

Назаренко І. І.
Баранов Ю. О.
Свідерський А. Т.
Ручинський М. М.
Дєдов О. П.
Орищенко С. В.

**Київський
національний
університет
будівництва і
архітектури**

УДК 69.00.25

МОДЕЛЮВАННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ ТА РЕЖИМІВ РУХУ ВІБРАЦІЙНИХ МАШИН РІЗНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

В работе исследованы физические параметры реологических моделей обрабатываемых сред с учётом взаимодействия с рабочими органами вибромашин для сортировки компонентов строительных смесей и их уплотнения.

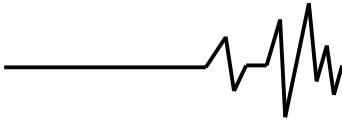
We studied the physical parameters of rheological models of processed media with allowance for the interaction with tools to sort the components of vibrators mortar and seal.

Актуальність проблеми. Розвиток вібраційних машин і процесів іде по шляху створення енергоощадних та високоефективних вібростем на основі коректного моделювання та використання внутрішніх пружно інерційних і дисипативних властивостей у вигляді вібраційних сил для ціленаправленого протікання технологічного процесу. Напружено-деформований стан середовища, визначений в контакт з робочим органом, оцінка раціонального енергопоглинання середовищем за умови досягнення високої ефективності процесу сортування і процесів ущільнення є передумовою для вибору та обґрунтування розрахункової моделі середовища. Другою складовою досягнення максимального ефекту є обґрунтування граничних умов взаємодії контактної зони «робочий орган – середовище» і оцінка реального процесу поведінки робочого середовища на вільній поверхні «середовище – повітря» або при використанні різного роду допоміжних робочих органів на поверхні «додатковий орган – середовище». Такий підхід сповідується в деяких наукових школах [1,2,5,9,10] та дослідженнях [6]. Якщо не ставити за мету ціленаправленого врахування середовища як допоміжної сили, підвищуючої ефективність процесу, то є інший шлях – це створення спеціалізованих установок і обладнання із спрощеною схемою врахування впливу цього середовища на протікання

технологічного процесу, що є локальним напрямком вирішення проблеми [3,9].

На вигляд рівняння напружено-деформованого стану впливають реологічні властивості (пружність, в'язкість, пластичність) та їх функціональна залежність від параметрів робочого процесу. В цьому і є найбільша проблема, оскільки у відомих джерелах інформації є відмінності, а інколи протилежні тлумачення врахування вищезазначених властивостей. Якщо враховувати дискретною моделлю [9], то виникає проблема коректного врахування інерційних властивостей (маси середовища). Це має бути повна маса, чи її частина? Окрім цього виникає запитання щодо вибору місця координати переміщення цієї маси. Ради справедливості варто відмітити, що за такою схемою представляється можливим пружні властивості середовища враховувати за законом Гука [3], а врахування дисипативних властивостей суттєвого значення не має, оскільки їх вплив є важливим в білярезонансній та резонансній зонах руху [7].

При моделюванні середовища розподіленими параметрами також є проблема оцінки хвильового поля, визначення зони розповсюдження коливань і, на відміну від дискретної, врахування дисипативних характеристик є важливим елементом моделювання, оскільки при визначені пружно-інерційної (реактивної) складової опору неврахування дисипації приводить до невірних



результатів [5]. Дійсно, якщо використати відомий із теорії коливань [7] факт, що для пружного тіла, в якому не врахована дисипація, приєднана маса m_c має вираз:

$$m_c^r = \left[\frac{tg(\omega h/c)}{(\omega h/c)} \right] \cdot m_c$$

де m_c – повна маса середовища, ω – частота; h – висота шару середовища, де розповсюджується хвиля зі швидкістю c , то для значень $\omega h/c = \pi/2 + n\pi$, де $n=0,1,2,\dots, m_c^r = \infty$, що не відповідає дійсності.

Для визначення характеру взаємодії середовища і робочого органу в зоні контакту приведемо результати дослідження, наведені в роботі [1] (рис. 1, рис. 2) і роботи [9] (табл. 1, рис. 3), із яких можна зробити висновок про безвідривний рух суміші і вібромайданчика для реальних значень амплітуд частот коливань.

