

Свідерський А. Т.

Дєдов О. П.

*Київський національний  
університет  
будівництва і  
архітектури*

Sviderskiy A. T.

Dedov O. P.

*Kyiv National University  
of Construction and  
Architecture*

УДК 69.002.5

## АКТИВНІ ВІБРАЦІЙНІ ОРГАНИ МАШИН ДЛЯ ОБРОБКИ СУМІШЕЙ

*Наведені результати досліджень трамбівки по визначенню параметрів, що забезпечить високу ефективність вібраційної дії на оброблюване середовище для забезпечення якості процесу ущільнення, в основі якого покладена ідея безпосередньої передачі енергії від робочого органу до оброблюваного середовища.*

*Ключові слова: вібрація, трамбівка, ущільнення, ґрунт.*

**Постановка проблеми.** Машини вібраційної дії широко використовуються для подрібнення, сортування, перемішування, ущільнення і в інших технологічних процесах. Як правило, виконання технологічного процесу реалізовано на основі звичайних гармонійних режимів руху вібраційних машин, у якості вібробуджувачів яких застосовуються вібраційні блоки відцентрової дії. Висувається гіпотеза про можливість безпосередньої передачі енергії від робочого органу до оброблюваного середовища, завдяки чому передбачається підвищення ефективності робочого процесу. Реалізація такої передачі енергії реалізована в низці машин: вібраційні ґрунтові та дорожні котки, трамбівки, машини для поверхневого ущільнення бетонних сумішей, тощо. В роботі наведені результати досліджень трамбівки по визначенню параметрів, що забезпечить високу ефективність вібраційної дії на оброблюване середовище (ґрунт, бетонні суміші).

**Аналіз досліджень.** Забезпечення значної технологічності вібротрамбівки, як і інших вібро-ущільнюючих машин, значною мірою залежить від фізичної та математичної моделей вібростеми "трамбівка - ґрунт", яка адекватно відповідає реальним умовам робочого процесу. Найбільші труднощі виникають при виборі моделі ґрунту, що обумовлено відсутністю загально-прийнятого підходу до визначення його характеристик ґрунту, їх функціональних залежностей від параметрів вібрації. Існує два принципові підходи до моделювання ґрунту, (який підлягає вібраційному процесу): моделювання інерційно-

пружних та дисипативних властивостей, які притаманні будь-якій вібраційній системі, дискретними або розподіленими параметрами.

Дослідженню руху віброударних систем присвячено багато робіт [1, 2, 3, 4 та інші], що являють собою аналіз і синтез механічних віброударних систем. Щодо робіт, присвячених дослідженню віброударних машин для ущільнення бетонних сумішей, можна відмітити [7, 8, 9, 10 і інші]. В цих роботах визначаються параметри руху подібних систем, виходячи із тих чи інших припущень. Найбільш загальними є припущення щодо моделі системи „вібростема – оброблювальне середовище”, яка представляється дискретною. В роботі [10] зроблено уточнення моделі, де запропоновано методику переходу від дискретно-континуальних систем (дискретна – машина, континуальна – середовище) до суто дискретних з урахуванням хвильових явищ у бетонній суміші.

**Формування мети статті.** Метою статті є дослідження та встановлення параметрів вібростеми, що забезпечить високу ефективність вібраційної дії на оброблюване середовище та оцінка енергетичних характеристик для розробки нових прогресивних машин.

**Виклад основного матеріалу.** Для теоретичних досліджень системи „вібростема – ґрунт” прийнята схема рис. 1, яка включає в себе середовище, що ущільнюється і виражене коефіцієнтами опору  $b_2$  та жорсткості  $c_2$ , вібротрамбівку, яка складається з трьох мас  $m_1, m_2, m_3$  з'єднаних



між собою пружними елементами жорсткістю  $c_1, c_2, c_3$ , між масами  $m_1$  і  $m_2$  можливий удар через буфер жорсткістю  $c_6$  та коефіцієнтом опору  $b_6$ . Вібротрамбовка використовується як навісне обладнання до екскаватора, з'єднання вібротрамбовки з стрілою екскаватора  $m_4$  здійснюється за рахунок обладнання котре має жорсткість  $c_6$  та коефіцієнт опору  $b_6$ . Ущільнення будівельної суміші може відбуватись під дією двох складових: динамічної, яку створюють коливання з заданою частотою та амплітудою, та статичної,

що виникає в результаті дії сил ваги трамбівки та гідравлічної сили  $F_{np}$  на стрілі екскаватора.

