

УДК 69.00.25

А.Т.Свідерський, канд. техн. наук, доцент КНУБА

СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ УЩІЛЬНЮЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ВІБРОТРАМБОВОК

При розрахунках параметрів вібротрамбовок однією із необхідних умов точного їх визначення є аргументований вибір моделі середовища. Обумовлюється це тим, що забезпечення необхідних параметрів ущільнення визначається коректним врахуванням всіх сил опору, які в свою чергу оцінюються залежностями між σ та ϵ середовища.

Закони деформації різних середовищ в тому числі і будівельних сумішей визначаються за допомогою простих механічних, або як їх зараз називають, реологічних моделей. Найбільш загальною моделлю, яка використовується в механіці ґрунтів, є модель суцільного середовища, яка припускає, що деформації матеріала відбуваються без порушення суцільності та можуть бути описані безперервними функціями. Суцільне середовище розглядається у більшості випадків, як квазіоднорідне та квазіізотропне. Модель суцільного середовища в свою чергу ділиться на три незалежні моделі: твердого тіла Гука (рис. 1), пластичного тіла Сен-Венана (рис. 2) та в'язкої рідини Ньютона (рис. 3), які відповідають трьом фундаментальним властивостям ґрунтів: пружності, пластичності та в'язкості.



Рис. 1. Модель пружного тіла Гука

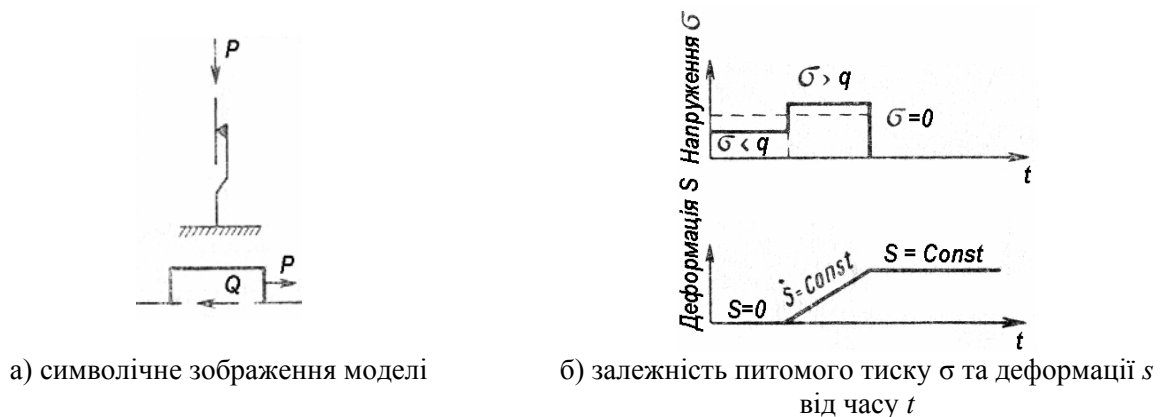


Рис. 2. Модель пластичного тіла Сен-Венана

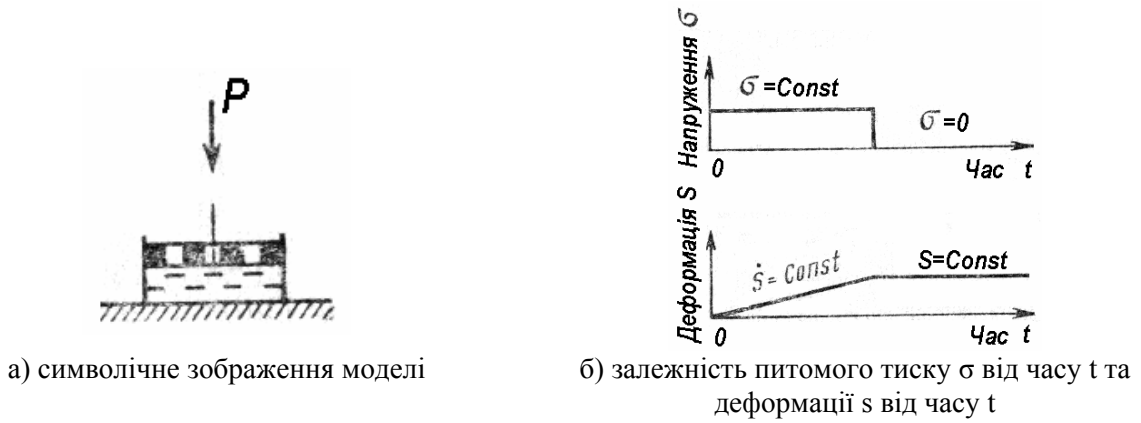


Рис. 3. Модель вязкої рідини Ньютона

На комбінації цих вихідних моделей можна ілюструвати процеси деформації середовищ, які володіють більш складними властивостями, ніж вище перелічені. Так модель, зображена на рис. 4, а відображає пружно-пластичне середовище, на рис. 4, б – пружно-вязке, на рис. 4, в – вязко-пластичне середовище, на рис. 4, г – середовище, деформація якого описується рівнянням Максвелла

