

Таким образом, в соответствии с ГОСТ и СП в жилых, общественных и промышленных зданиях необходимо разрабатывать меры, которые обеспечивают доступную среду для передвижения, работы и проживания людей с ограниченными возможностями.

Список литературы

1. Группа компаний «БЕЗ ПРЕГРАД». URL: <http://bezpregrad.com/mgn.html>
2. СП 35-101-2001. Проектирование зданий и сооружений с учетом доступности для маломобильных групп населения. Общие положения.
3. СП 59.13330.2012. Доступность зданий и сооружений для маломобильных групп населения.

Фундаментальные научные основы проектирования и перспективы развития технологий возведения зданий и сооружений

РАСЧЕТ ПЛОСКОГО ЧЕТЫРЕХСТОРОННЕГО ЭЛЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА, ОСНОВАННОГО НА СВОЙСТВАХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ФУРЬЕ ФИНИТНЫХ ФУНКЦИЙ

Сан Лин Тун

Технологическая академия обороны (Республика Союз Мьянма)

Исторически сложилось что при сейсмических воздействиях, в работе подземных сооружений наблюдался уровень ущерба ниже, чем у поверхностных, тем не менее, некоторые подземные сооружения пережили значительный ущерб, в последних крупных землетрясениях, например, в 1995 г. Кобе в Японии (7–8 баллов по шкале Рихтера), в 1999 г. Чи-Чи (Chi-Chi, Taiwan) в Тайване и в 1999 г. провинция Коджаэли (Kocaeli province, Turkey), землетрясение в Турции. Описываются подходы, используемые инженерами, по количественной оценке, сейсмического воздействия на подземное сооружение в работах [4–9]. Развитие соответствующих параметров движения грунта, в том числе пик ускорений и скоростей, цель спектры реакции и истории движения грунтов по времени описаны в работах ученых. В общем, сейсмические нагрузки конструкций для подземных сооружений, характеризуются в терминах деформаций и напряжений, введенных в отношении структуры окружающих мест, часто из-за взаимодействия между ними. В отличие от подземных сооружений, поверхностные сооружения предназначены для инерционных сил из-за ускорений движения грунтов при землетрясении. Самый простой подход – это не учитывать взаимодействия подземного сооружения с окружающим грунтом. Свободные деформации земли из-за сейсмического событие оценива-

ется, и подземное сооружение проектируется, чтобы выдерживать эти деформации. Такой подход является удовлетворительным, когда низкие уровни сотрясения ожидаются или подземное пространство является жесткой средой, такая как скала. Затем другие подходы, в которых учитываются взаимодействие между структурами и окружающим грунтом описываются. При подходе псевдо-статического анализа, деформации грунтового массива учитываются как статические нагрузки, и взаимодействие почвенных структур грунта не включает динамические эффекты или эффекты распространения волн. В подходе динамического анализа, динамическое взаимодействие структуры почвы грунтов проводится с использованием методов численного анализа, например, метод конечных элементов и метода конечных разностей.

Для решения задач, представляемых дифференциальными уравнениями с кусочно-постоянными параметрами удобно применять конечные элементы, полученные с помощью метода, основанного на свойствах изображений Фурье финитных функций. Основы этого метода представлены в диссертации проф. Е. Н. Курбацкого «Метод решения задач теории упругости и строительной механики, основанный на свойствах изображений Фурье финитных функций» [1]. Современный математический аппарат (теория обобщенных функций [2], [3] и интегральные преобразования обобщенных функций [4]) позволяют свести решение многих задач к простым операциям над степенными рядами в области изображений.

В основе метода решения задач строительной механики и теории упругости положена теорема Винера – Пэли – Шварца [5, 6]: «Изображения Фурье финитных функций целые функции, т.е. функции представимые сходящимися степенными рядами». Это свойство финитных функций позволяет свести решение дифференциальных уравнений к алгебраическим операциям в области изображений. Для этого, чтобы воспользоваться этой теоремой, необходимо, используя обобщенное дифференцирование, записать дифференциальные уравнения для финитных функций.

Для этой цели функции, описывающие напряженно-деформированное состояние конечной части бесконечной области или тела ограниченных размеров, представляются финитными функциями, т. е. функциями равными нулю вне области, занимаемой телом. В правых частях, записанных таким образом уравнений, кроме нагрузки появятся дельта функции, сосредоточенные на поверхностях, ограничивающих тело.

