\alpha_n a) - \chi_1(y)) \\ \\ (1+\mu_0)v_n^{''}(y) + \alpha_n\mu_0 u_n^{'}(y) - (\alpha_n^2 - \frac{\omega^2}{c_2^2})v_n(y) = \\ = (\frac{\alpha_2}{\beta_2}\chi_4(y)cos(\alpha_n a) - \frac{\alpha_1}{\beta_1}\chi_2(y)) - \mu_0(\chi_3^{'}(y)cos(\alpha_n a) - \chi_1^{'}(y)) \end{cases} \tag{1.9}$$

Застосовуючи інтегральне перетворення до граничних умов, отримаємо наступні умови задачі у просторі трансформант

$$\begin{cases} \Big((2G+\lambda)v_n^{'}(y) + \alpha_n\lambda u_n(y)\Big)|_{y=b} = -p_n \\ \Big(u_n^{'}(y) - \alpha_n v_n(y)\Big)|_{y=b} = 0 \\ v_n(y)|_{y=0} = 0 \\ \Big(u_n^{'}(y) - \alpha_n v_n(y)\Big)|_{y=0} = 0 \end{cases} \tag{1.10}$$

Де $p_n = \int_0^a p(x)cos(\alpha_n x)dx$

1.3 Зведення задачі у просторі трансформант до матрично-векторної форми

Для того щоб розв'язати задачу у простосторі трансформант, перепишмо її у матрично-векторній формі. Рівняння рівноваги (1.9) запишемо у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} &L_2\left[Z_n(y)\right] = A * Z_n^{''}(y) + B * Z_n^{'}(y) + C * Z_n(y) \\ &L_2\left[Z_n(y)\right] = F_n(y) \end{aligned} \tag{1.11}$$

Де

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1+\mu_0 \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} 0 & -\alpha_n\mu_0 \\ \alpha_n\mu_0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$C = \begin{pmatrix} -\alpha_n^2 - \alpha_n^2\mu_0 + \frac{\omega^2}{c_1^2} & 0 \\ 0 & -\alpha_n^2 + \frac{\omega^2}{c_2^2} \end{pmatrix}, \quad Z_n(y) = \begin{pmatrix} u_n(y) \\ v_n(y) \end{pmatrix}$$

$$F_n(y) = \begin{pmatrix} \alpha_n(1+\mu_0)(\chi_3(y)cos(\alpha_n a) - \chi_1(y)) \\ (\frac{\alpha_2}{\beta_2}\chi_4(y)cos(\alpha_n a) - \frac{\alpha_1}{\beta_1}\chi_2(y)) - \mu_0(\chi_3^{'}(y)cos(\alpha_n a) - \chi_1^{'}(y)) \end{pmatrix}$$

Граничні умови (1.10) запишемо у наступному вигляді:

$$\begin{aligned} U_i\left[Z_n(y)\right] &= E_i * Z_n^{'}(b_i) + F_i * Z_n(b_i) \\ U_i\left[Z_n(y)\right] &= D_i \end{aligned} \tag{1.12}$$

Де $i = \overline{0,1}$, $b_0 = b$, $b_1 = 0$,

$$E_0 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 2G+\lambda \end{pmatrix}, \quad F_0 = \begin{pmatrix} 0 & -\alpha_n \\ \alpha_n\lambda & 0 \end{pmatrix},$$

$$E_1 = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad F_1 = \begin{pmatrix} 0 & -\alpha_n \\ 0 & 1 \end{pmatrix},$$

$$D_0 = \begin{pmatrix} 0 \\ -p_n \end{pmatrix}, \quad D_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

Для знаходження розв'язку задачі у просторі трансформант, знайдем фундаментальну матрицю рівняння (1.11). Шукати її будем у наступному вигляді:

$$Y(y) = \frac{1}{2\pi i}\oint_C e^{sy}M^{-1}(s)ds \tag{1.13}$$

Де $M(s)$ - характерестична матриця рівняння (1.11), а C - замкнений контур який містить усі особливі точки $M^{-1}(s)$. $M(s)$ будемо шукати з наступної умовни

$$L_2\left[e^{sy} * I\right] = e^{sy} * M(s), \quad I = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \tag{1.14}$$

$$\begin{aligned} L_2\left[e^{sy} * I\right] &= e^{sy}\left(s^2A * I + sB * I + C * I\right) = \\ &= e^{sy}\begin{pmatrix} s^2 - \alpha_n^2 - \alpha_n^2\mu_0 + \frac{\omega^2}{c_1^2} & -\alpha_n\mu_0 s \\ \alpha_n\mu_0 s & s^2(1+\mu_0) - \alpha_n^2 + \frac{\omega^2}{c_1^2} \end{pmatrix} => \end{aligned}$$

$$M(s) = \begin{pmatrix} s^2 - \alpha_n^2 - \alpha_n^2\mu_0 + \frac{\omega^2}{c_1^2} & -\alpha_n\mu_0 s \\ \alpha_n\mu_0 s & s^2(1+\mu_0) - \alpha_n^2 + \frac{\omega^2}{c_2^2} \end{pmatrix} \tag{1.15}$$

Знайдемо тепер $M^{-1}(s) = \frac{\widetilde{M(s)}}{det[M(s)]}$.

