

ПРО НЕОБХІДНІСТЬ СТВОРЕННЯ МОДЕЛЕЙ НАПРУЖЕНОГО СТАНУ ҐРУНТУ ПОБЛИЗУ ВИСОТНОЇ БУДІВЛІ

Розглянуто відомі моделі визначення напружено-деформованого стану ґрунту поблизу фундаменту будівлі. Виявлено особливості впливу висотної споруди на ґрунт. Дано обґрунтування необхідності та послідовності створення моделей напружено-деформованого стану ґрунту поблизу висотної споруди

Постановка проблеми. Висотне будівництво, особливо у великих містах, є одним з перспективних напрямків розвитку будівельної галузі. Зокрема в Києві холдинговою компанією «Київміськбуд» в мікрорайоні Осокорки-7 вже збудовано перший вітчизняний хмарочос, який має висоту понад 100 метрів, для чого були розроблені окремі технічні умови. Також в Києві на вулиці Глибочицькій московською корпорацією «Міракс груп» розпочалось будівництво 170-метрового хмарочосу, який матиме 44 поверхи, а на даху – злітно-посадковий майданчик для гелікоптера. У найближчі 2–3 роки у Києві планується розпочати зведення близько двадцяти висотних споруд, які матимуть від 50 до 200 поверхів. Такий стрімкий розвиток висотного будівництва в найближчому майбутньому пояснюється збільшенням дефіциту землі, її дорожчанням.

Але в Україні зведення хмарочосів здійснюється достатньо повільно, що пов'язано, головним чином, з фактичною відсутністю нормативної бази, яка б регламентувала процес висотного будівництва. Крім того, особливість зведення висотних будинків в Україні полягає в тому, що більшість в ній складають лесові ґрунти, які схильні до просідання при підвищенні вологовмісту. Якщо також взяти до уваги те, що, за оцінками спеціалістів, близько 30 % води з трубопроводів внаслідок їх зношеності потрапляє в ґрунт, а також значно більшу вагу висотної будівлі, то становиться очевидним, що висотна споруда є об'єктом підвищеної небезпеки, нехтування якою може призвести не тільки до значних пошкоджень висотної будівлі, а і до руйнувань, і навіть до людських жертв. Таким чином, однією з головних небезпек висотного будівництва є забезпечення стійкості висотної будівлі, яка визначається положенням її фундаменту в просторі не тільки в період будівництва, а й протягом часу її подальшої експлуатації [1, 2]. Для цього необхідно мати картину напружень в ґрунті поблизу фундаменту висотної будівлі. Це є досить складною задачею, оскільки напруження в ґрунті залежать від багатьох факторів (висоти будівлі, фундаменту, механічних, фізичних та реологічних властивостей ґрунту, його вологовмісту, рельєфу місцевості, інших наземних і підземних будівель). Особливості ґрунту, як деформованого тіла, проявляються вже при відриві котловану. Ґрунт при цьому розвантажується і дно котловану піднімається. При повторному навантаженні, величина якого значно перевищує природне, ґрунт різко змінює свої деформаційні характеристики. Наприклад, для природного навантаження і за умов, коли навантаження на ґрунт значно перевищує природне, модуль деформації відрізняється в 10 разів.

На рис. 1 представлено вплив основних факторів, які необхідно враховувати при визначенні напруженого стану ґрунту поблизу фундаменту висотної будівлі. Серед них найважливішими є механічні властивості ґрунтів, особливо посадочних, їх вологовміст та вітрове навантаження. В сучасних дослідженнях досить ґрунтовно висвітлено вплив просадочності ґрунту, його вологовмісту, типу фундаменту, наявності інших підземних та наземних будівель, зміни аеродинамічних характеристик вітрового потоку. Але у випадку зведення висотної споруди тиск від фундаменту на ґрунт буде збільшено мінімум на порядок, що може створити небезпеку стійкості висотної будівлі. Крім того, для висотних будівель значно зростає значення такого фактора, як вітрове навантаження, яке може спричинити нерівномірність розподілення ваги висотної будівлі по площині фундаменту, а також викликати циклічні навантаження. Очевидно, що після зведення висотної будівлі необхідно здійснювати моніторинг просадки фундаменту і відхилення самої висотної споруди від вертикалі.

