



УДК.624.138.22

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

СИНТЕЗ МОДЕЛЕЙ УЩІЛЬНЮЮЧИХ СЕРЕДОВИЩ РОБОЧИМИ ОРГАНАМИ ВІБРОУЩІЛЬНЮЮЧИХ МАШИН

АНОТАЦІЯ. Наведено огляд та аналіз моделювання будівельних сумішей та ґрунтів з метою розробки та раціонального розрахунку віброущільнюючих машин з урахуванням напружено-деформованого стану середовища.

Ключові слова: моделювання будівельних сумішей та ґрунтів, напружено-деформований стан середовища.

ANNOTATION. Analysis of construction mixtures and soils modeling was presented. Calculation of vibro-compacting machines rational parameters, took into account work environment stress strain state, was researched.

Key words: modeling of construction mixtures and soils, work environment stress strain state.

Постановка проблеми. При розрахунках параметрів віброущільнюючих машин однією із необхідних умов точного їх визначення є аргументований вибір моделі ущільнюваного середовища. Обумовлюється це тим, що забезпечення необхідних параметрів ущільнення визначається коректним врахуванням всіх сил опору, які в свою чергу оцінюються залежностями між σ та ξ середовища. Тому виникає проблема в обґрунтуванні і виборі найбільш раціональної математичної моделі ущільнюваної будівельної суміші.

Аналіз досліджень. Для надійного та економічно вигідного проектування споруд необхідно вміти визначати зміну напружень в шарі ущільнюваного ґрунту в умовах будівельного майданчика для забезпечення міцності при максимальних динамічних навантаженнях. Однак для вирішення цієї проблеми необхідно врахувати максимум критеріїв, визначення більшості з яких вимагає застосування складного математичного апарату.

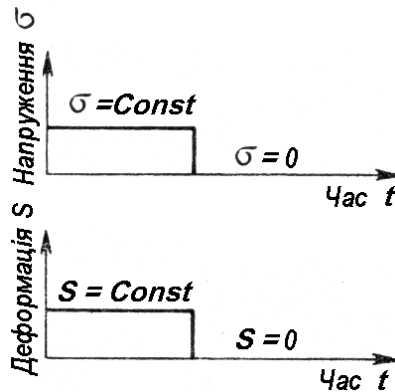
Виклад основного матеріалу. Рішення цієї задачі, із-за складності, отримують користуючись моделями, які в тій чи іншій мірі наближаються до дійсного руху системи: “машина-робоча суміш”. Для спрощення розрахунків, часто дію середовища замінюють дією сил, нехтуючи при цьому рухом суміші; або замінюючи 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 контактної 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.

Для врахування дії середовища та розрахунку ущільнюючих машин використовують наступні моделі:

Для визначення напружень та деформацій будівельної суміші шляхом розрахунку замість неї розглядається розрахункова механічна модель. Вона повинна відобразити основні механічні властивості суміші, але повинна бути вільною від деталей, які не відіграють суттєвої ролі для отримання поставленої мети.

Закони деформації різних середовищ в тому числі і будівельних сумішей можна проілюструвати 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.

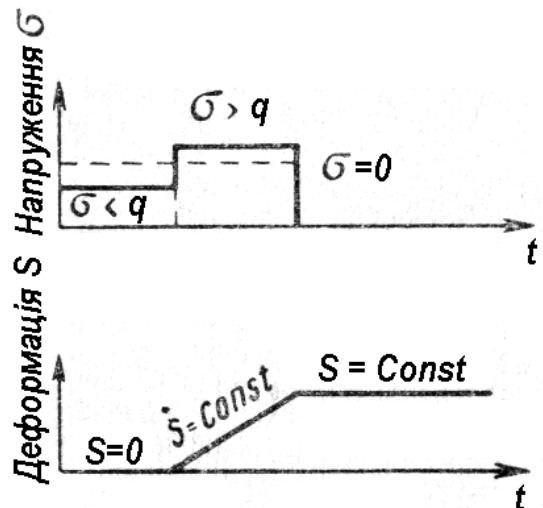
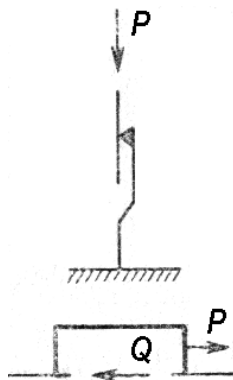