Изложим методику решения задач на примере с использованием уравнений теории упругости для плоского четырехстороннего элемента с применением метода, основанного на свойствах изображений Фурье финитных функций.

Представим реализацию метода на примере плоской задачи теории упругости. Разделим упругое тело (в общем случае неоднородное) на элементы с границами любой ориентации, в пределах которых характеристики упругой среды можно считать постоянными.

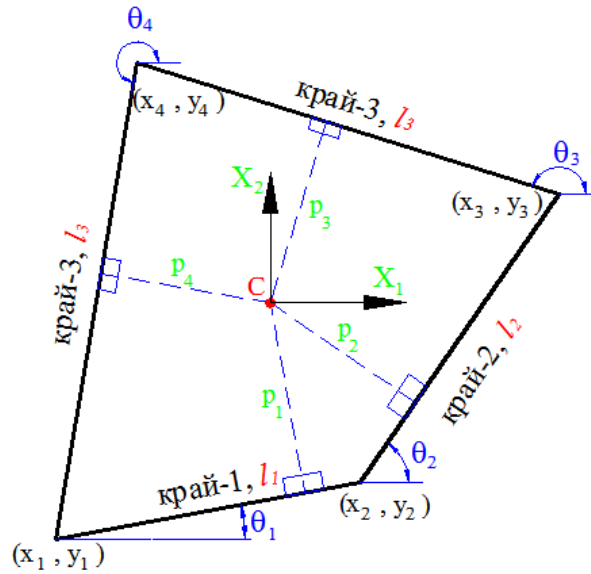


Рис. 1. Общий вид четырехстороннего элемента

Здесь нумерации вершины и краев четырехсторонника считаются против часовой стрелки вдоль периметра.

С – центр тяжести элемента;

l_n – длины краев $n = 1, 2, 3, 4$;

p_n – перпендикулярное расстояние соответственно от центра тяжести на края $n = 1, 2, 3, 4$;

(x_n, y_n) – координаты (x, y) вершин элемента $n = 1, 2, 3, 4$;

X_1, X_2 – оси двухмерного элемента;

θ_n – угол поворота границы- n от оси X_1 против часовой стрелки.

Запишем уравнения теории упругости в следующей форме для общего случая - четырехстороннего элемента в финитных функциях:

$$[v_1^2 + v_2^2 - \eta^2 \omega^2] \bar{U}_i + (\eta^2 - 1) \bar{U}_j v_i v_j = \frac{\bar{X}_i}{\mu} \quad (1)$$

При вводе уравнения введена новая переменная $t = c_1 \tau$ и приняты обозначения:

$c_1^2 = (\lambda + 2\mu) / \rho$ – скорость распространения волн расширения,

$c_2^2 = \mu / \rho$ – скорость распространения волн сдвига,

$\eta = \frac{c_1}{c_2}$ – отношение скоростей распространения волн,

$$X_j = -F_j + [\sigma_{ij}]_s \cos(\bar{n} \times x_i) \delta_s + \lambda \{ [U_j]_s \cos(\bar{n} \times x_i) \delta_s \}_{,j} + \mu \{ [U_i]_s \cos(\bar{n} \times x_j) \delta_s \}_{,i} + \mu \{ [U_j]_s \cos(\bar{n} \times x_i) \delta_s \}_{,i} \quad (2)$$

Для четырехстороннего элемента представленными размерами на (рис. 1) общие уравнения теории упругости при $X_j (j=1, 2)$ имеют в следующий вид:

При $j=1$;