Таким чином, картину дійсних напружень в ґрунті необхідно мати на таких етапах:

- перед початком будівництва;
- після відриву котловану;
- в процесі будівництва до моменту досягнення напружень від фундаменту величини природних;
- в процесі зведення висотної будівлі;
- в процесі експлуатації висотної будівлі.

Важливим питанням створення і використання моделей є їх точність, яка багато в чому залежить від кількості врахованих чинників.

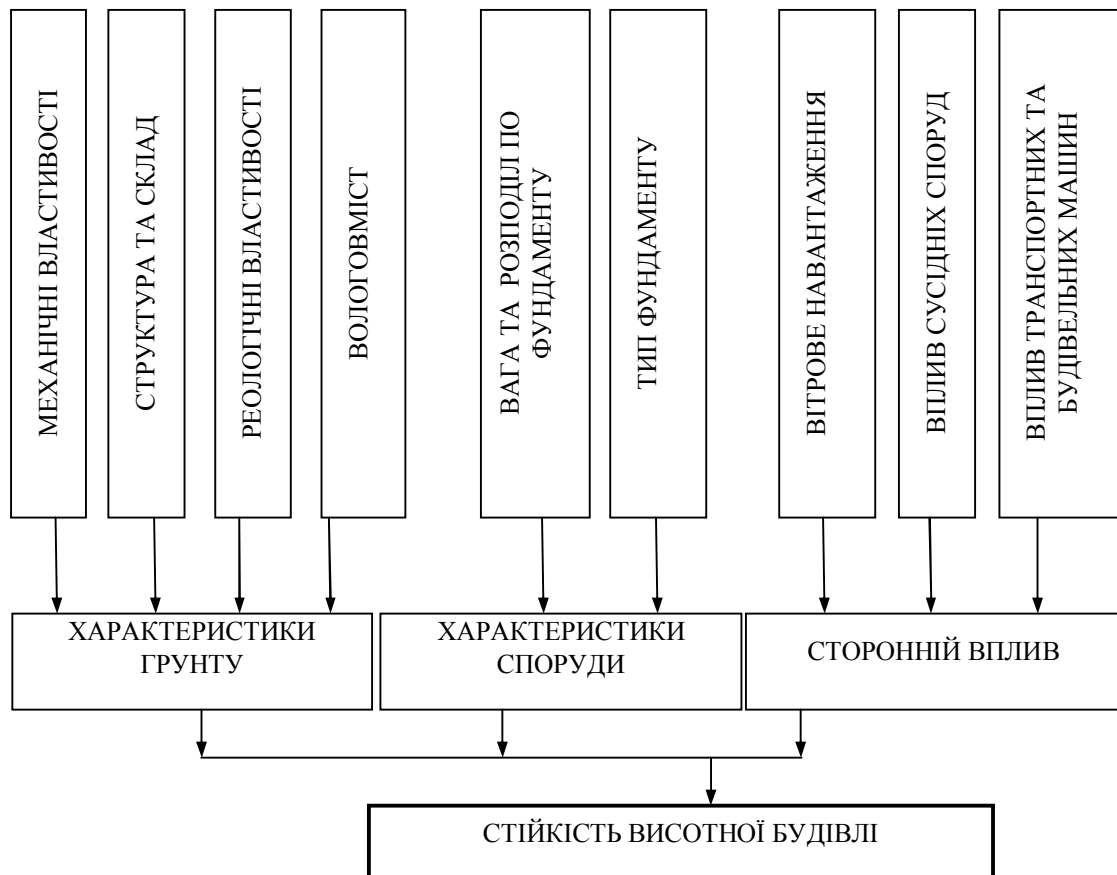


Рис. 1. Вплив факторів на стійкість висотної будівлі

Аналіз останніх досліджень і публікацій. При зведенні висотних споруд виникають архітектурні питання (розташування поруч 5–14-поверхових будівель, пам'яток архітектури), так і проблеми екології (затемнення територій, зміна їх аеродинамічного режиму). Крім того, як було сказано вище, для висотних будівель зростає роль вітрового навантаження та вплив просадочності ґрунтів на переміщення фундаменту. Ці проблеми для будівель, які мають висоту значно меншу за 100 метрів, досить ґрунтовно висвітлено у сучасних дослідженнях. В них при зведенні будівель на посадочних ґрунтах розглядається застосування буронабивних свай [3, 4]. При розгляді впливу вітрового навантаження досліджується виникнення вимушених коливань будівлі та поява тріщин втоми в металевих конструкціях [5–7]. Але чи не найважливішим є те, що вплив вітрового навантаження, як і інших вказаних факторів, проявляється в переміщенні фундаменту будівлі, тобто впливає на її стійкість. Особливо це стосується висотних споруд, які здійснюють набагато більший тиск на ґрунт ніж 5-, 10- і навіть 14-поверхові будинки. Слід відмітити появу останнім часом публікацій, присвячених впливу вітрового навантаження саме на висотні споруди, висота яких є більшою за 100 метрів [8, 9].

