

*В.Й. Сівко, д.т.н., проф.
Київський національний університет будівництва і архітектури
М.П. Кузьмінець, к.т.н., докторант
Національний транспортний університет*

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ У ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСАХ ВИРОБНИЦТВ

Наведено нові підходи отримання рівняння стану будівельних матеріалів та визначення напружено-деформованого стану робочого середовища машин. Це дозволило визначити оптимальні параметри робочого обладнання машин з доцільними енергетичними показниками.

Ключові слова: будівельні матеріали, напружено-деформований стан, рівняння стану.

Приведены новые подходы получения уравнения состояния строительных материалов и определения напряженно-деформированного состояния рабочей среды машин. Это позволило определить оптимальные параметры рабочего оборудования машин с целесообразными энергетическими показателями.

Ключевые слова: строительные материалы, напряженно-деформированное состояние, уравнения состояния.

New approaches of obtaining of building materials equations of state and determination of the of machine working environment are discussed. This allowed to define the optimum parameters of machine implement with expedient power indexes.

Key words: building materials, strain-stress condition, equations of state.

Постановка проблеми. Проблема визначення напружено-деформованого стану будівельних матеріалів у технологічних процесах виробництв лежить у площині теорій міцності матеріалів, адже технологічні процеси ущільнення матеріалів, перемішування, подрібнення, транспортування та ін. тісно пов'язані з процесами руйнування матеріалу шляхом його деформування, обумовленим відповідними силовими діями. Отже, у таких випадках має місце напружено-деформований стан.

Аналіз останніх досліджень і виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Відомими науковими школами з теорії міцності, такими як: проф. Вайнберга Д.В., Варвака П.М., Баженова В.А. (КНУБА), Голишева Б.М. (НДІБК), Гвоздєва А.А., Зайцева Ю.В. (НДІЗБ) досягнуто значних успіхів у розрахунках будівельних конструкцій при пружному навантаженні. Проте їх

результатами неможливо скористатися для розрахунку напружено-деформованого стану матеріалів, які мають велику в'язкість і піддаються значним деформаціям.

Як показано в роботах сучасних вчених (А.А.Уткіна, Е.М.Морозова, І.Каримова, Т.Фудзії та ін.) у більшості випадків процес руйнування матеріалів здійснюється внаслідок розростання однієї або сімейства розгалужених тріщин у певному перерізі конструкції, які називають магістральними. Після навантаження зразка виробу магістральні тріщини протягом тривалого часу невидимі, а потім із великою швидкістю розростаються („пробігають” через зразок) та швидко руйнують його. Для бетону та композитних матеріалів вивчення процесів руйнування в об'ємі елементу конструкції на рівні мікроскопічних тріщин є попередньою умовою в теорії механіки руйнування, що дозволяє крок за кроком описувати хід руйнування, однак до цього часу немає можливості з достатньою точністю передбачити сам процес розділення бетонного тіла на частини.

У роботах В.В.Соколовського, Г.А.Генієва та М.І.Естріна розв'язано низку завдань пружно-пластичних деформацій та пластичних течій, але в них недостатньо розкрито уявлення про площадки ковзання, вздовж яких відбувається процес руйнування. Такі площадки певним чином орієнтовані у просторі та обумовлені закономірностями розподілу напружень.

Формулювання цілей статті. Встановлення уявлень про площадки ковзання та розробка методик побудови рівняння стану середовищ (бетонних сумішей, ґрунтів, мінеральних добрив та ін.) для вирішення прикладних завдань технології будівельних виробництв із наступним впровадженням результатів у виробництво.

Виклад основного матеріалу. Підхід до розв'язання технологічних завдань через уявлення про площадки ковзання із застосуванням експериментально отриманого рівняння стану середовища, яке точно описує реологічні властивості матеріалу є новим, хоча потребує введення певних припущень у механіці деформування будівельних матеріалів. Однак, це дозволить успішно розв'язати низку завдань технології будівельних матеріалів, де робочим середовищем є (бетон, ґрунт та ін.).

Для опису технологічного процесу може бути застосована теорія деформацій або теорія течій в залежності від властивостей матеріалу (жорсткий чи пластичний). Так, у загальному вигляді напружений стан матеріалу може бути описаний трьома способами.