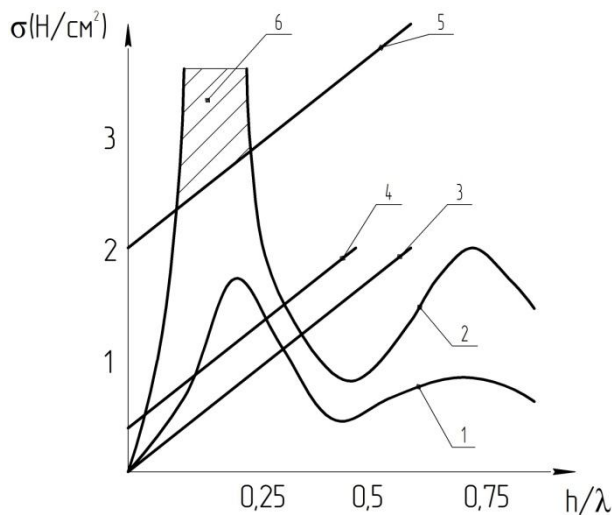


Рис. 1. Зміна амплітуди динамічного тиску (σ) в залежності від співвідношення висоти стовпа суміші (h) до довжини хвилі (λ): 1,2 – частоти коливань 25 і 50 Гц відповідно; 3,4,5 – зміна тиску ρgh , $\sigma_{сч} + \rho gh$ і $\sigma_{вак} + \rho gh$ відповідно; 6 – зона відриву суміші від контактної поверхні робочого органу в напрямку розповсюдження хвилі

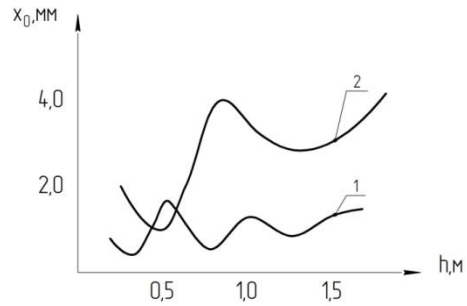


Рис. 2. Граничні значення амплітуд коливань безвідривного руху вібромайданчика і бетонної суміші в залежності від висоти стовпа для частот: 1-50Гц; 2 – 25Гц

Обумовлено це наступними міркуваннями. Так, наведений рис. 3 [9], який підтверджує відривний характер руху суміші і вібромайданчика, потребує уточнення для яких параметрів він отриманий.

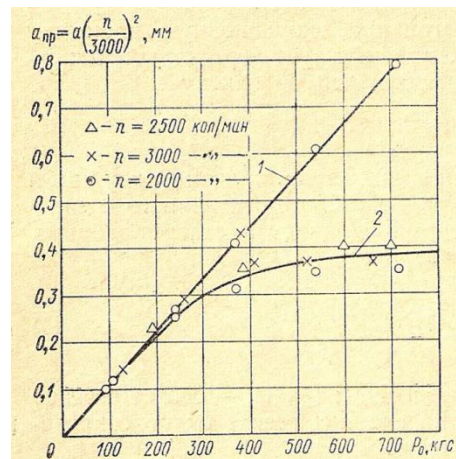


Рис. 3. Зміна амплітуди коливань вібромайданчика (1) і бетонної суміші (2) із збільшенням змушуючої сили вібратора

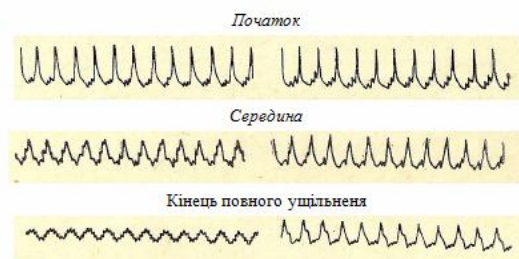
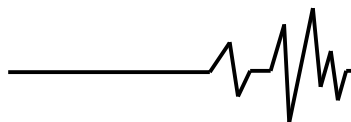


Рис. 4. Осцилограма прискорень коливань бетонної суміші в процесі ущільнення: а жорсткість суміші 90 сек; б – жорсткість суміші 180 сек



Таблиця 1

Характер коливань віброплощинки і бетонної суміші при різних відношеннях інерційних і утримуючих сил