а) символічне зображення моделі

б) залежність питомого тиску σ від часу t та деформації s від часу t

в) залежність та деформації s від питомого тиску σ

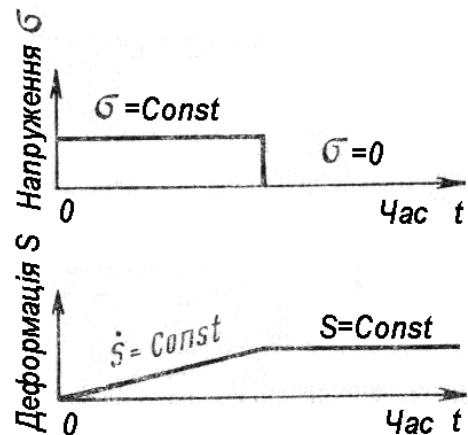
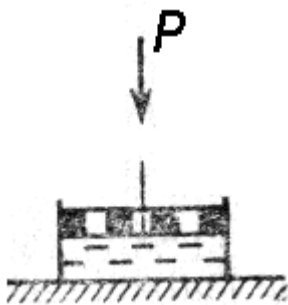
Рисунок 1. Модель пружного тіла Гука.



а) символічне зображення моделі

б) залежність питомого тиску σ від часу t та деформації s від часу t

Рисунок 2. Модель пластичного тіла Сен-Венана.



а) символічне зображення моделі

б) залежність питомого тиску σ від часу t та деформації s від часу t

Рисунок 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-в'язке, на рис.4 в – в'язко-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.

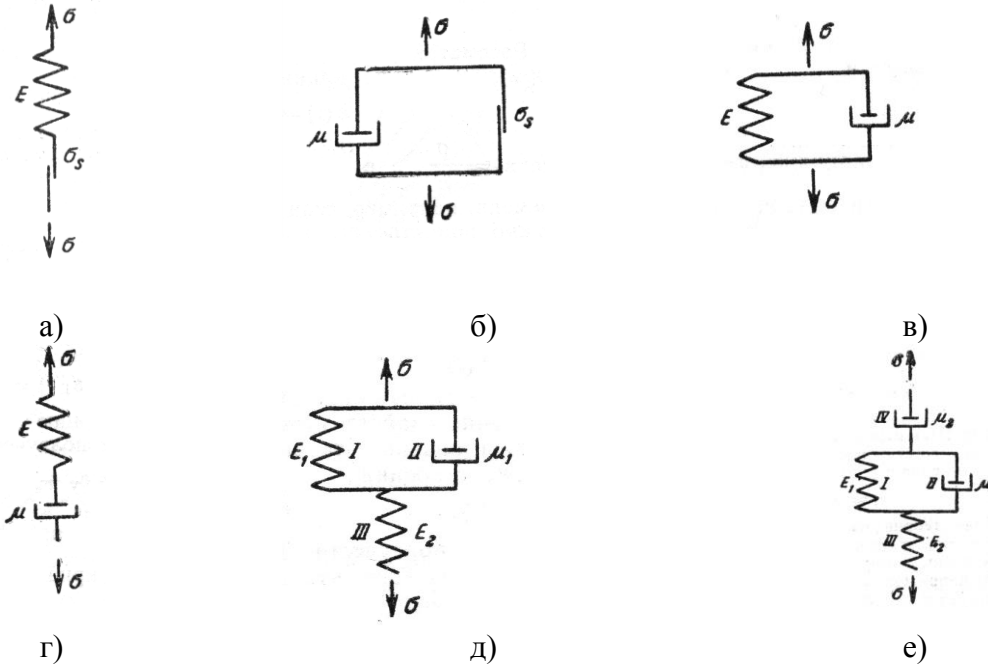


Рисунок 4. Комбіновані реологічні моделі.