Перший – рівняннями рівноваги (три рівняння для об'ємної задачі напруженого стану):

$$\begin{aligned}
\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} + X &= 0; & \left(\frac{\gamma}{g} \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} \right); \\
\frac{\partial \tau_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_y}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z} + Y &= 0; & \text{або} & \left(\frac{\gamma}{g} \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial t^2} \right); \\
\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial y} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} + Z &= 0, & \left(\frac{\gamma}{g} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial t^2} \right).
\end{aligned} \tag{1}$$

Другий – рівняннями сумісності деформацій (шість геометричних рівнянь):

$$\begin{aligned}
\varepsilon_x &= \frac{\partial u}{\partial x}; & \gamma_{xy} &= \frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}; \\
\varepsilon_y &= \frac{\partial v}{\partial y}; & \gamma_{yz} &= \frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z}; \\
\varepsilon_z &= \frac{\partial w}{\partial z}; & \gamma_{xz} &= \frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z}.
\end{aligned} \tag{2}$$

Третій – рівняннями стану середовища:

$$\begin{aligned}
\sigma_x &= F_1(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}); \\
\sigma_y &= F_2(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}); \\
\tau_{zx} &= F_6(\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}).
\end{aligned} \tag{3}$$

Перші дві системи рівнянь (1) та (2) широко відомі в літературі. Рівняння стану середовища (фізична модель) більш точно здійснює прив'язку основних положень теорії пружності і пластичності до механіки будівельних матеріалів і сумішей, однак має значну кількість невідомих: напружень $\sigma_x(x, y, z), \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$; деформацій $\varepsilon_x(x, y, z), \varepsilon_y, \varepsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$; переміщень $u(x, y, z), v, w$.

Завдяки низці виконаних робіт розроблена методика експериментальних досліджень природи деформації зразків матеріалів під дією навантаження, та отримано рівняння стану більшості будівельних матеріалів (бетонних і розчинних сумішей, ґрунтів, керамзитобетонних сумішей, мінеральних добрив та ін.).

На рис. 1 наведено експериментальні залежності між напруженнями та деформаціями для ґрунту щільністю $1,75 \text{ г/см}^3$. Подібні функціональні залежності характеризують реакцію фізичної системи на навантаження і являють собою математичну ідеалізацію механізму поведінки матеріалу. Це дає можливість отримати вихідні дані до визначення напружено-деформованого стану будівельних матеріалів, який максимально відтворює фізичний процес взаємодії робочого обладнання з середовищем.

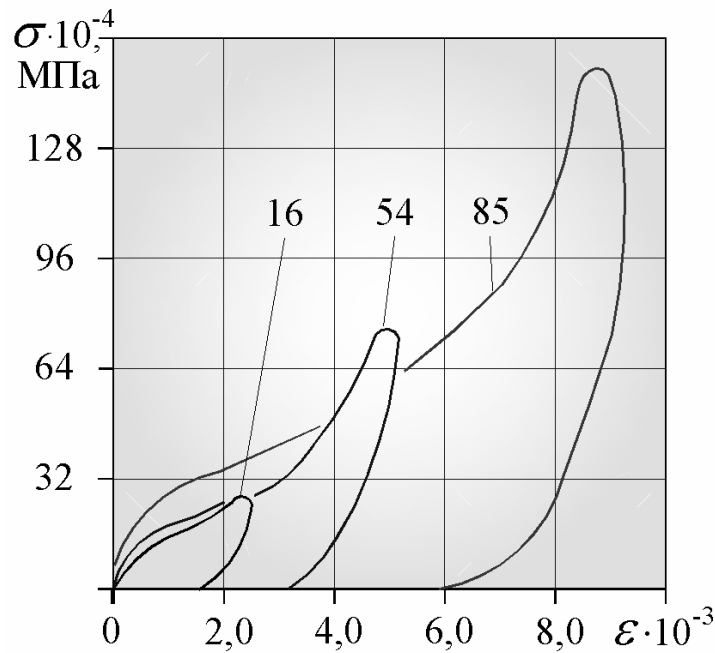


Рисунок 1 – Типові закономірності деформування ґрунту вологістю 10% під дією динамічних навантажень: 16; 54, 85 – швидкість в см/с

Більшість технологічних задач промисловості будівельних матеріалів може бути зведена до основних класичних задач механіки: всебічне стиснення; вісесиметрична задача; дія штамп на пружно-пластичний простір; циліндричний каток на поверхні; рух кулі в середовищі, що пульсує; рух середовища в трубі; занурення клина в середовище та ін. У багатьох відомих роботах авторів наведені теоретичні положення і розв'язок таких задач.

Більш високим рівнем використання положень про напружено-деформований стан матеріалу є оптимізація параметрів напружено-деформованого стану. Оптимізація забезпечує створення умов, під час яких технологічний процес здійснюється енергетично вигідно.