$$\frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{1}{E} \cdot \frac{d\sigma}{dt} + \frac{\sigma}{\eta}$$

Деформація середовища з більш складною структурою зображена на рис. 4, д,е.

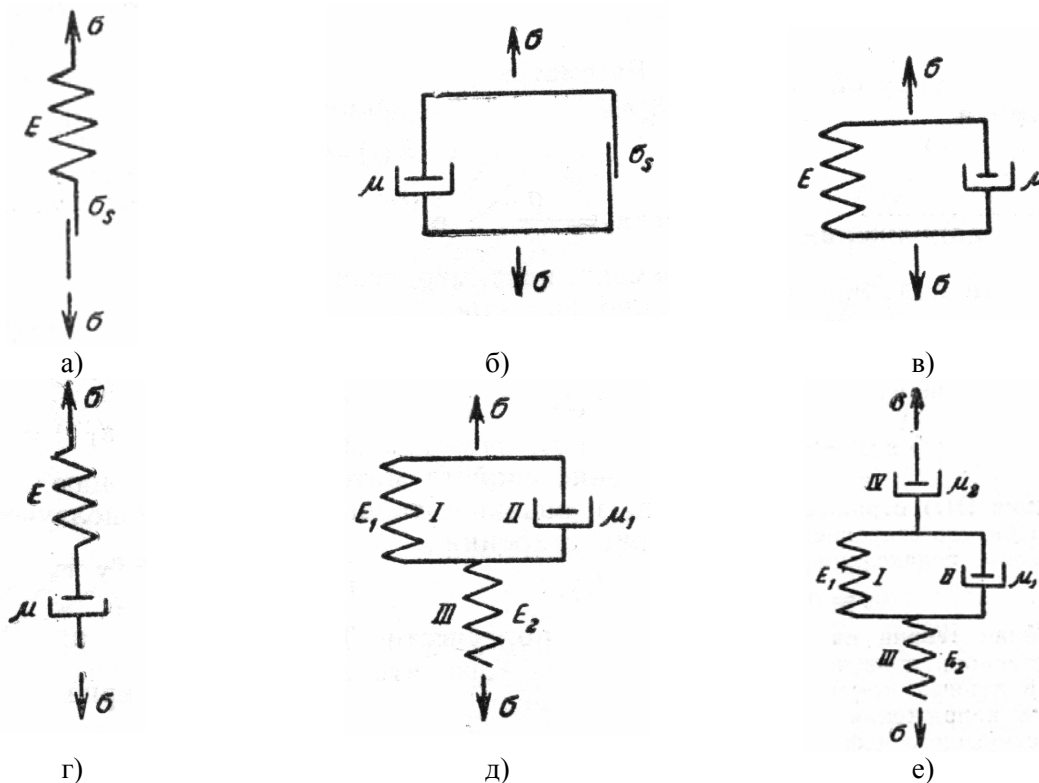


Рис. 4. Комбіновані реологічні моделі

Чим складніша реологічна модель, тим ближче вона до реального середовища. Прикладом може служити дискретна модель І.Я. Лучковського(рис. 5).