$$\begin{aligned}
X_1 = & -F_1 + \\
& +[\sigma_{11} \cdot K_{11} \cdot \delta(x_1 - \phi_{11} p_1) + \sigma_{11} \cdot K_{21} \cdot \delta(x_1 - \phi_{21} p_2) + \sigma_{11} \cdot K_{31} \cdot \delta(x_1 - \phi_{31} p_3) + \sigma_{11} \cdot K_{41} \cdot \delta(x_1 - \phi_{41} p_4)] \\
& +[\sigma_{21} \cdot S_{12} \cdot \delta(x_2 - \phi_{12} p_1) + \sigma_{21} \cdot S_{22} \cdot \delta(x_2 - \phi_{22} p_2) + \sigma_{21} \cdot S_{32} \cdot \delta(x_2 - \phi_{32} p_3) + \sigma_{21} \cdot S_{42} \cdot \delta(x_2 - \phi_{42} p_4)] \\
& +\lambda[U_1 \cdot \phi_{11} \cdot \delta(x_1 - \phi_{11} p_1) + U_1 \cdot \phi_{21} \cdot \delta(x_1 - \phi_{21} p_2) + U_1 \cdot \phi_{31} \cdot \delta(x_1 - \phi_{31} p_3) + U_1 \cdot \phi_{41} \cdot \delta(x_1 - \phi_{41} p_4)], j_1 \\
& +\lambda[U_2 \cdot \phi_{12} \cdot \delta(x_2 - \phi_{12} p_1) + U_2 \cdot \phi_{22} \cdot \delta(x_2 - \phi_{22} p_2) + U_2 \cdot \phi_{32} \cdot \delta(x_2 - \phi_{32} p_3) + U_2 \cdot \phi_{42} \cdot \delta(x_2 - \phi_{42} p_4)], j_2 \\
& +\mu[U_1 \cdot \phi_{11} \cdot \delta(x_1 - \phi_{11} p_1) + U_1 \cdot \phi_{21} \cdot \delta(x_1 - \phi_{21} p_2) + U_1 \cdot \phi_{31} \cdot \delta(x_1 - \phi_{31} p_3) + U_1 \cdot \phi_{41} \cdot \delta(x_1 - \phi_{41} p_4)], i_1 \\
& +\mu[U_2 \cdot \phi_{12} \cdot \delta(x_2 - \phi_{12} p_1) + U_2 \cdot \phi_{22} \cdot \delta(x_2 - \phi_{22} p_2) + U_2 \cdot \phi_{32} \cdot \delta(x_2 - \phi_{32} p_3) + U_2 \cdot \phi_{42} \cdot \delta(x_2 - \phi_{42} p_4)], i_2 \\
& +\mu[U_1 \cdot \phi_{11} \cdot \delta(x_1 - \phi_{11} p_1) + U_1 \cdot \phi_{21} \cdot \delta(x_1 - \phi_{21} p_2) + U_1 \cdot \phi_{31} \cdot \delta(x_1 - \phi_{31} p_3) + U_1 \cdot \phi_{41} \cdot \delta(x_1 - \phi_{41} p_4)], i_1 \\
& +\mu[U_2 \cdot \phi_{12} \cdot \delta(x_2 - \phi_{12} p_1) + U_2 \cdot \phi_{22} \cdot \delta(x_2 - \phi_{22} p_2) + U_2 \cdot \phi_{32} \cdot \delta(x_2 - \phi_{32} p_3) + U_2 \cdot \phi_{42} \cdot \delta(x_2 - \phi_{42} p_4)], i_2
\end{aligned} \tag{3}$$

При $j = 2$;