Таким чином регулювання режимів процесу ущільнення може здійснюватись як за рахунок зміни динамічної дії (частота та амплітуда коливань) так і за рахунок зміни статичного тиску на середовище, що ущільнюється. В результаті поєднання таких дій передбачається отримання оптимальних режимів роботи на всіх стадіях ущільнення.

Для складання рівнянь руху системи скористаємось принципом Гамільтона [2, 3, 10] згідно якого рух мас системи може здійснюватись за двох випадків:

1) рух без удару між масами  $m_1$  і  $m_2$ :

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) + c_1(x_1 - x_3) + b_2 \dot{x}_1 + c_2 x_2 &= 0, \\ m_2 \ddot{x}_2 + b_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + c_2(x_2 - x_3) &= F_{zid}, \\ m_3 \ddot{x}_3 + b_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + c_2(x_3 - x_2) + b_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_1) + c_1(x_3 - x_1) + b_6(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) + c_6(x_3 - x_4) &= -F_{zid}, \\ m_4 \ddot{x}_4 + b_6(\dot{x}_4 - \dot{x}_3) + c_6(x_4 - x_3) &= -F_{np}. \end{aligned} \tag{1}$$

2) рух коли відбувається удар між масами  $m_1$  і  $m_2$ :

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + b_6(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + c_6(x_1 - x_2) + b_1(\dot{x}_1 - \dot{x}_3) + c_1(x_1 - x_3) + b_2 \dot{x}_1 + c_2 x_2 &= 0, \\ m_2 \ddot{x}_2 + b_2(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + c_2(x_2 - x_3) + b_6(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + c_6(x_2 - x_1) &= F_{zid}, \\ m_3 \ddot{x}_3 + b_2(\dot{x}_3 - \dot{x}_2) + c_2(x_3 - x_2) + b_1(\dot{x}_3 - \dot{x}_1) + c_1(x_3 - x_1) + b_6(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) + c_6(x_3 - x_4) &= -F_{zid}, \\ m_4 \ddot{x}_4 + b_6(\dot{x}_4 - \dot{x}_3) + c_6(x_4 - x_3) &= -F_{np}. \end{aligned} \tag{2}$$

де  $F_{zid} = f(t)$  - змушуюча сила;

$F_{np} = f(t)$  - притискуюча сила на стрілі екскаватора.

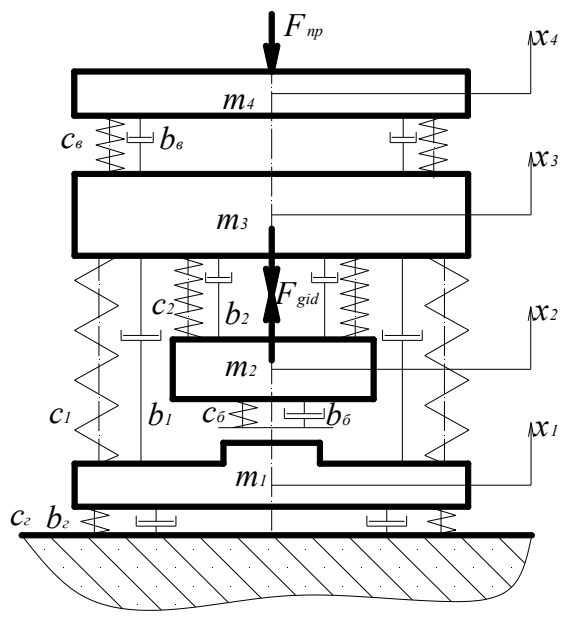
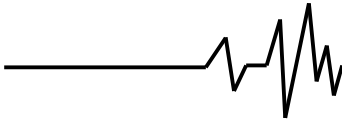