Створення машин для формування бетонних виробів. За результатами досліджень створено ряд машин, які формують напружено-деформовану зону в певному місці виробу. Як правило, найкращий ефект досягається у виробках висотою більше 0,5 м (бетонні кільця, фундаментні блоки, сантехнічні кабінки, силоси для зберігання зерна та ін). Найбільш удосконаленими є конструкції машин із гнучкими робочими органами. Робочий орган таких машин у процесі роботи здійснює згинаючі коливання в площині середовища. До таких машин відносяться касетні установки, грохоти, машини для виробництва пустотних панелей, центрифуги для виробів підвищеної довжини (опор ліній електропередач).

Технологія виробництва стінових виробів у касетних установках має широке розповсюдження. Тривалі виробничі спостереження, дослідження стану режимів роботи касетних установок, а також якості готових виробів дозволили виявити низку недоліків, властивих у цілому такому способі

виготовлення залізобетонних виробів. Ці недоліки полягають у наступному: застосування бетонних сумішей високої рухомості, що є неминучим при існуючому способі динамічного віброзбудження робочого органу, конструкції формувальних відсіків і типу армування. У свою чергу це призводить до підвищеної витрати цементу, погіршення міцності виробів, якості їх зовнішньої поверхні.

Існуюча схема динамічного віброзбудження робочого органу, яким є роздільний лист касетної установки, базується на використанні стандартних навісних вібраторів. Досвід показує, що сучасна номенклатура вібраторів не придатна для використання в касетних установках при умові збереження схеми заземлення робочого органу. На практиці спостерігається занижена довговічність вібраторів. Прагнення уникнути описаних недоліків роботи касетних установок привело до проведення комплексу експериментальних досліджень і розробки методики розрахунку коливань роздільних листів. Аналіз результатів експериментальних і теоретичних досліджень дозволив виділити найбільш суттєві недоліки в схемі просторового заземлення роздільного листа і в силовій схемі його збудження. Вдосконалення схеми збудження вібрації роздільного листа привело до розробки принципово нової схеми передачі коливань і розробки єдиного привода коливань роздільних листів.

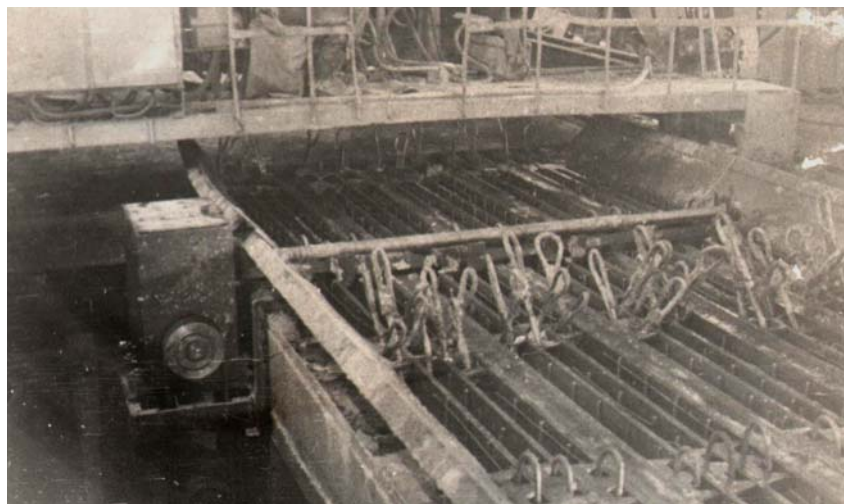


Рисунок 2 – Єдиний вібропривід

Виконані дослідження [1] дозволили удосконалити технологію виготовлення виробів у касетних установках за рахунок розробки принципово нової схеми збудження коливань роздільного листа і суттєвого збільшення його динамічних параметрів. Сутність запропонованого пояснюється рис. 2.

Єдиний вібропривід одночасного збудження коливань роздільних листів складається із віброзбудника направлених коливань, встановленого через пружні елементи на рамі. Передача коливань на роздільні листи здійснюється через жорстку траверсу і перехідні пристрої. Вібропривід

працює так: у міру заповнення формувальних відсіків вмикається вібратор направлених коливань, і горизонтально направлені коливання передаються траверсою і перехідними пристроями на роздільні листи касетної установки. Ущільнення здійснюється пошарово або за один раз всього об'єму суміші. Вібропривід упроваджений на ДБК №3 Київміськбуд.

