

ПРОГНОЗУВАННЯ ЗА МЕТОДОМ ГРАНИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ НЕСУЧОЇ  
СПРОМОЖНОСТІ ВИСЯЧИХ ПАЛІ

Вінницький національний технічний університет

**Анотація.** Основною задачею при проектуванні будівельних споруд є задача забезпечення їх достатньою ступеню надійності та визначення і забезпечення їх несучої спроможності.

Головною проблемою механіки ґрунтів і натеper залишається вибір адекватної теоретичної моделі розрахунку. Дійсно, деформування дисперсного гранульованого матеріалу ґрунту проходить при взаємному проковзуванні зерен, реологія ґрунту складна, про це свідчить великий експериментальний матеріал. В роботі за числовим методом граничних елементів прораховано поведінку висячої палі С10-40, рис.1, L=10 м.

**Ключові слова:** напружено-деформований стан, висячі палі, числовий метод граничних елементів.

**Abstract.** The main task in the design of building structures is the task of ensuring their sufficient degree of reliability and determining and ensuring their bearing capacity.

The selection of an adequate theoretical calculation model remains the main problem of soil mechanics. Indeed, the deformation of the dispersed granular material of the soil takes place during the mutual sliding of the grains, the rheology of the soil is complex, as evidenced by a large amount of experimental material. In the paper, the behavior of the hanging pile С10-40, Fig. 1, L=10 m was calculated using the numerical method of boundary elements.

**Key words:** stress-strain state, hanging piles, numerical method of boundary elements.

Мінливість процесу деформування ґрунту фундаменту споруди в роботі досліджено чисельним МГЕ за дилатансійною математичною моделлю [2,4]. Основні рівняння теорії пружності, які описують поведінку фундаментної конструкції – палі в ґрунті, в МГЕ зведено до інтегрального рівняння, отриманого К. Бреббія, Ж. Теллесом [1]:

$$c_{ij} \cdot u_j + \int_{\Gamma} p^*_{ij} u_{ij} d\Gamma = \int_{\Gamma} u_{ij}^* p_i d\Gamma + \int_{\Omega} \sigma^*_{jk} \varepsilon_{jk}^p d\Omega, \quad (1)$$

де  $u$  – заданий вектор переміщень на границі палі;  $p$  – вектор напруг на границі палі, який треба знайти;  $u^*$ ,  $p^*$ ,  $\sigma^*$  – ядра граничного рівняння – рішення Р. Мінділіна при  $P=1$  у півпросторі для переміщень, напруг і похідних від напруг;  $C_{ij}$  – матриця, визначена з умов руху тіла як цілого;  $\Gamma$ ,  $\xi$ ,  $x$  – відповідно: границя, точка прикладання  $P=1$ , точка спостереження.

Розв'язок нелінійної задачі геомеханіки тісно пов'язаний з дослідженням напружено-деформованого стану (НДС) ґрунту й зустрічається із труднощами десперстності ґрунту й великої кількості факторів, що впливають на їх поведінку. Визначення несучої здатності палі С10-40 в роботі проведено з урахуванням наявності областей граничного стану дисперсного ґрунту, які розвиваються під навантаженнями. Деформація дисперсних середовищ (до яких відноситься ґрунт) здійснюється при дислокації твердих частинок в поровий простір, що неминуче приводить до одночасової зміни об'єму та форми. Поведінку ґрунту в пластичній стадії описано теорією пластичної течії. Для врахування дисипативних ефектів ґрунту до рівняння (1) додавалися :

а) – критерій переходу в пластичний стан – умова пластичності Мізеса – Губера – Боткіна (припускає руйнування по октаедричних площадках):

$$f = \begin{cases} T + \sigma_m \operatorname{tg} \psi - \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_m \leq p_0 \\ T + \rho_0 \operatorname{tg} \psi - \tau_s = 0 & \text{при } \sigma_m > p_0 \end{cases}, \quad (2)$$

б) – фізичні рівняння – залежність між напругами й деформаціями для пластичного стану ґрунту – неасоційований закон пластичної течії:

$$d\varepsilon_{ij}^p = \frac{\partial E}{\partial \sigma_{ij}}, F \neq f, \quad (3)$$

Рішення крайової задачі проведено в покроковій постановці.

Розглянута змішана задача, яка має задовольняти в пружній і пластичній областях одним і тим же рівнянням рівноваги, геометричним рівнянням, але різним в цих областях фізичним рівнянням (умові текучості в пластичній області) та відповідним граничним умовам.

Середньозважені фізико-механічні характеристики різновидів непросадкових суглинків та глин будівельного майданчика наступні:

$$E=16900 \text{ КПа}, \quad \nu=0.38, \quad c=38.42 \text{ КПа}, \quad \varphi=0.32 \text{ радіан}, \quad \rho=1.894 \text{ т/м}^3, \\ \rho_{\min} = 1.818 \text{ т/м}^3, \quad \rho_{\max} = 2.03 \text{ т/м}^3, \quad p_0=1790 \text{ КПа}.$$

Результати числових досліджень за МГЕ та дискретизацію активної зони подано на рис.1.