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

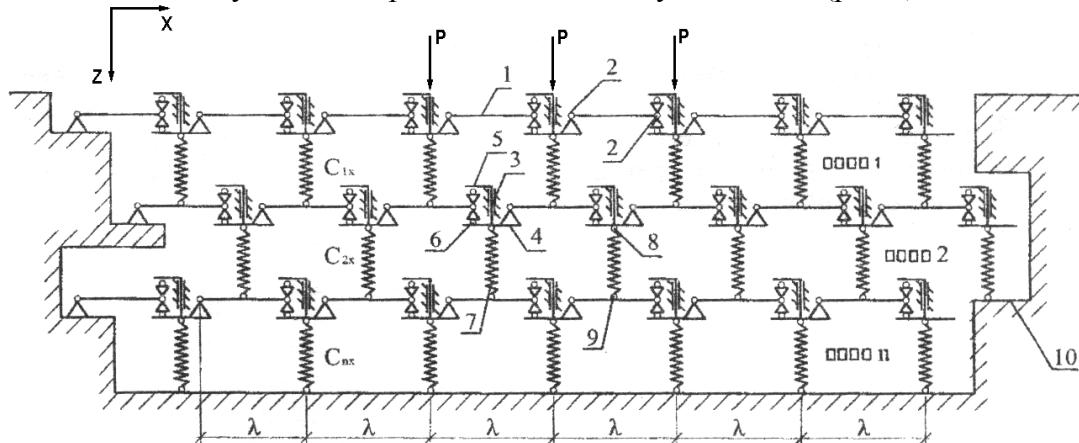


Рисунок 5. Плоска дискретна модель ґрунтової основи.

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 з'єднана з податливим елементом стиснення 7 шарніром 8, а елемент стиснення 7 з'єднаний з розподільним елементом нижчележачого ярусу шарніром 9. Вся система розподільних

елементів 1 та штоків 3 встановлена на нерухомій рамі 10. Жорсткість змінних елементів стискання 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)

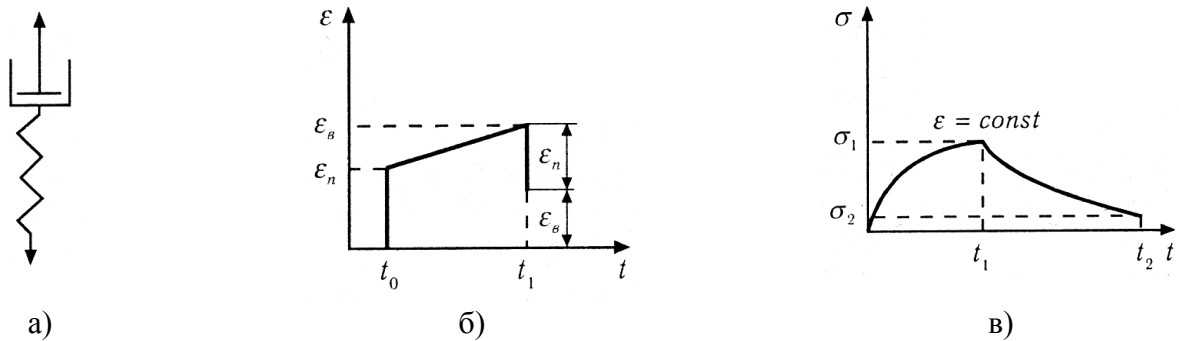


Рисунок 6. Модель Максвелла.