№ досліду	Висота шару в см	Частота коливань в 1 мин	Амплітуда коливань площадки в мм	Ділянка запису прискорень	Інерційні сили відриву в кгс	Утримуючі сили в кг			
						власна вага	привантаження	зчеплення (орієнтовно)	всього
1	35	1700	0,3		42	35	-	5-10	≈ 50
2	35	3000	0,5		130	35	-	5-10	≈ 50
3	35	3000	0,5		130	35	22	5-10	≈ 70
4	35	3000	0,5		130	35	52	5-10	≈ 100
5	10	4000	0,5		240	10	-	-	10
6	100	1500	2,5		90	200	-	≈ 10	210
7	100	2300	2,5		210	200	-	10	210

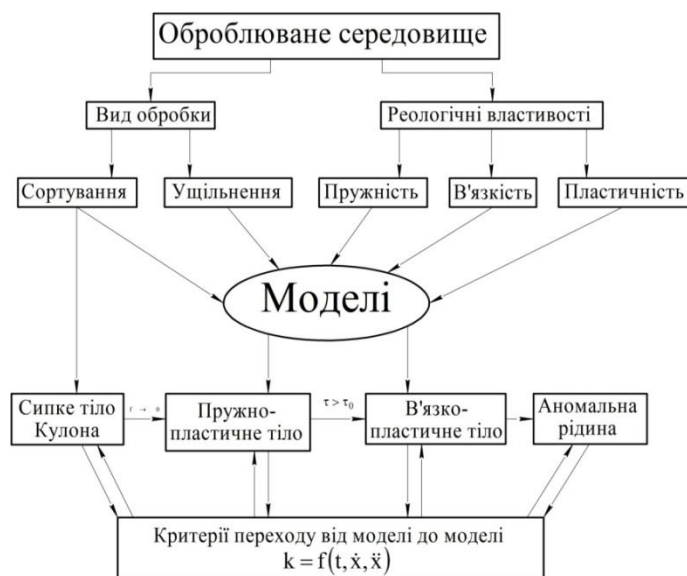
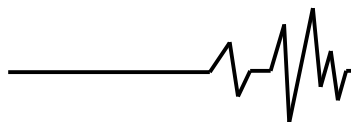
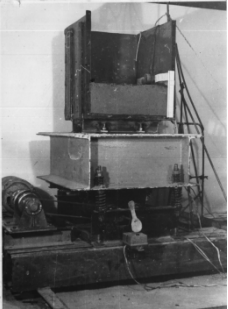

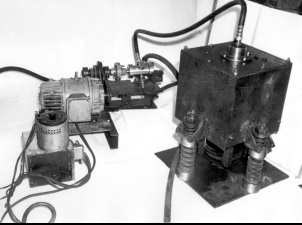





Рис. 5. Систематизована структурна модель системи «середовище – вид обробки»



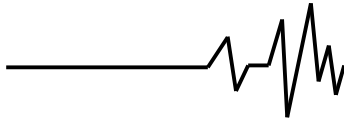
Таблиця 2

Експериментальні установки для дослідження робочих процесів ущільнення і сортування

№	Назва установки	Загальний вигляд
1	Вібромайданчик з інерційним приводом	
2	Електромагнітний вібромайданчик	
3	Трамбовка	
4	Віброрезонансна установка	
5	Двомасова вібротрамбовка	
6	Вібраційний грохот	

Також потребує уточнення твердження авторів роботи [9] про відривний характер коливань середовища в контактній зоні за

характером зміни амплітуд коливань (рис. 4), де вказується наступне (мовою оригіналу): «как только возмущающая сила вибратора начинает



превышают суммарные силы сопротивления (все образцы – силы сцепления с формой), величины амплитуд колебаний смеси и вибростола расходятся, причем тем больше, чем больше возмущающая сила. Такое явление наблюдается только в случае отрыва либо всего изделия от днища формы (если смесь жесткая), либо массы зерен крупного заполнителя (если смесь подвижная) и сопровождается взаимными соударениями элементов системы». А, як видно із табл. 1 [9] за відривної форми коливань (досліди 2, 3, 5, 7) величини прискорень коливань суміші більші за прискорення вібромайданчика.