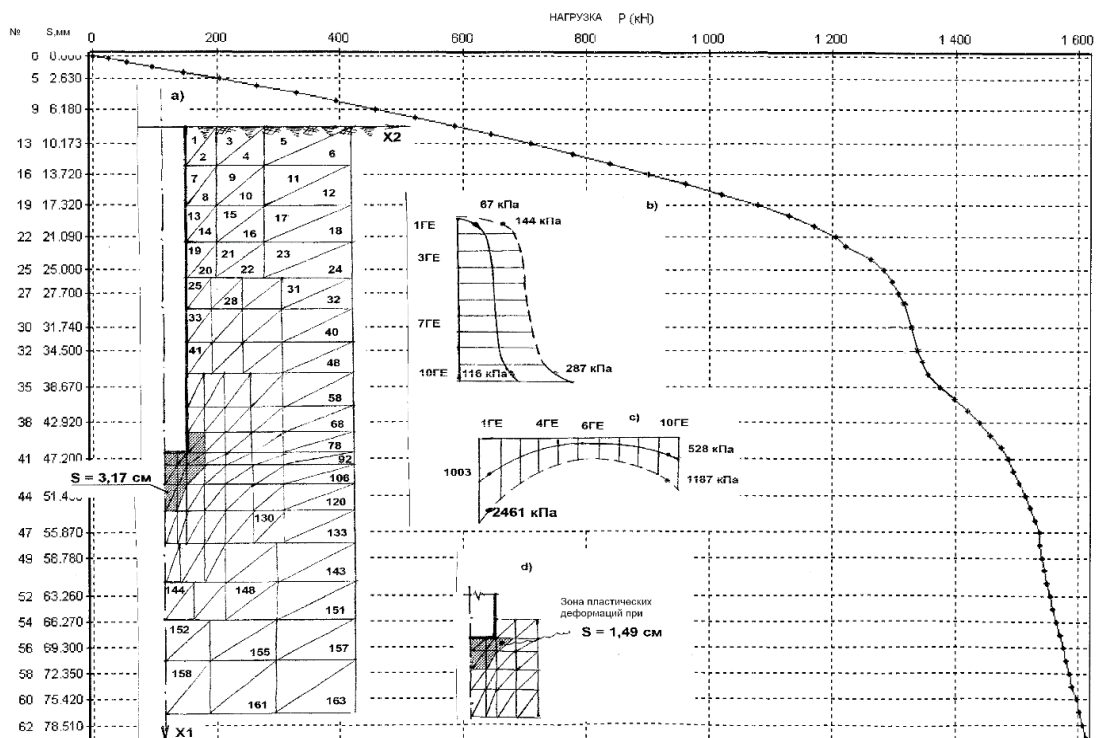


Рис.1. Графік «навантаження – осідання» роботи палі С10-40; а)– схема дискретизації активної зони висячої палі L=10 м; в) епюри дотичних напружень по бокові поверхні; с) епюри нормальних напружень по вістрі палі; д) зона пластичних деформацій при S=1.49 см.

Згідно даних експериментальних досліджень несуча спроможність висячої палі С10-40 при  $s=8$  см склала 1680 кН, числові дослідження за МГЕ – 1607 кН.

### Висновки

1. Точність діагностування несучої здатності палі С10-40 методом граничних елементів і експериментом 7 % , що є прийнятним для практичного проектування.
2. В умовах експлуатації робота ґрунту в основах носить пружньо-пластичний характер, що приводить до нелінійної залежності графіка “навантаження - осідання” .
3. Графік “навантаження - осідання” показує наявність резервів, які не використовуються при проектуванні фундаментів згідно діючих норм в рамках лінійної їх роботи. Пружній розрахунок дає занижене значення корисного навантаження.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Бреббия К, Теллес Ж, Вроубел Л. Методы граничных элементов. М: Мир, 1987.
2. Бойко И.П. Теоретические основы проектирования свайных фундаментов на упругопластическом основании./И.П. Бойко. Сб. КИСИ. «Основания и фундаменты». – 1985. - №18, С. 11-18.
3. Моргун А.С. Теорія пластичної течії в механіці ґрунтів./ А.С. Моргун – Вінниця, ВНТУ. – 2013 – 108с.
4. Николаевский В. Н. Современные проблемы механики грунтов // Определяющие законы механики грунтов / В.Н. Николаевский. – М.: Стройиздат, 1975 – С. 210 – 227.

### Відомості про авторів

**Моргун Алла Серафимівна** – професор кафедри будівництва, міського господарства та архітектури; Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця, e-mail: [alla@morgun.com.ua](mailto:alla@morgun.com.ua)

**Кричківський Ярослав Олександрович** – магістр кафедри будівництва, міського господарства та архітектури ФБЦЕІ ВНТУ