Розглянемо основні відомі моделі напруженого стану ґрунту поблизу фундаменту будівлі. Найпростішим представленням впливу фундаменту будівлі на ґрунт є дія вертикальної зосередженої сили, прикладеної до поверхні лінійно-деформованого напівпростору. Розв'язок цієї задачі у курсах теорії пружності [10, 11] і в монографіях з механіки ґрунтів (12–14):

$$\sigma_R = f(N, R, \beta), \quad (1)$$

де N – вертикальна сила, прикладена до напівпростору; R – відстань від точки, в якій прикладена вертикальна сила, до точки, в якій вимірюються напруження; β – кут між вертикаллю і прямою, що проходить через точку, в якій прикладена вертикальна сила, і точку, в якій вимірюються напруження (рис. 2).

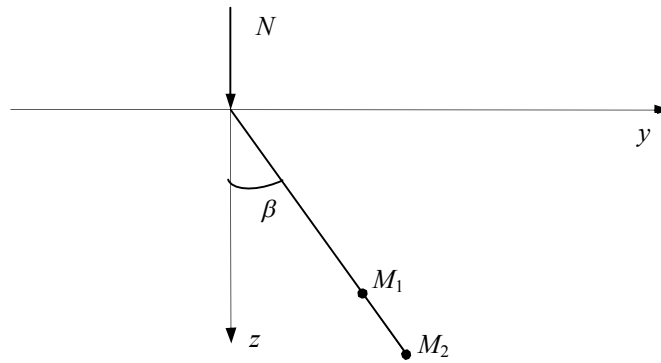


Рис. 2. Дія зосередженої сили на поверхню лінійно-деформованого напівпростору [11]

Для глибоких фундаментів, очевидно, більш точною є схема навантаження, коли зосереджена сила діє у внутрішній області напівпростору. Тут напруження, які діють вздовж вертикальної осі, визначаються [12]:

$$\sigma_{zd} = f(k_d, N, d), \tag{2}$$

де k_d – коефіцієнт, який визначається співвідношенням z/d і r/d ; z – глибина від поверхні землі до точки, що розглядається; r – відстань від точки, що розглядається, до осі z ; d – глибина розташування точки, в якій прикладено зосереджену силу N .

Більш складною є задача про дію на напівпростір зосередженої сили, прикладеної нормально до площини, яка обмежує напівпростір (рис. 3, а) – задача Буссінеска.

