

А. С. Моргун, д. т. н., проф.; А. Д. Балатюк

УСТОЙЧИВОСТЬ ПОДПОРНЫХ СТЕНОК ПО МГЭ

Приведены материалы по определению активного давления грунта на ограждения, вычислены нахождение давления грунта на подпорную стенку, вектор напряжений и определена величина горизонтальных перемещений боковой поверхности подпорной стенки. Выполнен сравнительный анализ расчетов с экспериментальными исследованиями.

Ключевые слова: подпорная стенка, давление грунта, метод граничных элементов.

Введение

Давление грунта на подпорные сооружения зависит от сопротивления сдвига поддерживаемых ими масс грунта. Сопротивление почвы смещения зачастую является основным фактором, определяющим поведение грунта под нагрузкой, потому что он обуславливает точность инженерных расчетов при определении предельной нагрузки на грунт, устойчивость массивов грунта, давление на ограждение. Это переменная величина, которая зависит от величины давления и условий в точках контакта частиц, оказывающих сопротивление сдвигу. В практике проектирования рассматривают предельное сопротивление грунтов сдвигу.

В прикладных задачах механики грунтов активное давление грунта на ограждения определяют по методам предельных состояний. Классические теории давления грунта основаны на факте мобилизации активного и пассивного давлений грунта, которые в действительности возникают только в случае полного разрушения. Возникает необходимость в поиске моделей грунта, которые отражали бы множество его реальных свойств.

В статье поставлена задача наработки методики определения внешней горизонтальной нагрузки на подпорную стенку, превышение которой приводит к нарушению внутренних связей между частями почвы и вызывает скольжения и смещения.

Постановка задачи

Почвам свойственно непрерывное перегруппирование их частиц из-за воздействия поверхностных и объемных сил, поэтому одна из основных задач прикладной геомеханики – количественное прогнозирование механизма течения геомеханических процессов путем математического моделирования.

Для решения поставленной задачи проведена числовая реализация по МГЭ расчетного интегрального уравнения, которое связывает напряжения и деформации на границе подпорной стенки с грунтом [1].

$$C_{ij}(\zeta)U_j(\zeta) + \int_i p_{ij}^*(\zeta, x)U_j(x)d\Gamma(x) = \int_i U_{ij}^*(\zeta, x)p_j(x)d\Gamma(x), \quad (1)$$

где $p_j(x)$ – искомый вектор напряжений на границе объекта; $U_j(\zeta)$ – заданный вектор перемещений на границе объекта; $p_{ij}^*(\zeta, x)$, $U_{ij}^*(\zeta, x)$ – фундаментальные функции Р. Миндлина для напряжений и перемещений.

Для численной реализации по МГЭ задачи нахождения давления грунта (в данном случае песка) на подпорную стенку (рис. 1) боковую поверхность и подошву подпорной стенки на рис. 1 разбивали каждую на 5 граничных элементов (ГЭ), по длине стенки взято 6 ГЭ. Напряженное состояние (τ_s , τ_r , σ_l) определялось в средних узлах каждого ГЭ по длине и

аппроксимировалось линейной зависимостью.

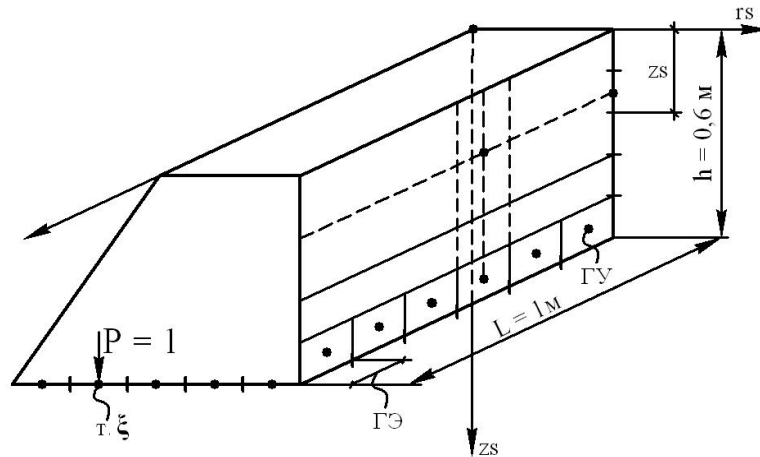


Рис. 1. Дискретизация подпорной стенки предельными элементами

Матричная запись расчетного уравнения:

$$K\vec{Y} = F, \quad (2)$$

где $\vec{Y} = \begin{bmatrix} \tau_s \\ \tau_r \\ \sigma_l \end{bmatrix}$ – вектор искомых усилий (τ_s – касательные напряжения в граничных узлах (ГУ) боковой поверхности, τ_r – радиальные напряжения в ГУ боковой поверхности; σ_l – нормальные напряжения в ГЭ подошвы подпорной стенки) F – вектор перемещений, вертикальных и горизонтальных; K – матрица влияния МГЭ, составленная из фундаментальных решений Р. Миндлина [1, 2] для упругой полуплоскости:

$$K = \begin{bmatrix} k_{ss} & k_{rs} & k_{bs} \\ k_{sr} & k_{rr} & k_{br} \\ k_{sb} & k_{rb} & k_{bb} \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Составляющие матрицы K : перемещение узлов боковой поверхности и подошвы от воздействия касательных τ_s , радиальных τ_r напряжений боковой поверхности и нормальных σ_l напряжений подошвы.