$$\widetilde{M(s)} = \begin{pmatrix} s^2(1+\mu_0) - \alpha_n^2 + \frac{\omega^2}{c_2^2} & \alpha_n\mu_0 s \\ -\alpha_n\mu_0 s & s^2 - \alpha_n^2 - \alpha_n^2\mu_0 + \frac{\omega^2}{c_1^2} \end{pmatrix} \tag{1.16}$$

$$\begin{aligned} det[M(s)] &= \begin{vmatrix} s^2 - \alpha_n^2 - \alpha_n^2\mu_0 + \frac{\omega^2}{c_1^2} & -\alpha_n\mu_0 s \\ \alpha_n\mu_0 s & s^2(1+\mu_0) - \alpha_n^2 + \frac{\omega^2}{c_2^2} \end{vmatrix} = \\ &= (s-s_1)(s+s_1)(s-s_2)(s+s_2) \end{aligned} \tag{1.17}$$

Де s_1, s_2 корені $det[M(s)] = 0$, детальне знаходження яких наведено в (Додаток В).

Враховучи це, тепер знайдемо значення фундаментальної матрицю за допомогою теореми про лишки:

$$\begin{aligned} \frac{1}{2\pi i}\oint_C e^{sy}M^{-1}(s)ds &= \frac{2\pi i}{2\pi i(1+\mu_0)}\sum_{i=1}^{4} Res\left[e^{sy}\frac{\widetilde{M(s)}}{det[M(s)]}\right] = \\ &= (Y_0(y) + Y_1(y) + Y_2(y) + Y_3(y)) \end{aligned}$$

Знайдем $Y_0(y)$:

$$\begin{aligned} Y_0(y) &= \left(\frac{e^{sy}}{(s+s_1)(s-s_2)(s+s_2)}\widetilde{M(s)}\right)\Big|_{s=s_1} = \\ &= \frac{e^{s_1 y}}{2s_1(s_1^2 - s_2^2)}\begin{pmatrix} s_1^2(1+\mu_0) - \alpha_n^2 + \frac{\omega^2}{c_2^2} & \alpha_n\mu_0 s_1 \\ -\alpha_n\mu_0 s_1 & s_1^2 - \alpha_n^2 - \alpha_n^2\mu_0 + \frac{\omega^2}{c_1^2} \end{pmatrix} \end{aligned} \tag{1.18}$$

Знайдем $Y_1(y)$:

$$Y_1(y) = \left(\frac{e^{sy}}{(s-s_1)(s-s_2)(s+s_2)} \widetilde{M(s)} \right) \Big|_{s=-s_1} =$$
$$= -\frac{e^{-s_1 y}}{2s_1(s_1^2 - s_2^2)} \begin{pmatrix} s_1^2(1+\mu_0) - \alpha_n^2 + \frac{\omega^2}{c_2^2} & -\alpha_n \mu_0 s_1 \\ \alpha_n \mu_0 s_1 & s_1^2 - \alpha_n^2 - \alpha_n^2 \mu_0 + \frac{\omega^2}{c_1^2} \end{pmatrix} \tag{1.19}$$

Знайдем $Y_2(y)$:

$$Y_2(y) = \left(\frac{e^{sy}}{(s+s_2)(s-s_1)(s+s_1)} \widetilde{M(s)} \right) \Big|_{s=s_2} =$$
$$= \frac{e^{s_2 y}}{2s_2(s_2^2 - s_1^2)} \begin{pmatrix} s_2^2(1+\mu_0) - \alpha_n^2 + \frac{\omega^2}{c_2^2} & \alpha_n \mu_0 s_2 \\ -\alpha_n \mu_0 s_2 & s_2^2 - \alpha_n^2 - \alpha_n^2 \mu_0 + \frac{\omega^2}{c_1^2} \end{pmatrix} \tag{1.20}$$

Знайдем $Y_3(y)$:

$$Y_3(y) = \left(\frac{e^{sy}}{(s-s_2)(s-s_1)(s+s_1)} \widetilde{M(s)} \right) \Big|_{s=-s_2} =$$
$$= -\frac{e^{-s_2 y}}{2s_2(s_2^2 - s_1^2)} \begin{pmatrix} s_2^2(1+\mu_0) - \alpha_n^2 + \frac{\omega^2}{c_2^2} & -\alpha_n \mu_0 s_2 \\ \alpha_n \mu_0 s_2 & s_2^2 - \alpha_n^2 - \alpha_n^2 \mu_0 + \frac{\omega^2}{c_1^2} \end{pmatrix} \tag{1.21}$$

Знайдем тепер фундамельні бизисні матриці $\Psi_0(y)$, $\Psi_1(y)$, шукати їх будем у наступному вигляді:

$$\Psi_i(y) = (Y_0(y) + Y_1(y)) * C_1^i + (Y_2(y) + Y_3(y)) * C_2^i \tag{1.22}$$

Залишилось знайти невідомі матриці коєфіцієнтів C_1^0, C_2^0, C_1^1, C_2^1 використовуючи граничні умови (1.12). Покрокове знаходження яких наведено у (Додаток С).