Створення робочих органів машин для виконання земляних робіт. Останнім часом ведеться комплекс досліджень, пов'язаний із розробкою машин для швидкісного ведення земляних робіт під час капітального ремонту магістральних трубопроводів, на основі врахування взаємодії робочого обладнання з середовищем. Так, запропоновані підходи дозволили розкрити закономірності розподілу напружено-деформованого стану насипних ґрунтових фундаментів магістральних трубопроводів (рис. 3), що дозволило вибрати раціональні параметри робочого обладнання для ущільнення ґрунту під трубопроводом для забезпечення необхідної стійкості ґрунтового фундаменту.

Висновки. У результаті розроблено інженерну методику визначення основних раціональних параметрів та режимів роботи обладнання для ущільнення ґрунту під магістральними трубопроводами, яку прийнято до використання в Науково-дослідному технічному центрі „Ротор”. Така методика стала основою для виконання розрахунків та проектування робочого органа машини підбивання ґрунту під трубопровід МП-М (рис. 4), яка успішно пройшла сертифікаційні випробування та рекомендована до серійного виробництва. Рекомендації по вибору режимів ущільнення ґрунтів увійшли до „Інструкції з експлуатації машини МП-М”.

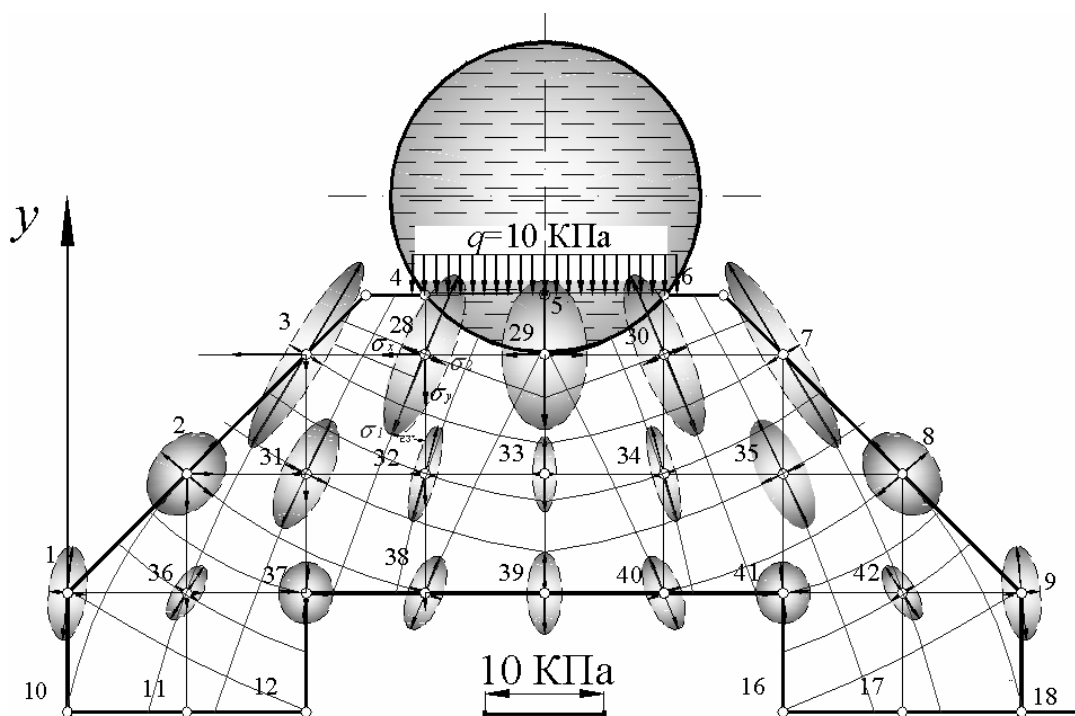


Рисунок 3 – Розподіл головних напружень та площадок ковзання



Рисунок 4 – Машина для засипання та підбивання ґрунту під трубопровід МП-М

Перспективними питаннями в подальших дослідженнях є оптимізація конструктивних та технологічних параметрів спеціальних робочих органів землерийних машин на основі визначення характеристик напружено-деформованого стану середовища в зоні робочого обладнання та магістрального трубопроводу з наступним їх поєднанням у єдиний технологічний комплекс для виконання земляних робіт під час капітального ремонту магістральних трубопроводів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Створення та впровадження енергозберігаючих високотехнологічних процесів і машин у будівельній індустрії* / В.А. Поляченко, В.Й. Сівко [та ін.] . – К.: МП Леся, 2006. – 148 с.