$$\begin{aligned}
X_2 = & -F_2 + \\
& +[\sigma_{12} \cdot S_{11} \cdot \delta(x_1 - \phi_{11} p_1) + \sigma_{12} \cdot S_{21} \cdot \delta(x_1 - \phi_{21} p_2) + \sigma_{12} \cdot S_{31} \cdot \delta(x_1 - \phi_{31} p_3) + \sigma_{12} \cdot S_{41} \cdot \delta(x_1 - \phi_{41} p_4)] \\
& +[\sigma_{22} \cdot K_{12} \cdot \delta(x_2 - \phi_{12} p_1) + \sigma_{22} \cdot K_{22} \cdot \delta(x_2 - \phi_{22} p_2) + \sigma_{22} \cdot K_{32} \cdot \delta(x_2 - \phi_{32} p_3) + \sigma_{22} \cdot K_{42} \cdot \delta(x_2 - \phi_{42} p_4)] \\
& +\lambda[U_1 \cdot \phi_{11} \cdot \delta(x_1 - \phi_{11} p_1) + U_1 \cdot \phi_{21} \cdot \delta(x_1 - \phi_{21} p_2) + U_1 \cdot \phi_{31} \cdot \delta(x_1 - \phi_{31} p_3) + U_1 \cdot \phi_{41} \cdot \delta(x_1 - \phi_{41} p_4)], j_2 \\
& +\lambda[U_2 \cdot \phi_{12} \cdot \delta(x_2 - \phi_{12} p_1) + U_2 \cdot \phi_{22} \cdot \delta(x_2 - \phi_{22} p_2) + U_2 \cdot \phi_{32} \cdot \delta(x_2 - \phi_{32} p_3) + U_2 \cdot \phi_{42} \cdot \delta(x_2 - \phi_{42} p_4)], j_2 \\
& +\mu[U_1 \cdot \phi_{12} \cdot \delta(x_2 - \phi_{12} p_1) + U_1 \cdot \phi_{22} \cdot \delta(x_2 - \phi_{22} p_2) + U_1 \cdot \phi_{32} \cdot \delta(x_2 - \phi_{32} p_3) + U_1 \cdot \phi_{42} \cdot \delta(x_2 - \phi_{42} p_4)], i_1 \\
& +\mu[U_2 \cdot \phi_{12} \cdot \delta(x_2 - \phi_{12} p_1) + U_2 \cdot \phi_{22} \cdot \delta(x_2 - \phi_{22} p_2) + U_2 \cdot \phi_{32} \cdot \delta(x_2 - \phi_{32} p_3) + U_2 \cdot \phi_{42} \cdot \delta(x_2 - \phi_{42} p_4)], i_2 \\
& +\mu[U_2 \cdot \phi_{11} \cdot \delta(x_1 - \phi_{11} p_1) + U_2 \cdot \phi_{21} \cdot \delta(x_1 - \phi_{21} p_2) + U_2 \cdot \phi_{31} \cdot \delta(x_1 - \phi_{31} p_3) + U_2 \cdot \phi_{41} \cdot \delta(x_1 - \phi_{41} p_4)], i_1 \\
& +\mu[U_2 \cdot \phi_{12} \cdot \delta(x_2 - \phi_{12} p_1) + U_2 \cdot \phi_{22} \cdot \delta(x_2 - \phi_{22} p_2) + U_2 \cdot \phi_{32} \cdot \delta(x_2 - \phi_{32} p_3) + U_2 \cdot \phi_{42} \cdot \delta(x_2 - \phi_{42} p_4)], i_2
\end{aligned} \tag{4}$$

где:

\bar{n}_n – вектор нормали границей от центра тяжести на границу -п;

θ_n – угол поворота границы-п от оси x_1 против часовой стрелки;

Обозначим:

$\phi_{n1} = \cos(\bar{n}_n \cdot x_1) = \cos(\theta_n - 90^\circ)$; и $\phi_{n2} = \cos(\bar{n}_n \cdot x_2) = \cos(\theta_n - 180^\circ)$;

$(\bar{n}_n \cdot x_1)$ – угол между нормалью границы-п и осью x_1 , и $(\bar{n}_n \cdot x_1) = \theta_n - 90^\circ$;

$(\bar{n}_n \cdot x_2)$ – угол между нормалью границы-п и осью x_2 , и $(\bar{n}_n \cdot x_2) = \theta_n - 180^\circ$;

ϕ_{n1} и ϕ_{n2} – коэффициенты, определяющие знак и компонент вектора для члена уравнения и дельта-функции - δ ;

K_{n1} – коэффициент, определяющий знак члена уравнения для границы-п при определении нормальных напряжений на границе-п по оси x_1 ;

$$K_{n1} = \frac{\cos(\bar{n}_n \cdot x_1)}{|\cos(\bar{n}_n \cdot x_1)|} = \frac{\phi_{n1}}{|\phi_{n1}|} = \frac{\cos(\theta_n - 90^\circ)}{|\cos(\theta_n - 90^\circ)|}; \tag{5}$$

K_{n2} – коэффициент, определяющий знак члена уравнения для границы-п при определении нормальных напряжений на границе-п по оси x_2 ;

$$K_{n2} = \frac{\cos(\bar{n}_n \cdot x_2)}{|\cos(\bar{n}_n \cdot x_2)|} = \frac{\phi_{n2}}{|\phi_{n2}|} = \frac{\cos(\theta_n - 180^\circ)}{|\cos(\theta_n - 180^\circ)|};$$

S_{n1} – коэффициент, определяющий знак и вектор для кажущихся напряжений для границы- n по оси x_1 ;