Таким чином матрицю Гріна можемо записати у вигляді:

$$G(y,\xi) = \begin{cases} \Psi_0(y) * \Psi_1(\xi), & 0 \le y < \xi \\ \Psi_1(y) * \Psi_0(\xi), & \xi < y \le b \end{cases} \tag{1.23}$$

Для данної матриці Гріна виконано усі властивості, зокрема виконані однорідні граничні умови (1.12) та однорідні рівняння рівноваги у просторі трансформант (1.11):

$$L_2\left[G(y,\xi)\right] = 0$$

$$U_0\left[G(y,\xi)\right] = 0, \quad U_1\left[G(y,\xi)\right],$$

Таким чином ми можемо записати розв'язок крайової задачі у просторі трансформант:

$$Z_n(y) = \int_0^b G(y,\xi) F_n(\xi) d\xi + \Psi_0(y) * D_0 + \Psi_1(y) * D_1 \tag{1.24}$$

Введемо наступні позначення $G(y,\xi) = \begin{pmatrix} g_1(y,\xi) & g_2(y,\xi) \\ g_3(y,\xi) & g_4(y,\xi) \end{pmatrix}$, $F_n(y) = \begin{pmatrix} f_n^1(y) \\ f_n^2(y) \end{pmatrix}$, $\Psi_i(y) = \begin{pmatrix} \psi_i^1(y) & \psi_i^2(y) \\ \psi_i^3(y) & \psi_i^4(y) \end{pmatrix}$, $i = 0,1$. Враховуючи це, шукані функції перемішень у просторі трансформант можна записати у наступному вигляді

$$u_n(y) = \int_0^b \left[g_1(y,\xi) f_n^1(\xi) + g_2(y,\xi) f_n^2(\xi) \right] d\xi - \psi_0^2(y) p_n \tag{1.25}$$

$$v_n(y) = \int_0^b \left[g_3(y,\xi) f_n^1(\xi) + g_4(y,\xi) f_n^2(\xi) \right] d\xi - \psi_0^4(y) p_n \tag{1.26}$$

1.4 Побудова розв'язоку вихідної задачі

Використовуючи обернене інтегральне перетворення Фур'є до розв'язку задачі у просторі трансформант (1.25), (1.26), отримаємо фінальний розв'язок задачі

$$u(x,y) = \frac{2}{a}\sum_{n=1}^{\infty} u_n(y) sin(\alpha_n x), \quad \alpha_n = \frac{\pi n}{a} \tag{1.27}$$

$$v(x,y) = \frac{v_0(y)}{a} + \frac{2}{a}\sum_{n=1}^{\infty} v_n(y) cos(\alpha_n x), \quad \alpha_n = \frac{\pi n}{a} \tag{1.28}$$

Знайдем тепер $v_0(y)$ розглянувши задачу у просторі трансформант (1.9), (1.10) при $n = 0$, $\alpha_n = 0$. Детальний розв'язок якої наведено в (Додаток D). Тоді остаточний розв'язок $v(x,y)$ буде мати вигляд

$$v(x,y) = \frac{2}{a}\sum_{n=1}^{\infty} v_n(y) cos(\alpha_n x) - \psi_0(y)\frac{p_0}{a(2G+\lambda)} + \tag{1.29}$$

$$+ \frac{1}{a(1+\mu_0)}\int_0^b g(y,\xi)\left[\left(\frac{\alpha_2}{\beta_2}\chi_4(\xi)cos(\alpha_n a) - \frac{\alpha_1}{\beta_1}\chi_2(\xi)\right) - \frac{\mu_0}{(1+\mu_0)}\left(\chi_3^{'}(\xi)cos(\alpha_n a) - \chi_1^{'}(\xi)\right)\right]d\xi \tag{1.30}$$

Залишилось знайти невідомі функції $\chi_1(y)$, $\chi_2(y)$, $\chi_3(y)$, $\chi_4(y)$. В подальшому в данній роботі розглянуто випадок таких граничних умов які призводять лише до однієї невідомої функції $f(y) = \frac{\partial v(x,y)}{\partial x}|_{x=a}$. Для знаходження якої буде побудовано інтегральне рівняння завдяки граничній умові $\sigma_y(x,y)|_{y=b} = -p(x)$.

1.5 Висновки до другого розділу

Література

[1] Попов Г. Я. Концентрация упругих напряжений возле штампов разрезов тонких включений и подкреплений. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 344 с.

[2] Попов Г.Я. Точные решения некоторых краевых задач механики деформируемого твѐрдого тела. Одесса: Астропринт, 2013. 424 с.

Додаток A

ПОКРОКОВЕ ІНТЕГРУВАННЯ РІВНЯНЬ ЛАМЕ ЗА ЗМІННОЮ x

Помножим перше та друге рівняння (1.6) на $sin(\alpha_n x)$ та $cos(\alpha_n x)$ відповідно та проінтегруєм по змінній x на інтервалі $0 \leq x \leq a$. Скористаємося введенною заміною $\chi_1(y) = u(0,y)$, $\chi_2(y) = v(0,y)$, $\chi_3(y) = u(a,y)$, $\chi_4(y) = v(a,y)$ та $\frac{\partial u(0,y)}{\partial x} = -\frac{\alpha_1}{\beta_1}\chi_1(y)$, $\frac{\partial v(0,y)}{\partial x} = -\frac{\alpha_1}{\beta_1}\chi_2(y)$, $\frac{\partial u(a,y)}{\partial x} = -\frac{\alpha_2}{\beta_2}\chi_3(y)$, $\frac{\partial v(a,y)}{\partial x} = -\frac{\alpha_2}{\beta_2}\chi_4(y)$.