Двойное интегрирование найденных из системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) (2) величин радиальных напряжений τ_r по боковой поверхности подпорной стенки составляло величину активного давления грунта на подпорную стенку. Необходимую в формуле (2) величину горизонтальных перемещений боковой поверхности подпорной стенки определяют из следующих соображений [3]: если стена неподвижная, оползни за подпорной стенкой невозможны; боковое давление грунта на стенку должно зависеть только от упругих свойств скелета грунта, которые ограничиваются практически для всех почв ≈ 10 кПа.

Рассчитанный из (2) вектор напряжений $\vec{Y}$ сравнивали с величиной упругих напряжений грунта (8 – 12 кПа), что давало возможность определить величины соответствующих горизонтальных перемещений, после этого определяли максимальную величину активного давления грунта на подпорную стенку. Физико-механические свойства грунтов (E , ν , c), которые количественно измеряют реакцию (отклик) почвы на внешние воздействия, были входными параметрами модели. В работе проведен расчет по МГЭ бокового давления мелкого песка (размер зерен менее 0,25 мм) со следующими физико-механическими

показателями: удельное сцепление грунта ($c = 3$ кПа), коэффициент Пуассона ($\nu = 0,3$), модуль деформации ($E = 18$ МПа) на стенку $L = 1$ м, высотой $h = 0,6$ м (рис. 1). Вектор радиальных напряжений в граничных узлах боковой поверхности составил $\tau_r = \{4,11$ кПа, $3,92$ кПа, $4,85$ кПа, $2,51$ кПа, $8,17$ кПа $\}$. Интегрирование по боковой поверхности определило величину активного давления $E_a = 2,828$ кПа. С целью проверки достоверности полученных результатов данные численного расчета по МГЭ сравнивали с экспериментальными исследованиями И. В. Яропольского [4], который отметил, что давление грунта на подпорные стенки зависит от величины перемещения стенки (рис. 2).

Когда перемещения стенки превышают средний размер диаметра зерен грунта ($w > 0,2$ мм) возникает смещение частиц почвы. Для состояния покоя ($w < 0,2$ мм) величина активного давления составила $2,8$ кН.

Рассчитанное, по действующим нормативным документам активное давление грунта на 1 погонный метр длины подпорной стенки составляет $2,828$ кН [5].

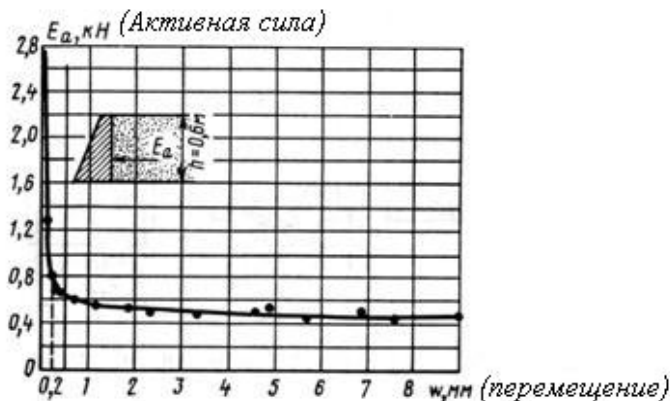


Рис. 2. Результаты экспериментальных исследований И. В. Яропольского, определение зависимости активного давления от перемещения подпорной стенки

Выводы

Наработана по МГЭ методика определения активного давления грунта на ограждения, которая соответствует экспериментальным исследованиям И. В. Яропольского $E_a = 2,8$ кН на момент исчерпания упругих свойств скелета грунта и расчетам по нормативным документам ($E_a = 2,828$ кН) (ДБН В.2.1- 10-2009).

Предложенная математическая модель позволяет с достаточной для практики точностью определить боковое давление грунта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бреббия К. Методы граничных элементов / Бреббия К., Теллес Ж., Вроубел Л. — М. : «Мир», 1987. — 525 с.
2. Моргун А. С. Метод граничних елементів в розрахунках паль / А. С. Моргун. — Вінниця: Універсум Вінниця, 2000 — 130 с.
3. Соколовский В. В. Статика сыпучей среды / В. В. Соколовский. — М. : «Высшая школа », 1960. — 241 с.
4. Цитович Н. А. Механика грунтов / Н. А. Цитович. — М. : «Высшая школа », 1983. — 288 с.
5. Моргун А. С. Порівняння розрахункових та експериментальних даних визначення бокового тиску ґрунту на огорожі / А. С. Моргун, А. Д. Балатюк // Вінниця: Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. — 2011. — №2 — С. 50 — 53.

Моргун Алла Серафимовна — д. т. н., профессор кафедры промышленного и гражданского строительства.

Балатюк Анатолий Дмитриевич — магистрант кафедры промышленного и гражданского строительства.

Винницкий национальный технический университет.