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

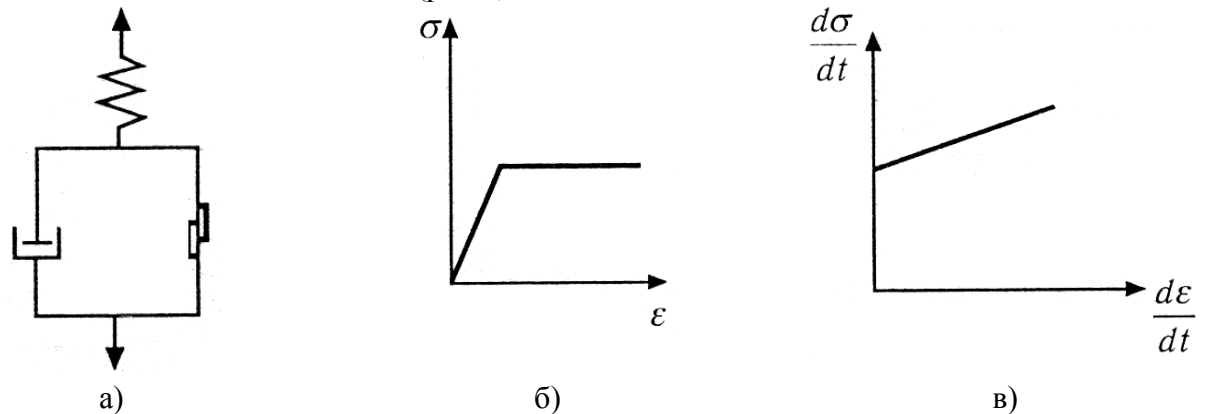


Рисунок 7. Модель Шведова-Бінгама.

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 :



Рисунок 8. Реологічна модель Шофілда – Скотта - Блера.

4. Для ґрунтів та жорстких бетонів:

1) Модель Фойгта (рис. 9)



Рисунок 9. Модель Фойгта.

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

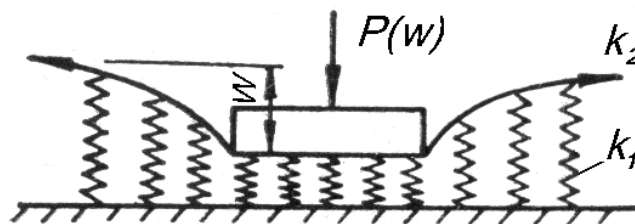


Рисунок 10.

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.

1) Модель Вінклера-Фойгта (рис.11):

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

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

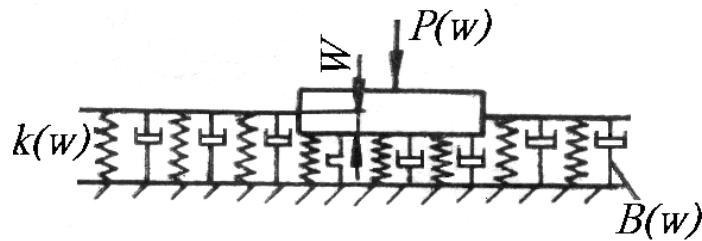


Рисунок 11.

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

- 2) Модель однородного ізотропного пружного на півпросторі (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.

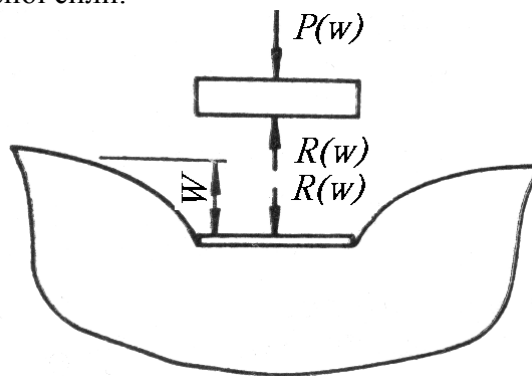


Рисунок 12.

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):

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

$k_z z$ - 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.

Висновки

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 маеханики вибрируемой бетонной смеси. – К: Выща школа, 1987. – 168 с.
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. – 188 с.
6. Попов Г.Н., Разумов С.В. Расчетная модель грунтоуплотняющих машин ударного действия. Изв. Вузов. : Строительство и архитектура. – 1986. - № 8 -8 с. 103-107.