Розглянемо перше рівняння

$$\int_0^a \frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial x^2} sin(\alpha_n x)dx + \int_0^a \frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial y^2} sin(\alpha_n x)dx +$$
$$+ \mu_0\left(\int_0^a \frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial x^2} sin(\alpha_n x)dx + \int_0^a \frac{\partial^2 v(x,y)}{\partial x \partial y} sin(\alpha_n x)dx\right) +$$
$$+ \frac{\omega^2}{c_1^2}\int_0^a u(x,y) sin(\alpha_n x)dx = 0$$

Розглянемо

$$\int_0^a \frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial x^2} sin(\alpha_n x)dx = \frac{\partial u(x,y)}{\partial x} sin(\alpha_n x)|_{x=0}^{x=a} - \alpha_n \int_0^a \frac{\partial u(x,y)}{\partial x} cos(\alpha_n x)dx =$$
$$= \frac{\partial u(x,y)}{\partial x} sin(\alpha_n x)|_{x=0}^{x=a} - \alpha_n \left(u(x,y)cos(\alpha_n x)|_{x=0}^{x=a} + \alpha_n \int_0^a u(x,y)sin(\alpha_n x)dx \right) =$$
$$= -\alpha_n(\chi_3(y)cos(\alpha_n a) - \chi_1(y)) - \alpha_n^2 u_n(y)$$

Розглянемо

$$\int_0^a \frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial y^2} sin(\alpha_n x)dx = \frac{\partial^2}{\partial y^2} \int_0^a u(x,y)sin(\alpha_n x)dx = u_n^{''}(y)$$

Розглянемо

$$\int_0^a \frac{\partial^2 v(x,y)}{\partial x \partial y} sin(\alpha_n x)dx = \frac{\partial v(x,y)}{\partial y} sin(\alpha_n x)|_{x=0}^{x=a} - \alpha_n \int_0^a \frac{\partial v(x,y)}{\partial y} cos(\alpha_n x)dx =$$
$$= -\alpha_n \frac{\partial}{\partial y} \int_0^a v(x,y)cos(\alpha_n x)dx = -\alpha_n v_n^{'}(y)$$

Тоді перше рівняння у просторі трансформант прийме вигляд:

$$u_n^{''}(y) - \alpha_n \mu_0 v_n^{'}(y) - (\alpha_n^2 + \alpha_n^2 \mu_0 - \frac{\omega^2}{c_1^2})u_n(y) =$$
$$= \alpha_n(1+\mu_0)(\chi_3(y)cos(\alpha_n a) - \chi_1(y))$$

Розлянемо друге рівняння

$$\int_0^a \frac{\partial^2 v(x,y)}{\partial x^2} cos(\alpha_n x)dx + \int_0^a \frac{\partial^2 v(x,y)}{\partial y^2} cos(\alpha_n x)dx +$$
$$+ \mu_0 \left(\int_0^a \frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial x \partial y} cos(\alpha_n x)dx + \int_0^a \frac{\partial^2 v(x,y)}{\partial y^2} cos(\alpha_n x)dx \right) +$$
$$+ \frac{\omega^2}{c_2^2} \int_0^a v(x,y)cos(\alpha_n x)dx = 0$$

Розглянемо

$$\int_0^a \frac{\partial^2 v(x,y)}{\partial x^2} cos(\alpha_n x)dx = \frac{\partial v(x,y)}{\partial x} cos(\alpha_n x)|_{x=0}^{x=a} + \alpha_n \int_0^a \frac{\partial v(x,y)}{\partial x} sin(\alpha_n x)dx =$$
$$= \frac{\partial v(x,y)}{\partial x} cos(\alpha_n x)|_{x=0}^{x=a} + \alpha_n \left(v(x,y)sin(\alpha_n x)|_{x=0}^{x=a} - \alpha_n \int_0^a v(x,y)cos(\alpha_n x)dx \right) =$$
$$= -(\frac{\alpha_2}{\beta_2}\chi_4(y)cos(\alpha_n a) - \frac{\alpha_1}{\beta_1}\chi_2(y)) - \alpha_n^2 v_n(y)$$

Розглянемо

$$\int_0^a \frac{\partial^2 v(x,y)}{\partial y^2} cos(\alpha_n x)dx = \frac{\partial^2}{\partial y^2} \int_0^a v(x,y)cos(\alpha_n x)dx = v_n^{''}(y)$$

Розглянемо

$$\int_0^a \frac{\partial^2 u(x,y)}{\partial y \partial x} cos(\alpha_n x)dx = \frac{\partial u(x,y)}{\partial y} cos(\alpha_n x)|_{x=0}^{x=a} + \alpha_n \int_0^a \frac{\partial u(x,y)}{\partial y} sin(\alpha_n x)dx =$$
$$= \frac{\partial u(x,y)}{\partial y} cos(\alpha_n x)|_{x=0}^{x=a} + \alpha_n \frac{\partial}{\partial y} \int_0^a u(x,y)sin(\alpha_n x)dx = \alpha_n u_n^{'}(y) +$$
$$+ (\chi_3^{'}(y)cos(\alpha_n a) - \chi_1^{'}(y))$$

Тоді друге рівняння у просторі трансформант прийме вигляд:

$$(1+\mu_0)v_n^{''}(y) + \alpha_n \mu_0 u_n^{'}(y) - (\alpha_n^2 - \frac{\omega^2}{c_2^2})v_n(y) =$$
$$= (\frac{\alpha_2}{\beta_2}\chi_4(y)cos(\alpha_n a) - \frac{\alpha_1}{\beta_1}\chi_2(y)) - \mu_0(\chi_3^{'}(y)cos(\alpha_n a) - \chi_1^{'}(y))$$