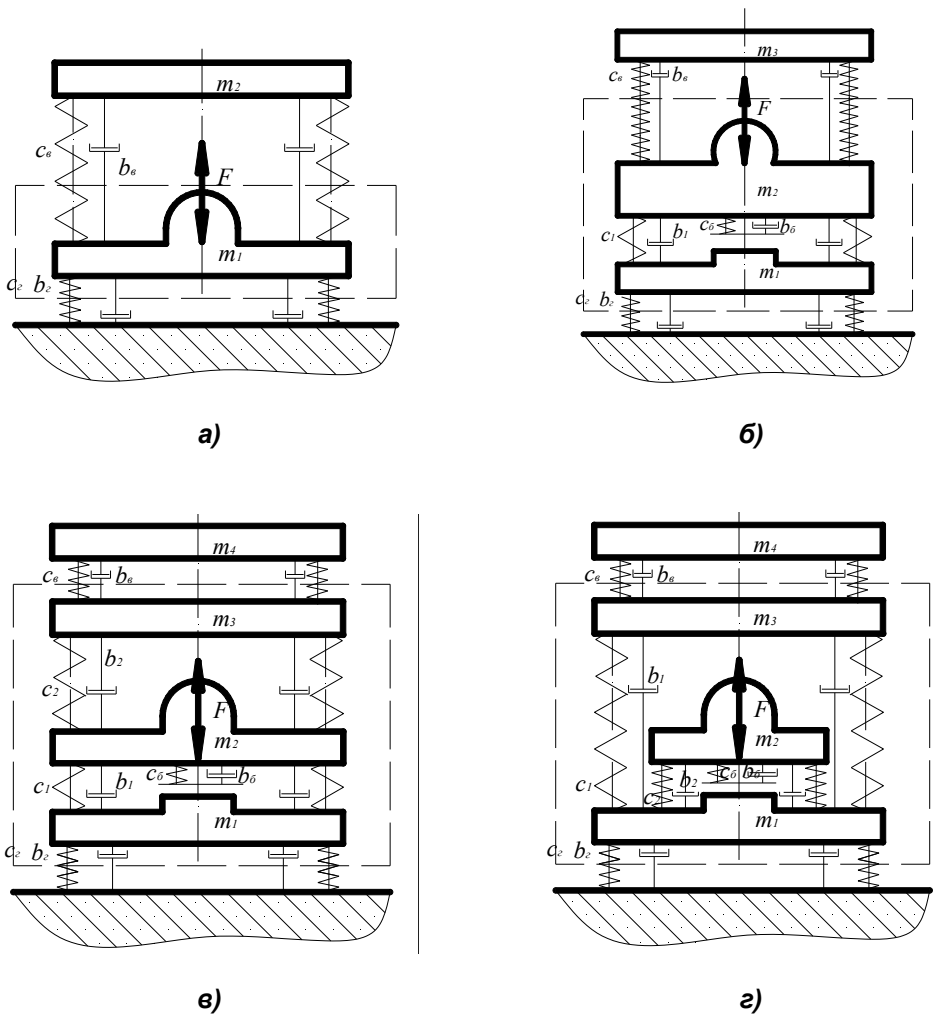
Рис. 1. Розрахункова схема системи „вібротрамбовка – ґрунт”



Складність процесів, що відбуваються при ущільненні будівельних сумішей безумовно утруднює вирішення задач вибору та обґрунтування моделей ущільнюючих машин, а тим паче дати однозначну відповідь щодо режимів роботи таких машин. Методи рішення таких задач пов'язані з розв'язком диференціальних рівнянь, які лише для найпростіших динамічних систем мають аналітичний розв'язок, а в інших випадках розв'язку не існує, або він надто громіздкий. Крім цього аналітичний розв'язок таких рівнянь не завжди відображає реальні процеси і не дає

можливості наочно побачити картину процесу ущільнення.

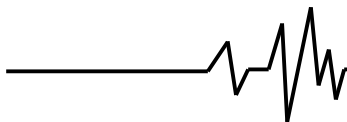
Для об'єктивного аналізу та вивчення стійкості динамічних систем в заданому режимі необхідно мати математичний апарат, що орієнтований на вивчення процесів при ущільненні будівельних сумішей вібраційними машинами. При цьому варто використати еволюційний підхід, який передбачає аналіз роботи програми для найбільш вивченої, найпростішої з подальшим ускладненням її (рис. 2).