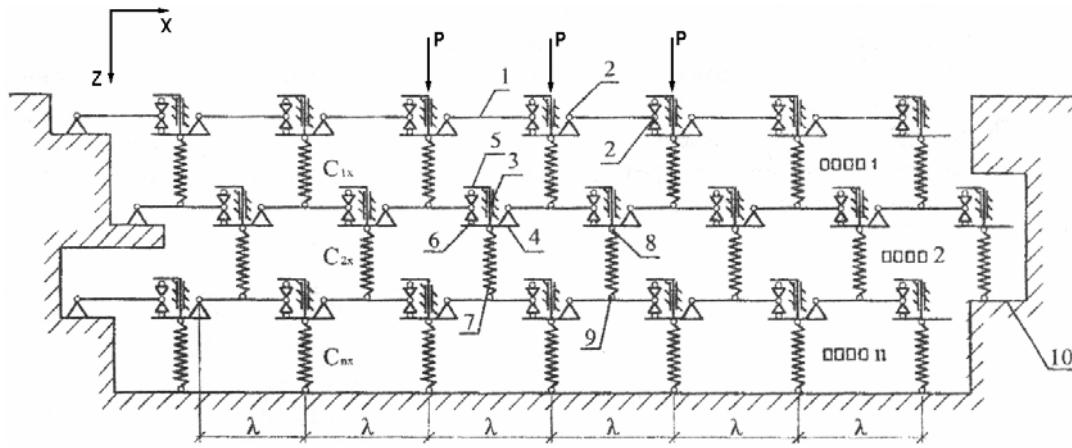


Рис. 5. Плоска дискретна модель ґрунтової основи

Вона складається з розподільних елементів 1, встановлених горизонтально в декілька ярусів, з шарнірами 2 на кінцях, з'єднаних між собою за допомогою штока 3, який має в нижній частині балку 4, а у верхній частині консоль 5. При цьому один з шарнірів 2 кожного розподільного елемента встановлено на катках 6 між балкою 4 та консоллю 5 з можливістю переміщення в горизонтальній площині. Кожна балка 4 зєднана з податливим елементом стиснення 7 шарніром 8, а елемент стиснення 7 зєднаний з розподільним елементом нижчележачого ярусу шарніром 9. Вся система розподільних елементів 1 та штоків 3 встановлена на нерухомій рамі 10. Жорсткість змінних елементів стиснення C_j може бути змінною, як по глибині, так і по простору, що дозволяє моделювати просторову неоднорідність реальних ґрунтових основ.

Але основна завада широкому впровадженню складних моделей – це складний математичний апарат для їх опису та аналізу. Тому сьогодні намагаються знайти золоту середину, яка б дозволила отримати оптимальний результат з мінімальними затратами коштів і часу.

Різноманіття ґрунтів і будівельних сумішей, а також їх властивостей, породили багато розрахункових моделей та їх комбінацій. Для врахування дії середовища при розрахунку ущільнюючих машин найчастіше використовують наступні моделі:

1. Для опису асфальтобетону – модель Максвелла (рис. 6)

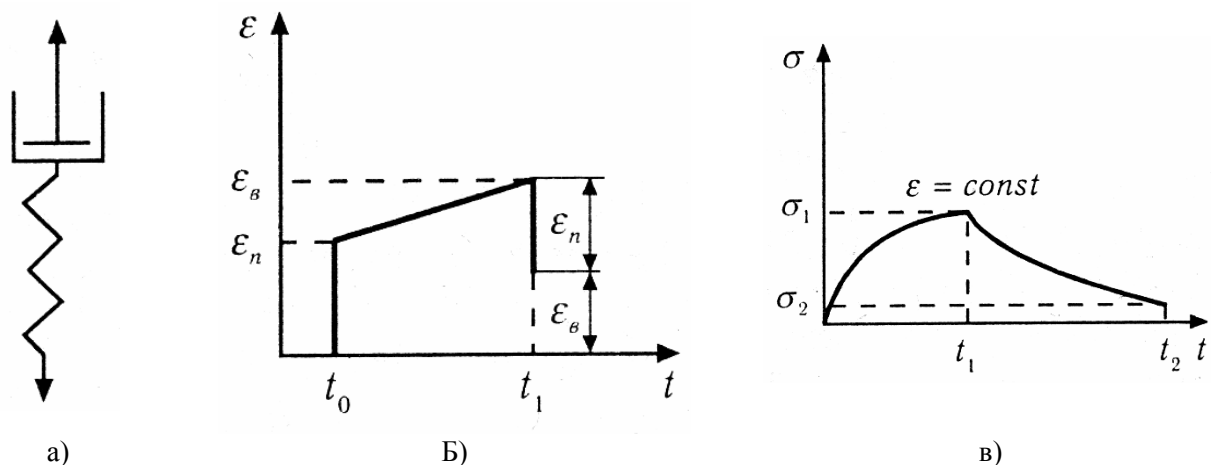


Рис. 6. Модель Максвелла

2. Для опису пастоподібних матеріалів (фарб), глиняного тіста, бетонної суміші – Модель Шведова – Бінгама (рис. 7):