Додаток В

ЗНАХОДЖЕННЯ КОРЕНІВ РІВНЯННЯ $det[M(s)] = 0$

Знайдемо корені $det[M(s)] = 0$

$$det[M(s)] = \begin{vmatrix} s^2 - \alpha_n^2 - \alpha_n^2\mu_0 + \frac{\omega^2}{c_1^2} & -\alpha_n\mu_0 s \\ \alpha_n\mu_0 s & s^2(1+\mu_0) - \alpha_n^2 + \frac{\omega^2}{c_2^2} \end{vmatrix} =$$

$$= (s^2(1+\mu_0) - \alpha_n^2 + \frac{\omega^2}{c_2^2})(s^2 - \alpha_n^2 - \alpha_n^2\mu_0 + \frac{\omega^2}{c_1^2}) + (\alpha_n\mu_0 s)^2 =$$

$$= s^4 + s^4\mu_0 - s^2\alpha_n^2 + s^2\frac{\omega^2}{c_2^2} - s^2\alpha_n^2 - s^2\alpha_n^2\mu_0 + \alpha_n^4 - \alpha_n^2\frac{\omega^2}{c_2^2} - s^2\alpha_n^2\mu_0 -$$

$$- s^2\alpha_n^2\mu_0 + \alpha_n^4\mu_0 - \alpha_n^2\frac{\omega^2}{c_2^2} + s^2\frac{\omega^2}{c_1^2} + s^2\mu_0\frac{\omega^2}{c_1^2} - \alpha_n^2\frac{\omega^2}{c_1^2} + \frac{\omega^4}{c_1^2c_2^2} + s^2\alpha_n^2\mu_0^2 =$$

$$= (1+\mu_0)s^4 + (-2\alpha_n^2 - 2\alpha_n^2\mu_0 + \frac{\omega^2}{c_2^2} + \frac{\omega^2}{c_1^2} + \mu_0\frac{\omega^2}{c_1^2})s^2 + (\alpha_n^4 - \alpha_n^2\frac{\omega^2}{c_2^2} +$$

$$+ \alpha_n^4\mu_0 - \alpha_n^2\mu_0\frac{\omega^2}{c_2^2} - \alpha_n^2\frac{\omega^2}{c_1^2} + \frac{\omega^4}{c_1^2c_2^2})$$

Введемо наступні позначення:

$$a_1 = -2\alpha_n^2 - 2\alpha_n^2\mu_0 + \frac{\omega^2}{c_2^2} + \frac{\omega^2}{c_1^2} + \mu_0\frac{\omega^2}{c_1^2}$$

$$a_2 = \alpha_n^4 - \alpha_n^2\frac{\omega^2}{c_2^2} + \alpha_n^4\mu_0 - \alpha_n^2\mu_0\frac{\omega^2}{c_2^2} - \alpha_n^2\frac{\omega^2}{c_1^2} + \frac{\omega^4}{c_1^2c_2^2}$$

Враховучи введені позначення отримаємо наступне рівняння:

$$(1+\mu_0)s^4 + a_1s^2 + a_2 = 0$$

Таким чином отримаємо наступні корені рівняння:

$$s_1 = \sqrt{\frac{-a_1 + \sqrt{a_1^2 - 4(1+\mu_0)a_2}}{2(1+\mu_0)}}$$

$$s_2 = -\sqrt{\frac{-a_1 + \sqrt{a_1^2 - 4(1+\mu_0)a_2}}{2(1+\mu_0)}}$$

$$s_3 = \sqrt{\frac{-a_1 - \sqrt{a_1^2 - 4(1+\mu_0)a_2}}{2(1+\mu_0)}}$$

$$s_4 = -\sqrt{\frac{-a_1 - \sqrt{a_1^2 - 4(1+\mu_0)a_2}}{2(1+\mu_0)}}$$

У випадку статичної задачі коли $\omega = 0$ отримаємо наступні рівняння:

$$(1+\mu_0)(s^4 - 2\alpha_n^2s^2 + \alpha_n^4) = 0$$

Таким чином отримаємо наступні корені

$$s_{1,2} = \alpha_n$$

$$s_{3,4} = -\alpha_n$$

Додаток C

ЗНАХОДЖЕННЯ МАТРИЦЬ КОЄФІЦІЄНТІВ C_k^i для $\Psi_i(y)$, $i=\overline{0,1}$, $k=\overline{1,2}$

Для знаходження матриць коефіцієтів C_k^i для фундаентальних базісних матриць $\Psi_i(y)$, $i=\overline{0,1}$, $k=\overline{1,2}$. Використовуючи граничні умови (1.12) шукати їх будем з наступних умов:

$$
\begin{aligned}
&U_0\left[\Psi_0(y)\right]=I, \quad U_1\left[\Psi_0(y)\right]=0\\
&U_0\left[\Psi_1(y)\right]=0, \quad U_1\left[\Psi_1(y)\right]=I, \quad I=\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 1\end{pmatrix}\\
&U_0\left[\Psi_i(y)\right]=\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 2G+\lambda\end{pmatrix}*\Psi_i^{'}(b)+\begin{pmatrix}0 & -\alpha_n\\ \alpha_n\lambda & 0\end{pmatrix}*\Psi_i(b)\\
&U_1\left[\Psi_i(y)\right]=\begin{pmatrix}1 & 0\\ 0 & 0\end{pmatrix}*\Psi_i^{'}(0)+\begin{pmatrix}0 & -\alpha_n\\ 0 & 1\end{pmatrix}*\Psi_i(0)
\end{aligned}
$$