Повне напруження p (геометрична сила напружень σ_z і τ_{zr}), що діє на горизонтальну ділянку в меридіанній площині, яка проходить через вісь z , завжди направлене до точки прикладення сили (рис. 3, б) і дорівнює [15]:

$$p = f(N, d). \tag{3}$$

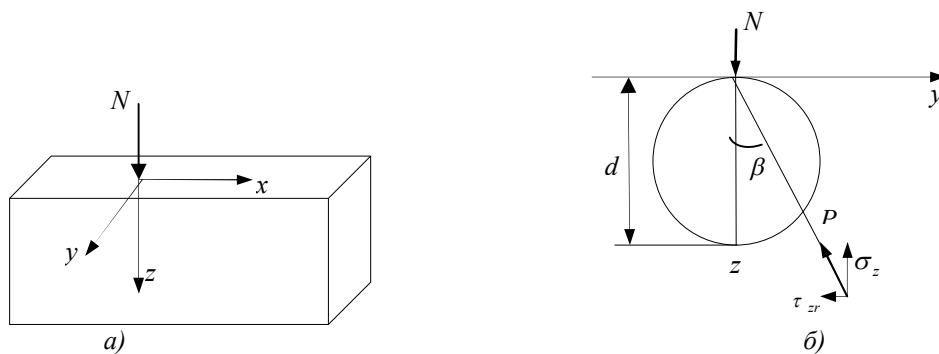


Рис. 3. Дія сили на площину, що обмежує напівпростір [15]:
а – схема навантаження, б – напрямок рівнодійної

При збільшенні відношення довжини ділянки завантаження до її ширини ($l:b \geq 10$) в задачі зі знаходження напружень в ґрунті визначають напруження σ_z , σ_y , τ_{yz} (рис. 4) [12].

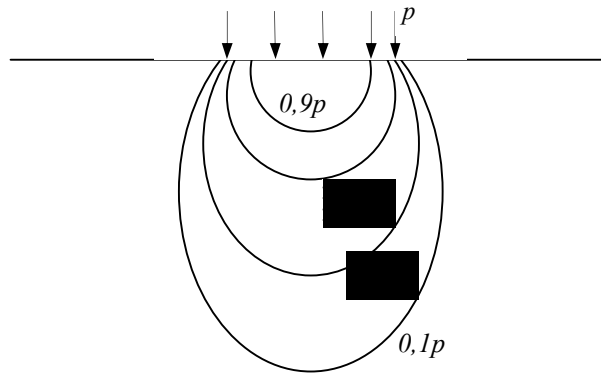


Рис. 4. Лінії рівних напружень σ_z при дії рівномірно розподіленого смугового навантаження [12]

Прикладаючи зовнішній тиск по площині, можна розглянути напруження, що виникають при дії круглого штамп. Для абсолютно жорсткого круглого штамп, на який діє рівномірно розподілене навантаження, теорія лінійно-деформованого середовища пропонує вертикальні напруження за таким виразом (рис. 5) [14]:

$$\sigma_z = f(N, r, R), \tag{4}$$

де N – середнє значення тиску по підшві штамп; R – радіус штамп; r – відстань від центра штамп до точки, в якій розглядаються напруження.

Мінімальне значення

$$\sigma_z = \frac{N}{2} \tag{5}$$

буде при $r = 0$, а максимальне – при $r = R$, коли теоретичні напруження прямують до нескінченності. У випадку абсолютно гнучкого фундаменту підшва споруди переміщується відповідно деформації поверхні навантаженого масиву. У випадку рівномірного навантаження (рис. 5, б) [14] найбільші вертикальні напруженні виникнуть під центром завантаженої ділянки, внаслідок чого найбільші осідання будуть спостерігатись в центрі.