S_{n2} – коэффициент, определяющий знак и вектор для кажущихся напряжений для границы- n по оси x_2 ;

$$S_{n1} = \cos(\bar{n}_n \cdot x_1) \cdot |\cos(\bar{n}_n \cdot x_1)| = \cos(\theta_n - 90^\circ) \cdot |\cos(\theta_n - 90^\circ)|;$$

$$S_{n2} = \cos(\bar{n}_n \cdot x_2) \cdot |\cos(\bar{n}_n \cdot x_2)| = \cos(\theta_n - 180^\circ) \cdot |\cos(\theta_n - 180^\circ)|;$$

$$n = 1, 2, 3, 4;$$

Для изображений Фурье функций $\sigma_{ij}, U_j, F_j, \tau_j$ введем обозначения $\bar{\sigma}_{ij}, \bar{U}_j, \bar{F}_j, \bar{\tau}_j$ и применим преобразование Фурье к обеим частям уравнений (4 и 5). После этого изображения Фурье обобщенной нагрузки X_1 и X_2 можно представить в виде:

$$\begin{aligned} \bar{X}_1 = & -\bar{F}_1 + \\ & + [\tilde{\sigma}_1 \cdot K_{11} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{11} P_1} + \tilde{\sigma}_2 \cdot K_{21} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{21} P_2} + \tilde{\sigma}_3 \cdot K_{31} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{31} P_3} + \tilde{\sigma}_4 \cdot K_{41} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{41} P_4}] \\ & + [\tilde{\tau}_1 \cdot S_{12} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{12} P_1} + \tilde{\tau}_2 \cdot S_{22} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{22} P_2} + \tilde{\tau}_3 \cdot S_{32} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{32} P_3} + \tilde{\tau}_4 \cdot S_{42} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{42} P_4}] \\ & - (\lambda + 2\mu)(iv_1) [\bar{U}_1 \cdot \phi_{11} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{11} P_1} + \bar{U}_2 \cdot \phi_{21} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{21} P_2} + \bar{U}_3 \cdot \phi_{31} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{31} P_3} + \bar{U}_4 \cdot \phi_{41} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{41} P_4}] \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} & - \lambda(iv_1) [\bar{V}_1 \cdot \phi_{12} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{12} P_1} + \bar{V}_2 \cdot \phi_{22} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{22} P_2} + \bar{V}_3 \cdot \phi_{32} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{32} P_3} + \bar{V}_4 \cdot \phi_{42} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{42} P_4}] \\ & - \mu(iv_2) [\bar{V}_1 \cdot \phi_{11} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{11} P_1} + \bar{V}_2 \cdot \phi_{21} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{21} P_2} + \bar{V}_3 \cdot \phi_{31} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{31} P_3} + \bar{V}_4 \cdot \phi_{41} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{41} P_4}] \\ & - \mu(iv_2) [\bar{U}_1 \cdot \phi_{12} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{12} P_1} + \bar{U}_2 \cdot \phi_{22} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{22} P_2} + \bar{U}_3 \cdot \phi_{32} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{32} P_3} + \bar{U}_4 \cdot \phi_{42} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{42} P_4}] \\ \bar{X}_2 = & -\bar{F}_2 + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & + [\tilde{\tau}_1 \cdot S_{11} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{11} P_1} + \tilde{\tau}_2 \cdot S_{21} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{21} P_2} + \tilde{\tau}_3 \cdot S_{31} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{31} P_3} + \tilde{\tau}_4 \cdot S_{41} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{41} P_4}] \\ & + [\tilde{\sigma}_1 \cdot K_{12} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{12} P_1} + \tilde{\sigma}_2 \cdot K_{22} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{22} P_2} + \tilde{\sigma}_3 \cdot K_{32} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{32} P_3} + \tilde{\sigma}_4 \cdot K_{42} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{42} P_4}] \\ & - \lambda(iv_2) [\bar{U}_1 \cdot \phi_{11} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{11} P_1} + \bar{U}_2 \cdot \phi_{21} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{21} P_2} + \bar{U}_3 \cdot \phi_{31} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{31} P_3} + \bar{U}_4 \cdot \phi_{41} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{41} P_4}] \\ & - (\lambda + 2\mu)(iv_2) [\bar{V}_1 \cdot \phi_{12} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{12} P_1} + \bar{V}_2 \cdot \phi_{22} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{22} P_2} + \bar{V}_3 \cdot \phi_{32} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{32} P_3} + \bar{V}_4 \cdot \phi_{42} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{42} P_4}] \\ & - \mu(iv_1) [\bar{U}_1 \cdot \phi_{12} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{12} P_1} + \bar{U}_2 \cdot \phi_{22} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{22} P_2} + \bar{U}_3 \cdot \phi_{32} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{32} P_3} + \bar{U}_4 \cdot \phi_{42} \cdot e^{iv_2 \cdot \phi_{42} P_4}] \\ & - \mu(iv_1) [\bar{V}_1 \cdot \phi_{11} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{11} P_1} + \bar{V}_2 \cdot \phi_{21} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{21} P_2} + \bar{V}_3 \cdot \phi_{31} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{31} P_3} + \bar{V}_4 \cdot \phi_{41} \cdot e^{iv_1 \cdot \phi_{41} P_4}] \end{aligned} \quad (7)$$