Введемо наступні позначення:

$$
C_1^i=\begin{pmatrix}d_1^i & d_2^i\\ d_3^i & d_4^i\end{pmatrix}, \quad C_2^i=\begin{pmatrix}f_1^i & f_2^i\\ f_3^i & f_4^i\end{pmatrix},
$$

$$
\begin{aligned}
&x_1=s_1^2(1+\mu_0)-\alpha_n^2+\frac{\omega^2}{c_2^2}, \quad x_2=s_1^2-\alpha_n^2-\alpha_n^2\mu_0+\frac{\omega^2}{c_1^2}\\
&x_3=s_2^2(1+\mu_0)-\alpha_n^2+\frac{\omega^2}{c_2^2}, \quad x_4=s_2^2-\alpha_n^2-\alpha_n^2\mu_0+\frac{\omega^2}{c_1^2}\\
&x_5=s_1\alpha_n\mu_0, \quad x_6=s_2\alpha_n\mu_0\\
&y_1=2s_1(s_1^2-s_2^2), \quad y_2=2s_2(s_2^2-s_1^2)
\end{aligned}
$$

Враховуючи їх та представлення (1.22) випишем вигляд $\Psi_i(y)$:

$$
\Psi_i(y)=\frac{1}{y_1}\begin{pmatrix}x_1(e^{ys_1}-e^{-ys_1})d_1^i+x_5(e^{ys_1}+e^{-ys_1})d_3^i & x_1(e^{ys_1}-e^{-ys_1})d_2^i+x_5(e^{ys_1}+e^{-ys_1})d_4^i\\ -x_5(e^{ys_1}+e^{-ys_1})d_1^i+x_2(e^{ys_1}-e^{-ys_1})d_3^i & -x_5(e^{ys_1}+e^{-ys_1})d_2^i+x_2(e^{ys_1}-e^{-ys_1})d_4^i\end{pmatrix}+
$$
$$
+\frac{1}{y_2}\begin{pmatrix}x_3(e^{ys_2}-e^{-ys_2})f_1^i+x_6(e^{ys_2}+e^{-ys_2})f_3^i & x_3(e^{ys_2}-e^{-ys_2})f_2^i+x_6(e^{ys_2}+e^{-ys_2})f_4^i\\ -x_6(e^{ys_2}+e^{-ys_2})f_1^i+x_4(e^{ys_2}-e^{-ys_2})f_3^i & -x_6(e^{ys_2}+e^{-ys_2})f_2^i+x_4(e^{ys_2}-e^{-ys_2})f_4^i\end{pmatrix}
$$

$$
\Psi_i^{'}(y)=\frac{s_1}{y_1}\begin{pmatrix}x_1(e^{ys_1}-e^{-ys_1})d_1^i+x_5(e^{ys_1}+e^{-ys_1})d_3^i & x_1(e^{ys_1}-e^{-ys_1})d_2^i+x_5(e^{ys_1}+e^{-ys_1})d_4^i\\ -x_5(e^{ys_1}+e^{-ys_1})d_1^i+x_2(e^{ys_1}-e^{-ys_1})d_3^i & -x_5(e^{ys_1}+e^{-ys_1})d_2^i+x_2(e^{ys_1}-e^{-ys_1})d_4^i\end{pmatrix}+
$$
$$
+\frac{s_2}{y_2}\begin{pmatrix}x_3(e^{ys_2}-e^{-ys_2})f_1^i+x_6(e^{ys_2}+e^{-ys_2})f_3^i & x_3(e^{ys_2}-e^{-ys_2})f_2^i+x_6(e^{ys_2}+e^{-ys_2})f_4^i\\ -x_6(e^{ys_2}+e^{-ys_2})f_1^i+x_4(e^{ys_2}-e^{-ys_2})f_3^i & -x_6(e^{ys_2}+e^{-ys_2})f_2^i+x_4(e^{ys_2}-e^{-ys_2})f_4^i\end{pmatrix}
$$

Розглянемо $U_0\left[\Psi_i(y)\right]$:

$$
U_0\left[\Psi_i(y)\right]_{1,1}=\frac{s_1}{y_1}\left(x_1(e^{bs_1}-e^{-bs_1})d_1^i+x_5(e^{bs_1}+e^{-bs_1})d_3^i\right)+
$$
$$
+\frac{s_2}{y_2}\left(x_3(e^{bs_2}-e^{-bs_2})f_1^i+x_6(e^{bs_2}+e^{-bs_2})f_3^i\right)+\frac{\alpha_n}{y_1}\left(x_5(e^{bs_1}+e^{-bs_1})d_1^i-x_2(e^{bs_1}-e^{-bs_1})d_3^i\right)+
$$
$$
+\frac{\alpha_n}{y_2}\left(x_6(e^{bs_2}+e^{-bs_2})f_1^i+x_4(e^{bs_2}-e^{-bs_2})f_3^i\right)
$$

$$
U_0\left[\Psi_i(y)\right]_{1,2}=\frac{s_1}{y_1}\left(x_1(e^{bs_1}-e^{-bs_1})d_2^i+x_5(e^{bs_1}+e^{-bs_1})d_4^i\right)+
$$
$$
+\frac{s_2}{y_2}\left(x_3(e^{bs_2}-e^{-bs_2})f_2^i+x_6(e^{bs_2}+e^{-bs_2})f_4^i\right)+\frac{\alpha_n}{y_1}\left(x_5(e^{bs_1}+e^{-bs_1})d_2^i-x_2(e^{bs_1}-e^{-bs_1})d_4^i\right)+
$$
$$
+\frac{\alpha_n}{y_2}\left(x_6(e^{bs_2}+e^{-bs_2})f_2^i+x_4(e^{bs_2}-e^{-bs_2})f_4^i\right)
$$