Це означає, що для однієї і тої же частоти коливань при порушенні контакту між сумішшю і робочим органом амплітуда коливань середовища має збільшуватися, а не зменшуватися (див. рис. 4). Режим, за яким відбувається відрив, не є ефективним, оскільки здійснюється затягування повітря в зону контакту і, як наслідок, утворення раковин на поверхні виробу, що вкрай є небажаним результатом.

Виходячи із вищезазначеного, в роботі приймається умова безвідривного руху середовища і робочого органу, що засвідчує рівність амплітуд коливань контактної зони.

Методика та результати досліджень. Одною із головних задач досліджень вібростем є вибір реологічної моделі оброблювального середовища. В реології існує два взаємовиключаючих поняття: «ідеально пружне тіло» і «нев'язка рідина» [8]. У першому випадку напруження досягається миттєво, а в нев'язкій рідині напруження ізотропно не залежить від стану течії, тобто така рідина не здатна створювати і підтримувати напруження зсуву. Між граничним станом цих тіл в природі існує велике різноманіття тіл проміжного характеру, серед яких є три проміжні моделі ідеалізованих матеріалів: ідеально-пружне тіло (Гука); ідеально в'язка рідина (Ньютона); ідеально пластичне тіло (Сен-Венана). Для опису реальних матеріалів і застосовуються простіші ідеальні тіла, що володіють лише одною фізико-механічною властивістю і з'єднуються між собою паралельно або послідовно.

Так і з'явилися моделі: Кельвіна-Фойгта, Максвела, Бінгама-Шведова і інші, застосування яких обумовлено врахуванням тих чи інших властивостей [4].

Виходячи із фізики процесу, наприклад, ущільнення бетонної суміші [1, 2, 9], зміни її властивостей із початковою до кінцевого стану ущільнення [5, 6, 10] представляється можливим отримати узагальнену (синтезовану)

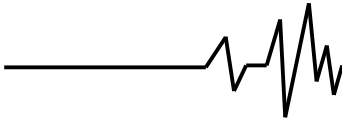
модель (рис. 5), що в залежності етапу ущільнення володіє тими чи іншими властивостями.

Зручність такої структурної моделі полягає в тому, що за вибраними критеріями (часом ущільнення, швидкості процесу і відношення прискорення робочого органу до прискорення вільного падіння) представляється можливим описати процес і визначити приведену контактну вібраційну силу, яка є складовою робочого процесу. Описаний таким чином процес для ущільнення будівельних сумішей і сортування матеріалів та проведені експериментальні дослідження на створених лабораторних установках (табл. 2) дав можливість сформулювати основні принципи створення нових високоефективних машин і установок.

1. Розгляд (моделювання) середовища і машин як єдиної системи, що володіє своєю динамічною індивідуальністю. Реалізація цього принципу являється гарантією руху віброущільнюючих машин в заданому або встановленому режимі роботи. Досягається реалізація цього принципу зведенням гібридних динамічних систем до розрахункової схеми з дискретними параметрами, що адекватно відображають фактичний стан вібростеми в любий момент руху. Розроблені методи розрахунку перевірені практикою і підтверджені задовільним збігом розрахункових і фактичних параметрів.

2. Максимальна концентрація енергії робочого органу за рахунок внеску вищих гармонік. Технологічна ефективність внеску енергії вищих гармонік реалізується за рахунок цілеспрямованого використання вібрації і удару, що забезпечується використанням добавочних обмежників коливань і відповідним підбором їх пружності, вибором раціонального співвідношення часу удару і періоду коливань. Досягненням цього принципу визначаються передумови для створення високоефективних машин з мінімальною енергоємністю.

3. Машина повинна забезпечувати високу якість виробів, що формуються, володіти можливістю ущільнювати жорсткі бетонні суміші, мати високу продуктивність. Реалізується цей принцип здатністю машини безпосередньо передавати рух робочого органу найбільшому числу частинок ущільнюючої суміші, тобто передачею коливань по найбільшій площині виробу, що формується. При цьому сили тертя і щеплення, що перешкоджають ущільненню, знімаються в направленні дії сили, які здатні інтенсифікувати процес ущільнення (ваги суміші). Використання асиметрії створює допоміжні умови для



розвитку значних напружень стискування суміші, які прискорюють процес ущільнення.