**Рис. 2. Схеми вібраційних систем трамбовок:**  
а) – двомасної; б) – тримасних; в)-г) – чотиримасних

Таким чином був розроблений алгоритм розв'язку диференціальних рівнянь методом Рунге-Кутта 4-го порядку для наведених систем і на його основі створена програма для ЕОМ (рис. 3), яка дала можливість отримати чисельний розв'язок таких рівнянь.

На наступному етапі були досліджені можливі варіанти конструктивного виконання навісної вібротрамбовки, віброзбудником може бути як відцентровий віброзбудник так і гідравлічний циліндр. На рис. 4, 5 наведені віброграми та амплітудно-частотні



характеристики для тримасної та чотирихмасної вібраційних систем. У схемі (рис. 2, а) маси з'єднані послідовно одна з одною, збудник коливань розташований на масі ущільнюючої плити, між масами  $m_1$  і  $m_2$  можливий удар. Така схема є достатньо ефективною за рахунок реалізації віброударного режиму роботи. Але оскільки розглядаємо вібротрамбовки навісні, то

приєднання до базової машини здійснюється через масу  $m_3$ , тому необхідно її віброізулювати, а в даному випадку маса  $m_3$  (для схем рис. 2, б) є активною масою тому її віброізоляція приведе до зниження ефективності виконання технологічного процесу.

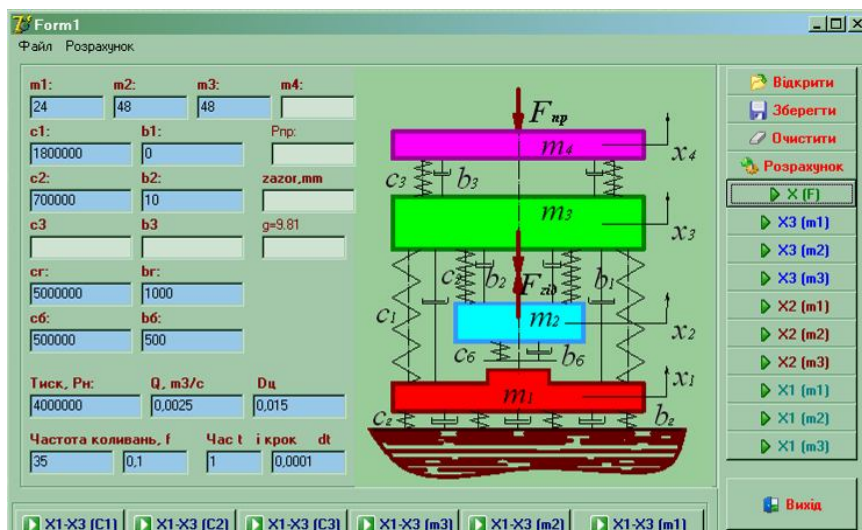


Рис. 3. Інтерфейс програми (визначення режимів руху)

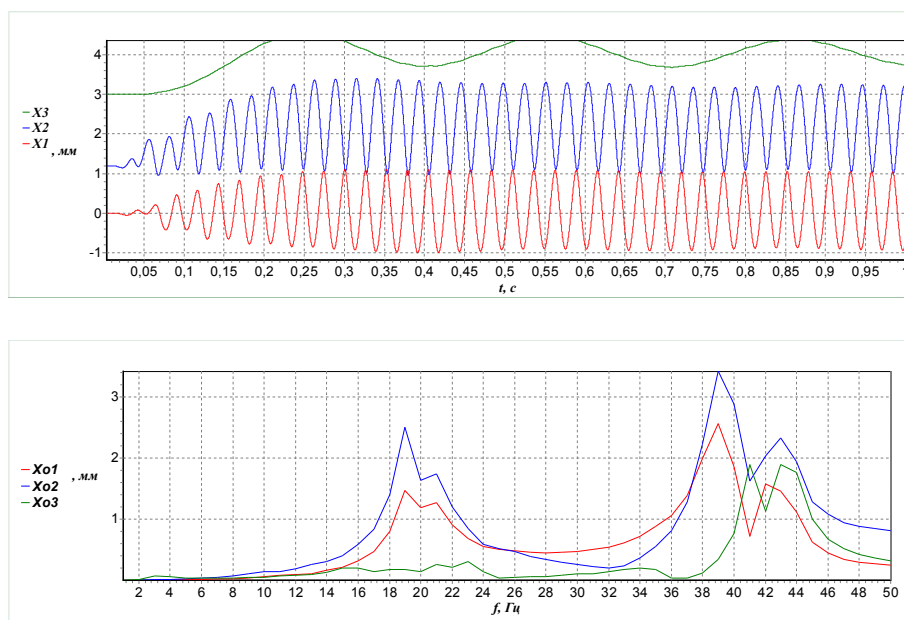


Рис. 4. Віброграма руху і амплітудно-частотна характеристика тримасної вібраційної системи (рис. 2, б)