$$U_0\left[\Psi_i(y)\right]_{2,1} = \frac{s_1(2G+\lambda)}{y_1}\left(-x_5(e^{bs_1}+e^{-bs_1})d_1^i + x_2(e^{bs_1}-e^{-bs_1})d_3^i\right) +$$
$$+\frac{s_2(2G+\lambda)}{y_2}\left(-x_6(e^{bs_2}+e^{-bs_2})f_1^i + x_4(e^{bs_2}-e^{-bs_2})f_3^i\right) + \frac{\alpha_n\lambda}{y_1}\left(x_1(e^{bs_1}-e^{-bs_1})d_1^i + x_5(e^{bs_1}+e^{-bs_1})d_3^i\right) +$$
$$+\frac{\alpha_n\lambda}{y_2}\left(x_3(e^{bs_2}-e^{-bs_2})f_1^i + x_6(e^{bs_2}+e^{-bs_2})f_3^i\right)$$

$$U_0\left[\Psi_i(y)\right]_{2,2} = \frac{s_1(2G+\lambda)}{y_1}\left(-x_5(e^{bs_1}+e^{-bs_1})d_2^i + x_2(e^{bs_1}-e^{-bs_1})d_4^i\right) +$$
$$+\frac{s_2(2G+\lambda)}{y_2}\left(-x_6(e^{bs_2}+e^{-bs_2})f_2^i + x_4(e^{bs_2}-e^{-bs_2})f_4^i\right) + \frac{\alpha_n\lambda}{y_1}\left(x_1(e^{bs_1}-e^{-bs_1})d_2^i + x_5(e^{bs_1}+e^{-bs_1})d_4^i\right) +$$
$$+\frac{\alpha_n\lambda}{y_2}\left(x_3(e^{bs_2}-e^{-bs_2})f_2^i + x_6(e^{bs_2}+e^{-bs_2})f_4^i\right)$$

Розглянемо $U_1\left[\Psi_i(y)\right]$:

$$\begin{aligned}
U_1\left[\Psi_i(y)\right]_{1,1} &= \frac{s_1}{y_1}\left(2x_1d_1^i\right) + \frac{s_2}{y_2}\left(2x_3f_1^i\right) + \frac{\alpha_n}{y_1}\left(2x_5d_1^i\right) + \frac{\alpha_n}{y_2}\left(2x_6f_1^i\right)\\
U_1\left[\Psi_i(y)\right]_{1,2} &= \frac{s_1}{y_1}\left(2x_1d_2^i\right) + \frac{s_2}{y_2}\left(2x_3f_2^i\right) + \frac{\alpha_n}{y_1}\left(2x_5d_2^i\right) + \frac{\alpha_n}{y_2}\left(2x_6f_2^i\right)\\
U_1\left[\Psi_i(y)\right]_{2,1} &= \frac{1}{y_1}\left(-2x_5d_1^i\right) + \frac{1}{y_2}\left(-2x_6f_1^i\right)\\
U_1\left[\Psi_i(y)\right]_{2,2} &= \frac{1}{y_1}\left(-2x_5d_2^i\right) + \frac{1}{y_2}\left(-2x_6f_2^i\right)
\end{aligned}$$

Введемо наступні позначення:

$$z_1 = \frac{1}{y_1}\left(e^{bs_1}+e^{-bs_1}\right)\left(s_1x_1+\alpha_nx_5\right), \quad z_2 = \frac{1}{y_1}\left(e^{bs_1}-e^{-bs_1}\right)\left(s_1x_5-\alpha_nx_2\right),$$
$$z_3 = \frac{1}{y_2}\left(e^{bs_2}+e^{-bs_2}\right)\left(s_2x_3+\alpha_nx_6\right), \quad z_4 = \frac{1}{y_2}\left(e^{bs_2}-e^{-bs_2}\right)\left(s_2x_6-\alpha_nx_4\right),$$
$$z_5 = \frac{1}{y_1}\left(e^{bs_1}-e^{-bs_1}\right)\left(-s_1(2G+\lambda)x_5+\alpha_n\lambda x_3\right), \quad z_6 = \frac{1}{y_1}\left(e^{bs_1}+e^{-bs_1}\right)\left(s_1(2G+\lambda)x_2+\alpha_n\lambda x_5\right),$$
$$z_7 = \frac{1}{y_2}\left(e^{bs_2}-e^{-bs_2}\right)\left(-s_2(2G+\lambda)x_6+\alpha_n\lambda x_3\right), \quad z_8 = \frac{1}{y_2}\left(e^{bs_2}+e^{-bs_2}\right)\left(s_2(2G+\lambda)x_4+\alpha_n\lambda x_6\right),$$
$$z_9 = \frac{1}{y_1}\left(2s_1x_1+2\alpha_nx_5\right), \quad z_{10} = \frac{1}{y_2}\left(2s_2x_3+2\alpha_nx_6\right),$$
$$z_{11} = -\frac{2}{y_1}x_5, \quad z_{12} = -\frac{2}{y_2}x_6$$