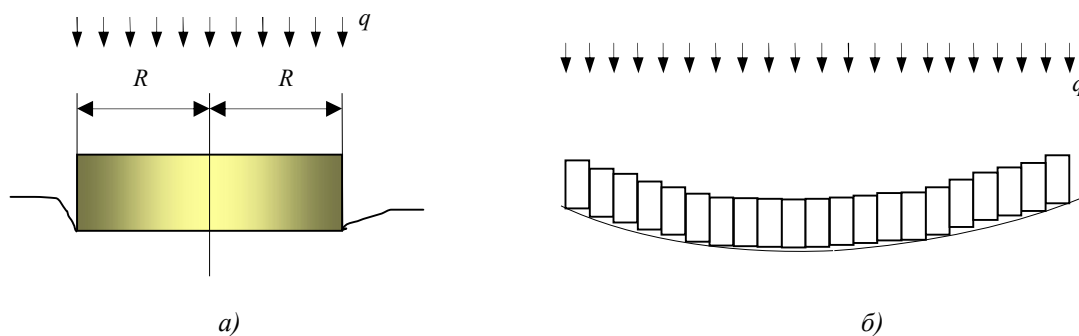


Рис. 5. Деформації поверхні ґрунту при дії рівномірно розподіленого навантаження: а – жорсткий круглий штамп, б – гнучкий фундамент [14]

Очевидно, що у випадку зведення висотних споруд наведені моделі потребують суттєвого уточнення. По-перше, необхідно враховувати значну глибину фундаменту висотної будівлі (більше 6 м). Тобто, навантаження діє на ґрунт не на поверхні та півпростору, а у внутрішній його області на висоті h від границі. Враховувати величину h необхідно ще і тому, що, по-перше, міська територія характеризується високою щільністю забудови, а, по-друге, на такій глибині необхідно враховувати зміну вологовмісту, що є актуальним також через зношеність трубопроводів і, як наслідок, значні підтікання; вологовміст ґрунту може значно змінюватись з глибиною.

Виділення невіршених раніше частин проблеми. Таким чином при визначенні напруженого стану ґрунту поблизу будівлі користуються, як правило, плоскою картиною напружень, що обумовлено насамперед:

- надзвичайною складністю тримірних задач і труднощами, які зустрічаються при їх вирішенні;
- можливістю тільки наближено кількісно визначити фактори впливу на напруження в ґрунті;
- невеликими, порівняно з висотними будівлями, тисками на ґрунт, а отже збільшеною несучою його здатністю;
- збільшеною протяжністю сучасних будинків, порівняно з їх висотною та шириною, що дає можливість розглянути дію розподіленого навантаження (в протилежному випадку – дію зосередженої сили) на напівпростір у випадку плоскої задачі;
- відсутність (малий вплив), порівняно з висотними спорудами, такого фактора, як вітрове навантаження, що може сягати значних та змінних у часі і напрямку величини.

Очевидно, у випадку висотної будівлі, яка є об'єктом підвищеної небезпеки внаслідок набагато тисків на ґрунт, появи такого фактора, як вітрове навантаження, збільшення впливу на навколишні будівлі з'являється необхідність створення тримірних моделей напруженого стану ґрунту поблизу висотної будівлі, які б враховували найважливіші фактори та давали можливість прогнозування негативних явищ, пов'язаних зі стійкістю самої висотної споруди та сусідніх будівель.

Метою даної статті є визначення основних факторів, які необхідно враховувати при створенні тримірних моделей напруженого стану ґрунту поблизу фундаменту висотної будівлі, та порядок їх ускладнення, причому обрані фактори враховуються в порядку зменшення їх ролі.