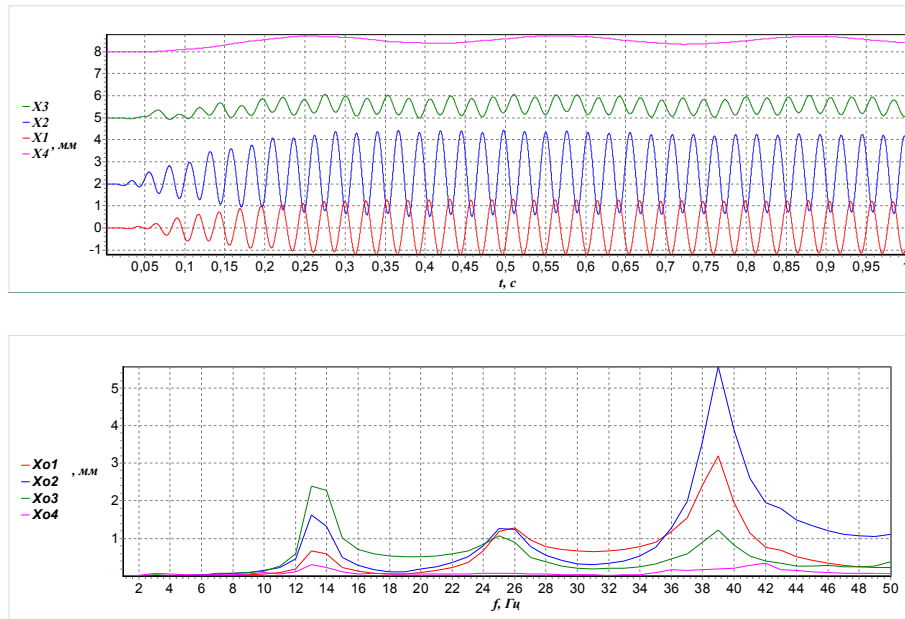
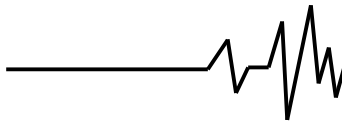


Рис. 5. Віброграма руху і амплітудно-частотна характеристика чотиримасної вібраційної системи (рис. 2, в)

Схема (див. рис. 2, г) на відміну від попередніх має можливість віброізоляції маси  $m_4$ , через яку здійснюється приєднання до базової машини, але за відсутністю пружних елементів, паралельно з'єднаних з вібробудником, не дасть змогу ефективно реалізувати режими близькі до резонансу, а також забезпечити їх стійкість.

Таким чином запропоновано використати одну з схем вібротрамбовки (див. рис. 2, д, е).

Проведений аналіз отриманих схем показав, що наявність двох паралельно розташованих пружних елементів дає можливість отримати декілька ефективних режимів роботи трамбівки та стійкість її роботи.

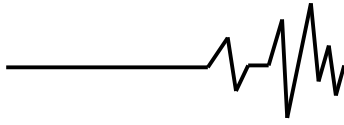
### Висновки

1. Виявлені зони ефективної дії параметрів і характеристик системи "машина-середовище" для забезпечення високої якості процесу ущільнення в основі якого покладена ідея ціленаправленого використання пружних характеристик загальної вібростеми, що при всіх рівних умовах ще дає і зменшення енергетичних витрат для деяких машин до 50%.

2. Встановлено, що стійкість роботи вібротрамбовки може бути реалізована застосуванням запропонованої чотиримасної схеми.