4. Синхронне забезпечення високоєфективних поліфазних і автоколивальних режимів формування. Реалізуються ці режими шляхом спеціального розташування дебалансів або застосуванням динамічних схем із незалежною підвіскою ударника.

5. Конструкція машини має забезпечувати формування виробів різної номенклатури, геометричних розмірів і мас без значного перелаштування. Цей принцип реалізується шляхом застосування блокової конструкції, яка дозволяє створювати машини будь-якої вантажопідйомності, а спираючись на фундамент виключає вплив зміни маси (при переході на інший тип виробу) на зазори між ударником і робочим органом.

6. Машина має бути простою за конструкцією, надійною в роботі, зручною в обслуговуванні, забезпечувати санітарно-гігієнічні норми по рівню шуму і вібрації. Цей принцип реалізується використанням електромагнітного та гідравлічного приводів та низькочастотного режиму коливань.

7. Машина при реалізації необхідного режиму коливань має мати понижені значення металоемності і енергоемності і при цьому вона має бути економічно вигідною за своєю вартістю. Принцип досягається налаштуванням машини на авторезонансний (самоналаштований) режим роботи, тобто енергія втрачається в основному на робочий процес, що здійснюється динамічним керуванням рухом системи на основі використання внутрішніх властивостей системи.

В основі розроблених принципів покладені наступні робочі гіпотези.

1. Система "машина-середовище" представляє собою складну гібридну (змішану) динамічну систему, в якій машина є системою з дискретними параметрами, а середовище – з розподіленими параметрами і ця система може бути редуцирована до розрахункової у вигляді системи з дискретними параметрами, в якій збережені хвильові явища середовища і представлені контактною силою.

2. Підвищення ефективності віброущільнюючих будівельних машин досягається шляхом створення конструктивних схем з ефективним використанням енергії, що підводиться до середовища як на основному, так і на супергармонічному резонансному режимі коливань вібраційної системи, а також зі змінним, керованим у часі, режимом роботи.

3. Надійність машини забезпечується раціональним поєднанням ефекту удару і вібрації на понижених частотах, а також застосуванням надійних (наприклад, електромагнітних) віброзбуджувачів коливань.

В результаті розроблені та впроваджені у виробництво нові вібромашини і установки.

Висновки

1. Розроблена синтезована структурна модель процесу обробки середовища на різних стадіях та режимах роботи вібросистеми.

2. Сформульовані та реалізовані основні принципи створення високоєфективної вібраційної техніки, новизна яких підтверджена патентами України та впровадженням у виробництво.

Література

1. Бриедде В. А., Файтельсон Л. А. Сб. «Исследования по механике строительных материалов и конструкций», вып. IV. / В. А. Бриедде, Л. А. Файтельсон. – Рига, 1968. – с. 19-32.

2. Гусев Б. В. Вибрационная технология бетона / Б. В. Гусев, В. Г. Зазимко. – К.: Будівельник, 1991. – 230 с.

3. Лялинов А. Н. Новые вибрационные машины для уплотнения бетонных смесей / А. Н. Ляликов. – Л.: Ленинградский ДНТП, 1970. – 31 с.

4. Назаренко І. І. Фізичні основи механіки будівельних матеріалів / І. І. Назаренко, М. М. Ручинський. – Львів: Афіша, 2002. – 128 с.

5. Назаренко І. І. Прикладні задачі теорії вібраційних систем (2-е видання) / І. І. Назаренко. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2010. – 440 с.

6. Овчинников П. Ф. Виброреология / П. Ф. Овчинников. – К.: Наукова думка, 1983. – 271 с.

7. Пановко Я. Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я. Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1976. – 320 с.

8. Рейнер М. Деформация и течение / М. Рейнер. – М.: Гостехиздат, 1963. – 381 с.

9. Савинов О. А. Теория и методы вибрационного формования железобетонных изделий / О. А. Савинов, Е. В. Лавринович. – Л.: Стройиздат, 1972, – 153 с.

10. Сивко В. И. Основы механики вибрируемой бетонной смеси. / В. И. Сивко. – К.: Вища школа, 1988. – 168 с.