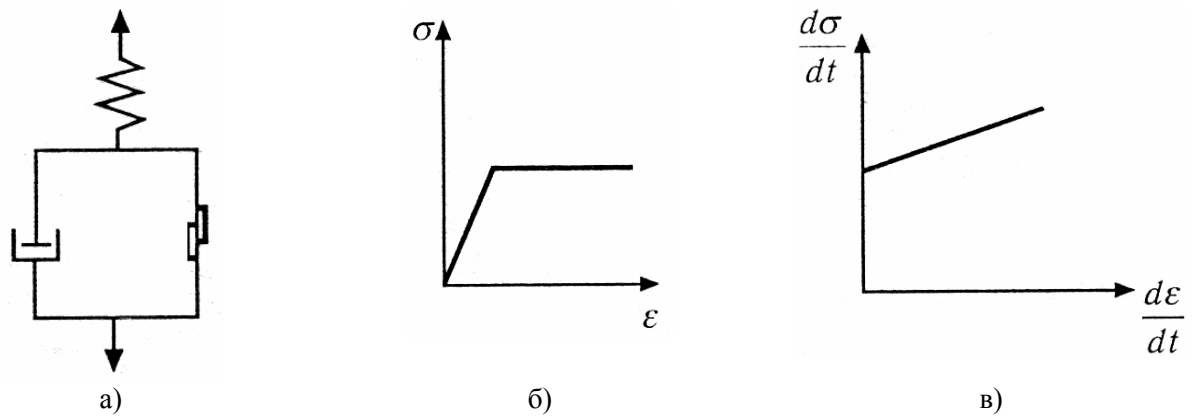


Рис. 7. Модель Шведова-Бінгама

3. Для бетонної суміші – модель Шофілда-Скотта-Блера (рис. 8), яка є поєднанням моделей Бінгама та Кельвіна. Ця модель достатньо повно відображає головні механічні властивості бетонної суміші – її пружність (характеризується модулями зсуву G_1 та G_2), граничний опір зсуву ($\tau_0 = \sigma_0 \cdot \text{tg } \varphi$, де φ – кут внутрішнього тертя), справжню в'язкість (характеризується коефіцієнтом в'язкості η_1), здатність поглинати енергію при коливаннях та проявляти пружну післядію завдяки в'язкому опору з коефіцієнтом в'язкості η_2 :



Рис. 8. Реологічна модель Шофілда – Скотта - Блера

4. Для ґрунтів та жорстких бетонів:

1) Модель Фойгта (рис. 9)



Рис. 9. Модель Фойгта

2) Модель з двома пружними характеристиками (рис.10) визначає зв'язок між переміщеннями основи ω та навантаженням на нього R :

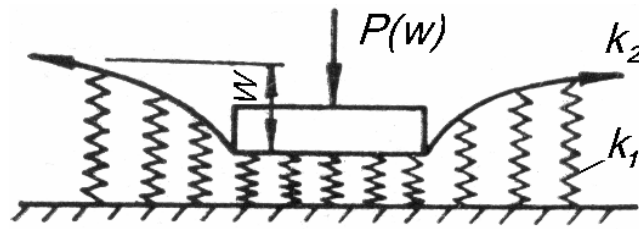


Рис. 10.

При цьому ґрунт представлений основою з пружин жорсткістю k_1 , на яку накладена розтягнута мембрана жорсткістю k_2 .

$$R = k_1 \cdot \omega + k_2 \left(\frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \omega}{\partial y^2} \right). \quad (1)$$

Основа представляє собою сукупність незв'язаних між собою пружин жорсткістю k_1 , на яку накладена без тертя однорідна всебічна розтягнута мембрана жорсткістю k_2 . Ця модель використана О.А. Савіновим для наближеного визначення коефіцієнтів пружного рівномірного та нерівномірного стиску, а також коефіцієнта пружного рівномірного зрушення. Ця модель визначає зв'язок між переміщеннями середовища w та динамічним навантаженням на нього.

3) Модель Вінклера-Фойгта (рис. 11):

$$R(t) = k \omega(t) + B \dot{\omega}(t), \quad (2)$$

де k - коефіцієнт жорсткості; B - коефіцієнт демпфування основи.

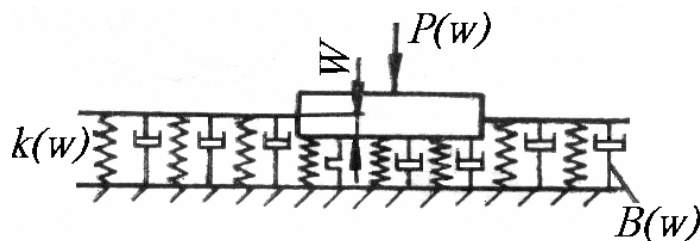


Рис. 11.