Основний матеріал дослідження. Очевидно, що необхідно розглядати тримірну задачу, оскільки однією з особливостей висотних споруд є дія вітрового навантаження, яке спричиняє нерівномірний тиск як на саму висотну будівлю, так і на фундамент. Тримірна модель також дасть змогу врахувати вплив всіх навколишніх будівель, змін рельєфу, а також процесів, які відбуваються під час експлуатації висотної будівлі (зміна вологовмісту, зміна напрямків і тисків навколишніх ґрунтових масивів), прогнозувати можливі просадки, описувати напруження в елементах фундаменту. В просторовій задачі напруження в будь-якій точці ґрунту поблизу фундаменту будівлі:

$$\sigma = \sigma(x, y, z, h, E(W), \sigma^*, \tau^*, M, V, D, T, F, R, \alpha), \quad (6)$$

де x, y, z – координати точки, в якій визначаються напруження; h – глибина залягання фундаменту; $E(W)$ – модуль деформації ґрунту, який залежить від його вологовмісту; W – вологовміст ґрунту; σ^*, τ^* – відповідно нормальні і дотичні напруження, обумовлені сусідніми будівлями; M – маса висотної будівлі; V – швидкість вітрового потоку; D – динамічний вплив дорожніх і транспортних машин; F – тип фундаменту та його розміри; R – реологічні властивості ґрунту; α – нерівномірність розподілення ваги будівлі по фундаменту будівлі, обумовлена особливостями конструкції будівлі та її призначенням.

Порядок ускладнення моделей такий:

1. Модель враховує дію на ґрунт навколишніх будівель та особливості рельєфу місцевості:

$$\sigma = \sigma(\sigma^*, \tau^*). \quad (7)$$

2. Модель враховує додатково масу будівлі M , глибину фундаменту h , його тип і розміри F :

$$\sigma = \sigma(\sigma^*, \tau^*, M, h, F). \quad (8)$$

3. Модель додатково враховує швидкість вітрового потоку і нерівномірність розподілення ваги будівлі по фундаменту будівлі:

$$\sigma = \sigma(\sigma^*, \tau^*, M, h, F, V, \alpha). \quad (9)$$

4. Модель додатково враховує нерівномірність вологовмісту за глибиною:

$$\sigma = \sigma(\sigma^*, \tau^*, M, h, F, V, \alpha, E(W)). \quad (10)$$

5. Модель додатково враховує реологічні властивості ґрунту:

$$\sigma = \sigma(\sigma^*, \tau^*, M, h, F, V, \alpha, E(W), R). \quad (11)$$

6. Модель додатково враховує динамічний вплив дорожніх і транспортних машин, сейсмічні коливання ґрунту:

$$\sigma = \sigma(\sigma^*, \tau^*, M, h, F, V, \alpha, E(W), R, D). \quad (12)$$

Отримані моделі дадуть відповіді на такі запитання:

- чи є можливим зведення висотної будівлі в даній місцевості;
- якою є оптимальна конструкція фундаменту;
- як зміниться напружений стан ґрунту і яким буде вплив висотної будівлі на сусідні споруди;
- як будуть розвиватись напруження в ґрунті з часом;
- які напруження і деформації будуть присутні в фундаменті;
- як вплине на стійкість висотної будівлі створення інших наземних і підземних споруд?

Висновки:

1. Визначено причини, які обумовлюють необхідність створення тримірних моделей напруженого стану ґрунту поблизу фундаменту висотної будівлі.