Враховучи останнє випишем системи відностно невідомих коєфіцієнтів $d_k^i,\ f_k^i,\ i=\overline{0,1}$, $k=\overline{1,4}$

$$\begin{cases} z_1d_1^0+z_2d_3^0+z_3f_1^0+z_4f_3^0=1\\ z_5d_1^0+z_6d_3^0+z_7f_1^0+z_8f_3^0=0\\ z_9d_1^0+z_{10}f_1^0=0\\ z_{11}d_1^0+z_{12}f_1^0=0\end{cases}, \qquad \begin{cases} z_1d_2^0+z_2d_4^0+z_3f_2^0+z_4f_4^0=0\\ z_5d_2^0+z_6d_4^0+z_7f_2^0+z_8f_4^0=1\\ z_9d_2^0+z_{10}f_2^0=0\\ z_{11}d_2^0+z_{12}f_2^0=0\end{cases}$$

$$\begin{cases} z_1d_1^1+z_2d_3^1+z_3f_1^1+z_4f_3^1=0\\ z_5d_1^1+z_6d_3^1+z_7f_1^1+z_8f_3^1=0\\ z_9d_1^1+z_{10}f_1^1=1\\ z_{11}d_1^1+z_{12}f_1^1=0\end{cases}, \qquad \begin{cases} z_1d_2^1+z_2d_4^1+z_3f_2^1+z_4f_4^1=0\\ z_5d_2^1+z_6d_4^1+z_7f_2^1+z_8f_4^1=0\\ z_9d_2^1+z_{10}f_2^1=0\\ z_{11}d_2^1+z_{12}f_2^1=1\end{cases}$$

Додаток D

ЗНАХОДЖЕННЯ ФУНКЦІЇ $v_0(y)$

Знайдем $v_0(y)$ розглянувши задачу у просторі трансформант (1.9), (1.10) при $n=0$, $\alpha_n=0$. Отримаємо наступну задачу відносно $v_0(y)$:

$$v_0''(y) + \frac{\omega^2}{c_2^2(1+\mu_0)}v_0(y) = \frac{f(y)}{1+\mu_0}$$

Де $f(y) = (\frac{\alpha_2}{\beta_2}\chi_4(y)cos(\alpha_n a) - \frac{\alpha_1}{\beta_1}\chi_2(y)) - \frac{\mu_0}{(1+\mu_0)}(\chi_3^{'}(y)cos(\alpha_n a) - \chi_1^{'}(y))$.

Та граничні умови:

$$(2G+\lambda)v_0^{'}(b) = -p_0, \quad v_0(0) = 0, \quad p_0 = \int_0^a p(x)dx$$

Спочатку знайдем фундаментальну базисну систему розв'язків задачі $\psi_0(y)$, $\psi_1(y)$:

$$\psi_i^{''}(y) + \frac{\omega^2}{c_2^2(1+\mu_0)}\psi_i(y) = 0, i = \overline{0,1}$$

$$\begin{cases} \psi_0(0) = 1 \\ \psi_0^{'}(b) = 0 \end{cases}, \quad \begin{cases} \psi_1(0) = 0 \\ \psi_1^{'}(b) = 1 \end{cases}$$

Розв'язок однорідної задачі відносно $\psi_i(y)$ має вигляд:

$$\psi_i(y) = c_1^i cos\left(\frac{\omega}{c_2\sqrt{1+\mu_0}}y\right) + c_2^i sin\left(\frac{\omega}{c_2\sqrt{1+\mu_0}}y\right) \tag{1.31}$$

Враховучи граничні умови отримаємо остаточний вигляд $\psi_0(y)$, $\psi_1(y)$:

$$\begin{cases} \psi_0(y) = cos\left(\frac{\omega}{c_2\sqrt{1+\mu_0}}y\right) + tg\left(\frac{\omega}{c_2\sqrt{1+\mu_0}}b\right) sin\left(\frac{\omega}{c_2\sqrt{1+\mu_0}}y\right) \\ \psi_1(y) = \frac{c_2(1+\mu_0)}{\omega cos\left(\frac{\omega}{c_2\sqrt{1+\mu_0}}b\right)} sin\left(\frac{\omega}{c_2\sqrt{1+\mu_0}}y\right) \end{cases}$$

Побудуємо тепер функцію Гріна задачі:

$$g(y,\xi) = \begin{cases} -a_1(\xi)\psi_1(y), 0 \le y < \xi \\ a_0(\xi)\psi_0(y), \xi < y \le b \end{cases}$$

Де $a_0(\xi)$, $a_1(\xi)$ будуть знайдені з наступної системи

$$\begin{cases} a_0(\xi)\psi_0^{'}(\xi) + a_1(\xi)\psi_1^{'}(\xi) = 1 \\ a_0(\xi)\psi_0^{(}\xi) + a_1(\xi)\psi_1(\xi) = 0 \end{cases}$$

Таким чином остаточний розв'язок задачі відносно $v_0(y)$ буде мати наступний вигляд:

$$v_0(y) = \frac{1}{(1+\mu_0)}\int_0^b g(y,\xi)f(\xi)d\xi - \psi_0(y)\frac{p_0}{2G+\lambda}$$

У випадку статичної задачі коли $\omega = 0$ отримаємо наступну задачу відносно $v_0(y)$:

$$v_0^{''}(y) = \frac{f(y)}{1+\mu_0}$$

$$(2G+\lambda)v_0^{'}(b) = -p_0, \quad v_0(0) = 0, \quad p_0 = \int_0^a p(x)dx$$