На основі цієї моделі були розроблені всі нормативні документи в СРСР.

4) Модель однорідного ізотропного пружного напівпростору (рис. 12) визначає зв'язок між навантаженням, діючим на його поверхні $p(x, y)$, та його переміщенням $\omega(x, y)$:

$$\omega(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} k(x, y) p(x, y) dx dy, \quad (3)$$

де $k(x, y)$ - функція, яка визначає переміщення точок поверхні напівпростору від діючої одиничної зосередженої сили.

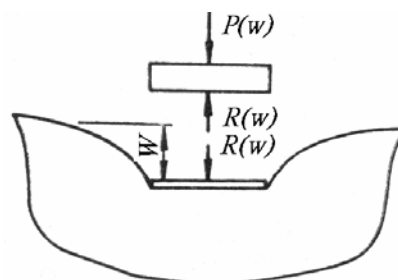


Рис. 12.

Ця модель була використана Д.Барканом для отримання коефіцієнтів пружного рівномірного стискання, зсуву. Модель не враховує інерційність середовища та хвильову взаємодію машини та середовища.

Згідно з СНіП 11-19-79 середовище у взаємодії з машиною розглядається як пружно-в'язке, лінійно деформоване та безінерційне, пружні властивості якого характеризуються коефіцієнтами пружного рівномірного та нерівномірного стискання та зсуву, а дисипативні властивості – коефіцієнтами демпфування. При цьому диференціальне рівняння вимушених коливань має вигляд (для одномасної системи):

$$m\ddot{z} + B_z\dot{z} + k_z z = F_z e^{i\omega t},$$

де $k_z z$ - сила пружності; $B_z \dot{z}$ - сила демпфування.

При цьому: $k_z = C_z \cdot A$, де A - площа контакту, C_z - узагальнена пружна характеристика ґрунту.

$$C_z = b_0 \cdot E \left(1 + \sqrt{\frac{A_0}{A}} \right)$$

В процесі ущільнення машина та середовище здійснюють коливання по своїм, властивим лише їм, законам. І від того, як режим руху машини відповідає режиму коливань будівельної суміші, залежить ефективність передачі енергії робочим органом, а значить і якість віброущільнення. Передача енергії повинна враховуватись на всіх її етапах: в самій машині, при взаємодії робочої плити з ущільнюючим середовищем, та у самій будівельній суміші.

Рішення цієї задачі, із-за складності, отримують користуючись моделями, які в тій чи іншій мірі наближаються до дійсного руху системи: “машина-робоча суміш”. Для спрощення розрахунків, часто дію середовища замінюють дією сил, нехтуючи при цьому рухом суміші; або замінюючи віброущільнювач гармонійною силою. При цьому використана в першому випадку заміна, призводить до виключення суттєвого впливу суміші на роботу вібратора, що не відповідає дійсності; а в другому випадку дія ущільнювача враховується дуже наближено і не описує реальну картину зміни контактного тиску під плитою. Тому для отримання правильної уяви про рух машини необхідно розглядати спільний рух будівельної суміші та трамбовки з максимальним урахуванням фізико-механічних властивостей середовища та характеристик руху ущільнюючої машини.

Література

1. Назаренко И.И., Гарнец В.Н. Выбор расчетной схемы вибрируемой бетонной смеси// В сб.: Горные, строительные и дорожные машины. - К.: Техника. – Вып.21. – 1976. –С.87-90.
2. Сивко В.И. Основы механики вибрируемой бетонной смеси. – К.: Выща школа, 1987. - 168с.
3. Холодов А.М., Маслов А.Г. Исследование процесса уплотнения асфальтобетонных смесей вибрационным методом// В сб.: Горные, строительные и дорожные машины. - К.: Техника. – Вып.16. – 1973. –С.114-123.
4. Федулов А.И., Иванов Р.А., Пучков В.В. Ударное уплотнение грунтов. - Новосибирск, 1983. - 118с.
5. Форсблад Л. Вибрационное уплотнение грунтов и оснований. Пер. с англ. И.В. Гагариной. - М.: Транспорт, 1987. - 188с.
6. Попов Г.Н., Разумов С.В. Расчетная модель грунтоуплотняющих машин ударного действия// Изв. Вузов: Строительство и архитектура. - 1986. - №8 - С.103-107.