2. Визначено фактори, які впливають на стійкість висотної будівлі.
3. Запропоновано порядок ускладнення тримірних моделей, причому порядок врахування визначається їх важливістю і вкладом у напружений стан ґрунту та його зміну з часом.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Будівництво в умовах міської забудови. Досвід і перспективи / О.Ф. Осипов, І.Т. Гладун // Містобудування та терит. планування. — 2004. — Вип. 17. — С. 216–225.
2. Шостачук А.М. Виникнення екологічних небезпек при зведенні висотних споруд в умовах міської забудови // Тези VI Міжнародної науково-практичної конференції «Практична космонавтика і високі технології», присвяченої 100-річчю з дня народження академіка С.П. Корольова, м. Житомир, 9–11 січня, 2007 р. — Житомир: ЖДТУ, 2007. — С. 92–93.
3. Дьяченко Г.И. Экспериментальные исследования работы буронабивных опор с предварительно уплотненным основанием в просадочных грунтах: Автореф. дис...к.т.н. :05.23.02. — 1980. — 22 с.
4. Григорян Р.Г. Буронабивные сваи в условиях просадки грунтов от собственного веса: Автореф. дис...к.т.н.: 05.23.02. — М., 1975.
5. Аеродинамічні дослідження впливу низького будинку на високий / П.Л. Зінич, С.С. Жуковський, О.В. Черноус // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. — 2003. — № 5. — С. 3–6.
6. Ветровая нагрузка на строительные конструкции: Монография / С.Ф. Пичугин, А.В. Махинько. — Полтава, 2005. — 342 с.
7. Беспрозванная И.М., Соколов А.Г., Фомин Г.М. Воздействие ветра на высокие сплошностенчатые сооружения. — М.: Стройиздат, 1976. — 185 с.
8. Аеродинамічна інтерференція систем висотних будівель і споруд циліндричної форми: Автореф. дис...к.т.н.: 05.23.01 / О.Є. Копилов. — Львів: Нац. ун-т «Львів. політехніка», 2005. — 21 с.
9. Шостачук А.М., Конончук О.М., Худяков К.В. Особливості впливу вітрового навантаження на висотну будівлю // Тези XXXII науково-практичної міжвузівської конференції, присвяченої Дню університету, 14–16 березня 2007 р. — Житомир: ЖДТУ, 2007. — С. 21.
10. Подгорный А.Н., Марченко Г.А., Пустынников В.И. Основы и методы прикладной теории упругости: Учеб. пособие для вузов. — К.: Вища школа, 1981. — 328 с.
11. Безухов Н.И. Основы теории упругости, пластичности и ползучести. — М.: Высшая школа, 1961. — 537 с.
12. Далматов Б.И. Механика грунтов, основания и фундаменты. — Л.: Стройиздат, 1988. — 415 с.
13. Маслов Н.Н., Котов М.Ф. Инженерная геология. — М.: Издательство литературы по строительству, 1971. — 344 с.
14. Зоценко М.Л., Коваленко В.І., Хілобок В.Б., Яковлев А.В. Інженерна геологія: Механіка ґрунтів, основи і фундаменти: Підручник. — К.: Вища школа, 1992. — 408 с.
15. Александров А.В., Потапов В.Д. Основы теории упругости и пластичности: Учеб. для строит. спец. вузов. — М.: Высшая школа, 1990. — 400 с.

ШОСТАЧУК Андрій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і механіки технічних систем Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- механіка деформівного твердого тіла;
- інженерна геологія;
- екологія міста.

Подано 22.03.2007

УДК 69.032.22

Про необхідність створення моделей напруженого стану ґрунту поблизу висотної будівлі / Шостачук А.М.

Розглянуто відомі моделі визначення напружено-деформівного стану ґрунту поблизу фундаменту будівлі. Виявлено особливості впливу висотної споруди на ґрунт. Дано обґрунтування необхідності та послідовності створення моделей напружено-деформівного стану ґрунту поблизу висотної споруди

УДК 69.032.22

О необходимости создания моделей напряженного состояния грунта около высотного сооружения / Шостачук А.Н.

Рассмотрены известные модели определения напряженно- деформированного состояния грунта около фундамента сооружения. Выявлены особенности влияния высотного сооружения на грунт. Дано обоснование необходимости и последовательности создания моделей напряженно-деформированного состояния грунта около фундамента высотного сооружения.

УДК 69.032.22

About the need of creation of model of the stress state of soil near multi-storied building / Shostachuk A.M.

Known models of definition of the stress and deforming state of the soil near building's foundation are considered. Peculiarities of influence of the multi-storied building on the soil are found out. The need of the creation of the models of the stress and deforming state of the soil near multi-storied building is grounded and some factors to take into consideration are indicated.