### Список використаних джерел

1. Кобринский Е.А. Виброударные системы / Е.А. Кобринский, А.А. Кобринский. – М.: Наука, 1973. – 592 с.
2. Пановко Я.Г. Основы прикладной теории колебаний и удара / Я.Г. Пановко. – М.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
3. Бидерман В.Л. Прикладная теория механических колебаний / В.Л. Бидерман. – М.: «Высшая школа», 1972. – 416 с.
4. Рагульскене В.Л. Виброударные системы / В.Л. Рагульскене. – Вильнюс.: Минтис, 1974. – 320 с.
5. Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.У.Янг, У. Уивер. – М: Машиностроение, 1991. – 369 с.
6. Закржевский М.В. Колебания существенно-нелинейных механических систем / М.В. Закржевский. – Рига.: Зинатне, 1980. – 190 с.
7. Гусев Б.В. Ударно-вибрационная технология уплотнения бетонных смесей / Б.В. Гусев, А.Д. Деминов, Б.И. Крюков. – М.: Стройиздат, 1982. – 152 с.
8. Осмаков С.А. Вибрационные формовочные машины / С.А. Осмаков, Ф.Г. Брауде. – Л.: Стройиздат, 1976. – 128 с.
9. Савинов О.А. Вибрационная техника уплотнения и формирования бетонных смесей / О.А. Савинов, Е.Б. Лавринович. – Л.: Стройиздат, 1986. – 280 с.



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

#### Список джерел в транслітерації

1. Kobrynskyj E.A. Vybrudarnue systemu / E.A. Kobrynskyj, A.A. Kobrynskyj. – М.: Nauka, 1973. – 592 с.
2. Пановко Ya.G. Osnovu prykladnoj teoryu kolebanyj udara / Ya.G. Panovko. – М.: Mashynostroenye, 1976. – 320 с.
3. Byderman V.L. Prykladnaya teoryya mexanycheskix kolebanyj / V.L. Byderman. – М.: «Vusshaya shkola», 1972. – 416 с.
4. Ragulskene V.L. Vybrudarnue systemu / V.L. Ragulskene. – Vylnyus.: Myntys, 1974. – 320 с.
5. Tymoshenko S.P. Kolebanyya v ynzhenernom dele / S.P. Ty`moshenko, D.U. Yang, U. Uyver. – М.: Mashynostroenye, 1991. – 369 с.
6. Zakrzhevskyj M.V. Kolebanyya sushhestvenno-nelynejnyx mexanycheskix system / M.V. Zakrzhevskyj. – Ryga.: Zynatne, 1980. – 190 с.
7. Gusev B.V. Udarno-vybracyonnaya texnologyya uplotnenyya betonnyx smesey / B.V. Gusev, A.D. Demynov, B.Y. Kryukov. – М.: Strojzdat, 1982. – 152 с.
8. Osmakov S.A. Vybracyonnue formovochnue mashynu / S.A. Osmakov, F.G. Braude. – Л.: Strojzdat, 1976. – 128 с.
9. Savynov O.A. Vybracyonnaya texnyka uplotnenyya y` formovanyya betonnyx smesey /

O.A. Savynov, E.B. Lavrynovych. – Л.: Strojzdat, 1986. – 280 с.

10. Nazarenko I.I. Prykladni zadachi teoriiy vibracijnyx system (2-e vydannya) / I.I. Nazarenko. – К.: Vydavnychyj Dim "Slovo". 2010. – 440 с.

#### АКТИВНЫЕ ВИБРАЦИОННЫЕ ОРГАНЫ МАШИН ДЛЯ ОБРАБОТКИ СМЕСЕЙ

**Аннотация.** Приведенные результаты исследований трамбовочными по определению параметров, что обеспечит высокую эффективность вибрационного воздействия на обрабатываемую среду для обеспечения качества процесса уплотнения, в основе которого лежит идея непосредственной передачи энергии от рабочего органа к обрабатываемой среде.

**Ключевые слова:** вибрация, трамбовка, уплотнения, грунт.

#### ACTIVE BODIES VIBRATING MACHINES FOR PROCESSING MIXES

**Annotation.** Considered an analytical method for determining the effect environment on the dynamics of working bodies vibrating machines. The results of studies that have revealed a zones of effective action parameters and characteristics of the "machine - environment" to ensure the quality of the compress, which is based on the idea of purposeful use of the elastic characteristics of the overall vibrate system.

**Key words:** vibration, rammer, compaction, soil.