Здесь v_1 и v_2 – переменные преобразования Фурье по осям x_1 и x_2 ; номера 1,2,3,4 обозначены стороны четырехсторонника. Для каждой из сторон необходимо найти четыре граничные функции U, V, σ, τ , зависящие от одной переменной v_1 и v_2 . Внешние воздействия предполагается гармоническим, поэтому начальные и конечные условия в уравнения (6 и 7) не входят.

Система уравнения в развернутом виде имеет вид:

$$\begin{aligned} (-\omega^2\eta^2 + \eta^2v_1^2 + v_2^2)\tilde{U}_1 + (\eta^2 - 1)v_2v_1\tilde{U}_2 &= \frac{\tilde{X}_1}{\mu}; \\ (\eta^2 - 1)v_2v_1\tilde{U}_1 + (-\omega^2\eta^2 + v_1^2 + \eta^2v_2^2)\tilde{U}_2 &= \frac{\tilde{X}_2}{\mu}; \end{aligned} \quad (8)$$

Построение матрицы системы уравнений для граничных функций плоского четырехстороннего элемента. Все функции, входящие в левые и правые части уравнений (8) целые, поэтому их можно представить в виде сходящихся степенных рядов. Приравнивая левые и правые части уравнений (8):

При $v_1 = 0$, получим:

$$\begin{aligned} (-\omega^2\eta^2 + v_2^2)\tilde{U}_1(0, v_2) &= \frac{\tilde{X}_1(0, v_2)}{\mu}; \\ \eta^2(-\omega^2 + v_2^2)\tilde{U}_2(0, v_2) &= \frac{\tilde{X}_2(0, v_2)}{\mu}; \end{aligned} \quad (9)$$

При $v_2 = 0$, получим:

$$\begin{aligned} \eta^2(-\omega^2 + v_1^2)\tilde{U}_1(v_1, 0) &= \frac{\tilde{X}_1(v_1, 0)}{\mu}; \\ (-\omega^2\eta^2 + v_1^2)\tilde{U}_2(v_1, 0) &= \frac{\tilde{X}_2(v_1, 0)}{\mu}; \end{aligned} \quad (10)$$

Список литературы

1. Курбацкий Е. Н. Метод решения задач строительной механики и теории упругости, основанный на свойствах изображений Фурье финитных функций : дис. ... д-ра тех. наук. М., 1995. 205 с.
2. Владимиров В. С., Обобщенные функции в математической физике. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит, 1979. 320 с.
3. Гельфанд И. М., Шилов Г. Е. Обобщенные функции и действия над ними. Вып. 1. М. Физматгиз, 1958.
4. Земаян А. Г. Интегральные преобразования обобщенных функций. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. 400 с.
5. Купчикова Н. В. Учет сдвиговых деформаций свайных фундаментов с усиливающими элементами // Строительная механика и расчет сооружений. 2014. № 3 (254). С. 17–22.
6. Купчикова Н. В. Определение коэффициента постели по деформации свободного конца сваи с использованием методики дискретного преобразования Фурье // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2013. № 1 (73). Т. 4. С. 206–209.
7. Винер Н., Пэли Р. Преобразование Фурье в комплексной области. М. : Наука, 1964.
8. Хургин Я. И., Яковлев В. П. финитные функции в физике и технике. М. : Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит., 1971. 408 с.
9. Курбацкий Е. Н. Реализация дискретного преобразования Фурье при решении краевых задач теории упругости : Деп. в ВИНТИ 13.04.87, № 3267-В87.